

GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

60

2008

4

Dušan Senko, Ján Miškovic**, Michal Gallay***,
Katarina Senková Baldaufová*****

DYNAMIKA ZMIEN VEGETÁCIE NA DEVÍNSKEJ KOBYLE A JEJ PREDIKCIA

D. Senko, J. Miškovic, M. Gallay, K. Senková Baldaufová: Dynamics of vegetation changes and its prediction on the Devínska Kobyla Mountain. *Geografický časopis*, 60, 2008, 4, 5 figs., 74 refs.

This work focuses on evaluating the potential for the preservation of the xerotherm vegetation communities in the National Natural Reserve area on Devínska Kobyla. It is important to understand the topoclimatic differences of thermal and hygric characteristics with regard to this relationship. In this work, we use methods of quantitative planar estimations of the topoclimatic characteristics, calculations of insolation dynamics from a digital terrain model (DTM). The final evaluation includes geomorphometric fields – elevation and the derived characteristics. A model that quantifies the potential for xerotherm vegetation preservation was created. The model is based on analysis of the relationship between various types of quantitatively defined geoecological subjects and dynamics of vegetation change which were derived from a chronological sequence of aerial photographs. This model can be considered a definitive product of the research ready to be employed in the management of this valuable site.

Key words: landscape potential, prediction, DTM, GIS, radiance, plant communities, secondary succession, Devínska Kobyla

* Botanický ústav SAV, Dúbravská cesta 14, 845 23 Bratislava, dusan.senko@savba.sk

** Katedra botaniky, Prírodovedecká fakulta UK, Révová 39, 811 02 Bratislava

*** School of Geography, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University, Belfast

**** Katedra ekosoziológie a fyziotaktiky, Prírodovedecká fakulta UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

ÚVOD

Poloprirodzené travinno-bylinné spoločenstvá na karbonátovom geologickom podloží patria k druhovo najbohatším spoločenstvám vôbec (Willems 1983, Bobbink et al. 1987). Na rozdiel od prirodzeného bezlesia vznikli po rozsiahлом odlesnení biotopov a niekoľko storočí boli udržiavané tradičnými hospodárskymi činnosťami (pasenie, kosenie, vypal'ovanie porastov). Od polovice 20. storočia postupne strácali hospodársky význam a v súčasnosti sú ohrozené najmä sekundárhou sukcesiou, fragmentáciou a izoláciou lokalít.

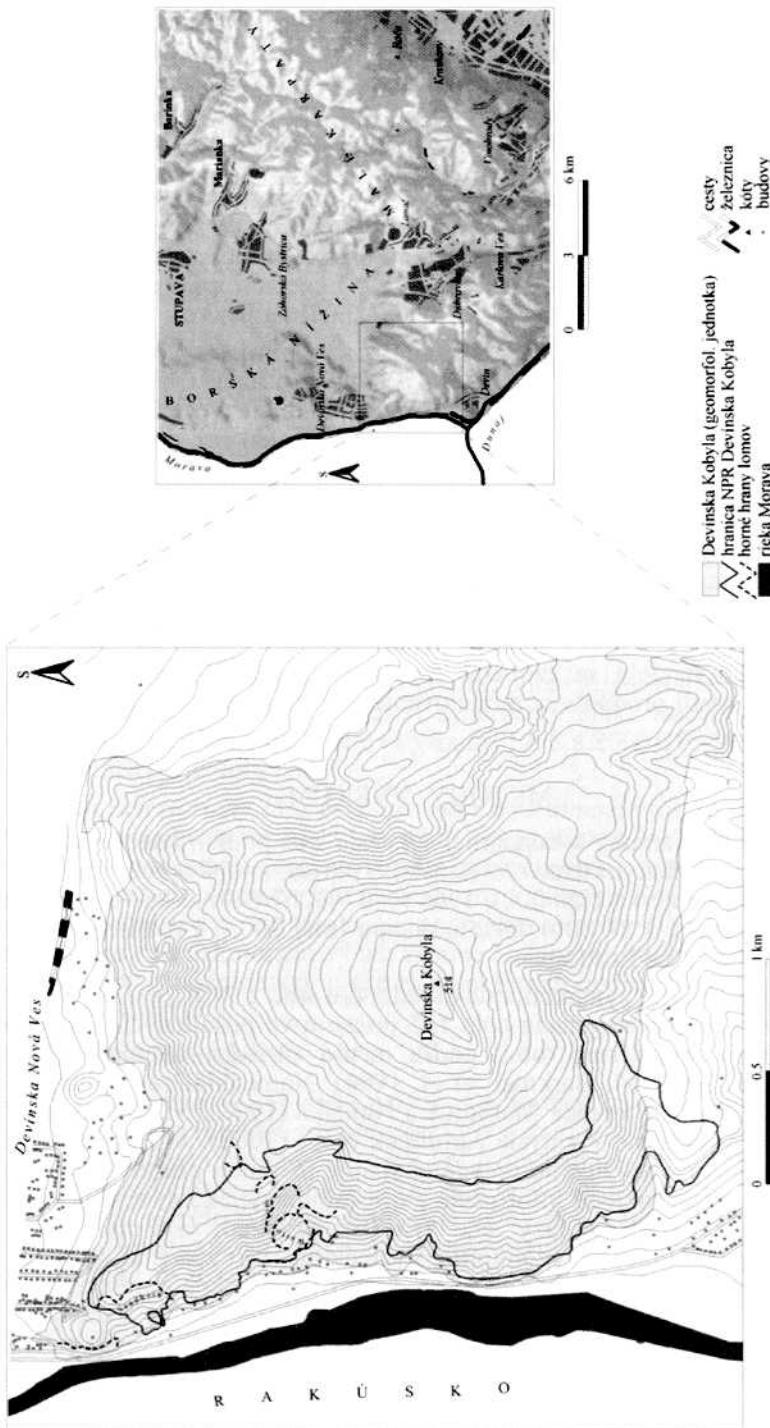
Podobne, ako aj na iných lokalitách nielen na Slovensku, obhospodarovanie travinno-bylinných porastov na území dnešnej Národnej prírodnnej rezervácie (ďalej „NPR“) Devínska Kobyla bolo ukončené v päťdesiatych rokoch minulého storočia. Pri hodnotení potenciálu pre zachovanie teplomilných travinno-bylinných spoločenstiev, ktoré sú predmetom ochrany územia, môže byť potrebnou empiricky merateľnou charakteristikou stupeň sekundárnej sukcesie ako zaznamenané zmeny v prirodzenom vývoji rastlinného spoločenstva. Vzhľadom na mimoriadne prírodné hodnoty, vysoký antropický tlak a úbytok vzácnych teplomilných rastlinných spoločenstiev je zaznamenanie tejto zmeny aktuálne. Na hodnotenie tejto časovo-priestorovej série nadväzuje aj predikovanie priestorovej distribúcie rastlinných spoločenstiev. Predvídanie časovej a priestorovej zmeny, ako aj modelovanie druhovej distribúcie zaznamenalo v poslednom čase dramatický nárasť a v súčasnosti patrí medzi ústredné GIS aplikácie (napr. Becker et al. 2007, Guisan et al. 2007, Cousins a Aggemyr 2008, Gehrig-Fasel et al. 2008, Piedallu a Gégout 2008).

Hlavným cieľom tejto práce je definovať rýchlosť sekundárnej sukcesie analýzou leteckých snímok. Nadväzujúcimi cieľmi bolo zachytiť reálny stav vegetácie a predikovať zmeny travinno-bylinných spoločenstiev vzhľadom na abiotický potenciál územia.

Devínska Kobyla a Bratislavské predhorie, kde sa výskum uskutočnil, sú súčasťou Devínskych Karpát, ktoré sú v rámci geomorfologického členenia Slovenska (Mazúr a Lukniš 1980) najjužnejším oddielom celku Malé Karpaty. Geografická poloha a s ňou spätý špecifický geologicko-geomorfologický vývoj tu podmienili pestré fyzickogeografické pomery, odrážajúce sa aj v bohatej flóre (Feráková a Kocianová 1997, Minár et al. 2001). Študované územie s veľkosťou 114,38 ha zodpovedá hraniciam NPR Devínska Kobyla (obr. 1).

PREHLÁD LITERATÚRY

Najstaršími prácami o rastlinných spoločenstvách na Devínskej Kobyle sú príspevky Domina (1931) o zložení niekoľkých xerotermných travinno-bylinných porastov, ktoré vznikli sekundárne po vyrubaní lesa, ďalej Nábělka (1939), ktorý v súvislosti s potvrdením výskytu druhu *Carex liparicarpos* na Devínskej Kobyle uvádzá aj ďalšie taxóny rastúce s ním v spoločenstve na vápencoch. Syntaxonomický prehľad xerotermných travinno-bylinných spoločenstiev Devínskej Kobyle vypracoval Kaleta (1965). Maglocký (1997) stručne charakterizoval prirodzené a poloprirodzené rastlinné spoločenstvá, stručný prehľad synantropných spoločenstiev Devínskej Kobyle zostavil Jarolímek (1997). Zmeny vegetácie na trvalých pokusných plochách v NPR Devínska Kobyla bez



Obr. 1. Lokalizácia Devinskéj Kobylí

zásahu, po zostrihaní nadzemných častí rastlín a po jarnom a jesennom vypaľovaní sledovali Feráková a Hajdúk (1984) a Hajdúk (1986 a 1997). Možnosťami udržania a obnovy druhovo bohatých travinno-bylinných spoločenstiev na Devínskej Kobyle kosením, pasením alebo vypaľovaním sa zaoberal Baláž (1994). Zmeny v travinno-bylinných aj lesných spoločenstvách v porovnaní s prácami Kaletu (1965) a Michalka (1977) spracovali Miškovic a Dúbravcová (2003, 2004a, 2004b) a Sadloňová (2004 a 2006). Xerotermným a subxerotermným travinno-bylinným spoločenstvám na Devínskej Kobyle sa venovala aj Maliníková (2003). Zlínška (2004) sa vo svojom príspevku podrobne zaoberala spoločenstvom *Adonido-Brachypodietum pinnati*. Vegetáciu a flóru Devínskej Kobyle sa venoval aj Senko (2004, 2005, 2007a, 2007b) a Senko a Miškovic (2006).

Metódam interpretácie leteckých snímok a identifikácie vegetácie sa venovali Murdych (1985), Otáhel et al. (1994), Cousins a Ihse (1998), Feranec a Otahel (2003) a Faltán (2005). Modelovanie predikcie vegetácie u nás načrtol Hlásny (2007). Definovaniu vzťahu medzi abiotickým potenciálom krajiny a formovaním vegetácie v modelovom území NPR Devínska Kobyla sa detailne venoval Senko (2007b). Rozsiahlejšie sa však tejto problematike venujú v zahraničí. Medzi práce zaoberejúce sa hodnotením časovej a priestorovej variability pomocou GIS-u patria napr. Langran (1992), Lassueur et al. (2006) a Pearman et al. (2008). Modelovanie potenciálnej distribúcie živočíchov a rastlín načrtol Carpenter et al. (1993). Autori Stockwell a Peters (1999) opísali problémy pri automatickej priestorovej predikcii. Hodnotením kritérií na výber vhodného prediktívneho modelu sa zaobral Anderson et al. (2003). Rodríguez et al. (2007) aplikovali prediktívne modelovanie vo vzťahu k zachovaniu biodiverzity.

METÓDY VÝSKUMU

Pri analýzach zmeny sekundárnej sukcesie sme použili letecké snímky, poskytnuté Topografickým ústavom Banská Bystrica, snímkovane v rokoch: 1949 (č. 9368, 9369, mierka 1:20 000), 1966 (č. 6741, 6749, mierka 1:13 000) a 1985 (č. 13851, mierka 1:27 000). Ortofotomapu (máj 2003) s rozlíšením 20 cm na pixel poskytla firma Eurosense.

Ako elementárnu syntaxonomickú jednotku sme zvolili zväz. Podkladom pri tvorbe mapy reálnej vegetácie bolo 175 priestorovo priradených fytocenologických zápisov, ktoré sme robili podľa metód zurišsko-montpellierskej školy (Braun-Blanquet 1964, Barkman et al. 1964). Nomenklatúra rastlinných taxónov je uvedená podľa práce Marholda a Hindáka (1998). Názvoslovie a systém syntaxónov uvádzame v zmysle Jarolímek et al. (2008). V nadväznosti na ich fytocenologickú analýzu sme polygóny spájali metódou priestorovej extrapolácie, pričom sme využívali informácie z ortofotomapy, ako aj terénneho pozorovania. Počas záverečnej fázy sme vrstvy v prostredí GIS na seba naložili (metóda superpozície) a vyhodnotili. Výsledkom bolo získanie primárnych informácií o dynamike sekundárnej sukcesie ako empirického prejavu biogeografického poľa. V zjednodušenom modeli vegetácia prechádza z travinno-bylinných cez krovinné porasty, mozaiku krovín a stromov až do klimaxových lesov. Ako nástroj modelovania predikcie travinno-bylinných spoločenstiev bol použitý program OpenModeller, verzia 1.0.6. Modelovanie predikcie je v tomto programe generované pomocou algoritmov, ktoré vyžadujú vstupné rastrové vrstvy

abiotických charakteristik krajiny a bodové pole rozšírenia sledovaného porastu (napr. jadrová oblasť výskytu).

Podstata tvorby *digitálneho modelu georeliéfu* (ďalej „DMR“, angl. digital terrain model) spočíva v utvorení diskrétneho bodového poľa polohovo lokali-zovaných bodov s údajom o skaláre nadmorskej výšky. Pri tvorbe DMR, v prostredí GRASS GIS verzia 6.0, sme použili „*regularizovaný splajn s tenziou a zhľadzovaním*“ (Regularized Spline with Tension – RST, pozri Mitášová a Mitáš 1993, Mitášová a Hofierka 1993) implementovaný ako modul *v.surf.rst* (Desmet 1997, Cebecauer et al. 2002, Bonk 2003, Neteler a Mitášová 2004)¹. Príkaz na výpočet DMR:

```
GRASS: > v.surf.rst input = cont_vertex zcolumn = nadmorska_vyska
elev = elev0820 slope = slope0820 aspect = aspect0820 pcurv = pc0820 tcurv =
tc0820 tension = 20 smooth = 0.8 maskmap = maska npmin = 300 segmax = 40
```

Na výpočet *oslnenia georeliéfu* sme použili model *r.sun*, ktorý je rovnako implementovaný v GRASS GIS v. 6.0 (Hofierka a Šuri 2002). Vstupnými dátami boli rastre nadmorských výšok, sklonov a orientácií. Výstupom modelovania boli rastre energie globálneho slnečného žiarenia prijatej na jednotku plochy za deň (vo $\text{Wh.m}^{-2}.\text{deň}^{-1}$) a doby trvania priameho slnečného žiarenia v hodinách. Pre sledovanie signifikantnej tesnosti väzieb medzi formovaním vegetácie a oslnením sme zvolili obdobie od 1. marca do 30. novembra (275 dní = 6 600 hod.).

Rozhodujúci vplyv na formovanie a životné funkcie vegetácie má prostredníctvom látkovo-energetických procesov synergický efekt viacerých faktorov. Topoklíma má pritom kľúčovú úlohu (Vysoudil 1998 a 2000). Preto v práci modelujeme aj zrážky a teplotu pôdy.

Pri modeli *priestorovej diferenciácie množstva atmosférických vertikálnych zrážok* sme ako elementárne plochy použili 198 geotopov, vyčlenených v práci Senko 2007b. Vychádzali sme zo vzťahu odvodeného v práci Minára et al. (2001). Ak označíme úhrn zrážok (viac pozri v prácach Senko 2004, 2006 a 2007b) za obdobie (od 1. marca do 30. novembra za roky 2004, 2005 a 2006) v mieste stanice Z_s a nadmorskú výšku stanice H_s , potom zrážkový úhrn Z_j konkrétnego geotopu v nadmorskej výške H_j so sklonom georeliéfu γ_j môžeme odhadnúť pomocou vzťahu:

$$Z_j = (Z_s + ZG(\Delta H_{sj})) \cdot \cos \gamma_j,$$

kde $ZG(\Delta H_{sj})$ je prírastok (úbytok) zrážok spadnutých na horizontálnu rovinu v jednotke j vplyvom rozdielu nadmorskej výšky stanice a danej geoekologickej jednotky (ΔH_{sj}). Zmena množstva zrážok vplyvom nadmorskej výšky – pluviometrický gradient (v našom prípade $0,437 \text{ mm.m}^{-1}$) – je regionálne premenlivý, často nelineárny, a preto bolo najvhodnejšie jeho odvodenie z údajov staníc ležiacich v rôznej nadmorskej výške, ale priestorovo blízkych lokalít na Devínskej Kobyle (212 m n. m.). Pluviometrický gradient sme počítali porovnaním našej lokality so zrážkomernými stanicami na bratislavskej Kolibe (287 m n. m.) a na Malom Javorníku (586 m n. m.).

¹ Výstupné rastre boli orezané maskou, ktorá zakrýva oblasti s chýbajúcimi vrstevnicami, ako napr. kameňolomy, pieskovne a výmole.

Model priestorovej diferenciácie teploty pôdy, odvodený v práci Senka (2007b), bol získaný viacnásobnou lineárnom regresiou a mal nasledovný tvar:

$$TPa - TPb = 0,532392 - 0,0311999 \cdot NVa + 0,0172281 \cdot NVb + 0,178537 \cdot UDa - 0,115657 \cdot UDb + 0,147367 \cdot URa - 0,0885646 \cdot URb$$

$$R^2 = 81,10 \%,$$

kde a je lokalita č. 1, b je lokalita č. 2, $TPa - TPb$ je rozdiel teplôt pôd, NV je nadmorská výška, UD je uhol dopadu slnečného žiarenia a UR je delta uhla dopadu slnečného žiarenia. Ako elementárne plochy extrapolácie tohto modelu sme použili geotopy vyčlenené v práci Senka (2007b).

VÝSLEDKY

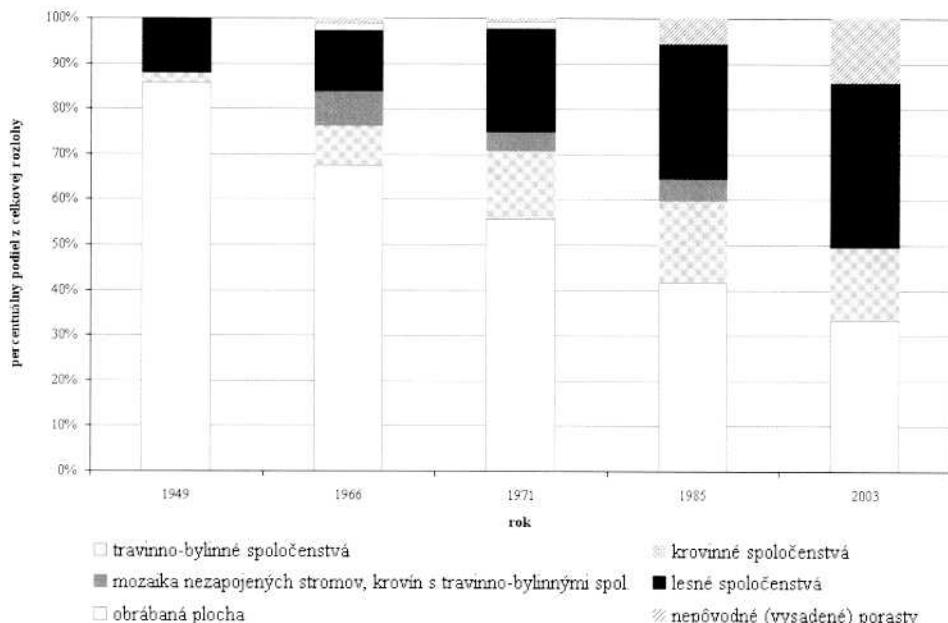
Digitálny model a oslnenie georeliéfu

Kvalita výsledného DMR je určená presnosťou vstupných údajov, interpolačnej metódy, ako aj výberu priestorového rozlíšenia bunky výstupného rastra. Pri tvorbe DMR sme využili interpoláciu označovanú ako „regularizovaný splajn s tenziou“, ktorá v súčasnosti patrí medzi najpresnejšie a najflexibilnejšie dostupné metódy. Flexibilita je daná kontrolnými parametrami (napr. „tenzia“, zhľadzovanie). Ich správne nastavenie umožňuje získať optimálny výsledok. Hengl (2006) odporúča zvoliť veľkosť pixla DMR medzi hodnotou priemernej a najmenšej vzdialenosťi vrstevníc, t. j. v prípade nášho územia 14,7 m, resp. 3,2 m. Vytvorený model v rozlíšení 2×2 m sme následne v zmysle Carrara et al. (1997) prevzorkovali do rozlíšenia 5×5 m. Tým sme predišli chybám v miestach zhustenia vrstevníc. Uvedená metóda RST zadaním vyšej hodnoty zhľadzovania a relatívne nízkej hodnoty „tenzie“ minimalizuje neprirodzené zakrivenie povrchu.

Pri výpočte dynamiky oslnenia sme do druhého modu modulu *r.sun*, ktorý bol vytvorený za účelom modelovania fotovoltaického potenciálu pre Európu autormi J. Hofierkom a M. Šúrim (2002), implementovali nami upravený skript (Neteler a Mitášová 2004, p. 356) na generovanie sumy príkonu slnečného žiarenia pre konkrétné obdobie.

Dynamika zmien vegetácie

Z rozlohy NPR Devínska Kobyla v súčasnosti 50,7 % plochy zaberajú lesné spoločenstvá. Približne druhú polovicu tvoria travinno-bylinné (33,4 %) a krovinné spoločenstvá (15,9 %), ktoré sú v sekundárnych sukcesných štadiách a smerujú k potenciálnej prirodzenej vegetácii – lesom. V roku 1949 zaberali travinno-bylinné spoločenstvá 85,8 % z rozlohy súčasnej NPR (obr. 2). Kritériom digitalizácie jednotlivých typov porastov do polygónov bola jednotná fyziognómia porastu, ktorú sme na čiernobielych snímkach identifikovali na základe rôznych odtieňov šedej. Pre každú snímku sme vytvorili samostatný súbor polygónov jednotlivých foriem vegetácie (základné: travinno-bylinné porasty, kroviny, mozaika travinno-bylinných porastov a krovín a lesné porasty). Okrem fyziognomických foriem sme pre rok 2003 vytvorili aj mapu reálnej vegetácie.

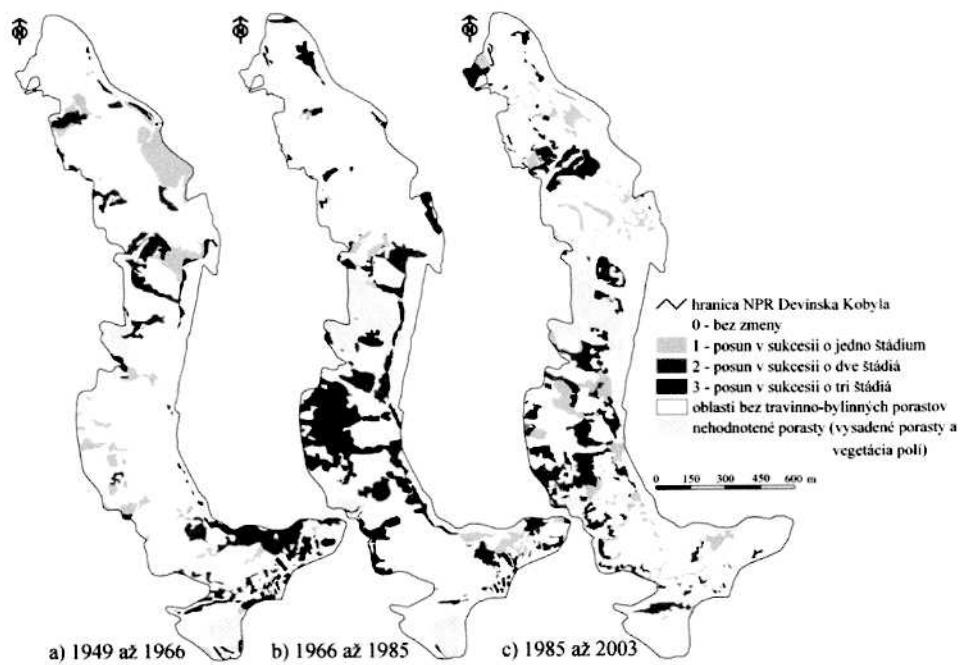


Obr. 2. Dynamika zmien vegetácie za obdobie rokov 1949 až 2003

Hodnotenie sekundárnej sukcesie vychádza z časovej sekvencie leteckých snímok. Prvé obdobie, v dĺžke sedemnástich rokov, spadá medzi roky 1949 až 1966. Druhé obdobie, v dĺžke devätnástich rokov, tvoria roky 1966 až 1985. Posledné, tretie obdobie, v rozsahu osemnástich rokov, určuje rozdiel medzi snímkami z rokov 1985 až 2003. Samotný algoritmus hodnotenia rýchlosťi sekundárnej sukcesie vychádzal z niekolkých krokov. Ak predpokladáme, že travinno-bylinné porasty, zachytené v roku 1949, mohli do roku 1966 zostať bez zmeny, prípadne sa mohli zmeniť o jedno sukcesné štadium na kroviny, mohli prejsť v sukcesii o dve štadiá na mozaiku stromov a krovín alebo sukcesná zmena mohla prejsť až k lesom. Tento postup sme aplikovali pri porovnaní všetkých fyzionomických typov porastov pri každom z hodnotených období. V prostredí GIS sme na tento výpočet použili metódu „intersection“. Operácia nakladá dve vrstvy, ktorej výsledkom je ich spoločný prienik, ktorý má atribúty oboch vstupných tém.

V prvom hodnotenom období (obr. 3) je sukcesná zmena najmenšia. Nelesná vegetácia v prevažnej miere kopíruje okraje lesov. Územie si zachováva ráz z obdobia pred ukončením pastvy. Najvýraznejšiu zmenu sme zaznamenali v centrálnej časti rezervácie v období rokov 1966 až 1985. Markantná je najmä plošne kompaktná zmena z bývalých pasienkov na lesné spoločenstvá. Na hraniciach tejto zmeny je prechod smerom ku krovinám. Tie tvorili plášťové spoločenstvá, ktoré sa v ďalšom období menili na lesy. Uzemie je, na základe hodnotenia ich abiotického potenciálu (pozri Senko 2007b), najmenej vhodné na dlhodobé uchovanie teplomilných lúk. Tretie obdobie prinieslo rozdrobenie bývalých travinno-bylinných spoločenstiev. Zmena ku krovinám a lesom je plošne

rovnomerná, ale nevýrazná. Sukcesné plochy sú nesúvislé. Predpokladáme, že proces sukcesie sa bude pri neriadenom manažmente spomaľovať. Územie, na ktorom sa zachovali teplomilné lúky do súčasnosti, má z hľadiska abiotických vlastností vysoký potenciál pre ich dlhodobé uchovanie.

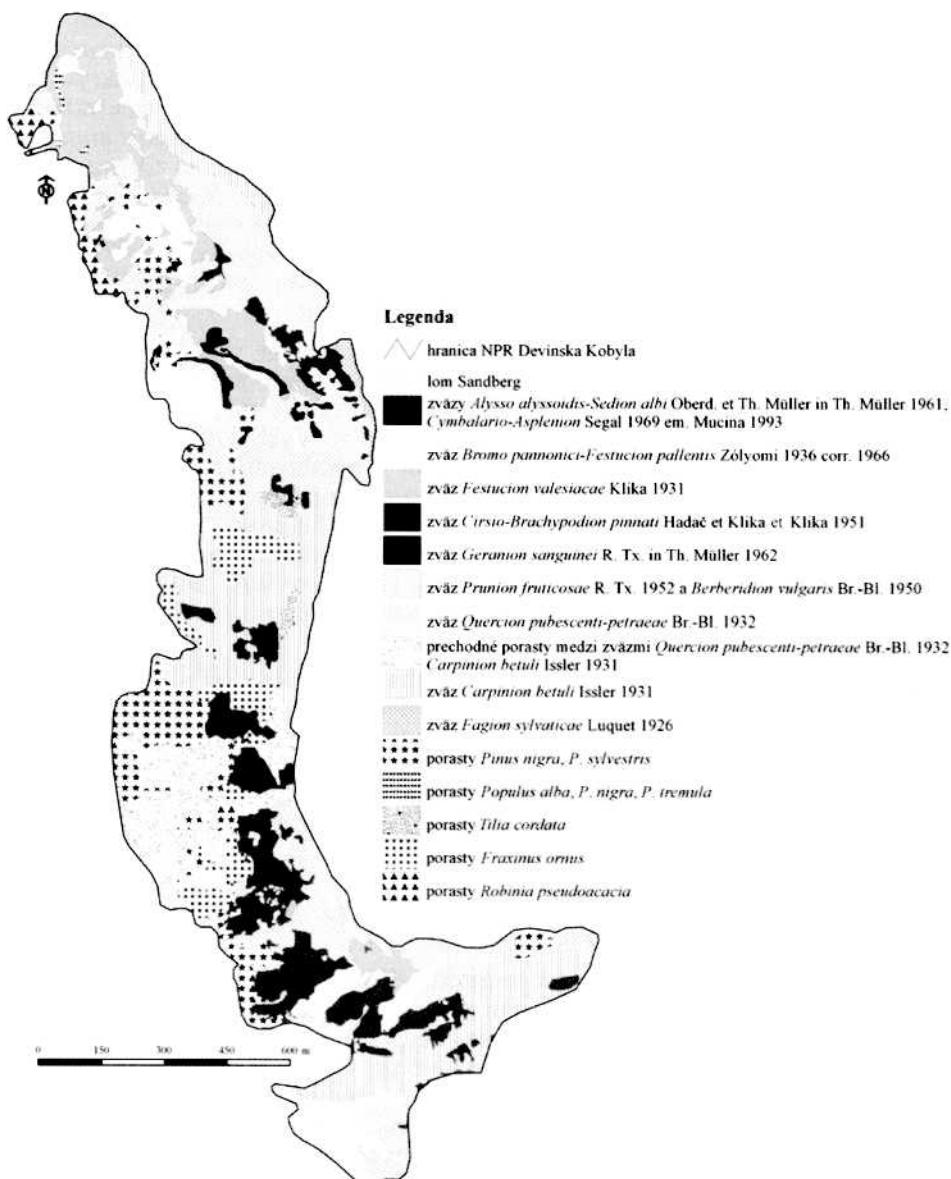


Obr. 3. Dynamika zmien vegetácie

Reálna vegetácia

Nadväzujúcim cieľom bola predikcia zmeny travinno-bylinných spoločenstiev vzhľadom na abiotický potenciál územia. Ako východiskový stav sme začiili reálny stav vegetácie (obr. 4). Ako uvádza Kaleta (1965), v tom čase najväčšiu nezalesnenú plochu Devínskej Kobylu zaberalo spoločenstvo blízke asociaции *Festuco valesiacae-Stipetum capillatae*. Sukcesné zmeny najviac zasiahli práve spoločenstvá na hlbších pôdach zo zväzov *Festucion valesiaceae* a *Cirsio-Brachypodion pinnati*. V súčasnosti pokrývajú najväčšiu časť odlesnených svahov rezervácie ich sukcesné štadiá. V týchto porastoch dnes výrazne dominujú vysokosteblové druhy tráv ako *Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum*, miestami *Arrhenatherum elatius* a zriedkavejšie aj *Calamagrostis epigejos*. Roztrúsené sa v nich vyskytujú kry (*Berberis vulgaris*, *Cerasus mahaleb*, *Cor-nus mas*, *Crataegus monogyna*, *Euonymus verrucosus*, *Ligustrum vulgare*, *Pru-nus spinosa*, *Rosa* sp. div., *Swida sanguinea*, *Viburnum lantana*). Tvoria mozaikové komplexy so zapojenými krovinkami. Veľkým problémom sa stáva agát (*Robinia pseudoacacia*), ktorý na úkor lúk tvorí miestami až súvislé porasty.

Sekundárnu sukcesiou nie sú ohrozené spoločenstvá na plynkých pôdach. Citlivé sú však na antropogénne zošľapávanie a disturbanciu stanovišť. Do tejto skupiny patria porasty zo zväzov *Alyssoides-Sedion albi* a *Bromo pannonicci-Festucion pallentis*.



Obr. 4. Reálna vegetácia

Vylúčením pastvy prechádzajú travinno-bylinné spoločenstvá v prvej fáze sukcesnej zmeny cez rôzne krovinné štadiá. Plocha krovín v rezervácii narastala do roku 1985. Vďaka aktívному manažmentu zo strany Správy CHKO Malé Karpaty sa podarilo znížiť pokryvnosť krovinných porastov, resp. dočasne obmedziť ich priestorové šírenie. Husto zapojené nízke kroviny zväzu *Prunion fruticosae* sa mozaikovo vyskytujú na výhrevných lokalitách s plytkým substrátom. Bylinné poschodie je oproti spoločenstvám lemov a lúk druhovo chudobnejšie. Prevažujú *Prunus spinosa* a *Cerasus fruticosa*. S vyššou pokryvnosťou sa vyskytuje *Swida sanguinea*. Do zväzu *Berberidion vulgaris* sme zaradili porasty krovín s výskytom *Prunus spinosa* subsp. *dasyphylla*, *Cerasus mahaleb* a *Crataegus monogyna*. Na mezofilnejších stanovištiach rastú aj *Cornus mas*, *Euonymus verrucosus*, *Rosa canina*, *Rubus fruticosus* agg., *Swida sanguinea*, *Ulmus minor* a *Viburnum lantana*. V bylinnom poschodí sa vyskytujú nitrofilné druhy *Galium aparine*, *Geum urbanum* a *Viola hirta* a viacero druhov sem preniká z kontaktných teplomilných lemových spoločenstiev zväzu *Geranion sanguinei*. Tieto porasty predstavujú 15,9 % z rozlohy NPR.

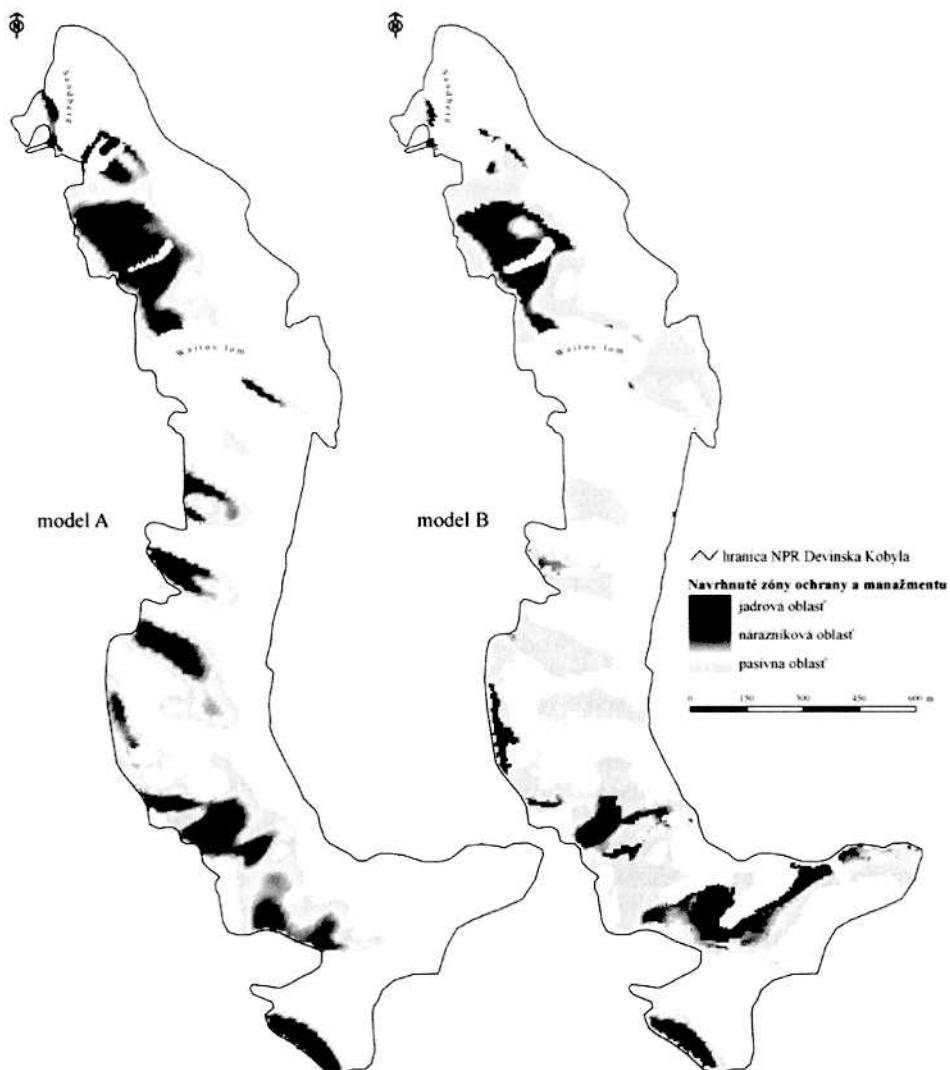
Prirodzené lesné spoločenstvá sú lokalizované takmer výlučne pozdĺž východnej hranice rezervácie. Najväčšie rozšírenie majú porasty inklinujúce k zväzu *Carpinion betuli*. Dubovo-hrabové lesy predstavujú 34,6 % z rozlohy lesných spoločenstiev, čo je 17,6 % z rozlohy NPR. Vyskytujú sa na mezofilných stanovištiach, na miestach s rendzinami a kambizemami. V stromovom poschodí dominujú *Carpinus betulus* a *Quercus dalechampii*. Fragmenty teplomilných dúbrav zaraďujeme do zväzu *Quercion pubescenti-petraeae* (19,8 % z rozlohy lesov a 10,1 % z rozlohy NPR). Charakteristický vzhlad bylinného poschodia vytvára *Brachypodium pinnatum* a *Carex michelii*. Do územia NPR okrajovo zasahujú monodominantné porasty buka lesného (zväz *Fagion sylvaticae*; 1 % z rozlohy lesov a 0,5 % z rozlohy NPR).

V rámci intenzívnych lesohospodárskych zásahov boli v NPR vysadené porasty líp (prevažne *Tilia cordata*), agátov (*Robinia pseudoacacia*), jaseňa mannového (*Fraxinus ornus*) a borovic (*Pinus nigra* a *P. sylvestris*), ktoré predstavujú 29 % z celkovej rozlohy lesov (14,7 % z rozlohy NPR). V súčasnosti sa všetky uvedené druhy vyskytujú subs spontánne. Porasty topoľov predstavujú nálet alochtonných taxónov *Populus nigra* a *Populus alba* (v lomoch aj *Populus tremula*).

Predikcia vegetácie

Použitím algoritmov na výpočet priestorového modelu potenciálu pre zachovanie teplomilnej vegetácie sme dostali dva veľmi podobné výsledky (model A a B, obr. 5). Ich vzájomné diferencie sa prejavujú najmä v strednej a juhovýchodnej časti rezervácie. Práve to je kľúčové pri výbere vhodnejšieho modelu. Model B vystihuje miesta spomalenej sukcesie mapované terénnym výskumom. Ide o lokality, ktorých abiotické vlastnosti krajiny vo vzájomnej koincidencii tvoria ideálne podmienky na výskyt teplomilných spoločenstiev. Preto sa viac prikláňame práve k tomu modelu. Z difúznej škály najtmavšia farba predstavuje „jadro“, ktoré má najvyšší potenciál pre zachovanie teplomilných rastlinných spoločenstiev. Ich dlhodobý výskyt nebude závislý na manažmentových zásahoch. V nárazníkovej oblasti jadra navrhujeme riadený aktívny manažment, kto-

rý by spočíval v kosení a odstraňovaní náletových drevín. Zvyšok územia odporúčame nechať bez manažmentových zásahov na voľný priebeh sekundárnej sukcesie. Manažment by vzhľadom na abiotické podmienky v tejto zóne bol pravdepodobne finančne náročný a z dlhodobého aspektu aj málo účinný. Predpokladáme, že a) územie nie je vhodné pre dlhodobý a ustálený výskyt teplomilných travinno-bylinných spoločenstiev, b) po prebehnutí sukcesného radu tu nastúpi klimax – teplomilné dubiny zo zväzu *Quercion pubescenti-petraeae*.



Obr. 5. Potenciál územia pre zachovanie teplomilných rastlinných spoločenstiev

V niektorých častiach rezervácie môžu vzniknúť na súčasných stanovištiach travinno-bylinných spoločenstiev súvislé porasty agátov, prípadne aj topoľov, ktoré sa v rezervácii presadzujú už v súčasnosti. Superpozíciou oboch modelov so súčasným stavom vegetácie je vidieť aj lokálny prekryv s miestami výskytu borovic. Tie boli v priestore rezervácie vysádzané a zaberajú 8,1 % z rozlohy NPR. Tieto porasty sa vyskytujú v dvoch variantoch. V pomerne riedkych sekundárnych porastoch borovic v podraste pretrvávajú druhy pôvodných spoločenstiev z triedy *Festuco-Brometea*. V hustých zapojených porastoch borovic sa po desiatkach rokov vplyvom opadu ihličia a zatienenia zmenilo druhové zloženie bylinného poschodia. Navrhujeme, aby sa výruby zamerali práve na tieto miesta.

DISKUSIA

Ochrana územia a jeho história

Plošné rozšírenie xerotermných travinno-bylinných spoločenstiev na Devínskej Kobyle bezprostredne súvisí s hospodárskou činnosťou človeka. Územie bolo niekoľkokrát odlesnené, zarovnané, resp. terasované a inak poľnohospodársky využívané. Vinohradníctvo v priestore Devínskej Kobyle siaha až do čias Keltov a Rimánov a nemeckej kolonizácie v 12. a 14. storočí. Zánik rossiahlych viníc spôsobila v 80. až 90. rokoch 19. storočia fyloxéra. Neskôr sa v niektorých bývalých viniciach pestovali ríbezle (cf. Kaliská 1997). Po odlesnení územia sa vytvorili vhodné podmienky pre výskyt termofilných taxónov.

Približne do polovice 20. storočia bola významným faktorom pre zachovanie xerotermných rastlinných spoločenstiev a ich druhového bohatstva najmä pasťa oviec, prípadne kôz (ukončená po roku 1949), kosenie a vypaľovanie (Kaleta 1965, Maglocký 1997). Ešte Ptačovský (1959) spomína pasenie veľkých stád oviec, ale tiež aj rozorávanie svahov. V roku 1964 na juhozápadných svahoch bola zriadená Štátnej prírodnnej rezervácií (ďalej „ŠPR“) Devínska Kobyľa na ploche 27,97 ha (Kocianová 1997). V tomto roku bolo na ploche 26 ha vyhlásené aj chránené nálezisko (ďalej „CHN“) Sandberg ako významná paleontologická lokalita. Rozloha pôvodnej ŠPR bola relatívne malá a lokality mnohých chránených druhov (napr. populácia *Ophrys sphegodes*) sa nachádzali mimo rezerváciu. ŠPR Devínska Kobyľa bola preto v roku 1986 rozšírená o územie medzi pôvodnou ŠPR a CHN Sandberg a o územie s mestnym názvom Merice. Tu sme zaznamenali relatívne prudký priebeh sekundárnej sukcesie. Nekonkurenčné prostredie a nízky abiotický potenciál spôsobil, že plošina na Mericiach s rozlohou približne 2 ha do roku 2003 (za 17 rokov) takmer celá zarástla krovinami (napr. *Berberis vulgaris*, *Crataegus monogyna*, *Viburnum lan-tana*).

Po vyhlásení ŠPR v roku 1964 bolo na území zakázané pasenie, kosenie a eliminácia drevín (Kocianová 1997). Z hľadiska predmetu ochrany územia (teplomilné lúky) to bolo rozhodnutie nesprávne. Po ukončení obhospodarovania v sekundárnych travinno-bylinných spoločenstvách vzrástla pokryvnosť vysokých druhov tráv (*Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum*), čím sa zredukoval prienik svetla do nižších vrstiev porastu a znemožnil sa výskyt niektorých druhov rastlín. Dominancia vysokých druhov tráv a následné neodstraňovanie

odumrenej biomasy (fytomasy) zabraňovalo klíčeniu semien a uchytávaniu semenáčikov mnohých druhov rastlín. Druhové bohatstvo v spoločenstvách klesalo a mnohé druhy sa z porastov vytrácali. Postupne sa zvýšila pokryvnosť drevín a sukcesia smeruje k návratu pôvodného lesného spoločenstva (Ryser et al. 1995, Poschlod et al. 1998, Dzwonko a Loster 1998, Münzbergová 2001, Miškovic 2005). Táto rýchlosť je vďaka extrémnej xericite stanovišť v porovnaní s mezofilnejšími typmi travino-bylinných porastov o niečo pomalšia. Absenciu pastvy v súčasnosti aspoň čiastočne nahradza mechanické narúšanie pôdy zo šlapovaním turistami (Janišová et al. 2007).

Počas štrnásťich rokov (1950 až 1964) bolo územie NPR Devínska Kobyla začlenené do hraničného pásma a verejnosti nepriistupné (Kaleta 1965). Silne negatívnym zásahom do územia bolo aj vysádzanie drevín vrátane nepôvodných (*Pinus nigra*, *Fraxinus ornus*, *Tilia cordata* a iné). V osemdesiatych rokoch 20. storočia boli vysadené dreviny (najmä borovice) opäť odstraňované. Zalesňovanie, defragmentácia a diverzifikácia porastov je markantná aj na leteckých snímkach. Vďaka pasívnej ochrane územia a neustálemu zalesňovaniu ostali z travinno-bylinných spoločenstiev len fragmenty.

Z hľadiska ochrany prírody Devínska Kobyla predstavuje aj jedinečné refúgium pre mimoriadne vzácne teplomilné druhy rastlín a živočíchov, viažuce sa na suché lúky. Degradácia stanovišť viedla k rapídному úbytku ich populácií. Žijú tu napr. aj bezkrídle samičky vzácnnej ságы stepnej (*Saga pedo*), ktorej výskyt na Devínskej Kobyle spracoval Vidlička et al. (2002). My sme dňa 10. júna 2008 (336 m n. m., orientácia ZJJ až JZ, sklon 20,79°) nad Waitovým lomom v porastoch blízkych asociácií *Geranio sanguinei-Dictamnetum albae* zaznamenali tri jedince. Problematike ohrozenia vzácných mykoríznych hmyzovníkov z čeľade *Orchidaceae* sme sa venovali v práci Senko a Miškovic (2006). Okrem *Ophrys apifera*, *O. holosericea*, *O. insectifera* a *O. sphegodes* na tomto mieste uvádzame možný výskyt *Ophrys holubyana* (16. máj 2008, Pavlovič nepubl., 234,5 m n. m., orientácia JZ, sklon 27°). Na základe trojlaločného vyklenutého pysku, bazálnych hrboľčekov a znaku na pysku s črtami *O. cornuta*, sme sa predbežne priklonili k *O. holubyana*².

Manažment územia

Pre zachovanie a obnovu druhovo bohatých travinno-bylinných spoločenstiev je potrebné vhodným spôsobom realizovať manažmentové zásahy. Všeobecne môžeme za vhodný režim považovať obnovenie tradičného spôsobu obhospodarovania, počas ktorého malí spoločenstvá optimálne druhové zloženie a diverzitu. Ked'že druhové bohatstvo úzko súvisí s redukciami dominancie prevládajúcich druhov vysokosteblových tráv, pri výbere vhodného manažmentového režimu je potrebné prihliadať aj na skutočnosť, ktorý druh v spoločenstve dominuje (Senko a Miškovic 2006). V travinno-bylinných spoločenstvách na Devínskej Kobyle je dominantným druhom *Bromus erectus*, preto treba zvoliť vhodný typ zásahu zameraný na redukciu dominancie tohto druhu. Baláz

² Rodičovský taxón – *Ophrys holosericea* – je variabilný a populácia, kde sme tento taxón zaznamenali, je malá. Rozdelenie variability nie je kontinuálne, čím je determinácia tohto hybridného taxónu nesmierne tažká.

(1994), ktorý sa zaoberal možnosťami zachovania a obnovy travinno-bylinných spoločenstiev na Devínskej Kobyle konštatuje, že kosením nedochádza k redukcii druhu *Bromus erectus* a na jeho potlačenie sa najlepšie uplatňuje pastva. Práve extenzívna pastva oviec predstavuje na Devínskej Kobyle tradičný spôsob obhospodarovania. Jej ukončenie sa odráža aj vo fytocenologickom zložení vegetácie. Domnievame sa, že druh *Festuca valesiaca*, ktorý je dominantným taxónom spoločenstva *Festuco valesiacae-Stipetum capillatae* (v čase ukončenia pastvy plošne najrozšírenejšie spoločenstvo), sa postupne vytrácal. Zo stanovišť ho vytľáčal konkurenčný druh *Festuca rupicola*, ktorý horšie znáša zošľapávanie a pastvu. Vzhľadom na relatívne vysoké zastúpenie druhov zo zväzu *Festucion valesiacae* a radu *Festucetalia valesiacae*, sa v súčasnosti na Devínskej Kobyle v prevažnej miere nachádzajú porasty sekundárnych sukcesných štadií asociácie *Festuco valesiacae-Stipetum capillatae*. Floristické zloženie týchto porastov poukazuje na smerovanie vegetácie k subxerofilnejším a mezofilným typom. Zastúpenie druhov, ako napr. *Dictamnus albus* a *Peucedanum cervaria* poukazuje na blízkosť k lemovým spoločenstvám zo zväzu *Geranion sanguinei*. Druhy ako *Anthericum ramosum*, *Betonica officinalis*, *Bromus erectus*, *Calamagrostis epigejos*, *Onobrychis arenaria*, *Scorzonera hispanica*, *Pyrethrum corymbosum* a *Thesium linophyllum* naznačujú smerovanie k mezofilnejšiemu zväzu *Cirsio-Brachypodion pinnati*. Ryser et al. (1995) a Köhler et al. (2005) na základe niekoľkoročného experimentu uvádzajú, že na redukciu dominancie druhu *Bromus erectus* je vhodné kosenie raz ročne v októbri a tiež kontrolované vypaľovanie, ktoré však favorizuje predovšetkým geofity (Kahmen et al. 2002) a druhy so zásobou semien v pôde (Münzbergová 2001). Každoročné kontrolované vypaľovanie sice zabraňuje akumulácií odumretej biomasy, viedie však k podobnému poklesu druhového bohatstva ako sekundárna sukcesia po ukončení obhospodarovania (Ryser et al. 1995). Sýkora et al. (1990) upozornujú, že kontrolované vypaľovanie nie je možné použiť na zachovanie travino-bylinných spoločenstiev na vápencoch, pretože značne favorizuje druh *Brachypodium pinnatum*, ktorý je subdominantou aj v porastoch s dominanciou *Bromus erectus* na Devínskej Kobyle.

Evidovaný aktívny manažment zo strany Správy CHKO Malé Karpaty sa v NPR (čiastočne aj mimo nej) začal až od roku 1995. Odstraňujú sa náletové dreviny a určité časti rezervácie sa aj kosia. Udržiavané areály predstavujú 42,75 % z rozlohy travinno-bylinných spoločenstiev (stav k roku 2003), čo predstavuje len 14,27 % z celkovej rozlohy NPR. Za obdobie 1995 až 2006 sa kosenie vykonávalo v jesennom období, prípadne na konci leta. Kroviny sa odstraňovali v jesennom a zimnom období. Aby sa zabránilo „zmladzovaniu“, na rezné rany sa aplikoval náter neselektívneho herbicídu *Roundup*. Z náletových drevín sa v jarnom období odstraňovali borovice a agáty. V súčasnosti, a najmä po roku 1989, územie NPR čeli enormnému silnému antropickému vplyvu. Okrem zaťaženia krajiny návštěvníkmi samotná rezervácia je aj v tesnej blízkosti sídiel.

Výber prediktívneho modelu

Predikcia spočíva v nájdení modelu, ktorý by na základne kombinácie historických a súčasných vstupov predikoval budúce hodnoty. Významným problémom pri prediktívnom modelovaní je jeho spoľahlivosť. Voľba vhodných pre-

diktívnych metód je preto nesmierne dôležitá. Rovnako aj kvalita výsledného modelu odráža kvalitu vstupných údajov. Pre nás učel boli vhodné dve metódy (model A: „*Distance to Average*“ a model B: „*Climate Space Model – Broken-Stick*“). Ich výsledné modely reflekujú na zmenu morfometrických vlastností a zároveň majú interpretatívne priestorové rozloženie dát. Použitý algoritmus normalizuje hodnoty environmentálnych premenných a ich atribúty podľa celkového počtu premenných. Syntax počíta priemerný bod v environmentálnom priestore, pričom uvažuje všetky body uvedeného výskytu. Pri vykreslovaní výsledkov použije euklidovskú vzdialenosť medzi priemerným bodom a každým bodom v environmentálnom priestore. Pokiaľ je vzdialenosť v priestore atribútov [0, maximálna vzdialenosť], potom je pravdepodobnosť výskytu lineárna [1,0]. Ak je vzdialenosť väčšia ako maximálna vzdialenosť, potom bude pravdepodobnosť nulová. Druhý algoritmus má podstatu v analýze hlavných komponentov, ktorých proces výberu je založený na metóde *Broken-Stick cutoff*. Syntax neuvažuje o komponentoch, ktorých vlastná hodnota je menšia ako hodnota smerodajnej odchýlky náhodnej vzorky. Metóda *Broken Stick* vyberá počet náhodných charakteristických čísel ako číslo komponentov prostredníctvom transformácie poradia riadkov každého stĺpca v environmentálnej matici. Tým získá vlastnú hodnotu transformačnej matice.

ZÁVER

Detailné analýzy leteckých snímok od roku 1949 boli bázou pre zhodnotenie dynamiky sekundárnej sukcesie. Priestorová diferenciácia vegetácie je tu výrazne podmienená aj vzájomnými väzbami medzi spoločenstvami, signifikantne najmä na kontaktných zónach. Z hľadiska vzťahu k morfometrickým charakteristikám georeliéfu sa lesné spoločenstvá vyskytujú na chladnejších mikrolokálitách s aspektom Z až ZSZ. Teplomilné kroviny zo zväzu *Berberidion vulgaris* sa viažu na suché a výrazne oslnené biotopy. Krovinné plášte sa nachádzajú na mezofilných stanovištiach s centrom rozšírenia na plošinách. Travinno-bylinné spoločenstvá zo zväzu *Bromo pannonicci-Festucion pallentis* sa vyskytujú na lokalitách, v ktorých koincidencia oslnenia, aspektu a sklonu vytvorila extrémne suché podmienky. Spoločenstvá blízke zväzu *Festucion valesiacae* tvoria mozaikové prechody so spoločenstvami inklinujúcimi k zväzu *Cirsio-Brachypodium pinnati*. Tie sa viažu na mezofilnejšie stanovištia miernejších svahov so stredne hlbokými až hlbokými pôdami. Spoločenstvá zo zväzu *Geranion sanguinei* sa vyskytujú najmä na ekotónoch s dubmi z okruhu *Quercus pubescens* agg., v kontakte so spoločenstvami zväzu *Festucion valesiacae*.

Priestorový model potenciálu (model B) pre uchovanie vzácných teplomilných spoločenstiev Devínskej Kobyle má bezprostredné aplikačné využitie v manažmente tohto vzácneho územia, a to aj napriek tomu, že nie je ideálny. Domnievame sa, že je funkčný. Kvalita výsledného modelu odráža kvalitu vstupných údajov. Predpokladáme, že presnosť výsledkov sa môže výrazne zlepšiť použitím informácií o fyzikálno-chemických vlastnostiach pôd, detailnejšieho DMR na báze LIDAR-ových dát, zakomponovaním charakteristík krajinnej pokrývky (prostredníctvom albeda) a v spresnení extrapolačných rovnic modelov diferenciácie teplôt pôd a zrážok.

Výskum na území NPR Devinska Kobyla povolilo Ministerstvo životného prostredia SR pod číslom 193/45/03-5.1. Práca bola súčasťou riešenia projektov Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a SAV (VEGA) č. 1/3277/06 a 1/4042/07.

LITERATÚRA

- ANDERSON, R. P., LEW, D., PETERSON, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 162, 211-232.
- BALÁZ, D. (1994). Sukcesia xerotermných spoločenstiev na Devínskej Kobyle a ich praktická ochrana. *Daphne*, 2, 6-7.
- BARKMAN, J. J., DOING, H., SEGAL, S. (1964). Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. *Acta Botanica Neerlandica*, 13, 394-419.
- BECKER, A., KORNER, C., BRUN, J. J., GUISAN, A., TAPPEINER, U. (2007). Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mountain Research and Development*, 27, 58-65.
- BOBBINK, R., DURING, H. J., SCHREURS, J., WILLEMS, J., ZIELMAN, R. (1987). Effects of selective clipping and mowing time on species diversity in chalk grassland. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 22, 363-376.
- BONK, R. (2003). *Scale-dependent Impact of selected factors on morphometric parameters accuracy and automated geomorphological mapping*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- BRAUN-BLANQET, J. (1964). *Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien, New York (Springer).
- CARPENTER, G., GILLISON, A. N., WINTER, J. (1993). DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of animals and plants. *Biodiversity and Conservation*, 2, 667-680.
- CARRARA, A., BITELLI, G., CARLA, R. (1997). Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. *International Journal of Geographical Information Science*, 11, 451-473.
- CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., ŠURI, M. (2002). Processing digital terrain models by regularized spline with tension: tuning interpolation parameters for different input datasets. In Ciolli, M., Zatelli, P., eds. *Proceedings of the "Open source free software GIS-GRASS users conference 2002"*, Trento, Italy, 11. - 13. 9. 2002. CD-ROM.
- COUSINS S. A. O., IHSE, M. (1998). A methodological study for biotope and landscape mapping based on CIR aerial photographs. *Landscape and Urban Planning*, Elsevier, 41, 183-192.
- COUSINS, S. A. O., AGGEMYR, E. (2008). The influence of field shape, area and surrounding landscape on plant species richness in grazed ex-fields. *Biological Conservation*, 141, 126-135.
- DESMET, P. J. J. (1997). Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 563-580.
- DOMÍN, K. (1931). Brachypodietum na Kobyle u Bratislav. *Veda prirodni*, 12, 57-61.
- DZWONKO, Z., LOSTER, S. (1998). Dynamics of species richness and composition in limestone grasslands restored after tree cutting. *Journal of Vegetation Science*, 9, 387-394.
- FALŤAN, V. (2005). *Velkomierkové mapovanie vegetácie a krajinnej pokrývky*. Bratislava (Univerzita Komenského).
- FERANEK, J., OTAHEL, J. (2003). Mapovanie krajinnej pokrývky a zmien krajiny pomocou údajov diaľkového prieskumu Zeme. *Životné Prostredie*, 37, 25-29.

- FERÁKOVÁ, V., HAJDÚK, J. (1984). Ďalšia etapa botanického výskumu modelového územia Devínska Kobyla pri Bratislave, s dôrazom na antropicky podmienené zmeny flóry a vegetácie. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Formatio et Protectio Naturae*, 9, 39-48.
- FERÁKOVÁ, V., KOCIANOVÁ, E. eds. (1997). *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylly*. Bratislava (Litera pre APOP).
- GEHRIG-FASEL, J., GUISAN, A., ZIMMERMANN, N. E. (2008). Evaluating thermal treeline indicators based on air and soil temperature using an air-to-soil temperature transfer model. *Ecological Modelling*, 213, 345-355.
- GUISAN, A., ZIMMERMANN, N. E., ELITH, J., GRAHAM, C., PHILLIPS, S., PETERSON, A. T. (2007). What matters for predicting spatial distributions of trees: techniques, data, or species' characteristics? *Ecological Monographs*, 77, 615-630.
- HAJDÚK, J. (1986). Výsledky z výskumu zmien vegetácie na trvalých pokusných plochách a ich význam pre riadenie štátnej prírodnej rezervácie Devínska Kobyla. *Ochrana prírody*, 7, 79-105.
- HAJDÚK, J. (1997). Experimentálny výskum a záznamy stavu vegetácie na trvalých výskumných plochách na Devínskej Kobyle. In Feráková, V., Kocianová, E., eds. *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylly*. Bratislava (Litera pre APOP), pp. 155-157.
- HENGL, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*, 32, 1283-1298.
- HLÁSNY, T. (2007). *Geografické informačné systémy – priestorové analýzy*. Banská Bystrica (Zephyros a Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen).
- HOFIERKA, J., ŠÚRI, M. (2002). The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications. In Ciolfi, M., Zatelli, P., eds. *Proceedings of the "Open source free software GIS-GRASS users conference 2002", Trento, Italy, 11-13 September 2002*. CD-ROM.
- JANIŠOVÁ, M., HÁJKOVÁ, P., HEGEDÜŠOVÁ, K., HRJVNÁK, R., KLIMENT, J., MICHÁLKOVÁ, D., RUŽIČKOVÁ, H., REZNIČKOVÁ, M., TICHÝ, L., ŠKODOVÁ, I., UHLIAROVÁ, E., UJHAZY, K., ZALIBEROVÁ, M. (2007). *Travinnobylinná vegetácia Slovenska – elektronický expertný systém na identifikáciu syntaxónov*. Bratislava (Botanický ústav SAV).
- JAROLÍMEK, I. (1997). Ruderálna vegetácia (stručná charakteristika). In Feráková, V., Kocianová, E., eds. *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylly*. Bratislava (Litera pre APOP), pp. 32-33.
- JAROLÍMEK, I., ŠIBIK, J., HEGEDÜŠOVÁ, K., JANIŠOVÁ, M., KLIMENT, J., KUČERA, P., MAJEKOVÁ, J., MICHÁLKOVÁ, D., SADLOŇOVÁ, J., ŠIBIKOVÁ, I., ŠKODOVÁ, I., UHLIROVÁ, J., UJHAZY, K., UJHÁZYOVÁ, M., VALACHOVIC, M., ZALIBEROVÁ, M. (2008). *Diagnostic, constant and dominant species of the higher vegetation units of Slovakia*. Bratislava (Veda), v tlači.
- KALETA, M. (1965). *Vegetačné pomery Devínskej Kobylly*. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- KALISKÁ, G. (1997). Vývoj osídlenia a antropicky podmienené zmeny krajiny. In Feráková, V., Kocianová, E., eds. *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylly*. Bratislava (Litera pre APOP).
- KAHMEN, S., POSCHLOD P., SCHREIBER K. F. (2002). Conservation management of calcareous grasslands. Changes in plant species composition and response of functional traits during 25 years. *Biodiversity and Conservation*, 104, 319-328.
- KOCIANOVÁ, E. (1997). Problematika ochrany prírody v komplexe Devínska Kobyla. In Feráková, V., Kocianová, E., eds. *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylly*. Bratislava (Litera pre APOP).

- KÖHLER, B., GIGON, A., EDWARDS, P. J., KRÜSI, B., LANGENAUER, R., LÜSCHER, A., RYSER, P. (2005). Changes in the species composition and conservation value of limestone grasslands in northern Switzerland after 22 years of contrasting managements. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 7, 51-67.
- LANGRAN, G. (1992). *Time in geographic information systems*. London (Taylor and Francis).
- LASSUEUR, T., JOOST, S., RANDIN, CH. F. (2006). Very high resolution digital elevation models: do they improve models of plant species distribution? *Ecological Modelling*, 198, 139-153.
- MAGLOCKÝ, Š. (1997). Prirodzené a poloprirodzené rastlinné spoločenstvá. In Feráková, V., Kocianová, E., eds. *Flóra, geológia a paleontológia Devínskej Kobylky*. Bratislava (Litera pre APOP), pp. 28-32.
- MALINÍKOVÁ, E. (2003). *Xerotermná a subxerotermná vegetácia Devínskej Kobylky*. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- MARHOLD, K., HINDÁK, F. (1998). *Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska*. Bratislava (Veda).
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. (1980). Geomorfologické jednotky. *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. Bratislava (SAV a SUGK).
- MICHALKO, M. (1977). *Lesné spoločenstvá Devínskej Kobylky*. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- MINÁR, J., BARKA, I., BONK, R., BIZUBOVÁ, M., ČERŇANSKÝ, J., FALŤAN, V., GAŠPÁREK, J., KOLÉNÝ, M., KOŽUCH, M., KUSENDOVÁ, D., MACHOVÁ, Z., MIČIAN, L., MIČIETOVÁ, E., MICHALKA, R., NOVOTNÝ, J., RUŽEK, I., ŠVEC, P., TREMBOŠ, P., TRIZNA, M., ZAŤKO, M. (2001). *Geokolický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach*. *Geografické spektrum*, 3. Bratislava (Geografika).
- MIŠKOVIC, J. (2005). *Dynamické zmeny vegetácie a flóry – časové a štrukturálne gradienty*. Písomná práca k dizertačnej skúške, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- MIŠKOVIC, J., DÚBRAVCOVÁ, Z. (2003). Zmeny v lesných spoločenstvách na Devínskej Kobyle (JZ Slovensko). *Bulletin Slovenskej botanickej spoločnosti*, 25 157-168.
- MIŠKOVIC, J., DÚBRAVCOVÁ, Z. (2004a). Spoločenstvo Poo badensis-Festucetum pallentis Klika 1931 corr. Zólyomi 1966 na Devínskej Kobyle po 36 rokoch. *Bulletin Slovenskej botanickej spoločnosti*, Supplement, 10, 160-165.
- MIŠKOVIC, J., DÚBRAVCOVÁ, Z. (2004b). Zmeny v spoločenstve Ranunculo illyrici-Festucetum valesiacae Klika 1931 na Devínskej Kobyle po 36 rokoch. *Bulletin Slovenskej botanickej spoločnosti*, 26, 185-192.
- MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J. (1993). Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modelling and surface geometry analysis. *Mathematical Geology*, 25, 657-659.
- MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L. (1993). Interpolation by regularized spline with tension: I. theory and implementation. *Mathematical Geology*, 25, 641-655.
- MURDÝCH, Z. (1985). *Dálkový průzkum Země*. Praha (Academia).
- MÜNZBERGOVÁ, Z. (2001). Obnova druhově bohatých xerotermních trávníků na příkladu rezervací Stráně u splavu a Stráně u Chroustova. *Příroda*, 19, 101-121.
- NÁBĚLEK, V. (1939). *Caricetum nitidae – asociace vzácných rostlin*. *Věda přírodní*, 19, 181.
- NETELER, M., MITÁŠOVÁ, H. (2004). *Second edition Kluwer international series in engineering and computer* (2004). *Open source GIS: A GRASS GIS approach*. Boston (Kluwer Academic Press).
- OŤAHEL, J., FERANEC, J., ŠURI, M. (1994). Land cover mapping of the Morava floodplain (by application of colour infrared aerial photographs and GIS SPANS). *Ekológia (Bratislava)*, 13, 21-28.

- PEARMAN, P. B., RANDIN, C. F., BROENNIMANN, O., VITTOZ, P., KNAAP, W. O., ENGLER, R., LAY, G. L., ZIMMERMANN, N. E., GUISAN, A. (2008). Prediction of plant species distributions across six millennia. *Ecology Letters*, 11, 357-369.
- PIEDALLU, CH., GÉGOOUT, J.-C. (2008). Efficient assessment of topographic solar radiation to improve plant distribution models. *Agricultural and Forest Meteorology*, (v tlači).
- POSCHLOD, P., KIEFER, S., TRÄNKLE, U., FISCHER, S., BONN, S. (1998). Plant species richness in calcareous grasslands as affected by dispersability in space and time. *Applied Vegetation Science*, 1, 75-90.
- PTAČOVSKÝ, K. (1959). Poznámky ke kvetení bratislavského okolia. *Biologické práce*, 5, 1-87.
- RODRÍGUEZ, J. P., BROTONS, L., BUSTAMANTE, J., SEOANE, J. (2007). The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions*, 13, 243-251.
- RYSER, P., LANGENAUER, R., GIGON, A. (1995). Species richness and vegetation structure in a limestone grassland after 15 years management with six biomass removal regimes. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica*, 30, 157-167.
- SADLONOVA, J. (2004). Lesné spoločenstvá Devínskej Kobylky. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- SADLONOVA, J. (2006). Výskyt xerothermnych lesných spoločenstiev vo vzťahu k morfológii stanovišť na príklade Devínskej Kobylky. *Bulletin Slovenskej botanickej spoločnosti*, Supplementum, 2, 14, 35-48.
- SENKO, D. (2004). Diferenciácia vegetácie vo vzťahu k topoklimu a vybraným charakteristikám krajiny v severozápadnej časti Devínskej Kobylky. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- SENKO, D. (2005). Diferenciácia vegetácie vo vzťahu k oslneniu georeliéfu v severozápadnej časti Devínskej Kobylky. *Geografický časopis*, 57, 361-376.
- SENKO, D. (2006). Stacionárny a polostacionárny geoekologický výskum v oblasti Devínskej Kobylky. Písomná práca k dizertačnej skúške, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- SENKO, D. (2007a). Dynamika zmien a mapovanie reálnej vegetácie v NPR Devínska Kobyla. Rigorózna práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- SENKO, D. (2007b). Geoekologická analýza vzťahu vegetácie a abiotického prostredia v oblasti Devínskej Kobylky. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava.
- SENKO, D., MIŠKOVIC, J. (2006). Návrh na manažment biotopov vybraných taxónov z rodu Ophrys L. (Orchidaceae) na Devínskej Kobyle. *Miscellanea Geographica, Universitatis Bohemiae Occidentalis*, 12, 47-61.
- STOCKWELL, D. R. B., PETERS, D. P. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13, 143-158.
- SÝKORA, K. V., VAN DER KROYT, G., RADEMAKERS, J. (1990). Vegetation change on embankments in the south western part of the Netherlands under the influence of different management practices (in particular sheep grazing). *Biodiversity and Conservation*, 52, 49-81.
- VIDLIČKA, L., JANSKÝ, V., FEDOR, P. J., KRUMPÁL, M., LUKÁŠ, J. (2002). Distribution of Saga pedo (Pallas, 1771) in Slovakia. *Articulata*, 17, 95-100.
- VYSOUDIL, M. (1998). Současné možnosti topoklimatického mapování a jeho význam pro hodnocení životního prostředí. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešoviensis, Prirodné vedy, Folia Geographica*, 2, 75-80.
- VYSOUDIL, M. (2000). Topoklimatické mapování: od teorie k praxi. *Geografický časopis*, 52, 137-150.

- WILLEMS, J. H. (1983). Species composition and above ground phytomass in chalk grassland with different management. *Vegetatio*, 52, 171-180.
- ZLINSKA, J. (2004). *Adonio-Brachypodietum pinnati* (Libbert 1933) Krausch 1961 na Devínskej Kobyle. *Biosozologia*, 2, 49-61.

Dušan Senko, Ján Miškovič, Michal Gallay,
Katarína Senková Baldaufová

DYNAMICS OF VEGETATION CHANGES AND ITS PREDICTION ON THE DEVÍNSKA KOBYLA MOUNTAIN

The assessment of the secondary succession dynamics was based on a detailed analysis of aerial photographs captured since 1949. The succession processes on the Devínska Kobyla Mountain are manifestations of the interruption of the traditional land use and an inappropriate human intervention (e.g. planting of alien wood species). After the cessation of extensive grazing, meadow cutting, and burning, the coverage of tall, grasses mostly (*Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum*), increased which led to reduction of light penetrating into the understorey. The diversity of the plant communities declined and many species disappeared. Since 1949, a continuous area of xerothermophilous pastures (at the time 85.8 % of the total area) had been greatly fragmented into a mosaic of xerophilous and subxerophilous grass-herbaceous habitats covering only 61.1 % of the previous area. Due to the exclusion of grazing the grass-herbaceous land was transformed through different stages, from a mosaic of shrubland and woodland to thermophilous oak forest. The spatial differentiation of the vegetation cover is also strongly determined by mutual interactions between the plant communities, at the contact zones in particular. Xerophilous species of grass-herbaceous communities are suppressed with large-leave herbs spreading here from the thermophilous oak forests. With regard to the morphometric parameters of georelief, the forest communities occupy relatively cooler micro-sites with W to WNW aspect. Thermophilous shrubland of the alliance *Berberidion vulgaris* tend to grow on strongly insolated biotops. Shrubland cover is associated with mesophilous sites mainly located on plateaux. Grass-herbland of the alliance *Bromo pannonicci-Festucion pallentis* prefer extremely dry and warm spots due to coinciding slope angle, slope aspect and insolation characteristics. The communities closely related to the *Festucion valesiacae* alliance form mosaic-like transfer zones inclining to the *Cirsio-Brachypodion pinnati* alliance. The latter grow on more mesophilous gently sloping sites with medium deep to deep soils. The communities of the *Geranion sanguinei* alliance rimmed oaks in the transition zone of the *Quercus pubescens* agg. and the *Festucion valesiacae* alliance. The part of the work concerned with real vegetation and its spatial-temporal changes can be considered the most significant contribution to the research into vegetation on Devínska Kobyla.

The spatial model (model B) for conservation of the valuable thermophilous communities of Devínska Kobyla is directly applicable within the management of this precious area. Despite the model not being ideal, it is argued that it is functional. The quality of the outputs reflect the quality of the input data. It is believed, that the outputs of the model can be greatly improved through: (i) the use of information relating to the physical and chemical properties of the soil, (ii) a more detailed DEM based on LIDAR acquisition, (iii) embedding some properties of the landcover such as albedo, and (iv) improvement of the extrapolation formulas of the models for temperature and precipitation differentiation.