

MODEL ŠÍRENIA LYKOŽRÚTA SMREKOVÉHO V PROSTREDÍ GIS

Martin MOKROŠ¹, Milan KOREŇ², Rastislav JAKUŠ³

¹ Katedra hospodárskej úpravy lesa a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96053, Zvolen, Slovenská republika
martin.mokros@tuzvo.sk

² Katedra hospodárskej úpravy lesa a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96053, Zvolen, Slovenská republika
milan.koren@tuzvo.sk

³ Ústav Ekológie lesa SAV, Štúrová 2, 96053, Slovenská republika
jakus@savzv.sk

Abstrakt

Práca vznikla pre potreby boja proti lykožrútovi smrekovému formou podpory projektu TANABBO, ktorý je určený na prognózovanie tohto škodlivého činiteľa. Práca sa konkrétne zaoberá vytváraním automatizovaných modelov v prostredí softvéru ArcGIS pomocou aplikácie ModelBuilder. Modely sú vytvárané pre prognózovanie správania lykožrúta smrekového na podklade už spomenutého projektu TANABBO. Výsledkom projektu TANABBO je TANABBO model, ktorý vzišiel zo spolupráce Flámskej vlády, Ústave ekológie lesa SAV vo Zvolene a výskumnej stanice štátnych lesov TANAP-u. V tomto projekte sa bude v dohľadnej dobe pokračovať a tak vznikla požiadavka na zautomatizovanie jednotlivých procesov pre zjednodušenie a zrýchlenie daného výskumu. Výstupom práce je šesť modelov slúžiacich pre tieto potreby.

Abstract

The work arises from the need to combat the bark beetle by supporting the TANABBO model for predicting this injurious agent. The work specifically deals with creating automated models in ArcGIS software using ModelBuilder application. Models are developed to predict the behavior of bark beetle, following TANABBO model. The result of TANABBO project is a TANABBO model, which emerged from cooperation of Flemish government, the Slovak Academy of Science, Institute of Forest Ecology and the Research station of State Forests of Tatra National Park. This project will continue for the foreseeable future and that is why the requirement arose for automation of processes to simplify and speed up the research. The outcome of the work is six models for serving these needs.

Kľúčové slová: Lykožrút smrekový, GIS, ModelBuilder, ArcGIS, TANABBO model.

Keywords: Bark beetle, GIS, ModelBuilder, ArcGIS, TANABBO model.

1. ÚVOD

Lykožrút smrekový (*Ips typographus* L.) patrí na území strednej Európy medzi najvýznamnejších škodlivých činiteľov lesa. Jeho výskyt je zaznamenaný v smrekových porastoch na území celého Slovenska. V ostatnom období dochádza k výraznejším klimatickým zmenám výrazne prispievajúcim k vzniku lesných kalamít. Aj z týchto dôvodov je veľmi dôležité zaoberať sa výskumom kalamít, ktorý nám umožní predpovedať riziko ich vzniku a na základe toho im predchádzať prípadne znižovať ich následky na minimum.

Celé vývojové štádium lykožrúta smrekového je spojené so smrekom obyčajným *Picea abies*. Smrek je druhou najpočetnejšou drevinou na Slovensku po buku lesnom *Fagus sylvatica*. Na území Slovenska sa nezriedka vyskytujú smrekové monokultúry (les, kde rastie len jeden druh stromu rovnakého veku) a v spojení s typicky plytkou koreňovou sústavou smreka sa tieto územia často stávajú obeťou veterných kalamít. V týchto oblastiach sa lykožrút smrekový vyskytuje ako sekundárny škodca napádajúci kalamitné

drevo. Pri veľkom premnožení sa môže stať aj primárnym škodcom, keď začne napádať okolitý nepoškodený porast.

Predkladaná práca sa zaoberá vytváraním modelov pre účely optimálneho boja proti škodcovi. Tieto modely sú vyrábané v prostredí softvéru ArcGIS na základe štúdie Kissiyara a kol. TANABBO model – a remote sensing based early warnings system for forest decline and bark beetle outbreaks in Tatra Mts. – overview (2005) a štúdie Jakuša a kol. Prognosis of bark beetle in TANABBO model (2005a). Štúdie slúžili ako metodický podklad pre štruktúru modelov. Práca vzniká pre potreby automatizácie jednotlivých procesov. Cieľom automatizácie procesov je zefektívnenie práce pre účely použitia metodiky TANABBO modelu pre rôzne záujmové územia a pre rôznych užívateľov. Projekt bol riešený v minulosti a v súčasnej dobe sa na Ústave ekológie lesa SAV vo Zvolene bude v projekte pokračovať. Projekt bol vytváraný pre optimalizáciu boja proti lykožrútovi smrekovému a je použiteľný napríklad pre rozhodovacie procesy v bezzásahových oblastiach, avšak je potrebné ho dopracovať do podoby kedy bude použiteľný pre prax. Je potrebné aby sa jednotlivé procesy stali jednoduchými nástrojmi v rámci ich použitia a dopracoval sa meteorologický modul a predpovedný modul.

Na vytváranie modelov sme využívali aplikáciu ModelBuilder, ktorá je tzv. vizuálnym programovacím jazykom v prostredí softvéru ArcGIS. Pri práci s týmto nástrojom sme vo veľkej miere využívali dokumenty určené pre pomoc užívateľa vo verzii offline, ale aj online od spoločnosti ESRI. Tieto dokumenty sú vypracované na veľmi vysokej úrovni. Taktiež sme využili oficiálne fórum spoločnosti ESRI napríklad pri zostavovaní Edge Detection modelu.

V nasledujúcich kapitolách si stručne rozoberieme použité prostriedky a pracovné postupy aplikované v práci. Ďalej zhodnotíme dosiahnuté výsledky a načrtneme naše pripomienky a postrehy.

2. MATERIÁL A METÓDY

2.1 ArcGIS a ModelBuilder

Pri vypracovávaní modelov sme využívali softvér spoločnosti ESRI ArcGIS. ArcGIS je spoločný názov pre skupinu softvérových produktov spoločnosti ESRI slúžiacich na budovanie geografických informačných systémov. Systém je modulárny. Používa sa v rôznych oblastiach, napríklad v štátnej správe a samospráve, v lesnom hospodárstve, v poľnohospodárstve, správe inžinierskych sietí, výrobe a rozvoje energií, doprave atď. (Koreň, 2009).

Najdôležitejšou aplikáciou tohto softvéru, s ohľadom na naše účely, bola aplikácia ModelBuilder. ModelBuilder je vstavaná funkcia v programe ArcGIS Desktop, ktorá slúži na vytváranie reťazových sekvencií rôznych nástrojov, čiže slúži na vytváranie, editovanie a spravovanie modelov. Môže pracovať so všetkými nástrojmi z ArcToolboxu, vrátane užívateľom vytvorených nástrojov a iných dostupných nástrojov a taktiež je schopná pracovať s vytvorenými scriptami v programovacom jazyku Python. Výhodou ModelBuilderu je najmä jednoduchosť jeho použitia. Užívateľ je schopný vytvárať svoje vlastné nástroje, čo značne uľahčuje a urýchľuje prácu s programom.

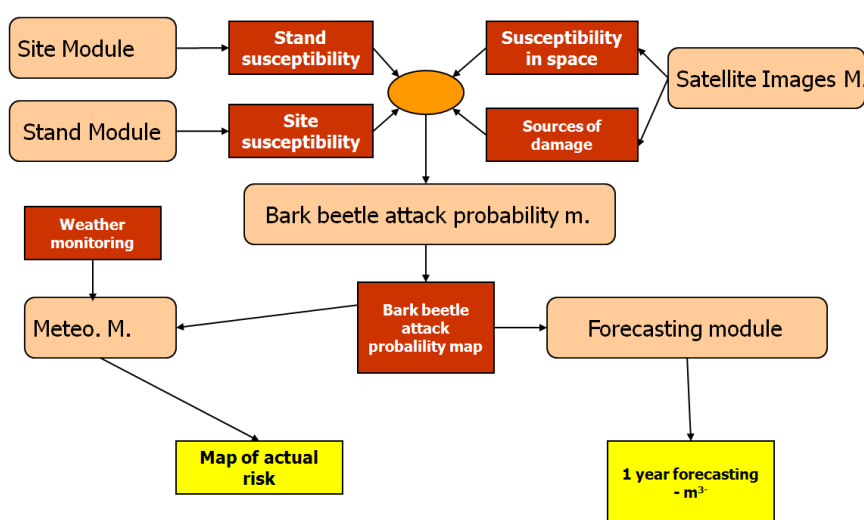
2.2 TANABBO model

Štúdia Kissiyara a kol. TANABBO model – a remote sensing based early warnings system for forest decline and bark beetle outbreaks in Tatra Mts. – overview (2005) a z nej vychádzajúcu štúdia Jakuša a kol. Prognosis of bark beetle in TANABBO model (2005a) sú základom pre vytváranie automatizovaných modelov. V ModelBuilderi sme vytvorili automatizované modely vybraných čiastkových úkonov. Štúdia Kissiyara a kol. (2005) rozoberá metodiku, ktorá je použitá na vytvorenie zadaných cieľov. Hlavnými cieľmi bolo vytvorenie máp pravdepodobnosti útoku lykožrúta smrekového, ktoré sa skladajú z kombinácií dvoch čiastkových úloh, inicializácie ohnísk a šírenia ohnísk. Ďalej je to mapa skutočného rizika a mapy predpovedania vývoja lykožrúta smrekového.

Celý TANABBO model sa delí na šesť modulov v poradí v akom by mali byť vytvárané. Sú to Site module (Stanovištný modul), Stand module (Porastový modul), Satellite Images module (Modul satelitných snímok),

Meteorological module (Meteorologický modul), Bark beetle attack probability module (Modul pravdepodobnosti útoku lykožrúta) a Forecasting module (Modul predpovede) (Obr. 1). V štúdiu Kissiyara a kol. (2005) je navyše aj MODIS modul, ktorý slúži na výpočet NDVI. TANABBO model je vypracovaný z obdobia od roku 1991 až po rok 2003.

Ako je vidieť na obrázku (Obr. 1) pre vytvorenie Bark beetle attack probability modulu potrebujeme tri moduly. Site module, Stand module a Satellite Images module. Ďalej sa Bark beetle attack probability module stáva vstupom pre Meteorological module a Forecasting module. Druhý zmieňovaný modul (Forecasting module) sa, ako sami autori uvádzajú, v dôsledku časovej tiesne nerozpracoval v dostatočnej miere, čo zapríčinilo, že nebol implementovaný, ale bol navrhnutý pre ďalšie rozpracovanie ako vhodný modul. Meteorological module má okrem Bark beetle attack probability modulu aj ďalšie vstupy, a to sú vstupy o podnebí. Tento modul je síce rozpracovaný, ale v aplikačnej časti sa nevyužíva, ráta sa sním však v pokračujúcom výskume. V nasledujúcich podkapitolách bližšie rozoberieme jednotlivé moduly, dosiahnuté výsledky a taktiež si rozoberieme aplikačnú časť TANABBO modelu, ktorou je druhá zmieňovaná štúdia.



Obr. 1 TANABBO moduly

Zdroj: JAKUŠ a kol., 2005b

2.3 Vstupné údaje

Všetky vstupné údaje s ktorými sme počas vypracovávaní modelov disponovali boli získané z Ústavu ekológie lesa Slovenskej akadémie vied vo Zvolene. Údaje nám boli poskytnuté za účelom vypracovávaní predkladanej práce. Tieto údaje boli kompletnými údajmi použitými pre vypracovanie projektu TANABBO a zároveň nám boli poskytnuté aj údaje, ktoré boli výstupmi daného procesu, čo znamená, že sme mali k dispozícii ako vstupné údaje tak aj údaje výsledné. To nám pomohlo pri vypracovávaní modelov v ModelBuilderi, pretože to umožnilo porovnávať naše výsledky s výsledkami projektu TANABBO.

2.4 Postup práce

Celkový priebeh vypracovávaní modelov je možné zhrnúť do šiestich krokov, a to oboznámenie sa s problematikou, získanie a zoznámenie sa so vstupnými údajmi, implementácia, simulácia, doladovanie a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

Prvý krok, oboznámenie sa s problematikou, spočíval v štúdiu samotného lykožrúta smrekového, TANABBO modelu a aplikácie ModelBuilderu spolu s potrebnými nástrojmi ArcToolboxu. Nasledujúcim krokom bolo získanie vstupných údajov a oboznámenie sa s nimi. Tretím krokom bola implementácia. V tomto kroku sme pristúpili k samotnému vytváraniu modelov. Štvrtý krok, simulácia, nasledoval po vytvorení jednotlivých

modelov. Postupne sme do modelov vkladali potrebné vstupy a kontrolovali správnosť jednotlivých výstupov. Predposledným krokom bolo doladovanie. Tento krok nasledoval po utvrdení sa o správnosti jednotlivých modelov. Aj keď už boli modely vytvorené, bolo potrebné pri niektorých zamyslieť sa nad zefektívnením procesu. Posledným krokom bolo zhodnotenie dosiahnutých výsledkov. V tomto kroku sme pristúpili ku kritike nami vytvorených modelov a súčasne modulov z TANABBO modelu. Pokúsili sme sa vecne posúdiť dosiahnuté výsledky s doplnením príslušných pripomienok pre ďalší vývoj.

3. VÝSLEDKY

Výsledkom práce je šesť vytvorených modelov v prostredí softvéru ArcGIS, pomocou tzv. vizuálneho programovacieho jazyka, aplikácie ModelBuilder. V časti Výsledky rozoberieme podrobne všetky vytvorené modely, ktorými sú Site model, Stand model, Edge detection model, Mask of forest stands in potential risk model, Storm damages model a Probability of spot initialization model. Pri charakteristike jednotlivých modelov uvedieme potrebné vstupy, výstupy modelov, použité nástroje a iné. Z nich prvých päť je vytvorených na podklade štúdie Kissiyara a kol. (2005) a posledný model je vytvorený na podklade štúdie Jakuša a kol. (2005a), ktorý využíva výstupy predošlých modelov. Schémy modelov sú zobrazené v prílohách A až F.

TANABBO model je určený na spoľahlivú prognózu šírenia lykožrúta smrekového pre účely boja proti tomuto škodlivému činiteľovi. Taktiež môže byť použitý napríklad v bezzásahových oblastiach.

Prvý zmieňovaný Site model, slúži na výpočet Site modulu, ktorého hlavným výstupom je Site index. Avšak v aplikačnej časti TANABBO modelu sa využívajú na ďalšie výpočty jeho čiastkové výstupy a nie samotný Site index. Týmito čiastkovými výstupmi sú rastrové reprezentácie sklonu, expozície a solárnej radiácie. Vyžadovaným vstupom pre Site model je digitálny model reliéfu, ktorý je postačujúci pre výpočet všetkých čiastkových výstupov. Na zostavenie Site modelu v prostredí ModelBuilderu sme využili nástroje, ktoré nám poskytuje ArcToolbox. Týmito nástrojmi boli Slope, Aspect a Area Solara Radiation a na výpočet Site indexu sme použili nástroj Raster Calculator. Všetky nástroje sme nastavili tak, aby nám poskytli potrebné výstupy. Čiastkové výstupy boli ukladané pre ďalšie použitie a zároveň sa použili ako vstupy pre výpočet Site indexu pomocou nástroja Raster Calculator.

$$\text{Stanovištný index} = (A * \text{nadmorská výška}) + (B * \text{expozícia}) + (C * \text{sklon}) + (D * \text{solárna radiácia}) + E$$

Nasledujúcim vytvoreným modelom bol Stand model. Tento model slúži na výpočet Stand modulu a jeho hlavného výstupu, ktorým je Stand index. Základným vstupom je vektorová reprezentácia s databázou porastových charakteristík rozdelených podľa dielcov, prípadne čiastkových plôch. Tak ako v prípade Site modelu aj pri Stand modeli sa v aplikačnej časti využívajú jeho čiastkové výstupy a nie samotný Stand index. Čiastkové výstupy modelu sú rastrové reprezentácie porastov, v ktorých sa nachádza drevo smrek v zastúpení rovnom alebo väčšom ako 50 % s atribútmi zásoby na ha, zakmenenia, zastúpenia smreka a veku, čím nám vzniknú štyri rastrové reprezentácie. V modeli sa využívajú nástroje Select, Feature to Raster a Raster Calculator. Select slúži na výber tých dielcov, v ktorých sa nachádza smrek v zastúpení rovnom alebo väčšom ako 50 %, pomocou SQL dopytov. Feature to Raster je potrebný pre vytvorenie už uvedených čiastkových výstupov a za vstup sa berie výstup z nástroja Select. Tieto čiastkové výstupy sa samostatne uložia a zároveň sa použijú na výpočet Stand Indexu pomocou nástroja Raster Calculator.

$$\text{Porastový index} = (A * \text{vek}) + (B * \text{Smrek \%}) + (C * \text{Zakmenenie}) + (D * \text{Zásoba /ha}) + E$$

Tretím vytvoreným modelom je Edge detection model. Tento model slúži na detekciu hrán pomocou Sobelovho gradientu. Cieľom tohto modelu je identifikovanie miest v poraste, kde dochádza k úbytku na drevnej hmote. Vstupmi sú landsat snímky v siedmych rôznych spektrách za každý rok sledovaného obdobia s 30 m rozlíšením. Výstupom sú rastrové reprezentácie s atribútmi detekcie hrán podľa Sobelovho gradientu pre každú snímku. Keďže v prípade tohto modelu je použitých veľa vstupov, rozhodli sme sa pre použitie nástroja Iterate Rasters. Tento nástroj umožňuje za vstup použiť priečinok a všetky rastrové reprezentácie, ktoré sa v ňom budú nachádzať použije postupne ako vstupy pre celý proces modelu.

Zároveň ich bude postupne ukladať a pridelať im čísla podľa toho, ako sú zoradené v priečinku vstupov. Pre tento proces ukladania je potrebné k fixnému názvu pripojiť “%n%”, čo zabezpečí aby sa výstupy neprepisovali, ale ukladali postupne s prideleným číslom. V Edge detection modeli sme použili nástroje Iterate Rasters, Focal Statistics a Raster Calculator. Nástroj Focal Statistics použijeme dvakrát. Raz pre detekciu hrán v smere X-ovom a druhýkrát v smere Y-ovom.

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

Gx

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

Gy

Obr. 2 Sobelové masky
Zdroj: Kissiyar a kol., 2005

Výstupy budú použité v nástroji Raster Calculator. V tomto nástroji sa tieto dva výstupy spoja do jedného pomocou vzorca:

$$G = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}$$

Tento proces sa zopakuje pre všetky rastrové reprezentácie v danom priečinku, ktoré sa následne užívateľom pomocou mapovej algebry spoja do jednej výslednej rastrovej reprezentácie.

Štvrtým modelom je Mask of forest stands in potential risk model. Tento model slúži ako submodel v Storm damages modeli. Vstupom je porastová vektorová reprezentácia, ktorá je použitá ako vstup pre Stand model a vektorová reprezentácia riečnej siete. Výstupom je vektorová reprezentácia porastov, v ktorých sa nachádza drevina smrek so zastúpením rovným alebo väčším ako 50 %. Zároveň sú z nej odstránené miesta, kde sa nachádza riečna sieť s jej okolím do 35 m. Pre tento model sme použili nástroje Select, Buffer a Erase. Nástroj Select nám slúži na vytiahnutie dielcov, v ktorých sa nachádza drevina smrek so zastúpením rovným alebo väčším ako 50 %. Nástrojom Buffer vytvoríme okolo riečnej siete nárazníkovú zónu. Nakoniec nástrojom Erase “vyrežeme” z výstupu z nástroja Select vytvorenú riečnu sieť s nárazníkovou zónou. Účelom tohto modelu je vytvoriť masku, ktorou sa orežú vytvorené rastrové reprezentácie vegetačných indexov.

Piatym vytvoreným modelom je Storm damages model. Tento model slúži na výpočet vegetačného indexu NSC2, ktorého vzorec na výpočet je nasledovný:

$$NSC2 = 0,1283 * TM1 + 0,1126 * TM2 + 0,3487 * TM3 - 0,5011 * TM4 + 0,5352 * TM5 + 0,5581 * TM7$$

Vstupom sú landsat snímky v spektrách 1-5 a 7. Storm damages model slúži na výpočet kalamitných miest s ich priestorovým určením. V modeli sme využili nástroje Raster Calculator, Difference, Extract by mask a Mask of forest stands in potential risk model. Do nástroja Raster Calculator sme zadali príslušný vzorec na výpočet NSC2. Nástroj Difference sme použili na výpočet rozdielu medzi príslušným rokom a rokom nasledujúcim. Využili sme na to i rastrové reprezentácia NSC2 príslušných rokov. Nástroj Extract by mask sme aplikovali na vyrezanie územia podľa vytvorenej masky nástrojom Mask of forest stands in potential risk model z vytvoreného rozdielu. Výsledný výstup je ďalej potrebné reklasifikovať a za hranicu pre reklasifikovanie sa zoberie hodnota podľa nasledovného vzorca:

$$Threshold = MEAN + 2 * SD$$

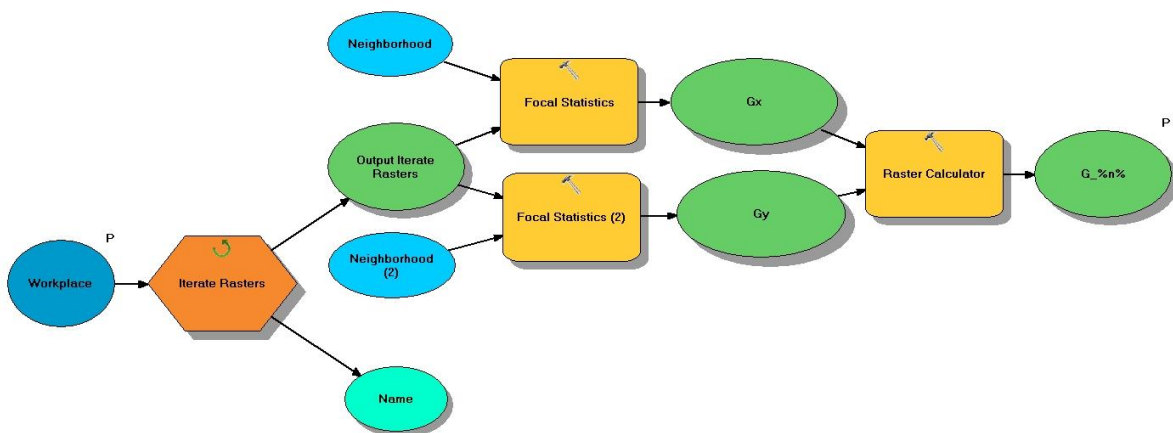
Posledným vytvoreným modelom je Probability of spot initialization model. Tento model vychádza zo štúdie Jakuša a kol. (2005a). Vstupy tohto modelu sú vytvorené z výstupov z predchádzajúcich modelov, v niektorých výstupoch bolo potrebné ešte vykonať určité úkony na dosiahnutie potrebného výsledku. Sú nimi DMR, mapa expozície, sklonu, solárnej radiácie, vekovej štruktúry, zastúpenia smreka, zakmenenia, zásoby, NSC2 a mapa vzdialeností od lesných hrán vytvorených zo snímky LANDSAT TM z roku 1991. Tieto výstupy sa využili pri štatistických analýzach, pomocou ktorých sa určovali najvhodnejšie z nich. Kritériom bola čo najväčšia korelácia s mapou novovzniknutých ohnísk lykožrúta smrekového. Po ich určení sa stanovil vzorec pre výpočet pravdepodobnosti vzniku ohnísk:

Probability of spot initialization

$$= -1.5684 - 0.003059 * age - 0.122263 * edge\ distance + 0.000000 * potential\ radiation \\ * -0.105478 * stand\ density + 0.014025 * NSC\ index$$

V modeli sa využíva jeden nástroj, a to Raster Calculator, do ktorého sa vloží príslušný vzorec s príslušnými vstupmi. Avšak vstupy sú vytvárané v predošlých modeloch. V pokračujúcom výskume je priestor na to, aby sa všetky tieto modely spojili do jedného modelu, čím by sa stali jeho submodelmi a takto by vznikla samostatná aplikácia, ktorá by si od užívateľa vyžiadala potrebné vstupy a vytvorila výstup vo forme pravdepodobnostnej mapy vzniku nových ohnísk.

Na obr. 3 je graficky zobrazená jedná zo schém a to konkrétne schéma Edge detection modelu.



Obr. 3 Schéma Edge detection modelu

4. DISKUSIA

Výskumy venované lykožrútovi smrekovému, ktoré sa rôznymi prístupmi pokúšajú prognózovať jeho šírenie, prípadne jeho vývojové štádia, vznik ohnísk atď., sa musia vysporiadať s veľkou komplexnosťou sledovaného javu. Vo svete aj na Slovensku bolo vykonaných viacero výskumov, ktoré sa od seba značne odlišujú. Z toho vyplýva, že nie je jednoznačne možné určiť najlepšiu metódu. Vytvárať model pre živý organizmus je svojim rozsahom a prepojením s okolitým svetom v niektorých prípadoch skoro až nemožné v relevantnej forme.

Pri zostavovaní takéhoto modelu sa naráža na viacero problémov. Jedným z nich je určiť si vstupy vyberané na základe ich váhy, ktorou sa podieľajú na vývoji sledovaného javu, ale zároveň ich počet musí byť ekonomicky aj prístupovo optimálny. Ďalšou úlohou je správnou formou opísať vplyv okolitého prostredia, ktoré má v súčasnej dobe stále viac nepredvídateľné správanie. Toto správanie má za príčinu nevyužitelnosť modelov opisujúcich len samotný organizmus bez prepojenia na okolité prostredie. Takýchto prekážok pri vytváraní modelu živého organizmu je veľké množstvo.

Po diskusii so zamestnancami Ústavu ekológie lesa SAV vo Zvolene, ktorí na projekte vytvárania TANABBO modelu participovali, vznikla požiadavka na zautomatizovanie niektorých čiastkových úkonov pre ďalšie využitie vo výskume, ktorého pokračovanie sa predpokladá v najbližšom období. Domnievame sa, že nami vytvorené modely budú prakticky využiteľné v procese ďalšieho výskumu a značne zefektívnia prácu výskumných pracovníkov. Výsledky predkladaného príspevku sú relevantné aj na základe prediskutovania jej jednotlivých výsledkov s pracovníkmi Ústavu ekológie lesa SAV vo Zvolene.

Za nedostatky TANABBO modelu by sme mohli považovať jeho nedokončenie do finálnej podoby a z toho vyplývajúce nezahrnutie meteorologického modulu do aplikačnej časti. Meteorologický modul bol navrhovaný na podklade predchodcu PHENIPS modelu rakúskych autorov Baiera, Pennerstorfera, Schopfa (2009). Avšak je rozpracovaný len v teoretickej podobe a pri pokračovaní spracovávaní TANABBO modelu nebude problém ho zaradiť. V meteorologickom module sa pracuje s tzv. efektívnymi sumami teplôt. Tieto sú sumami priemerných denných teplôt, ktoré sú potrebné pre jednotlivé vývojové štádia. Prvá vývojová fáza sa začne počítať až po dosiahnutí stanovenej priemernej dennej teploty (napr. 16°C) a z každej priemernej dennej teploty, ktorá sa započíta, sa odčítava vývojová teplotná hranica (7°C). Napríklad podľa Nethera (2003) je efektívna teplota pre vývoj larvy efektívna suma teplôt 246,64. Pre použitie týchto súm je možné vychádzať z viacerých prác rôznych autorov. Domnievame sa, že ak by bol priestor v pokračujúcom výskume bolo by vhodné tieto hodnoty určiť pre naše podmienky v súčasnosti. V štúdiu PHENIPS modelu je metodika rozpracovaná v dostatočnej miere na to, aby sa z nej dalo vychádzať bez väčších problémov.

V práci sme vytvorili šesť čiastkových modelov vychádzajúcich z TANABBO modelu. Takmer pri všetkých vytvorených modeloch sa pracuje so vstupmi, ktoré je treba upraviť do formy umožňujúcej ďalšiu prácu. V ďalšom vývoji týchto modelov by bolo vhodné uvažovať o pripojení aj týchto predprípravných prác, ako je napríklad spracovanie landsat snímok, samozrejme iba ak by to bolo možné a zefektívnilo to prácu. Taktiež pri niektorých výstupoch je potrebné ešte ďalšie spracovanie aby sa mohli ďalej použiť. Tiež by bolo efektívnejšie vytvoriť tieto postspracovania. Týmto by sa daný proces ešte viac zefektívnil.

V modeli TANABBO sa využívajú landsat snímky, ktoré sú momentálne voľne prístupné s 30 m rozlíšením. Domnievame sa, že v niektorých prípadoch toto rozlíšenie nie je dostatočné. Tento poznatok treba overiť a porovnať zlepšenie výsledkov pri použití väčšieho rozlíšenia s ekonomickým aspektom tohto kroku. Čo znamená, či zvýšenie nákladov na snímky bude kompenzované dostatočným zlepšením kvality výstupov.

V niektorých prípadoch sme uvažovali o zmenách v procese vytvárania modelov na základe TANABBO modelu. Výpočet solárnej radiácie je jedným z nich. V tomto prípade sa v TANABBO modeli počíta solárna radiácia dopadajúca na územie za celý rok. Predpokladáme, že by bolo vhodnejšie počítať solárnu radiáciu len za obdobie kedy je lykožrút smrekový aktívny. Tento predpoklad je potrebné overiť.

V ďalšom výskume, ktorý bude pokračovať v Ústave ekológie lesa SAV vo Zvolene, by sa ďalej mohli určiť vstupy, ktoré by sa stali fixnými pri vytváraní výsledných máp. Napríklad v prípade riešeného územia sa nevyužili vstup expozícia, sklon a zásoba na ha pri počítaní pravdepodobnosti vzniku ohnísk a vstupy vekovej štruktúry, zakmenenia atď. pri počítaní potenciálnej veľkosti ohnísk pre ich nízku koreláciu. Určenie fixných vstupov pre regresné analýzy by odstránilo potrebné určenie vhodných vstupov pri každom riešenom území a taktiež by zefektívnilo celý proces. Tento proces je zároveň náročnejším na úkony a rozhodovanie. Po uvedení modelu do praxe by mohol tento úkon spôsobovať užívateľom značné problémy.

TANABBO model považujeme za veľký prínos v oblasti modelovania vývoja lykožrúta smrekového. Po dopracovaní je vysoký predpoklad jeho využiteľnosti pre praktické lesníctvo. Model by mohol riešiť predpovede na daný rok ale aj predpovede rokov nasledujúcich. To by mohlo predísť zbytočným stratám a poškodeniam lesných porastov a značne zefektívniť ochranné opatrenia v lese. Preto je potrebné tento

model zjednodušovať vo forme vytváranie nástrojov v prostrediach prístupných softvérových vybavení a upravovať ich do podoby, čo najviac užívateľsky prístupnej. Tým môže vzniknúť nástroj, ktorý pomôže zefektívniť boj proti lykožrútovi smrekovému.

5. ZÁVER

Výsledkom práce je šesť vytvorených modelov v prostredí softvéru ArcGIS pomocou tzv. vizuálneho programovacieho jazyka, aplikácie ModelBuilder. Sú to Site model, Stand model, Edge detection model, Mask of forest stands in potential risk model, Storm damages model a Probability of spot initialization model. Z nich prvých päť je vytvorených na podklade štúdie Kissiyara a kol. (2005) a posledný model je vytvorený na podklade štúdie Jakuša a kol. (2005a), ktorý využíva výstupy predošlých modelov.

Domnievame sa, že nami vytvorené modely budú prakticky využiteľné v procese ďalšieho výskumu a značne zefektívnia prácu výskumných pracovníkov. Výsledky predkladanej práce sú relevantné aj na základe prediskutovania jej jednotlivých výsledkov s pracovníkmi Ústavu ekológie lesa SAV vo Zvolene, hlavne Ing. Rastislavom Jakušom, PhD.

POĎAKOVANIE

Úprimné poďakovanie patrí môjmu školiteľovi Mgr. Milanovi Koreňovi, PhD. za pomoc s výberom aktuálnej témy, podnetné rady a trpezlivosť pri vypracovávaní predkladanej práce. Rovnako úprimné poďakovanie patrí môjmu konzultantovi Ing. Rastislavovi Jakušovi, PhD. za jeho ochotu, ústretovosť a podnetné odborné konzultácie, ktoré prispeli k zlepšeniu kvality predkladanej práce.

LITERATÚRA

BAIER, Peter – PENNERSTORFER, Josef – SHOPF, Axel (2007). PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. In: Forest ecology and management, roč. 249, č. 3 (2007), s. 171-186.

JAKUŠ, Rastislav a kol. (2005a). Prognosis of bark beetle attack in TANABBO model. In: GIS and databases in the forest protection in Central Europe, ed. W. Grodzki. Warsaw : Forest research institute, 2005. s. 35-43.

JAKUŠ, Rastislav a kol. (2005b). TANABBO : TAtra NATioanal Park Bark Beetle Outbreak model. [Poster] 2005. [Prezentácia].

KISSIYAR, Ouns a kol. (2005). TANABBO – model – a remote sensing based early warning system for forest decline and bark beetle outbreaks in Tatra Mts. – overview. In: GIS and databases in the forest protection in Central Europe, ed. W. Grodzki. Warsaw : Forest research institute, 2005. s. 15-35.

KOREŇ, Milan (2008). Geografický informačný systém ArcGIS. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. s. 88. ISBN 978-80-228-1947-3.

NETHERER, Sigrid (2003). Modelling of bark beetle development and of site- and stand-related predisposition to *Ips typographus* (L.) (Coleoptera; Scolytidae) - A contribution to risk assessment. Phd. thesis. Wien : Institut fur Forstentomologie, 2003. s. 98.

Zoznam použitých internetových stránok

<http://slovník.juls.savba.sk>

www.esri.com

www.forestportal.sk

www.forums.arcgis.com

www.help.arcgis.com