

## NÁVRH KOMPLEXNEJ KVANTIFIKÁCIE BIODIVERZITY LESNÝCH EKOSYSTÉMOV V PREPOJENÍ NA EKONOMICKÚ HODNOTU LESNÝCH POZEMKOV A PORASTOV

### PROPOSAL OF COMPLEX QUANTIFICATION OF FOREST ECOSYSTEM BIODIVERSITY LINKED WITH AN ECONOMIC VALUE OF FOREST LAND AND FOREST STANDS

JÁN MERGANIČ & KATARÍNA MERGANIČOVÁ



---

#### Súpis vykonaných činností:

- \* rešerš odbornej literatúry – k vybraným kľúčovým slovám bolo rešeršou na CD rome (CAB) nájdených 282 abstraktov, ktoré boli použité pre syntézu o identifikácii a rozlišovaní užitočnosti biodiverzity z hľadiska fungovania ekosystému a sociálno-ekonomických požiadaviek a hľadísk ľudskej spoločnosti
  - \* bol vypracovaný návrh nepeňažných metodických postupov kvantifikácie hlavných zložiek biodiverzity (druhovú, štruktúrnú, ekosystémovú diverzitu) s ťažiskom na vyššie (semenné) rastliny ako komplexného ukazovateľa biodiverzity lesného ekosystému za účelom ekonomického ohodnotenia
  - \* bola vykonaná kvantifikácia biodiverzity lesov SR pomocou vybraných kvantifikátorov biodiverzity z údajov databázy štatistickej inventarizácie lesov SR
  - \* vypracovaným aplikačným programovým riešením bolo prevereních 69 630 variantov vzťahu medzi komplexným ukazovateľom biodiverzity a ekonomickou hodnotou lesného pozemku a porastu popísaného základným lineárnym modelom a nelineárnym kvadratickým modelom
  - \* bola vykonaná príprava vstupov z databázy inventarizácie lesov pre ekonomickú kvantifikáciu úžitkov biodiverzity zvolených plošných jednotiek lesa podľa naformulovanej požiadavky odborníkov oceňovania lesov
- 

#### Citácia dokumentu:

MERGANIČ, J., MERGANIČOVÁ, K. 2008: Návrh komplexnej kvantifikácie biodiverzity lesných ekosystémov v prepojení na ekonomickú hodnotu lesných pozemkov a porastov. Čiastková správa pre APVT projekt APVV-27-019805 „Hodnotenie verejnoprospešných funkcií lesných a poľnohospodárskych ekosystémov a služieb odvetví“, FORIM, 18 s.

MERGANIČ, J., MERGANIČOVÁ, K. 2008: Proposal of complex quantification of forest ecosystem biodiversity linked with an economic value of forest land and forest stands. Partial Report for APVT project APVV-27-019805 „Hodnotenie verejnoprospešných funkcií lesných a poľnohospodárskych ekosystémov a služieb odvetví“, FORIM, 18 p.

## OBSAH

1. Teoretický rozbor poznatkov identifikácie a rozlišovania užitočnosti biodiverzity z hľadiska fungovania ekosystému a sociálno-ekonomických požiadaviek a hľadísk ľudskej spoločnosti .....	3
2. Nepeňažná kvantifikácia hlavných zložiek biodiverzity lesných ekosystémov SR (druhovú, štruktúrnú, ekosystémovú diverzitu), s ťažiskom na vyššie (semenné) rastliny ako komplexného ukazovateľa biodiverzity lesného ekosystému za účelom ekonomického ohodnotenia .....	7
2.1. Návrh nepeňažných kvantifikátorov diverzity lesných ekosystémov.....	8
2.1.1. Indikátory druhovej diverzity.....	8
2.1.1.1 Indexy druhovej bohatosti (species richness) .....	8
2.1.1.2 Indexy druhovej heterogenity (species heterogeneity).....	8
2.1.1.3 Indexy druhovej vyrovnanosti (species evenness).....	9
2.1.2. Indikátory štruktúrnej a funkčnej diverzity.....	9
2.1.3. Indikátory ekosystémovej diverzity .....	10
2.1.4. Súhrný prehľad kvantifikovaných indikátorov diverzity lesného ekosystému.....	10
2.2. Návrh modelu komplexného ukazovateľa biodiverzity lesného ekosystému za účelom ekonomického ohodnotenia .....	11
2.2.1. Ekonomické ukazovatele hodnoty lesného pozemku a porastu.....	11
2.2.2. Výber čiastkových indikátorov diverzity do modelu komplexného ukazovateľa biodiverzity .....	12
2.2.3. Analýza vzťahu medzi nepeňažným komplexným ukazovateľom biodiverzity a ekonomickou hodnotou lesného pozemku a porastu.....	13
2.2.3.1. Jednoduchá korelácia .....	13
2.2.3.2. Lineárna a nelineárna korelácia variantov komplexného ukazovateľa biodiverzity a ekonomickou hodnotou lesného pozemku a porastu.....	15
2.2.3.3. Súhrn dosiahnutých poznatkov.....	16
Literatúra.....	16
PodĎakovanie .....	18

## 1. TEORETICKÝ ROZBOR POZNATKOV IDENTIFIKÁCIE A ROZLIŠOVANIA UŽITOČNOSTI BIODIVERZITY Z HĽADISKA FUNGOVANIA EKOSYSTÉMU A SOCIÁLNO-EKONOMICKÝCH POŽIADAVIEK A HĽADÍSK ĽUDSKEJ SPOLOČNOSTI

Biodiverzitou, jej zachovaním a ochranou sa doposiaľ zaoberalo nepreberné množstvo publikácií. Z pohľadu laika však vyvstáva prvotná otázka, prečo je biodiverzitu potrebné chrániť a zachovávať, prečo je biodiverzita taká dôležitá.

Biodiverzita sama osebe má svoju vlastnú vnútornú hodnotu (Scholes et al. 2006, Nunes a Bergh 2001). Okrem toho má však vďaka všetkému, čo poskytuje, počínajúc stravou, liečivami, cez stavebný a konštrukčný materiál, až po uspokojovanie duchovných, kultúrnych a estetických potrieb mnohonásobný význam pre ľudstvo (Scholes et al. 2006) ako aj pre zachovanie života na Zemi (Munasinghe 1992 in Baumgärtner 2002).

Súhrnne povedané, biologická diverzita je jediná zložka, ktorá udržuje rovnovážny stav ekosystému (Khumbongmayum et al. 2005). Každý druh v ekosystéme má bez ohľadu na svoju veľkosť dôležitú úlohu a práve ich kombinácia poskytuje ekosystému schopnosť predchádzať katastrofám alebo po nich regenerovať (Shah 2008). Preto je biodiverzita dôležitá vo všetkých ekosystémoch, nielen v prírodných, ale aj v tých, ktoré sú obhospodarované človekom (farmy, plantáže, mestské parky).

Kim (2007) analyzoval dôležitosť biologickej diverzity z pohľadu významnosti jej jednotlivých zložiek uvedených v definícii. Génová diverzita predstavuje podstatu, ktorá garantuje naše prežitie. Je dôležitá pre produkciu, odolnosť voči chorobám, zdravie a medicínu. Druhovú diverzitu je dôležitá, lebo poskytuje genetickú diverzitu a je základom stabilného poľnohospodárstva (zabezpečuje opelenie a tým produkciu a rozmnožovanie, a kontroluje škodcov a choroby). Ekosystémová diverzita je rovnako nutná, pretože ekosystém poskytuje druhom miesto pre život a vytvorenie rôznorodého genofondu. Rôznorodý ekosystém umožňuje druhom existenciu tým, že plní dve funkcie: pôsobí ako prírodný filter a zároveň ako ochranná bariéra proti prírodným katastrofám.

Základnou potrebou ľudstva ako aj každého živého organizmu je potrava. Biodiverzita je zásobárňou potravín (UNDP 2008). Všetky v súčasnosti kultivované rastliny pochádzajú pôvodne z divej prírody. Podľa Watson-a et al. (1995 in Baumgärtner 2002) je zo všetkých známych cievnatých rastlín až 25% jedlých, čo vyjadrené v absolútnych číslach predstavuje cca 60 000 druhov. Z nich sa však len malá časť využíva na stravovanie. MA (2005) uvádza, že doposiaľ využíval človek na svoju obživu len cca 7000 druhov rastlín, pričom v súčasnosti len menej ako 20 druhov rastlín pokrýva viac ako 90% potrieb výživy ľudstva (Myers 1989 in Baumgärtner 2002) a pre veľkú väčšinu obyvateľstva sveta sú hlavnými plodinami len 3 či 4 druhy (DEST 1993). Len niektoré pôvodné tradičné spoločnosti využívajú v súčasnosti na svoju obživu 200 alebo viac druhov. Najdôležitejším zdrojom živočíšnych bielkovín sú v celosvetovom meradle ryby, ktorých sa ročne uloví okolo 100 miliónov ton. Podľa UNDP (2008) sú ryby primárnym zdrojom proteínov pre viac ako 20% populácie Afriky a Ázie. Suchozemské živočíchy poskytujú celý rad potravinových produktov, z ktorých najčastejšie sú vajcia, mlieko a mäso. Tzv. divá, t.j. nekultivovaná, biodiverzita poskytuje rôzne potraviny ako je ovocie, mäso z diviny, huby, med a koreniny. Tieto zdroje sú významné najmä v časoch nedostatocnej poľnohospodárskej produkcie (UNDP 2008). Výsledky súčasných výskumov z Austrálie indikujú, že divo rastúce druhy (napr. semenka akácie a pod.) majú často vyššiu nutričnú hodnotu ako kultivované plodiny (DEST 1993). Biodiverzita navyše predstavuje genetickú banku, ktorú je možné použiť na doplnenie genetického základu kultivovaných druhov (Kim 2007). Vo vyspelom svete sa produktivita poľnohospodárskych plodín udržiava pravidelnou asimiláciou nových génov získaných z divo rastúcich príbuzných rastlín, čím sa nielen zvyšuje ich produkcia, ale aj odolnosť voči škodcom a chorobám, resp. zlepšuje sa ich tolerancia na environmentálne podmienky (DEST 1993, UNDP 2008).

Nevyhnutnou podmienkou pre život je okrem potravy voda. Prírodná vegetácia ako zložka biodiverzity pomáha udržiavať hydrologický cyklus tým, že reguluje a stabilizuje odtok vody, a tlmí vplyv extrémnych javov, ako sú povodne alebo suchá (DEST 1993). V dôsledku týchto vplyvov je množstvo dostupnej vody vyššie, pretože lesné pôdy vďaka svojej vysokej priepustnosti podporujú infiltráciu dažďovej vody do podzemnej vody. Podľa Pei-a (1995 in Xue and Tisdell 2001) sa v lesnatých územiach až 86% dažďových zrážok infiltruje do podzemnej vody a len 14% odtečie ako povrchový odtok. Dostupnosť čistej pitnej vody je vážnou záležitosťou najmä vo veľkých mestách. Ochrana povodí sa ukázala napr. v New Yorku ako omnoho efektívnejšia a menej nákladná ako vybudovanie filtračnej stanice.

Starostlivosť o zdravie patrí medzi hlavné priority človeka. Ako už bolo uvedené, biologická diverzita prispieva k vyváženej výžive. Zároveň sa však významne podieľa na zásobovaní ľudstva liečivami. Podľa Svetovej Zdravotníckej Organizácie WHO je až 80% ľudí v rozvojových krajinách závislých na tradičnej medicíne, ktorá predovšetkým využíva rastliny. V juhovýchodnej Ázii využívajú tradiční liečitelia (šamani a pod.) cca 6500 rôznych druhov rastlín, ktorými liečia maláriu, syfilis, žalúdočné vredy a iné choroby (UNDP 2008). Myers (1997 in Baumgärtner 2002) odhaduje, že asi polovička liekov pochádza pôvodne z divo žijúcich organizmov, pričom jedna štvrtina všetkých liekov má rastlinný pôvod a druhá štvrtina pochádza zo zvierat a mikroorganizmov. Asi najznámejším príkladom je penicilín, ktorý bol odvodený z huby *Penicillium notatum*. Anestetiká boli zase vyvinuté z kožných sekrétov rosničky a mikroorganizmy tvoria základ mnohých antibiotík. V USA je zo 150 najčastejšie predpisovaných liekov až 118 založených na prírodných zdrojoch, pričom 74% z nich je odvodených z rastlín (UNDP 2008). Organizmy žijúce vo voľnej prírode si vo svojom biologickom prostredí vytvorili rôzne stratégie prežitia, ktoré sa prejavujú produkciou biologicky aktívnych chemických látok, ktoré sú často užitočné aj pre človeka. Farmaceutický priemysel sa v súčasnosti vo veľkom zameriava na výskum. Len v roku 1985 bolo na báze rastlín vyrobených 120 farmaceutických produktov (Farnsworth et al. 1985 in Scholes et al. 2006). Doposiaľ však bol len malý podiel organizmov vedecky preskúmaných, napr. Oldfield (1992 in Baumgärtner 2002) uvádza, že z celkového počtu 240 000 cievnatých rastlín bolo zatiaľ pre farmaceutické účely detailne preskúmaných len 5000, tj. 2%. Biologická diverzita má teda v tomto smere obrovský potenciál, keďže predstavuje dôležitý zdroj nových sľubných farmaceutík. Napr. nedávna štúdia istého druhu slimáka objavila liek proti bolesti, ktorý je tisíckrát efektívnejší ako morfium a pritom nie je návykový (UNDP 2008).

Aj z hľadiska poskytovania surovín pre rôzne odvetvia priemyslu má biodiverzita mnohonásobný význam. Základnou komoditou, ktorá sa vo veľkom získava z biodiverzity, je drevo, ktoré sa využíva ako palivo, stavebný materiál a surovina pre papierenský priemysel (DEST 1993). V rozvojových krajinách predstavuje palivové drevo viac ako polovicu využitej energie. V niektorých afrických krajinách, napr. v Tanzánii, Ugande a Rwande, sa podieľa drevo na celkovej spotrebe energie až 80%. Dokonca aj v rozvinutých krajinách ako sú Švédsko a USA dodáva drevo 17% resp. 3% celkovej energie (MA 2005). Nedostatok palivového dreva sa prejavuje najmä vo veľmi zaľudnených oblastiach, kde nemajú k dispozícii alternatívne zdroje energie, čo má za následok choroby a podvýživu z dôvodov nedostatku vareného jedla a prevarenej vody (MA 2005).

Okrem dreva poskytuje biodiverzita aj iné produkty (rastliny, ovocie, huby), ktoré slúžia na zabezpečenie existencie a príjmu jedincov. Napr. v Himalájskom regióne v Indii predstavujú jablká hlavnú plodinu, ktorá tvorí 60 – 80% celkového príjmu domácností. Podľa MA (2005) pracuje v súčasnosti v poľnohospodárstve 22% celkovej svetovej populácie. Okrasné rastliny, napr. *Begonia L.* a *Impatiens L.*, ktoré sú vo svete veľmi populárne, zase tvoria významný podiel z nedrevných lesných produktov z dažďových pralesov (Fominyam a Tay 2007).

Medzi ďalšie materiály získané z jednotlivých zložiek biodiverzity patria gumy, tuky, oleje, vosky, vlákna, rastlinné farbivá, atď., ktoré sa využívajú v rozličných oblastiach. Látky získané zo živých organizmov sú mimoriadne zaujímavé najmä pre chemický priemysel, ktorý v súčasnosti získava už viac ako 10% svojich surovín z poľnohospodárstva a lesníctva (Mann 1998 in Baumgärtner 2002). Zoznam produktov sa neustále rozširuje o ďalšie produkty, ktoré sú

objavované v procese tzv. bioprospecting, t.j. v procese hľadania doposiaľ neznámych užitočných produktov poskytovaných biodiverzitou. Takýmito produktami sú napr. protihubové toxíny, enzýmy rozkladajúce olej, či prírodné pesticídy (UNDP 2008). Prírodné pesticídy predstavujú sľubný smer, pretože sa odhaduje, že až 99% škodcov je kontrolovaných inými organizmami (hmyzom, vtákmi). Navyše tieto pesticídy sú omnoho efektívnejšie ako umelé, nemajú negatívny vplyv na pôdu a škodcovia sa proti nim nestávajú rezistentní (Kim 2007).

Doposiaľ uvedené úžitky biodiverzity pochádzajú z priameho využitia jej biologických zdrojov, ktoré sa niekedy súhrnne nazývajú ako tzv. zásobovacie služby (úžitky) biodiverzity (CBD 2006, MA 2005). Okrem nich však poskytuje biologická diverzita prírodným ako aj človekom zmeneným ekosystémom aj iné služby na to, aby správne fungovali, napr. regulácia klímy, živnosti pôdy. Tieto úžitky sú z pohľadu laika menej zrejmé, hoci sú rovnako dôležité ako uspokojovanie ich priamych potrieb (Scholes et al. 2006).

Kategorizácia týchto nepriamych úžitkov nie je v literatúre jednotná. Napr. MA (2005) rozoznáva podporné, regulačné a kultúrne úžitky (služby). Všetky skupiny dokopy vrátane zásobovacích služieb nazýva ekosystémovými službami (úžitkami). DEST (1993) zahŕňa medzi ekosystémové služby len tie úžitky, ktoré sú podľa MA (2005) klasifikované ako regulačné a podporné, a okrem toho ešte na úrovni ekosystémových služieb vylišuje kategóriu tzv. sociálnych úžitkov. Daily (1997 in Baumgärtner 2002) zase rozdeľuje ekosystémové služby do troch kategórií:

- (1) služby podporujúce ľudské produkčné aktivity. Napr. existujú organizmy, ktoré sa spolupodieľajú na procese tvorby pôdy, ktoré zabraňujú pôdnej erózii a pod.
- (2) ekosystémy slúžia ako jama pre rozličný odpad vyprodukovaný pri rôznych ľudských činnostiach. Živé zložky ekosystémov dokážu tento odpad v mnohých prípadoch premeniť a tým niekedy aj zneškodniť alebo dokonca pripraviť na opätovné využitie (Munasinghe 1992 in Baumgärtner 2002). Napr. pôdni deštruenti rozkladajú organický odpad na neorganické látky, ktoré môžu následne slúžiť na výživu vyšších zelených rastlín.
- (3) funkcie nevyhnutné pre zachovanie života na Zemi, medzi ktoré patria regulácia zloženia atmosféry, premena solárnej energie na biomasu, regulovanie lokálnej a globálnej klímy, regulácia vodného cyklu, udržiavanie cyklov základných prvkov (dusík, síra, fosfor, atď.) (Baumgärtner 2002).

V našom prehľade sa budeme riadiť členením podľa MA (2005), s ktorým sa stotožnilo viacero iných autorov. Medzi podporné úžitky patrí napr. kolobeh vody a živín, v ktorom hrá biodiverzita primárnu úlohu. Rastliny prijímajú živiny z pôdy a vzduchu a akumulujú ich vo svojom tele. Z rastlín sa živiny dostávajú ďalej do potravinového reťazca, kde sú využívané rôznymi formami života od najjednoduchších organizmov až po človeka. So zmenou ročných období sa niektoré živiny vracajú naspäť do pôdy z opadnutých listov, konárov a jemných vlásočnicových koreňkov, kým zvyšok ostáva v koreňoch a kmeňoch stromov. Aktivity mikrobiálnych a živočíšnych pôdnych druhov – vrátane baktérií, húb, plesní, stonožiek a červov – rozkladajú organický materiál, čím uvoľňujú dôležité živiny pre rastliny. Tieto procesy hrajú dôležitú úlohu v kolobehu základných prvkov ako sú dusík, uhlík a fosfor (UNDP 2008). Navyše sa pôdna vegetácia a pedofauna týmito svojimi aktivitami spolupodieľajú na procese tvorby pôdy. Koreňový systém stromov rozmeľňuje pôdu a kamene, čo okrem iného napomáha k penetrácii vody (DEST 1993).

Všetky tieto podporné služby sú základom pre plnenie ostatných ekosystémových úžitkov (CBD 2006). Ak ekosystém so svojou biologickou diverzitou plní podporné úžitky, je schopný poskytovať aj regulačné služby, medzi ktoré patrí udržiavanie kvality vzduchu, vody a pôdy. Rastlinné druhy čistia vzduch a regulujú zloženie atmosféry, recyklujú kyslík a filtrujú škodlivé častice z priemyselných aktivít. Biologická diverzita pomáha pri zachovaní štruktúry pôdy a pri udržiavaní pôdnej vlhkosti a živín. Pri prechode vody cez lesné ekosystémy a lesné pôdy ako aj cez mokradňové ekosystémy dochádza k čisteniu vody, čím sa zlepšuje kvalita vody (Xue and Tisdell 2001, UNDP 2008). Pôdna vegetácia navyše zabraňuje pôdnej erózii, čím chráni rieky a vodné

rezervoáre pred ich zanášaním. Lužné lesy a ekosystémy nachádzajúce sa pozdĺž záplavových riek pomáhajú absorbovať prebytočnú vodu a tak znižujú poškodenia spôsobené záplavami. Strata biologickej diverzity spôsobená odstránením vegetácie má za následok zasolenie pôd, lúhovanie živín a zrýchlenú eróziu vrchnej vrstvy pôdy (DEST 1993), čo následne znižuje živnosť pôdy (Xue and Tisdell 2001).

Biologická diverzita plní významnú úlohu aj v procese dekompozície odpadu. Podľa UNDP (2008) spracujú dekompozítory každý rok okolo 130 miliárd ton organického odpadu. Okrem toho mnohé živé organizmy od baktérií až po vyššie formy života detoxikujú a rozložia viacero znečisťujúcich látok vrátane škodlivých plynov, saponátov, olejov, kyselín a papiera, ktoré vznikajú pri rôznych ľudských činnostiach. Morské mikrobiálne spoločenstvá poskytujú rozhodujúce detoxikačné služby (MA 2005). Niektoré morské mikroorganizmy sú schopné rozkladať toxické uhl'ovodíky, ktoré sa vyskytujú napr. v olejových škvrnách, na uhlík a vodu pomocou aeróbného procesu. Iné morské organizmy (napr. Americké ustrice) filtrujú vodu a redukujú vplyvy eutrofikácie (MA 2005). Z ekosystémov sú na rozklad a absorpciu škodlivín vhodné najmä mokrade, ktoré sa používajú na filtrovanie odpadových vôd. Počas tohto procesu sa z odpadových vôd odstráni živina, ťažké kovy a rozptýlené častice, zníži sa biochemický kyslík a zničia sa potencióálne škodlivé mikroorganizmy (DEST 1993). Dôležitú funkciu pri dekompozícii škodlivých látok majú aj lesné ekosystémy, ktoré absorbujú SO<sub>2</sub>, HF, Cl<sub>2</sub> a iné škodlivé plyny a svojimi fyziologickými procesmi ich rozkladajú (Xue and Tisdell 2001). V pôde sa konečný produkt týchto dekompozičných procesov vracia späť do rastlín v podobe živín vo forme jednoduchých anorganických chemických látok.

Vďaka svojej vnútornej previazanosti, keď existencia každého druhu závisí na službách, ktoré mu poskytujú iné druhy (Shah 2008), má biologická diverzita schopnosť kontrolovať škodcov a choroby, ktorí svojimi vplyvmi redukujú produkciu a výnosy ekosystémov. Podľa MA (2005) môže zvýšenie pridruženej diverzity v nízko diverzityných agro-ekosystémoch zvýšiť ich biologickú kontrolu a zároveň znížiť ich závislosť na biocídoch a náklady na ich aplikáciu. Navyše, podľa zistení z morských ekosystémov sú ekosystémy, ktorých pôvodné druhové zloženie je zachované (t.j. počet, typy a relatívne zastúpenie pôvodných druhov), rezistentnejšie voči inváznym druhom ako ekosystémy zmenené.

Produkcia a rozmnožovanie rastlín sú závislé na aktivitách rôznych živočíšnych druhov – včiel, motýľov, netopierov, vtákov, atď., ktoré prenášajú peľ alebo semená rastlín. Z poľnohospodárskych plodín je až 1/3 závislá na opeľovaní hmyzom alebo vtákmi (Kim 2007). Odhady peňažnej hodnoty opeľovania sa rôznia v závislosti od zdroja, ale rádovo sa pohybujú v stovkách miliárd dolárov (MA 2005).

Biologická diverzita ovplyvňuje klímu na lokálnej, regionálnej a globálnej úrovni, a preto všetky zmeny vo využití krajiny a jej pokrytí, ktoré ovplyvňujú biodiverzitu, majú vplyv aj na klímu. V tomto smere sú dôležitými zložkami biodiverzity funkčná diverzita rastlín, a typ a rozmiestnenie ekosystémov po krajine. Tieto črty určujú kapacitu ekosystémov viazať uhlík, albedo (t.j. podiel prichádzajúcej slnečnej radiácie, ktorá je odrazená späť do vesmíru), evapotranspiráciu, teplotu, a pod. Tkanivá rastlín a iný organický materiál v suchozemských a morských ekosystémoch predstavujú zásobárne uhlíka, čím spomaľujú proces tvorby atmosferického oxidu uhličitého. Koľko uhlíka sa z atmosféry prijme (asimiluje) a koľko sa uvoľní (prostredníctvom dekompozičných a spaľovacích procesov), závisí na charakteristikách jednotlivého druhu, predovšetkým na rýchlosti rastu a drevnatosti. Rýchlosť rastu riadi príjem uhlíka. Drevnatosť zlepšuje fixáciu uhlíka, keďže drevnaté rastliny mávajú vyšší obsah uhlíka, žijú dlhšie a rozkladajú sa pomalšie ako menšie bylinné druhy.

Navyše majú ekosystémy priamy vplyv na regionálnu alebo lokálnu klímu. Napr. vlhkosť, ktorá sa uvoľňuje do atmosféry z dažďových pralesov, spôsobuje v danom regióne pravidelné lejaky, čím minimalizuje straty vody z regiónu a pomáha kontrolovať teplotu zemského povrchu (UNDP 20008). Všeobecne sa lesy vyznačujú vyššou evapotranspiráciou ako napr. trávnaté porasty, pretože ich korene sú umiestnené hlbšie a majú väčšiu listovú plochu. Z tohto dôvodu majú lesy

zvlhčovací vplyv na atmosféru a predstavujú zdroj vlhkosti pre ekosystémy v smere vetra. Napr. v Amazónskom regióne pochádza až 60% zrážok z vody transpirovanej ekosystémami proti smeru vetra (MA 2005). V studenej klíme pôsobia zase lesy ako izolátory a vetrolamy, čím znižujú vplyvy mrazu.

Okrem už uvedených služieb uspokojuje biodiverzita aj duševné a kultúrne ľudské potreby. Ľudstvo inštinktívne získava svoje estetické a duševné uspokojenie z biologickej diverzity. Nedávne štúdie dokázali už dávno známu pravdu, že naša duševná pohoda sa zlepšuje s blízkosťou prírodnej krásy. Prepojenie ľudstva s biodiverzitou sa odráža v umení, náboženstve a tradíciách rôznych kultúr (UNDP 2008). Strata alebo narušenie jednotlivých zložiek biodiverzity môže negatívne ovplyvniť sociálne vzťahy tým, že sa stratia hodnoty, ktoré danú spoločnosť spájali (MA 2005) a s ktorou sa daná kultúra identifikovala.

Krása a rôznorodosť rôznych organizmov (vtákov, motýľov, rýb, rastlín, atď.) láka ľudí k rôznym turistickým aktivitám (fotografovanie, potápanie, a pod.). Ekoturizmus patrí celosvetovo k najrýchlejšie rastúcim odvetviam turizmu v súčasnosti (Baumgärtner 2002, Scholes a Biggs 2004 in Scholes et al. 2006, MA 2005). Ľudia, ktorí si vyberajú dovolenky v prírode, prispievajú minimálne 500 miliárd dolárov ročne do národných dôchodkov krajín, ktoré navštívia. Len koralové útesy na Floride zarobia prostredníctvom turizmu 1.6 miliarda dolárov ročne (UNDP 2008). Podľa Christ-a et al. (2003 in Scholes et al. 2006) tvorí ekoturizmus približne polovicu z celového turistického trhu.

Aj v oblasti vedy a výskumu má biologická diverzita obrovský potenciál, keďže predstavuje dôležitý zdroj nových poznatkov. Odhaduje sa, že celkový počet druhov žijúcich na Zemi je v rozmedzí 5 až 100 miliárdov druhov, pričom doposiaľ bolo popísaných cca 1.7 milióna druhov. Prírodné areály sú vynikajúce laboratória pre štúdie biologických a genetických zdrojov a môžu slúžiť ako porovnávacia miera oproti rôznym hospodáreniam človeka.

Tradičné spoločnosti si vážia biodiverzitu a jej hodnoty formou vyhlasovania posvätných nedotknuteľných miest. Vyspelé spoločnosti ich vnímajú na vedeckom základe, cez veličiny ako prichádzajúca radiácia, evapotranspirácia, teplota vzduchu atď. (MA 2006 in Scholes et al. 2006).

## **2. NEPEŇAZNÁ KVANTIFIKÁCIA HLAVNÝCH ZLOŽIEK BIODIVERZITY LESNÝCH EKOSYSTÉMOV SR (DRUHOVÁ, ŠTRUKTURÁLNA, EKOSYSTÉMOVÁ DIVERZITA), S ŤAŽISKOM NA VYŠŠIE (SEMENNÉ) RASTLINY AKO KOMPLEXNÉHO UKAZOVATEĽA BIODIVERZITY LESNÉHO EKOSYSTÉMU ZA ÚČELOM EKONOMICKÉHO OHODNOTENIA**

Kvantifikácia jednotlivých zložiek biodiverzity v lesníckych a poľnohospodárskych aplikáciách sa v prevažnej miere zameriava na vyššie rastliny. Hodnotenie druhovej diverzity je založené minimálne na jednom z troch nasledujúcich znakov (Bruciamacchie 1996), a to na:

- druhovej bohatosti, ako na najstaršom a najjednoduchšom poňatí druhovej diverzity vyjadrenej iba na základe počtu druhov;
- druhovej vyrovnanosti, ako miere rovnomernosti zastúpenia jednotlivých druhov v spoločenstve a
- druhovej heterogenite, ako charakteristike zahŕňajúcej v sebe druhovú bohatosť a vyrovnanosť v jednom.

Hodnotenia založené len na podklade druhovej diverzity môžu byť zavádzajúce, pretože niektoré ekosystémy, ktoré sú prirodzene rovnorodé, alebo tvorené prevažne jedným druhom môžu vykazovať rovnako vysokú vážnosť z hľadiska biodiverzity ako silne druhovo heterogénne spoločenstvá. Preto okrem druhového zloženia je dôležitá aj štruktúra lesa vyjadrovaná rôznymi štruktúrnymi prvkami. Najstarší, najjednoduchší a v praxi najviac využívaný je slovný kvalitatívny popis zmiešania, hustoty a iných charakteristík porastu (Merganič a Merganičová 2007).

## 2.1. NÁVRH NEPEŇAŽNÝCH KVANTIFIKÁTOROV DIVERZITY LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Návrh nepeňažných kvantifikátorov diverzity lesných ekosystémov vychádza z možností databázy údajov Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR (NIML SR). Uskutočnila sa v rokoch 2005 a 2006 (Šmelko et al. 2008). Pre účely tejto práce sa využili iba údaje z inventarizačných plôch (IP), ktoré padli na pozemky porastené lesom (Šmelko et al. 2008, Šmelko et al. 2006). Ich celkový počet je 1419 IP. Pre účely ekonomickej analýzy boli použité len IP, ktoré padli na katastrom evidované lesné pozemky o počte 1173 IP (redukované po vylúčení problémových IP). Z údajov databázy NIML boli kvantifikované súbory indikátorov diverzity lesných ekosystémov pre tri kategórie:

- a) druhová diverzita
- b) štruktúrna diverzita
- c) ekosystémová diverzita

Pri výpočte indikátorov diverzity stromovej zložky sa uvažovalo s kompletným súborom stromov na IP, t.j. od registračnej výšky 0.1m. Podiel druhov, vrstiev a pod. bol kvantifikovaný dvojako a to z výšky stromov a stanoviskovej plochy stromov, t.j. veličín, ktoré je možné vyčísliť pri všetkých stromoch v databáze.

### 2.1.1. INDIKÁTORY DRUHOVEJ DIVERZITY

Z veľkého množstva známych ukazovateľov druhovej diverzity sme vybrali najčastejšie používané v odbornej literatúre, ktoré väčšina autorov považuje za vhodné na číselné vyjadrenie diverzity skúmaných populácií. Podrobnejší rozbor je možné nájsť v prácach Merganič (2001), Hubálek (2000), Krebs (1989), Ludwig & Reynolds (1988).

#### 2.1.1.1 INDEXY DRUHOVEJ BOHATOSTI (SPECIES RICHNESS)

Druhová bohatosť je najstaršie a najjednoduchšie poňatie druhovej diverzity a vyjadruje sa na základe počtu druhov. Diverzita je tým väčšia, čím viac druhov sa v danom spoločenstve nachádza. Z ďalších indexov, ktoré kvantifikujú druhovú bohatosť a z historického hľadiska patria k najznámejším, sú indexy  $R1$  a  $R2$ . Autori, ktorí tieto indexy zaviedli, sa snažili zohľadniť vplyv veľkosti výberovej vzorky tak, že „relativizovali“ počet druhov k veľkosti populácie.

Matematická formulácia vybraných indexov druhovej bohatosti je nasledovná:

$$N0 = S \quad \text{(Hill 1973)} \quad [1]$$

$$R1 = (S-1)/\ln(M) \quad \text{(Margalef 1958)} \quad [2]$$

$$R2 = S/\sqrt{M} \quad \text{(Menhinick 1964)} \quad [3]$$

kde:

$S$  – počet druhov

$M$  – počet jedincov (počet stromov)

#### 2.1.1.2. INDEXY DRUHOVEJ HETEROGENITY (SPECIES HETEROGENITY)

Tieto indexy zahŕňajú v sebe druhovú bohatosť a vyrovnanosť. Pravdepodobne najväčšou prekážkou, ktorú je potrebné prekonať pri použití indexov heterogenity je ich interpretácia, čo táto jedna číselná hodnota v skutočnosti znamená. Rovnakú hodnotu indexu môžeme totiž získať pri rôznych kombináciách druhovej bohatosti a vyrovnanosti. Napriek týmto „problémom“ patria tieto indexy k najobľúbenejším a veľmi často používaným. V literatúre ich existuje veľké množstvo (Peet 1974), avšak v predkladanej práci sme využili štyri najčastejšie používané indexy: Simpsonov, Shannonov index a Hillove čísla  $N1$  a  $N2$ .

Matematicky sú definované nasledovnými vzťahmi:



$$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad \text{Simpson (1949)} \quad [4]$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i) \quad \text{Shannon \& Weaver (1949)} \quad [5]$$

$$NI = e^{H'} \quad \text{Hill (1973)} \quad [6]$$

$$N2 = 1 / (1 - \lambda) \quad \text{Hill (1973)} \quad [7]$$

kde:

$p_i$  – pravdepodobnosť, podiel  $i$  – tého druhu na IP zo sumy výšok stromov resp. stanoviskovej plochy

### 2.1.1.3. INDEXY DRUHOVEJ VYROVNANOSTI (SPECIES EVENNESS)

Keďže heterogenita sa skladá z dvoch samostatných zložiek - druhovej bohatosti a vyrovnanosti - bolo prirodzené pokúsiť sa kvantifikovať samostatne aj vyrovnanosť. Tento koncept prvýkrát navrhli Lloyd & Ghelardi (1964). Mnoho desaťročí si ekológovia uvedomujú, že väčšina rastlinných a živočíšnych spoločenstiev sa skladá z niekoľkých dominantných druhov a z veľkého počtu druhov, ktoré sú málo zastúpené, čo vytvára medzi nimi určitý pomer, resp. nepomer. Táto miera vyrovnanosti zastúpenia jednotlivých druhov sa vyjadruje jedným číslom - indexom vyrovnanosti. Pri úplne vyrovnanom zastúpení druhov v populácii sa indexy vyrovnanosti rovnajú maximálnej hodnote 1.0.

Z veľkého množstva indexov, ktoré boli navrhnuté, sme vybrali a použili nasledovné 3 indexy vyrovnanosti:

$$E1 = H' / \ln(S) = \ln(N_1) / \ln(N_0) \quad (\text{Pielou 1975, 77}) \quad [8]$$

$$E3 = (e^{H'} - 1) / (S - 1) = (N_1 - 1) / (N_0 - 1) \quad (\text{Heip 1974}) \quad [9]$$

$$E5 = ((1/\lambda) - 1) / (e^{H'} - 1) = (N_2 - 1) / (N_1 - 1) \quad (\text{Hill 1973}) \quad [10]$$

### 2.1.2. INDIKÁTORY ŠTRUKTURÁLNEJ A FUNKČNEJ DIVERZITY

Vybrané indikátory tejto kategórie odrážajú zmeny v štruktúrálnej diverzite štruktúrálnych prvkov na IP ako aj zmeny funkčných parametrov lesného ekosystému. V globále by sme ich mohli rozdeliť na niekoľko skupín, ktoré charakterizujú čiastkové komponenty štruktúrálnej a funkčnej diverzity. Vzhľadom na štruktúru databázy NIML, vybrané indikátory sú pomerne jednoducho kvantifikovateľné a zároveň majú určité väzby na zmeny ekologických podmienok, od ktorých sa odvíja aj oceňovanie lesných porastov a pozemkov. Skupinu charakterizujúcu diverzitu vo vertikálnom členení štruktúrálnych prvkov zastupuje Arten profil index (Pretzsch 1996). Index je založený na báze Shannonovho indexu (Shannon & Weaver 1949) a má nasledovnú formu:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad [11]$$

kde:

$S$  - počet druhov

$Z$  - počet vrstiev – etáží porastu

$p_{ij}$  - podiel stromov  $i$ -tého druhu v  $j$ -tej vrstve porastu

Vertikálny profil porastu je členený do troch výškových vrstiev, ktoré Pretzsch definuje relatívne z maximálnej výšky v poraste nasledovne:

1. do 50% (z  $h_{max}$ )
2. 50-80%
3. nad 80%.

Tento index v sebe zahŕňa druhovú diverzitu a rozmiestnenie druhov v poraste. Index má najnižšiu hodnotu v rovnovekých rovnorodých porastoch. S nárastom etáže a nárastom zmiešania druhov rastie aj hodnota indexu.

Ďalšia skupina indikátorov charakterizuje diferenciáciu stromov na IP. Reprezentuje ju variačný koeficient výšky stromov a stanoviskových plôch stromov. V určitom prepojení na vek porastu a bonitu stanovišťa túto skupinu zastupuje aj index variačného rozpätia výšky, resp. stanoviskovej plochy stromov a index maximálnej výšky stromu, resp. maximálnej stanoviskovej plochy stromu. K tejto skupine má blízko aj jednoduchý indikátor počtu rastových stupňov (RS) na IP. V rámci NIML sa vylišovali nasledovné RS: holina, nálet, kultúra, podsadba, nárast, odrastená kultúra, mladina, žrdkovina, žrdovina, tenká kmeňovina, stredná kmeňovina, hrubá kmeňovina, veľmi hrubá kmeňovina, zmiešaný rastový stupeň.

Hustotu porastu odrážajú indikátory suma výšok, resp. suma stanoviskových plôch stromov na IP a počet stromov na IP.

Funkčnú diverzitu reprezentujú indikátory zásoba stromov s kôrou a zásoba odumretého dreva.

### 2.1.3. INDIKÁTORY EKOSYSTÉMOVEJ DIVERZITY

V tejto kategórii bol kvantifikovaný iba jeden indikátor a to počet subplôch na IP.

### 2.1.4. SÚHRNÝ PREHĽAD KVANTIFIKOVANÝCH INDIKÁTOROV DIVERZITY LESNÉHO EKOSYSTÉMU

V nasledujúcej kapitole uvádzame súhrnný prehľad vypočítaných indikátorov diverzity lesného ekosystému. Celkovo bolo kvantifikovaných 36 rôznych indikátorov.

PC	Indikátor	Skratka	Súbor jedincov	Veličina
<b>Druhovú diverzitu</b>				
1	N0	$N0\_S$	Stromy	
2	N0	$N0\_S7$	cca 20 stromov s hrúbkou 7 a viac cm	
3	N0	$N0\_K$	Kry	
4	N0	$N0\_B$	Byliny a trávy	
5	N0	$N0\_M$	Machy	
6	R1	$R1$	Stromy	
7	R2	$R2$	Stromy	
8	$\lambda$	$\lambda\_V$	Stromy	Výška stromu
9	$\lambda$	$\lambda\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
10	$H'$	$H\_V$	Stromy	Výška stromu
11	$H'$	$H\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
12	N1	$N1\_V$	Stromy	Výška stromu
13	N1	$N1\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
14	N2	$N2\_V$	Stromy	Výška stromu
15	N2	$N2\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
16	E1	$E1\_V$	Stromy	Výška stromu
17	E1	$E1\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
18	E3	$E3\_V$	Stromy	Výška stromu
19	E3	$E3\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu
20	E5	$E5\_V$	Stromy	Výška stromu
21	E5	$E5\_S$	Stromy	Stanovisková plocha stromu

Štruktúrálna a funkčná diverzita			
22	A	$A_V$	Výška stromu
23	A	$A_S$	Stanovisková plocha stromu
24	Variačný koeficient	$CV_V$	Výška stromu
25	Variačný koeficient	$CV_S$	Stanovisková plocha stromu
26	Variačné rozpätie	$VAR_V$	Výška stromu
27	Variačné rozpätie	$VAR_S$	Stanovisková plocha stromu
28	Maximálna hodnota	$MAX_V$	Výška stromu
29	Maximálna hodnota	$MAX_S$	Stanovisková plocha stromu
30	Počet RS	$RS$	
31	Suma	$SUM_V$	Výška stromu
32	Suma	$SUM_S$	Stanovisková plocha stromu
33	Počet stromov	$M$	
34	Zásoba SSK	$SSK$	
35	Zásoba odumreté drevo	$MOD$	
Ekosystémová diverzita			
36	Počet subplôch	$SUB$	

## 2.2. NÁVRH MODELU KOMPLEXNÉHO UKAZOVATEĽA BIODIVERZITY LESNÉHO EKOSYSTÉMU ZA ÚČELOM EKONOMICKÉHO OHODNOTENIA

Komplexné ukazovatele biodiverzity kombinujú v sebe viacero zložiek biodiverzity. Tieto indexy sú väčšinou založené na aditívnom princípe, t.j. konečná hodnota indexu sa získa sčítaním hodnôt jednotlivých zložiek biodiverzity. Zvyčajne sa používajú dva druhy kvantifikácie zložiek biodiverzity: (1) priradením skóre danému stavu na základe vopred stanovenej stupnice alebo (2) používaním skutočných merných jednotiek. Pre stanovenie celkovej hodnoty biodiverzity sa hodnoty jednotlivých zložiek môžu podľa ich významu pre celkovú biodiverzitu upraviť rôznymi váhami. Takýto postup hodnotenia biodiverzity je pomerne jednoduchý a ľahko aplikovateľný. Na tomto princípe sme postavili návrh komplexného modelu biodiverzity na podklade údajov z databázy NIML. Využili sme druhý postup kvantifikácie s určitou modifikáciou. Hodnoty jednotlivých čiastkových indikátorov boli štandardizované k maximálnej hodnote z celého súboru údajov. Výsledok tejto štandardizácie spočíva v relativizácii hodnôt čiastkových indikátorov, čím sa vyrovnala ich váha v komplexnom ukazovateli biodiverzity. Vylúčenie tejto štandardizácie by malo za následok to, že hodnota komplexného ukazovateľa by nezávisela od hodnôt čiastkových diverzít, ale hlavne od ich merných jednotiek. Keďže údaje pochádzajú z celoslovenskej databázy, aplikovaná štandardizácia k maximu má opodstatnené použitie. Matematická formulácia modelu komplexného ukazovateľa biodiverzity (*KUB*) má nasledovný tvar:

$$KUB = ID_1 + ID_i + \dots + ID_n \quad [12]$$

kde:

*ID* – čiastkový index indikátora diverzity

Počet a výber čiastkových indikátorov diverzity v modeli podliehal analýze, ktorá sledovala cieľ úlohy. Navrhnutý komplexný ukazovateľ biodiverzity by mal mať čo najtesnejší vzťah k ekonomickej hodnote lesného porastu a pozemku.

### 2.2.1. EKONOMICKÉ UKAZOVATELE HODNOTY LESNÉHO POZEMKU A PORASTU.

V spolupráci s NLC Zvolen bola na jednotlivých IP kvantifikovaná hodnota lesného pozemku a porastu v zmysle vyhlášky 465/1991 o cenách stavieb, pozemkov, trvalých porastov, úhradách za zriadenie práva osobného užívania pozemkov a náhradách za dočasné užívanie pozemkov. Ocenenie lesných pozemkov a porastov však vychádzalo z podkladov údajovej databázy LHP. Uvedené údaje sa získali prekryvom polohy IP s mapou JPRL. Uvedené údaje teda nie sú

úplne previazané na skutočný stav porastu na IP. Databáza cien pozemkov a porastov obsahovala nasledovné ekonomické ukazovatele: východiskovú cenu pozemku a porastu k aktuálnemu veku porastu, všeobecnú cenu pozemku a porastu k aktuálnemu veku porastu, východiskovú cenu pozemku a porastu v rubnej dobe porastu a všeobecnú cenu pozemku a porastu v rubnej dobe porastu. Sčítaním ceny pozemku a porastu sa dodatočne vypočítala súhrnná východisková a všeobecná cena lesného pozemku a porastu k aktuálnemu veku porastu. Uvedená databáza obsahovala ceny na výmeru JPRL, do ktorých padla IP. Aplikáciou metódy „Ratio of Means” sa ceny v databáze prepočítali na jednotkovú výmeru  $1\text{m}^2$ . Prenásobením ceny na  $1\text{m}^2$  výmerou lesného pozemku, resp. lesného porastu na IP sa kvantifikovali všetky vyššie uvedené ceny na výmeru IP. Tento postup bol zvolený preto, že indikátory diverzity nie su lineárne závislé na výmere, ale naopak, tento vzťah je definovaný nelineárnym modelom, prevažne logaritmickým.

### 2.2.2. VÝBER ČIASTKOVÝCH INDIKÁTOROV DIVERZITY DO MODELU KOMPLEXNÉHO UKAZOVATEĽA BIODIVERZITY

Jedna z alternatív konštrukcie modelu komplexného ukazovateľa biodiverzity by mohla vychádzať z toho, že model bude obsahovať všetky navrhnuté čiastkové indikátory diverzity, pretože každý z nich nesie určité množstvo špecifickej informácie o diverzite. Zároveň však každý z nich obsahuje aj určité množstvo podobnej informácie, o čom svedčia tesné vzťahy medzi nimi. V praxi je často žiaduce redukovať veľké množstvo vstupných veličín na zmysluplný menší počet, avšak pri minimálnej strate informácií. V zadanej úlohe by navyše komplexný ukazovateľ biodiverzity mal obsahovať také indikátory, ktorých suma bude čo najtesnejšie korelovať s ekonomickým ohodnotením lesného pozemku i porastu. Pri aplikácii teórie kombinatoriky pri veľkom množstve vstupných premenných vzniká aj veľké množstvo možných kombinácií premenných v modeli a tým aj hodnôt *KUB*. Napríklad pri zachovaní všetkých 36 indikátoroch vznikne až 68 719 476 735 možných hodnôt *KUB*. Preveriť takýto počet vzťahov medzi *KUB* a ekonomickou hodnotou lesného porastu a pozemku je nereálne. Z tohto dôvodu bolo nutné pristúpiť k redukcii vstupných premenných. Za týmto účelom je vypracovaných viacero viacrozmerných štatistických metód. Analýza hlavných komponentov (PCA) je jednou z nich a jej princípy sme použili v jednej alternatíve výberu čiastkových indikátorov diverzity do modelu *KUB*. Maximálny počet vstupných premenných do modelu *KUB* bol stanovený na 16. Tento počet vstupných premenných vytvára 65 535 rôznych kombinácií a teda aj rôznych hodnôt *KUB*. Analýza štruktúry údajov pomocou PCA analýzy ukázala, že najtesnejší vzťah k prvej fiktívnej premennej (prvému hlavnému komponentu) má indikátor *H\_V*. Obdobným spôsobom bolo vybratých aj ďalších 15 indikátorov. Vybraté indikátory, ich hodnoty, ich variabilita sa vyznačujú určitými špecifickými vlastnosťami, ktoré ich zaraďujú k nosným klasifikačným premenným. Druhý variant výberu vstupných premenných do modelu *KUB* bol založený na korelačnej analýze. Vzhľadom na časovú náročnosť predošlej analýzy bolo vybratých len 12 indikátorov, ktoré dávajú 4095 rôznych kombinácií. Tento postup bol založený na tom, že sa korelačnou analýzou preverila tesnosť vzťahu medzi indikátormi diverzity a jednotlivými druhmi cien. Pri každom druhu ceny sa na podklade veľkosti korelačného koeficienta vzostupne očíslovali indikátory a nakoniec sa vypočítalo sumárne skóre z poradia. Indikátory s najnižším skóre, resp. prvých 12 indikátorov, bolo vybratých do analýzy.

Tab. 1 Prehľad vybratých indikátorov diverzity pre tvorbu modelu komplexného ukazovateľa biodiverzity metódou PCA a korelačnou analýzou

PC	PCA	Korelačná analýza
1	<i>H_V</i>	<i>MAX_V</i>
2	<i>VAR_V</i>	<i>VAR_V</i>
3	<i>SUM_V</i>	<i>MAX_S</i>
4	<i>RI</i>	<i>VAR_S</i>
5	<i>NO_B</i>	<i>SUM_S</i>
6	<i>SUB</i>	<i>RS</i>
7	<i>NO_M</i>	<i>CV_S</i>
8	<i>MOD</i>	<i>CV_V</i>
9	<i>NO_K</i>	<i>NO_K</i>
10	<i>MAX_S</i>	<i>SUB</i>
11	<i>M</i>	<i>R2</i>
12	<i>RS</i>	<i>MOD</i>
13	<i>R2</i>	
14	<i>N2_V</i>	
15	<i>NO_S7</i>	
16	<i>NO_S</i>	

### 2.2.3. ANALÝZA VZŤAHU MEDZI NEPEŇAŽNÝM KOMPLEXNÝM UKAZOVATEĽOM BIODIVERZITY A EKONOMICKOU HODNOTOU LESNÉHO POZEMKU A PORASTU.

Pre posudzovanie vzťahu medzi komplexným ukazovateľom biodiverzity a ekonomickou hodnotou lesného pozemku a porastu bol použitý základný lineárny model a jeden nelineárny model zastúpený kvadratickou funkciou. Tesnosť analyzovaného vzťahu bola posudzovaná pri lineárnom modeli korelačným koeficientom a pri nelineárnom modeli indexom korelácie. Oba indexy boli testované Studentovým t-testom, pričom sa overovala hypotéza ich rovnosti k nule (žiadna závislosť). Celkovo bolo preverených 69 630 variantov.

#### 2.2.3.1. JEDNODUCHÁ KORELÁCIA

Úvodná jednoduchá korelačná analýza bola zameraná na preverenie základného vzťahu medzi čiastkovým indikátorom diverzity a ekonomickou hodnotou lesného pozemku a porastu. Hodnoty korelačných koeficientov sú uvedené v tabuľke 2. Z nej vyplýva, že medzi indikátorom druhovej diverzity a východiskovou cenou pozemku neexistuje závislosť. Iná situácia je vo vzťahu indikátorov druhovej diverzity k východiskovej cene porastu. Najtesnejší vzťah sa prejavil k počtu druhov krov (*NO\_K*). Pri indikátoroch štruktúrálnej diverzity sme zaznamenali kladný vzťah k cene pozemku pri indikátore maximálna výška stromu (*MAX\_V*). Ten istý indikátor má najtesnejší vzťah aj k cene porastu spolu s indikátorom funkčnej diverzity – stromovou zásobou s kôrou (*SSK*). Ide o veličiny, ktoré majú tesnú väzbu k bonite stanovišťa, od ktorej sa odvíja aj cena pozemku a porastu. Pri ekosystémovej diverzite sme zaznamenali iba signifikantný záporný vzťah k cene porastu.

Pri hodnotení vzťahu medzi všeobecnou cenou pozemku a porastu k aktuálnemu veku porastu je situácia podobná, vzťahy sú však o čosi menej tesnejšie. Z indikátorov druhovej diverzity má k cene pozemku signifikantne tesný vzťah iba počet druhov machov (*NO\_M*). Pri vzťahu k cene porastu sa opäť prejavila jeho závislosť spolu s indikátorom počet druhov krov. Pri indikátoroch

štruktúrálnej diverzity je situácia rovnaká ako v predošlom prípade. Signifikantne najtesnejší vzťah majú k cene pozemku i porastu indikátory *MAX\_V* a *SSK*.

Pri posudzovaní tesnosti vzťahov indikátorov diverzity v ostatných prípadoch, t.j. k východiskovej a všeobecnej cene porastu v rubnej dobe ako aj pri súhrnnej východiskovej a všeobecnej cene pozemku a porastu k aktuálnemu veku porastu sa situácia veľmi nezmenila. Opätovne sa ukázalo, že najviac korelovanými indikátormi sú počet druhov krov a machov, maximálna výška stromu a stromová zásoba s kôrou.

Súhrnne je možné konštatovať, že hodnoty korelačných koeficientov nie sú vysoké. Z indikátorov druhovej diverzity má najtesnejší vzťah počet druhov krov s hodnotou  $R_{xy} = -0,16$ . Pri indikátoroch štruktúrálnej diverzity sú vzťahy tesnejšie a maximálnu hodnotu  $R_{xy} = 0,46$  dosahuje indikátor maximálna výška stromu ( $R_{xy} = 0,48$  je pri *SSK*). Pri indikátore ekosystémovej diverzity dosahuje maximálna hodnota  $R_{xy}$  hodnotu  $-0,15$ .

Tab. 2 Tesnosť vzťahu vyjadrená korelačnými koeficientami medzi čiastkovými indikátormi diverzity a rôznymi formami ekonomickej hodnoty lesného pozemku a porastu (\* IS 68%, \*\* IS 95%)

Indikátor diverzity	Východisková cena		Všeobecná cena		Východisková cena	Všeobecná cena	Východisková cena	Všeobecná cena
	Vek		Vek		RD	RD	Vek	Vek
	Pozemok	Porast	Pozemok	Porast	Porast	Porast	Pozemok +Porast	Pozemok +Porast
	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$	$R_{xy}$
1 <i>NO_S</i>	0.00	-0.08 **	0.06	-0.06	-0.08 **	-0.06 *	-0.08 **	-0.04
2 <i>NO_S7</i>	0.00	-0.12 **	0.03	-0.09 **	-0.09 **	-0.08 **	-0.11 **	-0.08 **
3 <i>NO_K</i>	-0.05	-0.16 **	0.02	-0.12 **	-0.14 **	-0.11 **	-0.16 **	-0.10 **
4 <i>NO_B</i>	0.06	-0.02	0.01	-0.03	0.00	-0.01	-0.01	-0.03
5 <i>NO_M</i>	-0.01	-0.06	-0.11 **	-0.12 **	0.02	-0.05	-0.05	-0.13 **
6 <i>R1</i>	-0.02	-0.13 **	0.02	-0.10 **	-0.10 **	-0.09 **	-0.12 **	-0.08 **
7 <i>R2</i>	-0.03	-0.12 **	-0.03	-0.10 **	-0.09 **	-0.08 **	-0.12 **	-0.10 **
8 <i>Si_V</i>	-0.01	-0.05	0.04	-0.02	0.00	0.01	-0.05	-0.01
9 <i>Si_S</i>	-0.01	-0.08 **	0.04	-0.05	-0.04	-0.02	-0.08 **	-0.04
10 <i>H_V</i>	-0.01	-0.06 *	0.04	-0.03	-0.02	0.00	-0.06 *	-0.03
11 <i>H_S</i>	-0.01	-0.09 **	0.04	-0.06 *	-0.05	-0.04	-0.09 **	-0.05
12 <i>N1_V</i>	0.00	-0.06 *	0.05	-0.04	-0.02	-0.01	-0.06 *	-0.03
13 <i>N1_S</i>	0.00	-0.10 **	0.04	-0.07 *	-0.05	-0.04	-0.09 **	-0.06 *
14 <i>N2_V</i>	0.01	-0.06	0.04	-0.04	0.00	0.01	-0.05	-0.03
15 <i>N2_S</i>	0.00	-0.09 **	0.04	-0.06 *	-0.04	-0.03	-0.08 **	-0.05
16 <i>E1_V</i>	-0.02	-0.03	0.02	-0.01	0.02	0.03	-0.03	0.00
17 <i>E1_S</i>	-0.01	-0.07 *	0.03	-0.04	-0.02	-0.01	-0.06 *	-0.03
18 <i>E3_V</i>	-0.02	-0.01	0.01	0.00	0.04	0.05	-0.02	0.00
19 <i>E3_S</i>	-0.02	-0.05	0.02	-0.03	0.00	0.01	-0.05	-0.03
20 <i>E5_V</i>	0.00	-0.02	0.06	0.00	0.03	0.04	-0.02	0.01
21 <i>E5_S</i>	0.00	-0.04	0.05	-0.02	0.00	0.01	-0.04	-0.01
22 <i>A_V</i>	-0.03	-0.07 *	0.03	-0.05	-0.05	-0.03	-0.07 *	-0.04
23 <i>A_S</i>	-0.03	-0.09 **	0.03	-0.06 *	-0.07 *	-0.05	-0.09 **	-0.05
24 <i>CV_V</i>	0.00	0.25 **	0.04	0.24 **	0.23 **	0.22 **	0.24 **	0.22 **
25 <i>CV_S</i>	-0.03	0.25 **	0.01	0.23 **	0.27 **	0.25 **	0.23 **	0.21 **
26 <i>VAR_V</i>	0.06 *	0.41 **	0.07 *	0.38 **	0.42 **	0.41 **	0.40 **	0.36 **
27 <i>VAR_S</i>	-0.05	0.30 **	-0.05	0.25 **	0.37 **	0.34 **	0.27 **	0.23 **
28 <i>MAX_V</i>	0.08 **	0.46 **	0.08 **	0.42 **	0.46 **	0.44 **	0.44 **	0.40 **
29 <i>MAX_S</i>	-0.05	0.30 **	-0.05	0.26 **	0.38 **	0.34 **	0.27 **	0.23 **
30 <i>RS</i>	-0.06 *	0.15 **	-0.03	0.14 **	0.23 **	0.22 **	0.13 **	0.12 **
31 <i>SUM_V</i>	0.02	0.01	0.04	0.02	-0.04	-0.02	0.01	0.03
32 <i>SUM_S</i>	0.02	0.18 **	0.06	0.18 **	0.12 **	0.13 **	0.17 **	0.17 **
33 <i>M</i>	-0.02	0.11 **	0.01	0.12 **	0.07 *	0.09 **	0.10 **	0.11 **
34 <i>SSK</i>	0.08 **	0.48 **	0.09 **	0.44 **	0.42 **	0.41 **	0.46 **	0.42 **
35 <i>MOD</i>	-0.01	0.11 **	-0.07 *	0.05	0.18 **	0.13 **	0.10 **	0.04
36 <i>SUB</i>	-0.03	-0.15 **	-0.02	-0.13 **	-0.12 **	-0.11 **	-0.14 **	-0.12 **

### 2.2.3.2. LINEÁRNA A NELINEÁRNA KORELÁCIA VARIANTOV KOMPLEXNÉHO UKAZOVATEĽA BIODIVERZITY A EKONOMICKOU HODNOTOU LESNÉHO POZEMKU A PORASTU

Výsledky tejto analýzy vychádzajú z preverenia 65 535 rôznych kombinácií indikátorov vybratých pomocou princípu PCA analýzy a 4095 rôznych kombinácií indikátorov vybratých pomocou korelačnej analýzy (kap. 2.2.2.).

Aditívna kombinácia čiastkových indikátorov priniesla určité zlepšenie v tesnosti vzťahu ukazovateľa biodiverzity k ekonomickej hodnote, ale uvedený príspevok nie je veľký. Pri východiskovej cene pozemku k aktuálnemu veku porastu došlo k zlepšeniu o 0,02 hodnoty korelačného koeficienta (pri nelineárnom modeli o 0,04 hodnoty). Najtesnejšiu závislosť sme zistili medzi východiskovou cenou porastu v rubnej dobe s hodnotou  $I_{xy} = 0,49$ . V tomto prípade je *KUB* vytvorený dvoma indikátormi štruktúrálnej diverzity – variačné rozpätie výšok stromov (*VAR\_V*) a maximálna stanovisková plocha (*MAX\_S*). Obdobne tesný vzťah, ktorý je tvorený len indikátorom *VAR\_V*, sme zistili pri východiskovej cene porastu k aktuálnemu veku. Zaujímavým poznatkom sa javí obsadenie čiastkových indikátorov diverzity v najviac korelovaných vzťahoch k ekonomickej hodnote pozemku a porastu. Okrem už viackrát vymenovaných indikátorov štruktúrálnej diverzity, ktoré majú vzťah k bonite stanovišťa sa častejšie vyskytli aj indikátory počet druhov krov a machov, zásoba odumretého dreva i počet rastových stupňov.

Tab. 3 Tesnosť korelácie medzi komplexným ukazovateľom biodiverzity a rôznymi formami ekonomickej hodnoty lesného pozemku a porastu pri výbere čiastkových indikátorov pomocou PCA (LM – lineárny model, QM – nelineárny kvadratický model, RD – rubná doba)

Závislá premenná		Model	Komplexný ukazovateľ biodiverzity	$R_{xy} (I_{xy})$	
Východisková cena	Vek	Pozemok	LM	$MOD+NO\_K+MAX\_S+M+RS+R2$	0.10
		Pozemok	QM	$MOD+NO\_K+MAX\_S+M+RS+R2$	0.12
		Porast	LM	$VAR\_V+MOD+MAX\_S+M$	0.42
		Porast	QM	$VAR\_V$	0.48
Všeobecná cena		Pozemok	LM	$NO\_M+MOD+MAX\_S$	0.13
		Pozemok	QM	$NO\_M+MOD+MAX\_S$	0.14
		Porast	LM	$VAR\_V+MAX\_S+M$	0.39
		Porast	QM	$VAR\_V$	0.44
Východisková cena	RD	Porast	LM	$VAR\_V+MOD+MAX\_S$	0.47
		Porast	QM	$VAR\_V+MAX\_S$	0.49
Všeobecná cena		Porast	LM	$VAR\_V+MOD+MAX\_S$	0.43
		Porast	QM	$VAR\_V+MAX\_S$	0.46
Východisková cena	Vek	Pozemok+Porast	LM	$VAR\_V+MAX\_S$	0.40
		Pozemok+Porast	QM	$VAR\_V$	0.47
Všeobecná cena		Pozemok+Porast	LM	$VAR\_V+M$	0.36
		Pozemok+Porast	QM	$VAR\_V$	0.41

Výsledky analýzy pri druhom variante výberu čiastkových indikátorov (korelačná analýza) do tvorby *KUB* modelu opäť ukázali určité zlepšenie vzťahov k ekonomickej hodnote. Určitým nedostatkom tohto prístupu môže byť silnejšia autokorelácia medzi vybratými indikátormi a teda aj informačná podobnosť vybratých indikátorov v modeli. Najtesnejší vzťah sme zistili medzi

východiskovou cenou cenou porastu k aktuálnemu veku s hodnotou 0,54, ktorý je však tvorený len jedným indikátorom a to maximálnou výškou stromu.

Tab. 4 Tesnosť korelácie medzi komplexným ukazovateľom biodiverzity a rôznymi formami ekonomickej hodnoty lesného pozemku a porastu pri výbere čiastkových indikátorov pomocou korelačnej analýzy (LM – lineárny model, QM – nelineárny kvadratický model, RD – rubná doba)

Závislá premenná		Model	Komplexný ukazovateľ biodiverzity	$R_{xy} (I_{xy})$	
Východisková cena	Vek	Pozemok	LM	$MAX\_S+VAR\_S+RS+NO\_K+R2+MOD$	0.10
		Pozemok	QM	$VAR\_S+SUM\_S+RS+NO\_K+R2+MOD$	0.12
		Porast	LM	$MAX\_V$	0.46
		Porast	QM	$MAX\_V$	0.54
Všeobecná cena		Pozemok	LM	$MAX\_V+VAR\_V+SUM\_S+NO\_K$	0.09
		Pozemok	QM	$VAR\_S+SUM\_S+MOD$	0.12
		Porast	LM	$MAX\_V+SUM\_S$	0.42
		Porast	QM	$MAX\_V$	0.49
Východisková cena	RD	Porast	LM	$MAX\_V+VAR\_V+MAX\_S+VAR\_S+RS+MOD$	0.49
		Porast	QM	$MAX\_V$	0.52
Všeobecná cena		Porast	LM	$MAX\_V+VAR\_V+MAX\_S+RS+MOD$	0.46
		Porast	QM	$MAX\_V$	0.50
Východisková cena	Vek	Pozemok+Porast	LM	$MAX\_V$	0.44
		Pozemok+Porast	QM	$MAX\_V$	0.52
Všeobecná cena		Pozemok+Porast	LM	$MAX\_V+SUM\_S$	0.40
		Pozemok+Porast	QM	$MAX\_V$	0.46

### 2.2.3.3. SÚHRN DOSIAHNUTÝCH POZNATKOV

Analýza vzťahu medzi vybranými indikátormi diverzity a ekonomickou hodnotou pozemku a porastu poukázala na existujúce vzťahy. Tieto vzťahy sú silnejšie v prepojení na indikátory štrukturálnej diverzity ako na indikátory druhovej diverzity. Vyplyva to aj z podstaty oceňovania lesných pozemkov a porastov, kde na ich cenu vplyva bonita (produkčná kvalita) stanovišťa. Potenciál tejto informácie v indikátoroch druhovej diverzity je zväčša malý. Na menšej tesnosti vzťahov medzi komplexným ukazovateľom biodiverzity a ekonomickou hodnotou sa podpísali aj údaje, ktoré boli k dispozícii. Ekonomická hodnota nebola plne previazaná na údaje o diverzite. Táto pilotná analýza na celoslovenskej úrovni však poukázala na významnosť kvantifikácie štrukturálnych indikátorov pri široko spektrálnejšom pohľade na biodiverzitu. Najvýznamnejšími indikátormi pri tvorbe komplexného ukazovateľa biodiverzity sa ukázali maximálna výška stromu, variačné rozpätie výšok stromov, zásoba odumretého dreva, počet druhov krov a machov a počet rastových stupňov.

### LITERATÚRA

1. Baumgärtner S. 2002: Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt. In: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.): *Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung und der Maßnahmen, dem Artensterben entgegen zu wirken* (Laufener Seminarbeiträge 2/02). Laufen/Salzach, 2002. p. 73-90.
2. Bruciamacchie M. 1996: Comparison between indices of species diversity. Munich, 3/96, 14pp.



3. CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity) 2006: Global Biodiversity Outlook 2. Montreal, 81 + vii pages. [www.biodiv.org/GBO2](http://www.biodiv.org/GBO2)
4. DEST (Department of the Environment, Sports and Territories) 1993: Biodiversity and its value. Biodiversity Series, Paper No. 1., Commonwealth of Australia <http://www.environment.gov.au/biodiversity/publications/series/paper1/index.html>
5. Fominyam C, Tay D. 2007: Diversity of native begonias and impatiens – great horticultural potentials of South West Cameroon. *Acta Horticulturae* 760(Vol. 2): 661-666.
6. Heip C. 1974: A new index measuring evenness. *Journal of Marine Biological Association* 54: 555 - 57
7. Hill M.O. 1973: Diversity and Evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54/2: 427-432
8. Hubálek Z. 2000: Measures of species diversity in ecology: an evaluation. *Folia Zool.* 49(4): 241–260
9. Krebs C.J. 1989: *Ecological methodology*. Harper and Row, New York, 471pp.
10. Khumbongmayum A.D., Khan M.L., Tripathi R.S. 2005: Sacred groves of Manipur, northeast India: biodiversity value, status and strategies for their conservation. *Biodiversity and Conservation* 14: 1541-1582
11. Kim K.H. 2007: How important is biodiversity? *Biology* 103, Web Paper 1, 3pp. <http://serendip.brynmawr.edu/exchange/node/1227>
12. Lloyd M., Ghelardi R.J. 1964: A table for calculating the "equitability" component of species diversity. *J. Anim. Ecology* 33: 217 – 225
13. Ludwig J.A., Reynolds J.F. 1988: *Statistical Ecology a primer on methods and computing*. John Wiley & Sons, 337pp.
14. MA (Millenium Ecosystem Assessment) 2005: *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC. 86pp.
15. Margalef R. 1958: Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36-71
16. Menhinick C.F. 1964: A comparison of some species – individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology* 45: 859-861
17. Merganič J. 2001: Regional forest survey with main emphasis on biodiversity quantification. Dissertation thesis, TU Zvolen, 176pp.
18. Merganič, J., Merganičová, K. 2007: Funkcie biodiverzity a jej nepeňažná a ekonomická kvantifikácia. Čiastková správa pre APVT projekt APVV-27-019805 „Hodnotenie verejnoprospešných funkcií lesných a poľnohospodárskych ekosystémov a služieb odvetví“, 25 s.
19. Nunes P.A.L.D., Bergh J.C.J.M. van den 2001: Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense? *Ecological Economics* 39: 203–222.
20. Pielou E.C. 1975: *Ecological Diversity*. Wiley, New York
21. Pielou E.C. 1977: *Mathematical Ecology*. Wiley, New York
22. Pretzsch H. 1996: Strukturvielfalt als Ergebnis Waldbaulichen Handels. *AFJZ* 167: 213-221
23. Scholes R.J., Kuper W., Biggs R., Mwangi E., Raharimampionona J., Lowry P., Sene E., Ashton P., Blake S., Justice C.O. 2006: Biodiversity. Chapter 7. In: *Africa Environment Outlook 2: Our Environment, Our Wealth*. UNEP Press. p. 226-261.
24. Shah A. 2008: Why is biodiversity important? Who cares? *Global Issues*. <http://www.globalissues.org/print/article/170>
25. Shannon C., Weaver W. 1949: *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana. Illinois
26. Simpson, E.H., 1949: Measurement of diversity. *Nature* 163, 688pp.
27. Šmelko Š., Merganič J., Šebeň V., Raši R., Jankovič J., 2006: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2005-2006. Metodika terénneho zberu údajov (Pracovné postupy - 3. Doplnená verzia). Národné lesnícke centrum Zvolen, s. 129 s., ISBN: 80-88852-98-2

28. Šmelko, Š., Šebeň, V., Bošela, M., Merganič, J., Jankovič, J. , 2008: Národná inventarizácia a monitoring lesov SR 2005–2006. Základná koncepcia a výber zo súhrnných informácií.. Príloha časopisu LES / Slovenské lesokruhy č. 5–6/2008, Lesmedium SK, s. r. o., Bratislava 16 s., ISSN: 1336-9237
29. UNDP 2008: The importance of biodiversity.  
<http://www.undp.org/biodiversity/biodiversitycd/bioImport.htm>
30. Xue D., Tisdell C. 2001: Valuing ecological functions of biodiversity in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve in Northeast China. Biodiversity and Conservation 10: 467 – 481.

#### **POĎAKOVANIE**

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe v rámci APVT projektu „Hodnotenie verejnoprospešných funkcií lesných a poľnohospodárskych ekosystémov a služieb odvetví“.