

EXPERTNÝ SYSTÉM NA PODPORU ROZHODOVANIA PRI PREBUDOVE SMREČÍN

Ladislav Kulla • Joerg Roessiger • Vlastimil Murgaš • Miroslav Kovalčík

Kulla, L., Roessiger, J., Murgaš, V., Kovalčík, M.: An expert decision support system for spruce forests conversion. APOL, 2021, vol. 2, no. 1, p. 177–182.

Abstract: Homogeneous and even-aged spruce forests have been the subject of massive decline in the region of Central Europe during the last two decades. The decay of spruce stands causes several ecological and social problems, but also economic losses. A progressive way of solving the problem is conversion of uniform spruce forest to close-to-nature mixed, and permanently all-aged forest. The process of conversion is long lasting, complex, and expensive. In this paper we present a concept of an expert system which should help forest manager to plan effective regime of harvest and planting leading towards desired goal. A matrix model considering natural regeneration, increment and mortality and combining them with a harvest and planting optimizer was used to derive a harvest and planting regime leading to an economically optimized target balance of the stock, increment and harvest during long time period. The results of system testing on model forest Polom confirmed the significant effect of the initial investment in afforestation for the overall economy of the conversion process. A method of generalization of the results from model forest to another sites is introduced and discussed.

Key words: spruce forests decline; silvicultural costs; net present value; optimization; target state of all-aged forest; close-to-nature forest management

Problematika

Lesy sú zmenou klímy zvlášť ohrozeným ekosystémom, lebo sa vyznačujú dlhovekosťou a obmedzenou schopnosťou prispôsobenia sa rýchlym zmenám prostredia v ktorom rastú. Osobitne ohrozeným typom lesa sú smrečiny. Podľa údajov Správy o lesnom hospodárstve za rok 2019 (zelená správa) v dôsledku pôsobenia škodlivých činiteľov v lesoch sa za obdobie rokov 2000 – 2019 znížil plošný podiel smreka z 26,8 % na súčasných 22,1 %, t. j. o 4,7 %. Úbytok smrečín potvrdzujú aj výsledky Národnej inventarizácie a monitoringu lesov SR, ktoré dokladajú pokles zastúpenia smreka v období 2006 – 2016 o 2 %, čo zodpovedá porastovej ploche 33 tisíc hektárov (Šebeň 2017). Prognóza v súvislosti so zmenou klímy predpokladá zánik podmienok pre prirodzený výskyt nezmiešaného smrekového lesa v podmienkach Slovenska už do roku 2050 (Škvarenina et al. 2018). Problematika rekonštrukcií smrečín na iný typ lesa bude v najbližších desaťročiach jednou z najväčších úloh slovenského lesníctva.

V tomto príspevku sa zaoberáme progresívnym spôsobom rekonštrukcie smrečín prebudovou na prírode blízky les. Takáto prebudova znamená postupný odklon od pravidiel hospodárenia a riadenia výnosu nástrojmi lesa vekových tried, a prechod na nástroje riadenia výnosu smerujúce k vyváženému stavu rovnováhy zásoby, prírastku a ťažby (Kulla 2019). Takýmto nástrojom sú napríklad maticové modely s optimalizátorom ťažby, ktoré sme začali vyvíjať a testovať aj v podmienkach Slovenska (Roessiger et al. 2018). Ich výhodou je, že dokážu kombinovať simuláciu ekologických procesov (dorast, prírastok, mortalita) s ekonomikou ťažbových operácií (ceny dreva, náklady ťažbových činností), a iteratívne optimalizovať režim ťažieb tak, aby sa dosiahol maximálny výnos za vopred určené obdobie.

Ekonomickými rizikami procesu prebudovy smrečiny sú najmä strata z poklesu ceny suchárovej smrekovej hmoty, strata z predčasného vyťaženia porastu pred kulmináciou hodnotového prírastku, produkčný výpadok kalamitných holín ak nedôjde k okamžitému zalesneniu, a zvýšené náklady na zalesňovanie najmä v dôsledku škôd zverou pri vnášaní chýbajúcich cieľových drevín (Kulla & Sitková 2012).

Ekonomickými príležitosťami prebudovy smrečín sú využitie vyššej bezpečnosti produkcie iných drevín ako smrek (Roessiger et al. 2020), využitie zlepšujúceho sa prírastku jedle a buka v podmienkach zmeny klímy (Kulla et al. 2019), skrátenie produkčného výpadku podsadbou buka a jedle pod materský porast smreka, a z dlhodobého hľadiska perspektíva využívania prirodzenej obnovy a úspory nákladov na pestovanie lesa po dosiahnutí resp. priblížení sa cieľovému stavu trvalej rôznovekosti. Medzi príležitosti je potrebné zaradiť aj perspektívu lepšieho plnenia ekosystémových služieb a s tým spojených potencionálnych platieb.

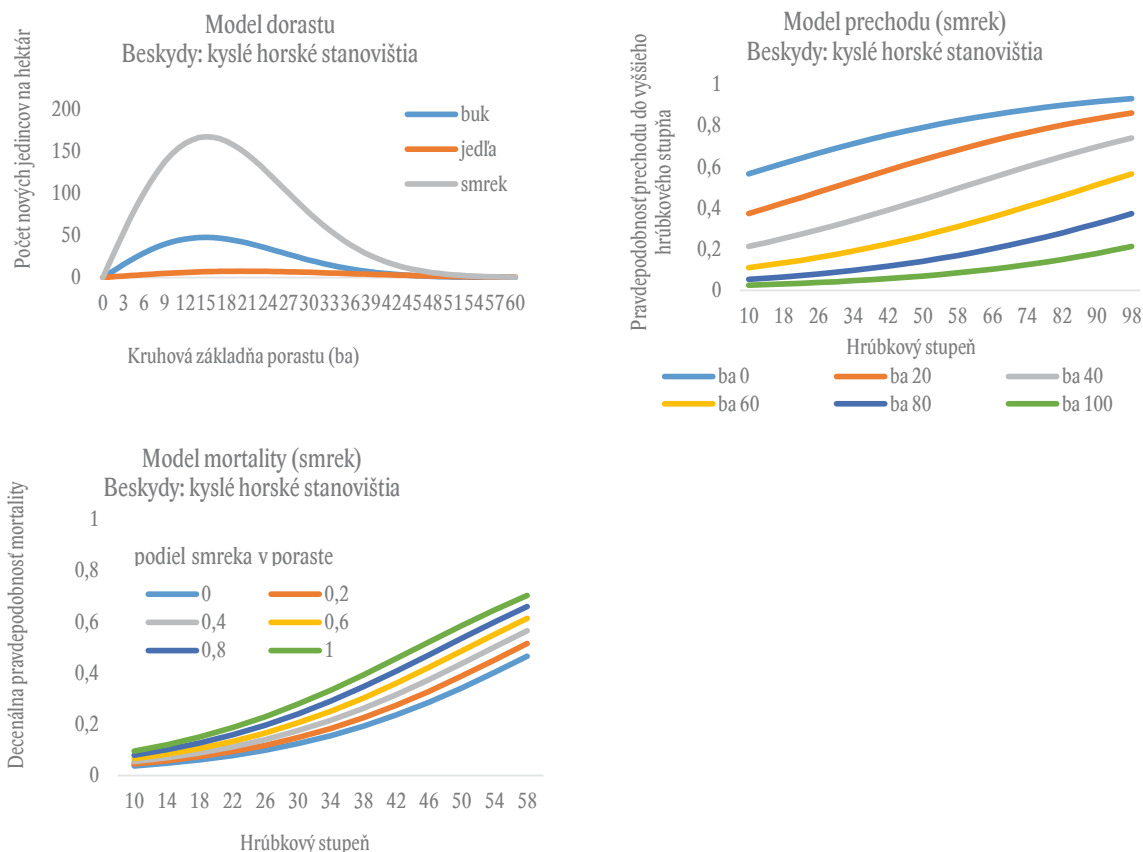
V príspevku prezentujeme výsledky testovania prototypu expertného systému ekonomickej optimalizácie prebudovy smrečiny na prírode blízky zmiešaný les na báze maticového modelovania, a diskutujeme možnosti jeho univerzálneho využitia pre rôzne stanovišťa, podmienky a ciele hospodárenia.

Materiál a metodika

Základ testovaného expertného systému je maticový model s optimalizátorom ťažby odvodený pre zmiešané lesy buka, smreka a jedle v horských podmienkach Slovenska (Roessiger et al. 2018). Jednotlivé submodely pre drevinovo špecifický dorast nových stromov, pre prechod do vyšších hrúbkových stupňov, a pre mortalitu v hrúbkových stupňoch (obrázok 1) sa parametrizovali na regionálnych údajoch opakovaných inventarizačných meraní relevantných pre podmienky pilotného objektu Polom (obrázok 2), na ktorom sa pokus uskutočnil (NIML SR, CzechTerra, LASPROBES). Ako základné faktory (nezávislé premenné) ekologických submodelov sa využili kruhová základňa porastu a hrúbka stromu. Mortalítny model bol rozšírený o podiel smreka na zásobe (Roessiger et al. 2020). Ekonomické vstupy sa aktualizovali podľa cenníkov podniku LESY SR, š. p., a údajov o nákladoch ťažbových činností z rezortnej štatistiky za roky 2017 – 2019, a spotrebe práce podľa výkonových noriem. Pre optimalizáciu ťažby sa využil voľne dostupný optimalizačný algoritmus SUBPLEX.

Novým prvkom integrovaným do modelu je optimalizátor zalesňovania. Je potrebný pre riešenie umelého vnášania chýbajúcich drevín do materského porastu smrečiny. Dokáže zohľadniť náklady na výsadbu a ošetrovanie sadeníc do fázy dorastu (hrúbka $8 > \text{cm}$), umožňuje sadiť rôzne dreviny na holinu aj pod porast, pričom zohľadňuje kompetíciu porastu a už obsadenú plochu. Model využíva jednotkové náklady pestovných činností odvodené pre správnu prax podľa technologických postupov pre fázový výrobok 1 a 2 (Kovalčík & Kulla 2015). Zohľadňuje takisto drevinovo špecifické normatívy počtu jedincov na hektár, a straty v dôsledku prirodzenej redukcie a mortality, najmä v dôsledku poškodenia zverou. Výsledkom je rôzna jednotková cena jedinca dorastu jedle (5,45 eur), buka (2,07 eur) a smreka (2,02 eur), vstupujúca do optimalizácie. Metodické detaily týkajúce sa modelu obnovy a jeho integrácie do maticových simulácií sú pripravené na publikovanie v samostatnej vedeckej práci (Roessiger et al. 2021).

Optimalizátor zalesňovania v kombinácii s optimalizátorom ťažby simultánne nastavil režim zalesňovania aj ťažby v desaťročných cykloch tak, aby sa dosiahol maximálny výnos za dobu simulácie pri zohľadnení úrokovej miery (hodnoty peňazí v čase). Ako miera výnosu sa použila čistá súčasná hodnota lesa (Faustmann 1849). Doba simulácie bola 250 rokov, úroková miera 2 %. Uvádžame výsledky za prvých 200 rokov simulácie, počas ktorých bol dosiahnutý ekonomicky optimálny kvázi rovnovážny stav lesa pre všetky stratá, a to približne od roku 160. Ako identifikátory sa využili priemerné údaje o zásobe dreva, zastúpení drevín, ťažbe, cieľových hrúbkach a čistej súčasnej hodnote lesa za 160 – 200 rokov. Simulácie sa uskutočnili v prostredí R (R Core Team, 2019).



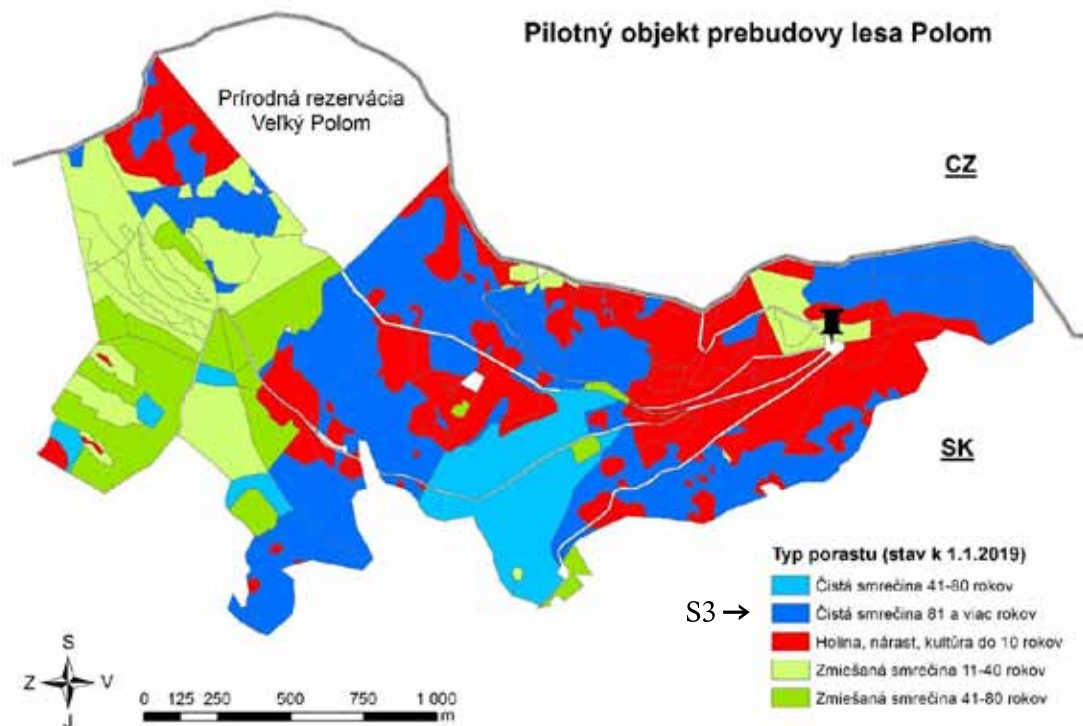
Obrázok 1. Základné komponenty ekologickej časti maticového modelu a ich decenálne hodnoty odvodené pre objekt Polom
Figure 1. Main components of ecological part of the matrix model and their 10-years values derived for the object Polom.

Výsledky a diskusia

Z obrázku 3 je zrejmé že optimalizovaný vývoj zásoby pre vzorový vývojový typ porastu S3 (nezmiešaná dospelá smrečina) je charakteristický významným poklesom na začiatku, nie však na nulu, čo znamená že optimalizátor odporúča šetriť prežívajúce časti pôvodnej smrečiny. Od roku 40 sa na vzostupe zásoby následného porastu podieľa opäť najmä smrek z prirodzenej obnovy, ale stúpa podiel jedle a buka.

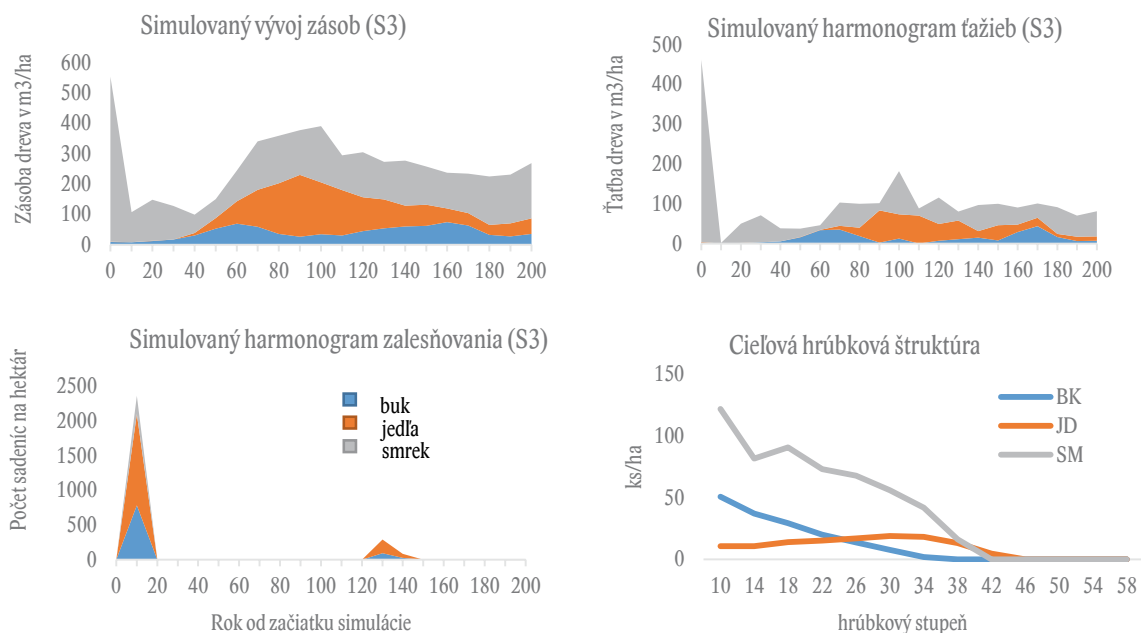
So stúpajúcim podielom jedle je zjavná tendencia k vyššej akumulácii zásoby v prvej následnej generácii lesa s významnejším odťažením po jej rubnom dozretí v rokoch 100 až 120, čo sú znaky tzv. trvalo viacetážových porastov (Bavlík et al. 2013). Až v ďalšej generácii lesa dochádza k budovaniu vyváženej zásoby s ustáleným rozdelením hrúbkových početností drevín, typickým pre výberkové hospodárenie (obr. 3 vpravo dolu). Ustálenie zásoby a ťažby po roku 120 nie je úplné, zásoba aj ťažba mierne kolíšu. Režim ťažby však už zodpovedá výbernému hospodáreniu.

Prvé zalesnenie navrhol optimalizátor hneď v prvom decéniu v rozsahu ca 2 500 ks/ha. Odporúča sadiť najmä jedľu, menej buk a len symbolicky smrek, ktorý sa v dostatočnej miere obnoví prirodzene. Navrhuje sa aj druhé menšie doplnujúce zalesnenie jedle a buka po odťažení časti nakumulovanej zásoby prvej generácie po roku 120.



Obrázok 2. Prehľad vývojových typov porastu (VTP) na modelovom objekte Polom s vyznačením VTP S3, ktorý bol predmetom analýzy

Figure 2. Review of the forest development types (FDP) on the model object Polom with highlighted FDP S3, which was used as the object of the analysis.



Obrázok 3. Výsledky maticových simulácií pre VTP S3 na modelovom objekte Polom

Figure 3. The results of matrix optimization derived for FDP S3 within model object Polom.

Tabuľka 1 obsahuje parametre ustálenej cieľovej štruktúry zmiešaného rôznovekého lesa vo vyváženom stave. Trochu prekvapujúca je relatívne nízka zásoba v kvázi rovnovážnom cieľovom stave podľa našich výsledkov (ca 260 m³/ha). Pre podobné stanovištia a typy lesa boli odvodené vyššie cieľové zásoby v rozpätí 250 – 350 m³/ha (Roessiger et al. 2018), ale aj nad 400 m³/ha (Saniga & Szányi 1998). Vysvetľujeme si to snahou optimalizátora predísť disturbanciam, ktorých úroveň bola v kalibračnom období mortalitného modelu v regióne Beskýd významne nadpriemerná.

Tabuľka 1. Model optimalizovaného cieľového stavu po prebudove VTP S3 v modelovom objekte Polom (priemer za obdobie simulácie 160 – 200 rokov)

Table. 1. The model of optimized target state after conversion of FDP S3 within model object Polom (mean values for the simulation period 160–200 years).

Parameter	Jednotka	Cieľový stav lesa
Priemerná zásoba	(m ³ /ha)	257
Zastúpenie drevín	(% zásoby)	BK 14, JD 17, SM 69
Priemerná ťažba/prírastok	(m ³ /ha/rok)	9,0
Priemerná cieľová hrúbka	(cm)	BK 38, JD 46, SM 34
Čistá súčasná hodnota	(eur/ha)	12,204

Trochu prekvapujúce je aj pripustenie pomerne vysokého podielu smreka na zásobe cieľového porastu. Je to tým, že mortalita smreka progresívne stúpa až vo vyššom veku (hrúbke) stromov, a už prímes 20 – 30 % iných drevín ako smrek ju znižuje na polovicu (Roessiger et al. 2020). Nižšia cieľová hrúbka smreka (34 cm) teda umožňuje v zmiešaných porastoch využiť produkčný potenciál smreka v mladom veku bez veľkého rizika strát v dôsledku mortality.

Zhrnutie a perspektívy

Prezentované výsledky ukazujú že maticové modelovanie spojené s optimalizáciou ťažby a zalesňovanie môže byť dobrým základom pre expertný systém zameraný na ekonomickú optimalizáciu procesu prebudovy ohrozeného/ odumierajúceho smrekového lesa na zmiešaný prírode blízky les.

Výsledky testovania takéhoto expertného systému pre kyslé horské stanovištia, na ktorých sa nepôvodné aj pôvodné smrečiny vyskytujú najbežnejšie, nie je možné zovšeobecniť na iné stanovištia. Na to by bola potrebná osobitná kalibrácia maticového modelu. Jednoduchším riešením je indexácia prírastkov drevín pre iné stanovištia s využitím už existujúcich výsledkov analýzy bonít podľa stanovišť (viď napr. Kulla et al. 2014).

Ďalšími ekologickými faktormi na ktoré je model citlivý sú mortalita drevín (najmä smreka), a tlak zveri na mladé jedince vnášaných drevín (najmä jedle), ktorá môžu byť stanovištne a regionálne odlišné. Expertný systém by teda mal variantne pracovať so štandardnou (použitou pre objekt Polom), ale aj vyššou a nižšou úrovňou pôsobenia týchto faktorov.

V tejto štúdii sme použili úrokovú mieru 2 %. Z doterajších skúseností s maticovou optimalizáciou v podobnom vývojovom type lesa môžeme konštatovať, že znižovanie úrokovej miery vedie k vyššej kumulácii zásob, vyššiemu podielu jedle a k fluktuácii zásob približujúcej sa dynamike prírodných lesov (Roessiger et al. 2018). Úroková miera ako taká teda môže slúžiť ako indikátor miery príklonu, resp. odklonu od prírodných procesov pri prírode blízkom hospodárení v lese. Expertný systém musí byť schopný reflektovať rôznu úrokovú mieru.

Ďalším podstatným faktorom, ktorý významne ovplyvňuje ekonomiku procesu prebudovy je dotačná podpora zalesňovania. V tejto štúdii sme použili štandardnú mieru podpory 2 150 eur/ha, aká bola použitá pri posledných výzvach z programu rozvoja vidieka. Naše predchádzajúce výsledky ukázali, že miera dotačnej podpory vnášania chýbajúcich drevín vedie k zásadne odlišnému režimu ťažieb a zalesňovania, ako aj k odlišným cieľovým stavom lesa. So stúpajúcou mierou dotovania rastie intenzita zalesňovania, podiel jedle, kumulácia zásob aj ekonomická hodnota lesa (Kulla et al. 2020). Expertný systém by teda mal, okrem všetkých vyššie uvedených, zohľadniť aj tento aspekt rozhodovania.

Podakovanie

Tento príspevok bol vytvorený v rámci riešenia úlohy rezortného výskumu SLOVLES (MPRV SR, prvok 08V0301), projektu APVV-18-0195 SilvaMod, a projektu Centrum excelentnosti lesnícko-drevárskeho komplexu LignoSilva (ITMS 313011S735). V rámci riešenia sa využili údajové bázy získané v rámci projektu Interreg SK-CZ Beskydy (ITMS 304021D067).

Použitá a odporúčaná literatúra

- Bavlík J. a kol., 2013: Metodika pre trvalo etážové porasty. Zvolen, NLC, 97s.
- Faustmann, M., 1849: Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung, 15:441–451.
- Kovalčík, M., Kulla, L., 2015: Modely nákladov pestovných činností In: Aktuálne otázky ekonomiky a politiky lesného hospodárstva Slovenskej republiky. Zvolen, NLC, s. 81–93.
- Kulla, L., 2019: Rekonštrukcia odumierajúcich smrečín prebudovou na prírode blízky les. Výstupy NLC pre lesnícku prax. Zvolen, NLC, s. 16–24.
- Kulla, L., Murgaš, V., Barka, I., 2019: Simulácia dopadov zmeny klímy na ekonomickú hodnotu lesov Slovenska. In: Aktuálne otázky ekonomiky a politiky lesného hospodárstva Slovenskej republiky. Zvolen, NLC, s. 101–110.
- Kulla, L., Bošela, M., 2014: Aspekty ekológie a lesníckej typológie v inventarizácii lesa. In: Šmelko, Š. et al.: Nové varianty metód na viacúčelové zisťovanie a monitorovanie stavu lesných ekosystémov progresívnymi technológiami. Zvolen, NLC, s. 249–282.
- Kulla, L., Sitková, Z. (eds.), 2012: Rekonštrukcie nepôvodných smrekových lesov – poznatky, skúsenosti, odporúčania. Zvolen, NLC, 208 s.
- R Core Team, 2019: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Dostupné na internete: <https://www.R-project.org/>.
- Roessiger, J., Kulla, L., Bošela, M., 2018: Finding equilibrium in continuous-cover forest management sensitive to interest rates using an advanced matrix transition model. Journal of Forest Economics, 33:83–94.
- Roessiger, J., Kulla, L., Sedliak, M., 2020: A high proportion of Norway spruce in mixed stands increases probability of stand failure. Central European Forestry Journal, 66:218–226.
- Roessiger, J., Kulla, L., Murgaš, V., Sedliak, M., Kovalčík, M., Cienciala, E., Šebeň, V., 2021: Simultaneous financial optimisation of harvest and planting in spruce forest under conversion. Before completion.
- Saniga, M., Szanyi, O., 1998: Modely výberkových lesov vo vybraných lesných typoch a geografických celkoch Slovenska. Vedecké štúdie 4/1998, Zvolen, TU, 50 s.
- Šebeň, V., 2017: Národná inventarizácia a monitoring lesov Slovenskej republiky 2015 – 2016. Zvolen, NLC, 255 s.
- Škvarenina, J. a kol., 2018: Globálne zmeny klímy a lesné ekosystémy. Zvolen, TU, 210 s.

Adresa:

Ing. Ladislav Kulla, PhD., Dr. Joerg Roessiger, Ing. Vlastimil Murgaš, PhD., Ing. Miroslav Kovalčík, PhD.
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 2175/22, SK – 960 01 Zvolen
e-mail: ladislav.kulla@nlcsk.org