

ČÍM MOHOU PODROBNÉ FENOLOGICKÉ MAPY ÚZEMÍ S ČLENITÝM RELIÉFEM PŘÍSPĚT BIOKLIMATOLOGICKÉMU VÝZKUMU?

Marie Vymazalová

*Department of Botany and Zoology, Faculty of Science, Masaryk University,
Kotlářská 2, CZ-611 37, Brno, Czech Republic, Meri@seznam.cz*

Abstract:

From the beginning of the phenology scientists attempted to make phenological maps. These maps were initially created only for practical use in agriculture or in forestry. They were not enough detailed and were covering large areas. Nowadays, when there is general tendency to preserve at least small fragments of valuable biotopes of disturbed or degraded landscape, importance of detailed studies increases.

A relatively unknown aspect of plant phenological traits evaluation is phenological mapping of landscape comparing the seasonal development of plant communities at different sites. This method was for the first time used by Ellenberg in 1954 and it became very popular in Germany, Switzerland and Mediterranean. The main advantage of this method is the possibility of obtaining quite a large dataset during one season or observation. Moreover, it is possible to manage the observation by one person only, so we can avoid the problems caused by different subjective observation. Detailed phenological map of a study area is very common output of this method. Because the global changes of climatic system are currently in progress, these maps are really valuable especially for nature protection. The progress of invading plant and animal species disperses on the local scale can be predicted and fight against such species are then more time-effective. In addition, these maps could be used to choose the best localities for successful reintroduction.

The aim of this study was a comparison of early and late spring plant phenological traits, which were studied on the example of three main Moravian Karst valleys vegetation. A remarkable feature of this area is varied topographically complex landscape characterized by narrow V-shaped stream valleys deeply incised into a limestone plateau. I observed phenological shift of selected woody species on 83 preferentially chosen localities during the spring seasons 2004-2006 with very different early spring temperatures. Sampled plots included the habitats from potentially extremely warm to extremely cold ones. Shift in phenological development was categorized into 6 phases, from phenologically most advanced to the most delayed habitats. Local state of phenological development for each plot was counted as an average of phenological stages of all trees and shrubs observed. Because each valley is an independent complex separated from the others by agricultural plateau, we could not apply common method of distance approximation for observed localities.

Temperatures play a crucial role in the spring phenological shift. The relief has the most important influence on a distribution of maximal and minimal day temperatures. However, the variables related to relief do not affect the temperatures directly. Many researchers try to transform these variables into various temperature indexes and energetic balance values. For detailed phenological map modeling I used the input dataset containing 5 temperature indexes and energetic balance variables, also altitude and slope. Because a relation between dependent and independent variables was nonlinear, it was not possible to apply standard regression. Therefore, I used nonparametric methods such as neural networks and decisions trees.

Keywords: phenological maps, Moravian Karst, neural networks, decisions trees

1) Úvod

Poměrně málo známým aspektem hodnocení fenologických projevů rostlin je metoda fenologického mapování krajiny srovnáváním sezónního vývoje rostlinných

společenstev v členitém terénu. Tato metoda byla poprvé představena Ellenbergem v roce 1954. Velké obliby dosáhla metoda zejména v Německu, Švýcarsku a Středo-moří. Její výhoda spočívá především ve

shromáždění poměrně velkého množství dat během jedné sezóny či pozorování. Pozorování je přitom schopen provádět i jediný výzkumník, takže se vyhneme rozdílností subjektivního pozorování více výzkumníků. Při aktuálně probíhajících globálních změnách klimatického systému je pak takováto mapa velmi cenná především pro ochranu přírody, která takto může předvídat postup šíření invazních druhů rostlin i živočichů (např. škůdců) v daném území a provést díky tomu včasné opatření. Dalším významným využitím těchto podrobných fenologických map je výběr lokalit vhodných pro úspěšnou reintrodukcii.

Při spojení této metody s přístrojovým měřením teplot vzduchu na pozorovaných lokalitách pak lze testovat využitelnost podrobných fenologických map také jako map teplotních. A protože za rozhodující charakteristiku pro hodnocení nástupu jednotlivých fenofází v jarních měsících lze považovat sumu efektivních teplot vzduchu na lokalitě (Begon et al. 1995, Bednářová & Merková 2005, Škvareninová et al. 2006, Střelcová et al. 2006), u dřevin mírného pásma má pak vliv na nástup fenologických a růstových fází denní teplota nad 5°C (Larcher 1988), můžeme z jediného fenologického pozorování kvantifikovat sumy teploty potřebné pro dosažení jednotlivých fenofází.

V okolí Brna k fenologickému mapování krajiny srovnáváním sezónního vývoje rostlinných společenstev přímo vybízí Moravský kras. Téměř dokonale splňuje všechny 3 kritéria studie: je územím dostatečně malým (81 km²) a zároveň se vyznačuje velmi členitým terénem z velké části pokrytým relativně zachovalými společenstvy listnatých lesů.

Při zpracování dat ze tří odlišných, poměrně ostře ohraničených a několik kilometrů od sebe vzdálených údolí nelze k modelování použít metodu aproximace vzdáleností. V ekologii je velmi častý pří-

pad, že vztahy mezi závislými i nezávislými proměnnými jsou nelineární, pro tyto případy kdy nelze použít klasických regresních metod, byly vyvinuty neparametrické metody, které dokáží vyjádřit i nelineární vztahy a zároveň mají menší požadavky na rozložení závisle proměnné (Lek et al. 1996). Mezi tyto metody patří například neuronové sítě a rozhodovací stromy. Neuronové sítě jsou velice účinným nástrojem pro modelování, obzvláště pokud neznáme základní vztahy mezi proměnnými (Lek & Guégan 1999). A protože neuronové sítě nemají žádné požadavky na kvalitu vstupních dat (Černá & Chytrý 2005), jsou velice atraktivní metodou pro ekologický výzkum (Foody 1999). Snadno aplikovatelným nástrojem pro účely regresních i klasifikačních predikcí jsou rozhodovací stromy (Pošík 2005), které obsahují dostatečně flexibilní a robustní analytické metody pro práci s nelineárními vztahy, interakcemi vyššího řádu a chybějícími hodnotami (De'ath & Fabricius 2000). Pro objasnění některých výsledků byla provedena moderní fytoocenologická studie údolí Říčky a Josefovského údolí.

2) Materiál a metody

Moravský kras (MK) je tvořen pruhem devonských vápenců vinoucích se od SV okraje Brna asi 25 km severně k obci Sloup. Geomorfologické členění na severní Suchdolské plošiny, střední Rudické plošiny a jižní Ochozské plošiny sleduje severojižní gradient území, s nímž souvisí také nárůst teploty, úbytek srážek a pokles nadmořské výšky. Pro fenologické srovnání jednotlivých částí MK jsem použila hlavní krasové údolí každé z částí. Na severu to byl Suchý žleb a Pustý žleb, oblast, kde mezi sebou svírají Chobot (úzký výběžek jižní části Macošské plošiny). Ve střední části Josefovské údolí (také údolí Křtinského potoka) táhnoucí se západně od obce Křtiny k Adamovu. A v jižní části údolí Říčky, které přichází k obci Ochoz ze severovýchodu a pokračuje jihozápadním

směrem přibližně do půli pozorované oblasti, zde se pak mohutnými meandry stáčí k jihu.

Lokalities pro pozorování časně jarních fenologických projevů dřevin MK byly vybrány subjektivně dle orientace svahů, nadmořské výšky, rovnoměrné distribuce sledující členitost terénu a zastoupení vegetace (lokality s výskytem lesních monokultur nebyly zahrnuty). Celkem jsem pozorovala 83 lokalit o velikosti 20 x 30 m, v údolí Říčky 35 lokalit (obr. 1), v Josefovském údolí 34 lokalit (obr. 2) a v Suchém žlebu a Pustém žlebu 14 lokalit (obr. 3). V letech 2004–2006 jsem mapovala časně jarní fenologické projevy rostlin v období náležitým podle Dierschkeho (1995) do 2. synfenologické třídy, fáze *Acer platanoides*-*Anemone nemorosa*. V roce 2004 jsem při předběžném jarním pozorování fenologického vývoje vegetace tří hlavních krasových údolí Moravského krasu zvolila jako hlavní pozorované druhy dřevin tyto: *Carpinus betulus* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer platanoides* L., *Lonicera xylosteum* L., *Cornus mas* L. a *Sambucus nigra* L. Výběr dřevin pro všechna jarní fenologická pozorování jsem každoročně podřídila jejich časově přibližně souběžnému fenologickému vývoji a hojnému výskytu na pozorovaných lokalitách. V letech 2005 a 2006 jsem v časném jaru sledovala třikrát týdně vegetaci v údolí Říčky (lokality č. 102, 105, 107, 132 a 135), až dosáhla přibližně stejného stupně fenologického vývoje jako při pozorování v roce 2004. V této době jsem pak provedla v průběhu čtyř po sobě následujících dnů nové pozorování. Pro srovnání výskytu pozorovaných druhů dřevin na lokalitách všech tří údolí jsem hodnoty vyjádřila v procentech (obr. 4). Každé z fenologických pozorování jsem započala na jižním konci údolí Říčky. Toto údolí začíná na hranici mezofytika s termofytikem (Skalický 1988), a vždy vykazovalo největší fenologický posun vegetace. V případě, že by bylo fenolo-

gické pozorování započato od nejchladnější lokality, vegetace v údolí Říčky by čtvrtý den pozorování již vykazovala velký posun ve fenologickém vývoji. Při každém pozorování byla vegetace na jižních svazích údolí Říčky na nejvyšším stupni fenologického vývoje - tento stupeň jsem označila číslem 1 a zaznamenala jsem, jak jsou u sledovaných dřevin vyvinuty listy, květy a pupeny. Při pozorování na dalších lokalitách jsem se snažila odlišit stupně fenologického vývoje dřevin a sestavit tak stupnici jarního fenologického vývoje dřevin Moravského krasu (tab. 1 a 2). V určeném stupni fenofáze se vždy nacházely alespoň 2/3 jedinců daného druhu na lokalitě (Meier 2001). Celkový stupeň fenologického vývoje pozorovaných dřevin každé lokality jsem získala zprůměrováním fenofází všech na lokalitě nalezených pozorovaných dřevin (Chytrý & Tichý 1998). Pro porovnání časně jarního fenologického vývoje dřevin v různých letech jsem sestavila grafy a proložila je přímkou lineární regrese (obr. 5-7), dále jsem otestovala, zda má proměnná normální rozložení a vypočetla korelační koeficient. Habr obecný (*Carpinus betulus*) se vyskytoval ve všech údolích nejhojněji ze všech pozorovaných dřevin, proto jsem pomocí lineární regrese a korelace otestovala, jak přesné by bylo určení celkové fenofáze lokality pozorováním fenologického vývoje pouze u habru (obr. 8).

Od 1.5.2005 jsem měla k dispozici 3 baterií napájené dataloggery OMEGA TTO-01 o rozměrech 3 x 4 x 2 cm s kapacitou paměti na 2000 záznamů. Dataloggery jsem nastavila pomocí počítačového programu ML-WIN (www.omega.com) na interval měření po 15-ti minutách, tj. 96 měření za den a zaplnění paměti po 20 dnech. Oboustrannou lepící páskou jsem pak dataloggery na různých lokalitách umísťovala na kmeny stromů o průměru cca 60 cm ze severní strany do výšky 1.5 m nad terén (Prošek 1978). Od 20.4.2006 jsem měla k dispozici další 3 dataloggery stejného

typu. Snahou bylo zachytit co nejvíce přímých teplotních měření ke srovnání teplotního počítka lokalit v rámci jednotlivých údolí i mezi nimi a pokud bylo těchto měření na dané lokalitě 3 a více, pak jsem je použila k simulaci teplot jarního období neuronovými sítěmi. Jako kontinuální řadu teplotních měření v patnáctiminutových měřicích intervalech jsem použila data z monitorovací stanice Protivanov z let 2004–2006, které mi poskytl ČHMÚ – pobočka Brno (Kroftova 43, www.chmi.cz). Protože je tato stanice od nejsevernější lokality fenologického pozorování vzdálena přibližně 14 km SSV vzdušnou čarou, bylo vhodné pokusit se získat teplotní měření také z jižního okraje Moravského krasu. Mgr. Karel Fajmon mi poskytl teplotní data z let 2005–2006 měřená v patnáctiminutových intervalech přístrojem MultiTERM 306 (Veit Electronics) s čidlem umístěným ve výšce 150 cm nad volným terénem, který byl umístěn v botanické zahradě Centra léčivých rostlin LF MU v Brně na Kraví hoře. Tato stanice byla od nejjižnější lokality fenologického pozorování vzdálena 9.5 km západně vzdušnou čarou. Chod těchto i mnou naměřených časových řad jsem zhladila použitím klouzavého průměru (Nosek 1972) v programu MS Excel. Data jsem pak vložila do programu STATISTICA 7.0 (www.statsoft.com) a k proměnné teplotní řady každé lokality jsem přidala proměnnou *subset* (tab. 3). U lokalit, kde jsem měla tři teplotní měření v měsících leden až květen, jsem přidala ještě jednu proměnnou *subset 2* se stejných schématem vloženým pouze k těmto měsícům (leden až květen). Pro každou lokalitu jsem použila dva různé typy řešení pomocí neuronových sítí *Problem type: Regression a Time series*. V obou případech nastavení ponecháno *Networks tested = 10, Networks retained = 5* a typy sítí *Linear, RBF, MLP (three layer perceptron)*, protože třívrstvé sítě jsou schopny popsat každou spojitou funkci (Kolmogorov 1957). Použila jsem kritérium *Lowest error*. Pro každou lokalitu

(*output*) a typ řešení jsem pak použila 3 různé vstupy (*input*): teplotní data z Protivanova, teplotní data z Kraví hory a kombinaci obou těchto vstupů. Pro každou lokalitu jsem tedy provedla 6 analýz a pro lokality se 3 měřeními v měsících leden až květen jsem toto opakovala ještě se *subset 2*. Odchytky predikcí jednotlivých neuronových sítí jsem zjišťovala pomocí výpočtů odchylek u případů označených jako *Ignore* a tedy do vstupních dat nezahrnutých. Z odchylek ($N = 864$ nebo $N = 576$) jsem vypočetla průměr a ten použila jako kritérium hodnocení správnosti predikcí neuronových sítí (tab. 4). Z predikcí nejlepších neuronových sítí jsem pro každou lokalitu vypočetla teplotní sumy pro den časně jarního fenologického mapování v letech 2005 a 2006 a určila den začátku velké vegetační sezóny. Za počátek velkého vegetačního období byl stanoven den, kdy průměrná denní teplota vzduchu dosáhla tři po sobě následující dny teploty vyšší než 5°C, čímž se aktivují fyziologické procesy v rostlinných orgánech (Havlíček 1986). Pro srovnání nástupu přibližně stejného stupně fenologického vývoje v letech 2004 – 2006 jsem vypočetla pro den začátku fenologického pozorování v jednotlivých letech teplotní sumu průměrných denních teplot vzduchu celkovou, teplot nad 0°C, teplot nad 5°C, teplot nad 10°C a teplotní sumu průměrných denních teplot vzduchu nad 5°C od začátku velkého vegetačního období do začátku fenologického pozorování (TS5). Pro zjištění závislosti fenologického vývoje pozorovaných dřevin na teplotních sumách jsem vypočetla Spearmanovy korelační koeficienty (tab. 5). Graficky (obr. 9 a 10) jsem znázornila TS5, kde lokalitu s celkovou fenofází 1 reprezentoval Kadlecův mlýn v údolí Řičky a lokalitu s fenofází 5 Kamenný žlíbek v údolí Řičky (pro rok 2004 byly použity neuronové sítě trénované pouze na datech z Protivanova)

Pro tvorbu fenologických modelů mi správa CHKO Moravský kras poskytla

digitalizovanou topografickou mapu celého území v podobě sítě souřadnic 25 x 25 m s údaji o nadmořské výšce (vstupní proměnná *altitude*). Do této mapy jsem v programu ArcGIS 8.3 (www.esri.com) zakreslila všech 83 lokalit jarního fenologického pozorování. Proměnné *PDSI* (potential direct solar irradiation) a *skyview* (relativní míra zastínění volné oblohy horizontem okolního terénu) jsem vypočítala pomocí programu IRRAD (Tichý 1998). *Hill Shade* (zástin okolním terénem, počítáno pro den 21.3.), orientaci a sklon svahu jsem vypočítala v programu IDRISI 32 (www.clarklabs.org). Protože intenzita světla a kvalita stanoviště hrají významnou roli při rašení pupenů (Hejtmánek 1956, Vaněčková 1972), přidala jsem další proměnné vypočítané z údajů o sklonu a orientaci svahu *radiation* a *heat* (McCune & Keon 2002). *Sklon svahu* jsem použila také jako samostatnou proměnnou. Pro možnost korelace v prostoru jsem použila kvadráty základních proměnných a také vzájemné součiny všech možných dvojic základních proměnných, tak jsem získala 28 *násobených* proměnných. Z topografické mapy MK jsem v programu IDRISI 32 (www.clarklabs.org) vykrojila mapky pro jednotlivá údolí. Údolí Říčky jsem ohraničila z jihu bezejmenným potokem přitékajícím z městské části Brno – Líšeň, ze severu obcí Ochoz u Brna a z východu a západu plošinami a přechody v jiná údolí. Josefovské údolí jsem z jižní a severní strany ohraničila přechody v plošiny a jiná údolí, ze západu řekou Svitavou a z východu obcí Křtiny. Suchý žleb a Pustý žleb jsem ohraničila také přechody v plošiny, z východu pak propastí Macocha a ze západu přechodem v Punkevní žleb. K predikci map jsem použila 3 metody. Základem pro všechny metody byl *vstupní* soubor obsahující souřadnice všech lokalit, dále soubor prediktorů *základní* proměnné (*altitude*, *PDSI*, *skyview*, *radiation*, *slope*, *hill shade* a *heat*), jejich vzájemné interakce (*násobené* proměnné) a proměnné 3

vstupy (pouze *altitude*, *PDSI* a *skyview*). Závisle proměnné tvořily dvě proměnné obsahující výsledky časně jarního fenologického pozorování v roce 2004, spojitě celkové fenofáze lokalit - *fenofáze 2004 kontinuální* a druhou tvořily fenofáze zaokrouhlené na celé stupně - *fenofáze 2004 kategoriální*. K predikci map 2:1 byl celkový soubor byl rozdělen na testovací a trénovací podsoubory a to tak, že jedno ze tří údolí bylo vždy použito jako nezávislý testovací (TsS) soubor pro validaci modelu a zbylé dvě údolí tvořily soubory trénovací (TrS), na kterých byly vytvořeny dané modely. Takto se postupně vystřídal všechna údolí. Pro predikci mapy každého z údolí jsem použila 4 analýzy:

regresní stromy – rozhodovací stromy typu CART (Breiman 1984). Kritérium pro prořezávání stromů bylo voleno subjektivně, na základě expertního posouzení, aby bylo dosaženo dobré prediktivní schopnosti stromu. Zároveň však byly vyloučeny uzly, které neměly interpretační význam (př. jeden vzorek v koncovém uzlu) a byla snaha zajistit co nejmenší počet koncových uzlů. Po každém prořezání se tedy vždy zkoumala vyčerpaná variabilita modelem a prořezávání pokračovalo, pokud se významně nesnižovala variabilita vyčerpaná modelem. Konečné nastavení pro pruning bylo: – *Minimum n per node* = 8 a *Maximum number of nodes* = 21.

klasifikační stromy – další možností bylo použít CART stromy kategoriální, neboť se závisle proměnnou (fenofáze), se dá pracovat rovněž jako s proměnnou kategoriální.

regresní neuronové sítě – do vstupních souborů jsem přidala proměnnou *subset*, v MS Excel jsem pomocí vzorce náhodně vložila 2 x *selection*, 8 x *test* a do zbylých buněk jsem vložila *train*. V nastavení sítí jsem ponechala *Networks tested* = 10, *Networks retained* = 5, použité sítě – *Linear*, *RBF*, *MLP (three layer perceptron)*. Dále jsem použila kritérium *Lowest error*. Tento postup jsem opakovala ve 3 analýzách stejně, prediktory (*input*) a závislou

proměnnou (*output*) jsem použila stejně jako v analýzách regresních stromů. Pro další zpracování jsem použila pouze sítě s predikcí hodnot celkové fenofáze v rozmezí 0 – 7.

klasifikační neuronové sítě – vše ponecháno stejně jako u regresních neuronových sítí, jen v nabídce *Problem type* jsem použila variantu *Classification* a použila příslušné proměnné.

Výsledky analýz predikcí 2:1 poukázaly na problém malého počtu vstupních dat (tab. 6, obr. 11). A v případě, že je pro tvorbu modelu k dispozici pouze malý datový soubor, není vhodné jej dělit, ale použít jej pro kalibraci i hodnocení zároveň (Černá 2004). Další analýza byla provedena na datech ze všech údolí najednou. Protože již však nemáme žádný další nezávislý testovací soubor, byla pro validaci modelu použita *10-fold cross-validation* analýzy regresními stromy ($K = 10$, $N = 83$). Postup analýzy regresních stromů jsem zopakovala pro vstupní soubory kombinující *základní* a *násobené* proměnné, *základní* proměnné a proměnné *3 vstupy*. Parametry *pruning* regresních stromů byly nastaveny takto: *Minimum n per node = 8*, *Maximum number of nodes = 25* (tab. 7). Pro údolí Říčky a Josefovské údolí jsem vytvořila také mapy založené pouze na všech datech daného údolí. Vzhledem k malému počtu vstupních proměnných jsem použila pro tvorbu těchto map regresní stromy. Postup jsem zopakovala pro vstupní soubory kombinující *základní* a *násobené* proměnné, *základní* proměnné a proměnné *3 vstupy*. Vzhledem k menšímu množství vstupních případů jsem parametry *pruning* nastavila takto: *Minimum n per node = 5*, *Maximum number of nodes = 17*. Nejlepší modely jsem pomocí programu IDRISI 32 (www.clarklabs.org) převedla na fenologické mapy (obr. 12 a 13).

Během léta 2006 jsem zapsala ve dvou hlavních údolích MK 50 fytoocenologických snímků, v údolí Říčky 35 snímků

(stupně fenofáze v časném jaře 2004-2006 byly 1-5) a v Josefovském údolí 15 snímků (stupně fenofáze 2-5). Všechny snímky byly zapsány v listnatých lesích na lokalitách jarního fenologického pozorování, případně v jejich těsné blízkosti. Při zápisu jsem se řídila standardními metodami curyšsko-montpelliérské školy (Moravec et al. 1994), pokryvnost jsem odhadovala dle rozšířené devítičlenné Braun-Blanquetovy kombinované stupnice abundance a dominance (Westhoff & van der Maarel 1978) a velikost snímkové plochy jsem dodržovala 200 m² (10 x 20 m). Snímky jsem zapsala do počítačového programu TURBO-VEG for Windows (Henekens & Schaminée 2001). V programu JUICE 6.4 (Tichý 2002) jsem sjednotila nomenklaturu cévnatých rostlin podle Klíče ke květeně ČR (Kubát et al. 2002) a nomenklaturu mechorostů dle Seznamu a červeného seznamu mechorostů ČR (Kučera & Váňa 2005). Stromové patro, keřové patro a patro juvenilů jsem sloučila pro analýzy v patro jediné. Pro další zpracování jsem data převedla do programu PC-ORD 4 (McCune & Mefford 1999), kde jsem snímky nejprve otestovala analýzou odlehklých hodnot *outlier analysis*, jako míru nepodobnosti jsem použila chí-kvadrát. Snímky jsem pak klasifikovala hierarchickou shlukovou analýzou. Data jsem upravila odmocninovou transformací a jako míru nepodobnosti jsem použila *Relative Euclidean distance*. Shluky jsem vytvořila pomocí Wardovy metody, což je metoda součtu čtverců patřící k metodám centroidu (Legendre & Legendre 2000). Z výsledného dendrogramu jsem vybrala rozdělení snímků do 5-ti klastrů jako nejlépe interpretovatelné (obr. 50) při porovnání pomocí průměrů Ellenbergových indikačních hodnot (Ellenberg et al. 1992) spočítaných pro jednotlivé snímky v programu JUICE a otestování rozdílnosti skupin neparametrickým Kruskal-Wallis testem v programu STATISTICA 7.0 (obr. 51-56). V programu JUICE jsem pro každou skupinu snímků určila diagnostické druhy, které jsou definované

jako druhy s nejvyšší fidelitou k jednotlivým skupinám (Chytrý et al. 2002). Fidelita vyjádřená pomocí ϕ koeficientu byla počítána na presenčně-absenčních datech (Sokal & Rohlf 1995). Pro odstranění vlivu odlišného počtu snímků ve skupinách na hodnoty ϕ koeficientu byla velikost skupin standardizována na jednu pětinu datového souboru (Tichý & Holt 2006). V analýze *Analysis of Constancy Columns* jsem zvolila prahovou hodnotu fidelity 40 (ϕ koeficient 0.4), prahovou hodnotu frekvence výskytu 75 % a prahovou hodnotu pokryvnosti 35 %. Pro fytoecnologické zařazení skupin snímků jsem srovnala jejich diagnostické druhy s druhy uvedenými ve fytoecnologických revizích (Moravec 1998, Moravec 2000, Chytrý et al. 2001, Chytrý & Tichý 2003, Knollová & Chytrý 2004). Ekologické nároky vegetace jsem hledala pomocí detrendované korespondenční analýzy (DCA) v programu CANOCO for Windows 4.5 (ter Braak & Šmilauer 2002). Délka gradientu prostředí byla 3.542 SDU (jednotky směrodatné odchylky), proto jsem se rozhodla analyzovat data unimodálními metodami. Vztah ordinačních os k proměnným prostředí jsem zjistila jejich pasivním promítnutím do ordinačního diagramu (obr. 14) a otestovala pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (tab. 7).

3) Výsledky a diskuse

Z hlediska výskytu jsou nejvhodnějšími dřevinami pro časně jarní fenologická pozorování MK *Carpinus betulus* a *Acer pseudoplatanus*. Teplotní nástup jara byl v letech 2004 až 2006 značně odlišný (obr. 9 a 10). Velká vegetační sezóna začala na nejvíce fenologicky pokročilé lokalitě v roce 2004 již 6.2. a denní průměrné teploty vzduchu se na této lokalitě (Kadlecův mlýn) dále pohybovaly kolem nuly, střídavě v kladných a záporných hodnotách. Nástup jara byl velmi pozvolný, vegetace se vyvíjela pomalu a dlouho, od nástupu velké vegetační sezóny do prvního dne

časně jarního fenologického pozorování uplynulo 68 dní. Při pozorování vykazovali všichni jedinci daných druhů na jedné lokalitě naprosto stejnou fenofázi. Naproti tomu v letech 2005 a 2006 byly ještě březnové průměrné denní teploty trvale hluboko pod bodem mrazu. Teprve dva dny před počátkem velké vegetační sezóny přišel prudký zvrat a průměrné denní teploty náhle převyšovaly 5°C. V roce 2006 byl tento zvrat ještě výraznější než v roce předchozím. Vegetace se vyvíjela náhle a velice rychle, od počátku velké vegetační sezóny do prvního dne časně jarního fenologického pozorování uplynulo v roce 2005 pouze 34 a v roce 2006 35 dní. To se projevilo ve velké odlišnosti fenofází každého z jedinců daného druhu na lokalitě. Bylo obtížné určit fenofázi každého druhu tak, aby na tomto stupni fenologického vývoje byly alespoň 2/3 jedinců na lokalitě, a tedy byla splněna podmínka pro stanovení fenofáze lokalit (Meier 2001). Z časně jarního fenologického vývoje *Carpinus betulus*, *Acer pseudoplatanus* a *Acer platanoides* v klimaticky rozdílných letech lze usuzovat, že tyto dřeviny potřebují k dosažení fenofází rašení, první listy, butonizace a začátek kvetení překročení určité teplotní sumy, ale také určitou časovou periodu pro fenologický vývoj. U stromů může navíc hrát významnou roli teplota půdy (Bednářová & Kučera 2002, Bednářová & Merkllová 2007) a dostupnost vody v závislosti na hloubce kořenového systému. Na nejteplejších lokalitách tyto dřeviny potřebovaly při pozvolném vývoji vegetace v roce 2004 překročení teplotní sumy průměrných denních teplot vzduchu nad 5°C od počátku velké vegetační sezóny (TS5) 172.2°C po dobu 68 dní od počátku velké vegetační sezóny. V roce 2005 byla tato teplotní suma překročena již 15.4., ale vegetace byla na stejném fenologickém stupni vývoje jako v roce 2004 až o 6 dní později, 21.4.2005. V roce 2006 byla zmíněná teplotní suma překročena 23.4., ale vegetace byla na stejném stupni fenologického vývoje jako v roce

2004 až o 9 dní později, 2.5.2006. *Sambucus nigra* v roce 2004 nejprve investoval do fenologického vývoje vegetativních orgánů (první listy měly délku nad 20 cm), generativní orgány nebyly zřetelně vyvinuty. V roce 2005 *Sambucus nigra* investoval méně do vývoje vegetativních orgánů, ale souběžně již vytvářel generativní orgány. V roce 2006 bylo upřednostněno investice do generativních orgánů ještě větší, fenofázi 1 při časně jarním fenologickém mapování 2.-5.5. představovali jedinci s listy dlouhými jen kolem 8 cm, ale poupata již začínala kvést. To může být zapříčiněno synchronizací fyziologické aktivity rostlin mírného pásma nejen s termoperiodismem, ale i fotoperiodismem. Délka dne tedy může být impulsem k nastartování některých vývojových fází (Begon 1995, Tichý 1998, Merková & Bednářová 2007). U *Corylus avellana* zřejmě došlo při klimaticky pozvolném nástupu jara v roce 2004 na většině lokalit ke sjednocení fenofáze, protože k nastartování jejího fenologického vývoje dochází i při krátkém oteplení již před začátkem velkého vegetačního období (Braslavská & Kamenský 2000) a pro otevření pupenů je rozhodující již TS0p 185°C (Škvareninová et al. 2006). V letech 2005 a 2006 však díky teplotám trvale pod bodem mrazu k tomuto nemohlo dojít, a proto se *Corylus avellana* stala dřevinou vhodnou pro časně jarní fenologické pozorování. *Quercus petraea* agg. zřejmě vyžaduje pro rašení vyšší prahovou teplotní sumu, v roce 2004 otvíral pupeny, stejně jako buk *Fagus sylvatica*, až po ukončení časně jarního fenologického pozorování. V letech 2005 a 2006 však byl *Quercus petraea* agg. vhodnou dřevinou pro časně jarní fenologické pozorování. U *Fagus sylvatica* jsem v roce 2005 v době časně jarního fenologického pozorování zaznamenala na nejteplejších lokalitách při TS5 244.9°C pouze rostoucí pupeny, v roce 2006 měl *Fagus sylvatica* na nejteplejších lokalitách při TS5 293.1°C vyvinutých již 5 listů. Velmi vysoké kore-

lační koeficienty a lineární členy při srovnání časně jarního fenologického pozorování z let 2004 až 2006 ukazují (obr. 5-7), že časně jarní fenologický vývoj jednotlivých lokalit tří hlavních krasových údolí MK je každoročně velmi podobný. Nejvyšší hodnota korelačního koeficientu i lineárního členu byla zjištěna při srovnání klimaticky podobných extrémních nástupů jara v letech 2005 a 2006 ($r = 0.92$, $R^2 = 0.85$ při $N = 83$ a $p < 0.01$). V roce 2004 byly fenofáze habru téměř shodné s průměrem fenofází ostatních na lokalitě nalezených pozorovaných dřevin ($r = 0.98$, $R^2 = 0.96$ při $N = 77$ a $p < 0.01$). V letech 2005 a 2006 s klimaticky extrémním nástupem jara se fenofáze habru a ostatních na lokalitě nalezených pozorovaných dřevin vyznačovaly nižším korelačním koeficientem ($r_{2005} = 0.9$; $r_{2006} = 0.87$) i lineárním členem ($R^2_{2005} = 0.81$; $R^2_{2006} = 0.76$; vše při $N = 77$ a $p < 0.01$), to lze vysvětlit odlišnou reakcí pozorovaných dřevin na dosažení vyšší teplotní sumy za relativně krátké období. Zmíněné statistické hodnoty jsou i tak dostatečně průkazné, takže pro zjednodušení a zrychlení časně jarního fenologického pozorování lokalit tří hlavních krasových údolí MK lze celkovou fenofázi lokality nahradit fenofází habru.

Nejlepší predikce teplot vykazovaly v 8 případech z 10 neuronové sítě pro řešení *Time series*. Pouze u dvou lokalit se ukázaly výhodnější regresní neuronové sítě, tyto lokality se přitom vyznačovaly největší kontinentalitou z predikovaných lokalit. V 9-ti případech z 10 dávaly nejlepší predikce neuronové sítě trénované na vstupních datech z Kraví hory a Protivanova současně. Pro lokalitu Kamenný žlíbek nejlépe predikovaly hodnoty teplot neuronové sítě trénované na všech měřeních. Hlavním faktorem, který zřejmě ovlivňuje chod teplot na této lokalitě je advekční inverze, jejíž síla se zřejmě bez závislosti na roční době mění. Z toho také vyplývá vyšší chyba při predikcích. Kamenný žlíbek si totiž zachovává po celý

rok stejný charakter chodu teplot. V nočních hodinách zde vždy dochází k advekci velkého objemu chladných vzdušných mas (Quitt 1972) a radiální inverze zde působí celoročně. Celkově nejmenší odchylka predikcí byla zaznamenána na lokalitě Soutěska, jejíž mikroklima má relativně oceanický charakter díky chráněné poloze na dně Suchého žlebu, soustavnému působení inverzí a pouze nepatrnému proudění vzduchu uvnitř žlebu (Vaněčková 1971). Velmi nízká odchylka predikcí od skutečně měřených hodnot byla zjištěna také na lokalitě Stará hora. Tato lokalita je během vegetační sezóny chráněna hustým korunovým zápojem stromů, který snižuje teplotní extrém (Prošek & Rein 1982, Tichý 1998, Tichý 1999). Nejužší vztah teplotních sum a celkových časně jarních fenofází lokalit byl zjištěn u teplotních sum průměrných denních teplot nad 5°C od počátku roku a u stejných sum počítaných od začátku velké vegetační sezóny. Nižší korelace jsou zřejmě způsobeny nepřesností predikcí neuronových sítí a klimaticky extrémním nástupem jara v obou testovaných letech.

Modely 2:1 vykazují velmi nízkou přesnost. I ty nejlepší z nich jsou zatíženy velkou chybou (obr. 11). U Suchého žlebu a Pustého žlebu obě mapy nadhodnocují skalní hrany a dno západní části Suchého žlebu. Mapa vytvořená regresními stromy nadhodnocuje také fenofáze vegetace dna Pustého žlebu. Dle subjektivního hodnocení je výstižnější mapa vytvořená neuronovými sítěmi, která zřejmě lépe vystihuje rozmístění chladných lokalit s častým působením advekčních inverzí (působení těchto inverzí nevystihuje žádná ze základních ani násobených proměnných). U Josefovského údolí nadhodnocuje mapa vytvořená neuronovými sítěmi přibližně o 1 stupeň fenofáze skalní ostrožny v oblasti Býčí skály. Mapa vytvořená rozhodovacími stromy také nadhodnocuje přibližně o 1 stupeň fenofáze skalní ostrožny a hrany svahů po obou stranách po-

toka po celé délce údolí. Obě mapy téměř nevystihují chladné lokality s výskytem advekčních inverzí, např. Vaječník a bezvodý žleb vedoucí od Habrůvky. Mapa vytvořená neuronovými sítěmi lépe vystihuje lokality ovlivněné radiálními inverzemi. Mapa údolí Říčky vytvořená neuronovými sítěmi je relativně výstižná. V mapě vytvořené stromy je většina plochy s fenofází 1 silně nadhodnocena a relativně široké údolí otevřené z jižní strany značně podhodnoceno. Výsledky z klasifikačních neuronových sítí a stromů (nesignifikantní korelace mezi pozorovanými a odhadovanými hodnotami) ukazují na nevhodnost použití klasifikačních modelů pro tento typ dat. Je možné, že zaozkrouhlení celkové fenofáze lokalit přináší velkou ztrátu informace a zvyšuje autokorelaci, a proto není vhodnou metodou pro simulaci celkových fenofází lokalit. Rovněž kategorizace proměnné nemusela být v tomto případě vhodná, neboť jednotlivé fenofáze jsou zde brány jako samostatné kategorie, které spolu nesouvisí. Regresní neuronové síť a stromy trénované na sloučeném vstupním souboru pro údolí Říčky a Suchý žleb a Pustý žleb nevytvořily žádný model, jehož predikce by významně (na hladině $p < 0.01$) korelovaly s fenofázemi pozorovanými v Josefovském údolí (a do trénovacího souboru nezahrnutými). Pokud je ve sloučeném vstupním souboru zahrnuto Josefovské údolí, pak jsou regresní neuronové síť i stromy schopny predikovat fenofáze korelující s fenofázemi skutečně pozorovanými. Výsledné korelace jsou však pro tvorbu fenologických map značně nízké. Obojí je zapříčiněno příliš velkou ekologickou (a především klimatickou) rozdílností všech tří údolí a nízkým počtem vstupních dat, které vystihují pouze malou část ekologického gradientu prostředí. Z průměrné korelace pozorovaných a predikovaných hodnot dané krosvalidací (10 x 90 % TrS) regresními stromy je vidět, že stromy mají dobrou predikční schopnost a jsou schopny predikovat na podmínkách,

pro které byly vytvořeny (Šmilauer 2007). Z průměru a S^2 korelací testovacího souboru (10 % celkového souboru s $N = 83$) však vyplývá, že stromy nemají obecnou platnost, neboť jsou data příliš heterogenní. Dle předpokladu, že data nasbíraná ve všech třech údolích pokrývají celý gradient místních podmínek, je možné stromem vytvořeným na všech datech dané podmínky namodelovat. Aby měl strom obecnou platnost, bylo by potřeba nasbírat vzorky z oblastí ležících mezi jednotlivými údolními a vzorky z podobných lokalit. Tím by se zvětšil vstupní soubor, stromy by získaly větší stabilitu a nabyly by tak obecné platnosti. Další mapy byly zhotoveny pro údolí Řičky a Josefovské údolí. Model byl vždy vytvořen na všech pozorováních pouze z jednoho údolí a použit pro predikci pro dané údolí pomocí regresních stromů bez testování věrohodnosti. V obou případech byly dle subjektivního hodnocení nejlepší modely vytvořené pomocí proměnných 3 *vstupy* (obr. 12 a 13). Díky malému počtu případů a použití regresních stromů došlo opět ke značné „kategorizaci“, výsledné mapy jsou tedy příliš hrubé.

První osa detrendované korespondenční analýzy (DCA) kladně koreluje s proměnnou *skyview* a záporně koreluje s proměnnou *fenofáze 2004*. Platí tedy, čím otevřenější výhled oblohy, tím nižší stupeň fenofáze (tím teplejší lokalita). Proměnná *skyview* přibližně odpovídá rozložení intenzity rozptýleného záření za advekčního typu počasí, lze ji však také interpretovat jako mapu korelující s hodnotami dlouhodobého vyzařování povrchu v období záporné energetické bilance (Tichý 1998). Analýza DCA tedy říká, že hodnota (stupeň) fenofáze vegetace je zřejmě závislá na minimálních ranních

teplotách. Výskyt rostlin je tedy limitován hraničními hodnotami teplot (Slavíková 1986, Larcher 1988). Ordinační osa 3, vysvětující 3.2 % variability, koreluje s nadmořskou výškou *altitude*. Dle gradientu nadmořské výšky jsou tedy rozloženy snímky vegetace i celkové stupně fenofáze lokalit v roce 2004.

4) Závěr

MK je územím fenologicky nesmírně zajímavým a komplikovaným. Na relativně malém území dochází k velkému zpoždování jarních fenofází listnatých dřevin. Jarní fenologický vývoj dřevin MK zůstává každoročně téměř shodný i při značně odlišném průběhu teplot. Modelování přesných fenologických map je zde značně ztíženo velkým výskytem silných advekčních inverzí, které zde vznikají nejen stékáním chladného vzduchu z výše položených plošin, ale především četnými vývěry chladného vzduchu z jeskynních otvorů, kterými jsou jednotlivá údolí hustě poseta. Každé z údolí má silně odlišný ekologický charakter. Pro získání přesných modelů údolí by zřejmě bylo potřeba navýšit počet pozorovaných lokalit v daném údolí. Toho lze snadno dosáhnout, zaměříme-li se při pozorování ve 2. synfenologické třídě pouze na fenofáze habru obecného (*Carpinus betulus*). Z fytoecnologické studie jasně vyplývá, že je vegetace listnatých lesů MK nejsilněji ovlivněna komplexem klimatických faktorů, zejména radiační a advekční inverzí. Velké množství výpočtů energetických a radiačních bilancí přitom počítá pouze s radiační inverzí. Modelování advekčních inverzí je ve složitém krasovém reliéfu téměř nemožné. K průzkumu advekčních inverzí se jako ideální se jeví právě nepřímý průzkum pozorováním jarních fenologických projevů dřevin.

5) Použitá literatura

Bednářová E. & Kučera J. (2002): Phenological observations of two spruce stands (*Picea abies*/L./ Karst.) of different age in the years 1991-2000. – *Ekológia* 21/1: 98-106.

- Bednářová E. & Merklová L. (2005): Sledování fenologických fází u buku lesního v oblasti Dražanská vrchovina. – In: Rožnovský J. & Litschmann T. (eds.): Bioklimatologie současnosti a budoucnosti. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007.
- Bednářová E. & Merklová L. (2007): Vyhodnocení fenologie mladého smrkového porostu v oblasti Dražanská vrchovina. – In: Rožnovský J., Litschmann T. & Vyskot I. (ed.): Klima lesa. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007.
- Begon M., Harper J.L. & Townsend C. R. (1995): Ecology. Individuals, populations and communities. – Blackwell Science, Cambridge etc.
- Braslavská O. & Kamenský L. (2000): Fenologické javy-odraz teplotných zmien. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007.
- Breiman L. et al. (1984): Classification and Regression Trees. – Chapman and Hall.
- Černá L. (2004): Využití neuronových sítí pro klasifikaci vegetace. – Ms. [Dipl. pr., Depon in: Knih. kat. bot. PřF MU Brno].
- Černá L. & Chytrý M. (2005): Supervised classification of plant communities with artificial neural network. – J. Veg. Sci. 16: 407-414.
- De'ath G. & Fabricius K. E. (2000): Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. – Ecology 81: 3178-3192.
- Dierschke H. (1995): Phänologische und symphanologische Artengruppen von Blütenpflanzen Mitteleuropas. – Tüxenia 15: 523-560.
- Ellenberg H. (1954): Naturgemäße Anbauplanung, Melioration und Landespflege. – Landwirtschaftl. Pflanzensoz. 3: 1-109.
- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth W., Werner W. & Paulißen D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scr. Geobot.: 18: 1-258.
- Foody G. M. (1999): Applications of the self-organising feature map network in community data analysis. – Ecol. Model. 120: 97-109.
- Havlíček J., Bureš R., Coufal V., Kurfürst J., Prošek P. & Špánik F. (1986): Agrometeorologie. – SZN, Praha.
- Hejtmánek J. (1956): Časně a pozdně rašící forma buku. – Lesnická práce 35/4: 167-171.
- Hennekens S. M. & Schaminée J. H. J. (2001): TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. – J. Veg. Sci. 12: 589-591.
- Chytrý M. & Tichý L. (1998): Phenological mapping in topographically complex landscape by combining field survey with an irradiation model. – Appl. Veg. Sci. 1: 225-232.
- Chytrý M., Kučera T. & Kočí M. [eds.] (2001): Katalog biotopů ČR. – AOPK ČR, Praha.
- Chytrý M., Tichý L., Holt J. & Botta-Dukát Z. (2002): Determination of diagnostic species with statistical fidelity measure. – J. Veg. Sci. 13: 79-90.
- Chytrý M. & Tichý L. (2003): Diagnostic, constant and dominant species of vegetation classes and alliances of the Czech Republic: a statistical revision. – Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Masaryk. Brun., Biologia 108: 1-231.
- Knollová I. & Chytrý M. (2004): Oak-hornbeam forests of the Czech Republic: geographical and ecological approaches to vegetation classification. – Preslia 76: 291-311.
- Kolmogorov A. N. (1957): On the representation of continuous functions of several variables by superposition of continuous functions of one variable and addition. – In: Ripley B. D. (1996): Pattern Recognition and Neural Networks. – Cambridge University Press.
- Kubát K., Hrouda L., Chrtek J. jun., Kaplan Z., Kirschner J. & Štěpánek J. [eds.] (2002): Klíč ke květeně ČR. – Academia, Praha.
- Kučera J. & Váňa J. (2005): Seznam a červený seznam mechorostů ČR. – Příroda 23: 1-104.
- Larcher W. (1988): Fyziologická ekologie rostlin. – Academia, Praha.
- Legendre P. & Legendre L. (2000): Numerical ecology. – Elsevier, Amsterdam.

- Lek S., Delacoste M., Baran P., Dimopoulos I., Lauga J. & Aulagnier S. (1996): Appl. of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. – *Ecol. Model.* 90: 39-52.
- Lek S. & Guégan J. F. (1999): Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. – *Ecol. Model.* 120: 65-73.
- McCune B. & Keon D. (2002): Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. – *J. Veg. Sci.* 13: 603-606.
- McCune B. & Mefford M. J. (1999): PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach.
- Meier U. [ed.] (2001): Growth stages of Mono- and Dicotyledonous plants. – Dokument dostupný na URL. www.bba.de - duben 2007.
- Merklová L. & Bednářová E. (2007): Sledování fenologických a růstových fází v bukovém porostu. – In: Rožnovský J., Litschmann T. & Vyskot I. (ed.): *Klima lesa*. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007.
- Moravec J., Blažková D., Hejný S., Husová M., Jeník J., Kolbek J., Krahulec F., Krečmer V., Kropáč Z., Neuhäusl R., Neuhäuslová-Novotná Z., Rybníček K., Rybníčková E., Samek V. & Štěpán J. (1994): *Fytocenologie*. – Academia, Praha.
- Moravec J. [ed.] (1998): *Přehled vegetace ČR. Sv. 1. Acidofilní doubravy*. – Academia, Praha.
- Moravec J. [ed.] (2000): *Přehled vegetace ČR. Sv. 2. Hygrofilní, mezofilní a xerofilní opadavé lesy*. – Academia, Praha.
- Nosek M. (1972): *Metody v klimatologii*. – Academia, Praha.
- Pošík P. (2005): *Data Mining*. – Dokument dostupný na URL. www.cyber.felk.cvut.cz - duben 2007.
- Prošek P. (1978): Vliv reliéfu na teplotní poměry Pavlovských vrchů. – *Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun., Geogr.*, 19: 1-99.
- Prošek P. & Rein F. (1982): *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. – SPN, Praha.
- Quitt E. (1972): Mezoklimatické poměry MK. – *Zpr. Geogr. úst. ČSAV* 9: 10 – 15.
- Skalický V. (1988): Regionálně fyto geografické členění. – In: Hejný S. & Slavík B.: *Květena ČSR 1*, Academia, Praha, pp. 103-121.
- Slavíková J. (1986): *Ekologie rostlin*. – SPN, Praha.
- Sokal R. R. & Rohlf F. J. (1995): *Biometry*. – Ed. 3. W. H. Freeman and Comp., New York.
- Střelcová K., Priwitzer T. & Mindáš J. (2006): Fenologické fáze a transpirácia buka lesného v horskom zmiešanom lese. – In: Rožnovský J., Litschmann T. & Vyskot I. (ed.): *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007.
- Škvareninová J., Kováčik M., Snopková Z. & Škvarenina J. (2006): Výsledky fenologických pozorování liesky obyčejnej (*Corylus avellana*) a duba letného (*Quercus robur*) v Zvolenskej pahorkatine. - In: Rožnovský J., Litschmann T. & Vyskot I. (ed.): *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. – Dokument dostupný na URL. www.cbks.cz - duben 2007
- Šmilauer P. (2007): *Moderní regresní metody*. – Dokument dostupný na URL. www.regent.jcu.cz – duben 2007.
- ter Braak C. J. F. & Šmilauer P. (2002): *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide. Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)* – Biometris, Wageningen & České Budějovice.
- Tichý L. (1998): Vliv stanovištních podmínek na diverzitu vegetace. – Ms. [Diz. pr., Depon in: *Knih. kat. bot. PřF MU Brno*].
- Tichý L. (1999): Teplotní poměry a vegetace na lokalitě Sloní hřbet v NP Podyjí. – *Preslia* 70: 349-363.
- Tichý L. (2002): JUICE, software for vegetation classification. – *J. Veg. Sci.* 13: 451-453.

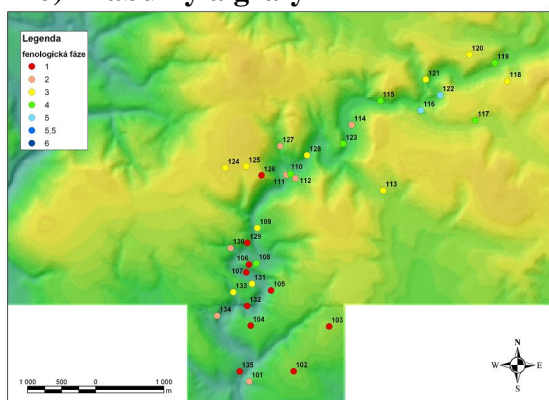
Tichý L. & Holt J. (2006): JUICE, program for management, analysis and classification of ecological data. [www.sci.muni.cz].

Vaněčková L. (1971): Výsledky měření teplot jako součást fytogeografických výzkumů v MK. - Zprávy ČGÚ ČSAV 8/5: 16-28.

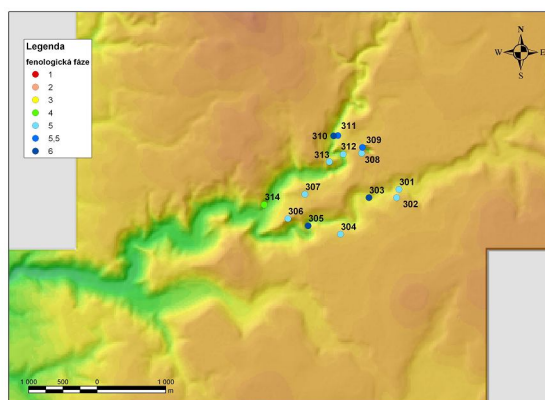
Vaněčková L. (1972): K otázce bioindikačních spekter MK. – Studia geogr. 29: 141-149.

Westhoff V. et van der Maarel E. (1978): The Braun-Blanquet approach. – In: Whittaker R. H. (ed.): Classification of plant communities, W. Junk, The Hague, pp. 289-399.

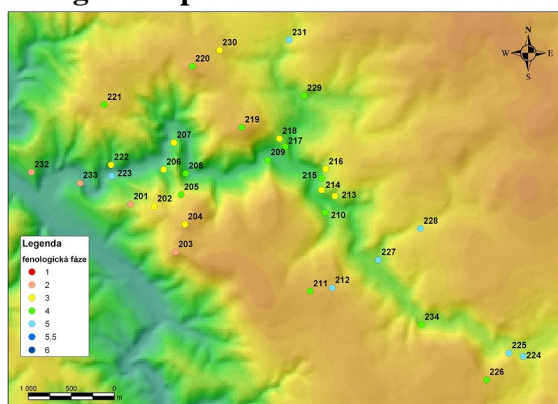
6) Tabulky a grafy



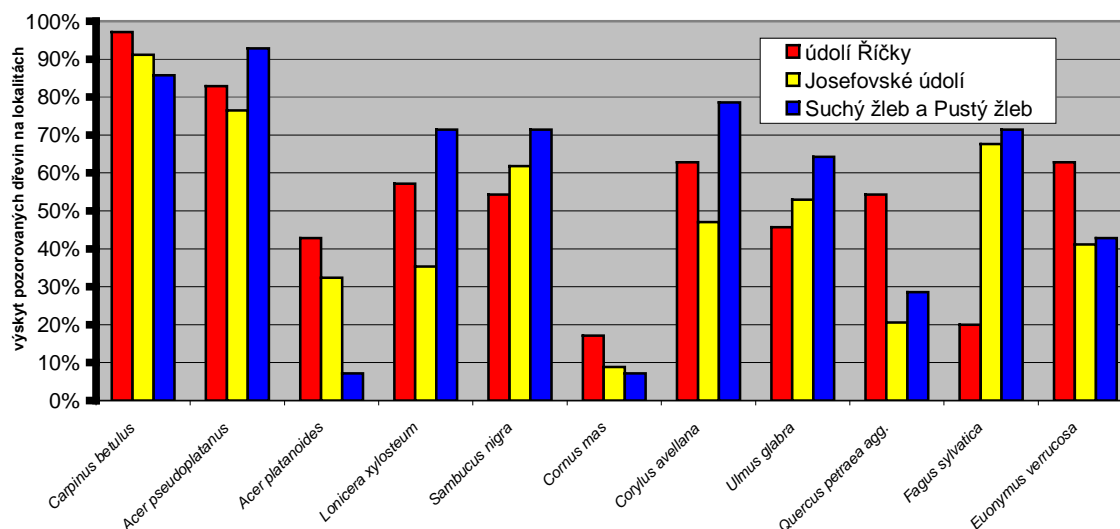
Obr. 1: 35 lokalit v údolí Rýčky s celk. fenofázemi lokalit při časné jarním fenologickém pozorování v roce 2004



Obr. 3: 14 lokalit v Suchém žlebu a Pustém žlebu s celk. fenofázemi lokalit při časné jarním fenologickém pozorování v roce 2004



Obr. 2: 34 lokalit v Josefovském údolí s celk. fenofázemi lokalit při časné jarním fenologickém pozorování v roce 2004



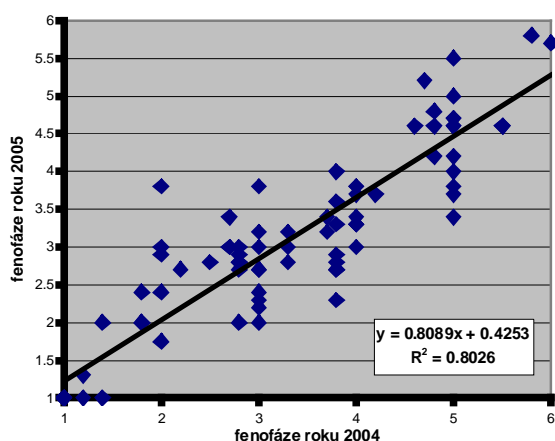
Obr. 4: Výskyt pozorovaných druhů dřevin na 83 lokalitách v údolí Říčky, Josefovském údolí, Suchém žlebu a Pustém žlebu

Tab. 1: Stupnice A časně jarního fenologického vývoje dřevin s časově přibližně souběžným jarním fenologickým vývojem v Moravském krase v roce 2004

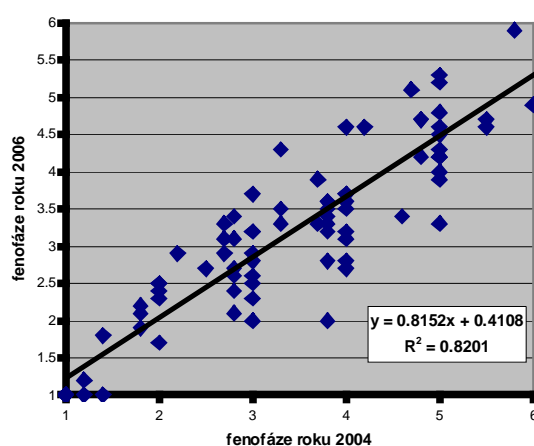
stupeň fenofáze	pozorované dřeviny		
	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Acer platanoides</i>
1			
2			
3			
4			
5			-
6			-

Tab. 2: Stupnice B časně jarního fenologického vývoje dřevin s časově přibližně souběžným jarním fenologickým vývojem v Moravském krase v roce 2004

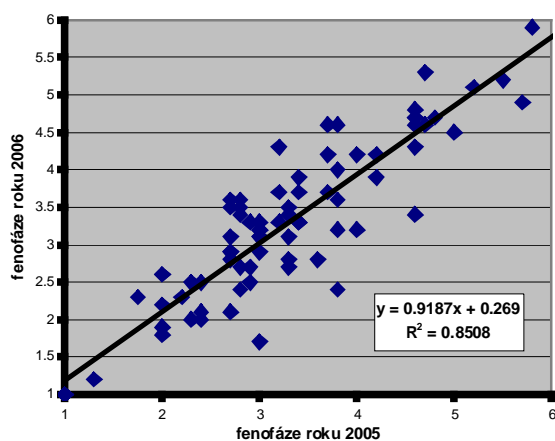
pozorované dřeviny	stupeň fenofáze		
	1	2	3
<i>Lonicera xylosteum</i>	bílá poupata	zelená poupata	bez pupat, listy menší světle zelené
<i>Sambucus nigra</i>	1. listy nad 20 cm	1. listy 16 - 20 cm	1. listy 12 - 15 cm
<i>Cornus mas</i>	odkvétá	v plném květu	začíná kvést
pozorované dřeviny	stupeň fenofáze		
	4	5	6
<i>Lonicera xylosteum</i>	čerstvě rozvité listy	rozvívají listy	otvírá pupeny
<i>Sambucus nigra</i>	1. listy 9 - 11 cm	1. listy 7 - 8 cm	1. listy max. 6 cm
<i>Cornus mas</i>	otvírá pupeny	rostoucí pupeny	-



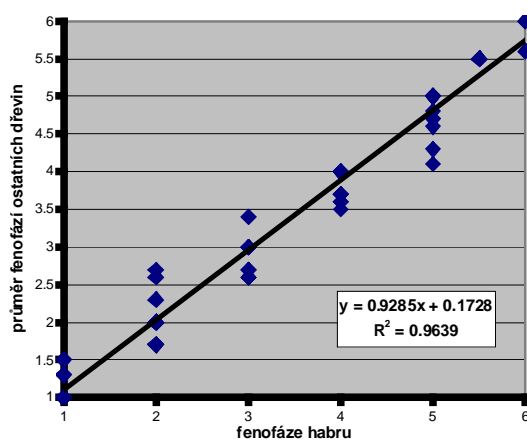
Obr. 5: Celková fenofáze v časném jaru na 83 lokalitách tří hlavních údolí MK v roce 2004 a 2005, $r = 0.89$ při $p < 0.01$



Obr. 6: Celková fenofáze v časném jaru na 83 lokalitách tří hlavních údolí MK v roce 2004 a 2006, $r = 0.9$ při $p < 0.01$



Obr. 7: Celková fenofáze časném jaru na 83 lokalitách tří hlavních údolí MK v roce 2005 a 2006, $r = 0.92$ při $p < 0.01$



Obr. 8: Fenofáze habru a průměr fenofází ostatních dřevin na 77 lokalitách tří hlavních údolí MK v časném jaru roku 2004, $r = 0.98$ při $p < 0.01$

Tab. 3: Schéma proměnné subset

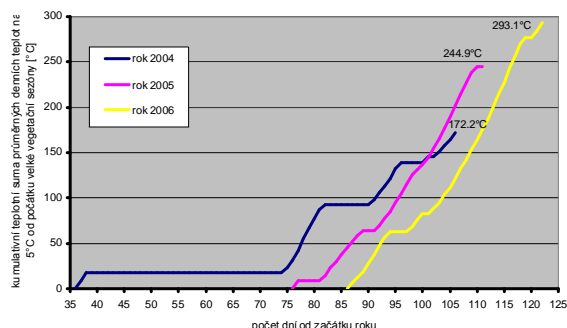
délka intervalu	→						
	3 dny	3 dny	3 dny	2 dny	3 dny	3 dny	3 dny
leden - květen	Train	Test	Train	Selection	Train	Test	Ignore
červen - prosinec	Train	Test	Train	Selection	Train	Test	Train

Tab. 4: Hodnocení predikcí neuronových sítí průměrem odchylek [°C], uvedeno hodnocení vždy pouze neuronové sítě s nejnižší odchylkou predikovaných hodnot, v závorce uveden počet měření použitý pro simulaci, R – regresní řešení, TS – Time series řešení, nejmenší průměrné odchylky pro každou lokalitu jsou zvýrazněny, N = 864 (Ada. vod., Drát. j., Kadl. m., Kam. žl., Vel. Hor. II, Stará hora) a N = 576 (Habr., Nad Such. žl., Olom., Soutěska)

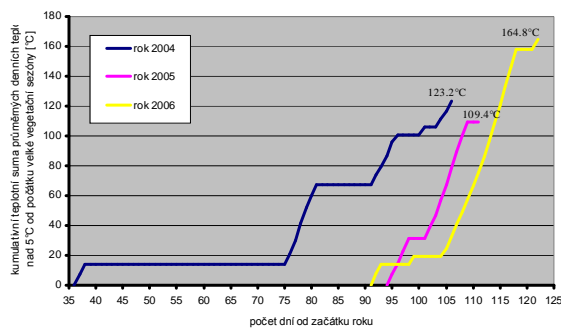
simulace dle	Adamov vodárna (5)		Drátenická jeskyně (8)		Habrůvka (3)		Kadlecův mlýn (5)		Kamenný žlíbek (8)	
	R	TS	R	TS	R	TS	R	TS	R	TS
KH + Prot.	1.4	1.29	2.07	1.8	1.54	1.77	0.99	0.97	1.21	0.89
Kraví Hora	1.53	1.38	2.08	1.9	1.56	1.79	1.01	1.14	1.32	1.05
Protivanov	1.69	1.62	2.64	1.98	2.23	2.28	1.15	1.32	2.12	1.34
žaro KH + Prot.	1.37	0.84	1.43	1.27					1.23	0.94
žaro Kraví Hora	1.53	0.92	1.86	1.53					1.16	0.99
žaro Protivanov	1.66	1.38	2.31	1.92					2.25	1.42
simulace dle	Nad Suchým žlebem (4)		Olomoučany (4)		Soutěska (3)		Velký Hornek II (5)		Stará hora (5)	
	R	TS	R	TS	R	TS	R	TS	R	TS
KH + Prot.	1.59	1.25	1.43	0.95	0.83	0.5	1.5	1.06	0.96	0.72
Kraví Hora	1.36	1.15	1.73	0.97	0.85	0.63	1.44	1.3	1.02	0.87
Protivanov	0.89	0.95	1.77	1.43	1.07	0.77	1.53	1.17	1.18	1

Tab. 5: Spearmanovy korelační koeficienty mezi časně jarními fenofázemi lokalit a teplotními sumami vypočtených z predikcí neuronových sítí, N = 8, při p<0.05 jsou označeny červeně

teplotní suma	rok	
	2005	2006
celková	0.05	-0.14
nad 0°C	-0.58	-0.63
nad 5°C	-0.64	-0.6
nad 10°C	-0.48	-0.47
od začátku velké veget. sez. nad 5°C	-0.6	-0.6



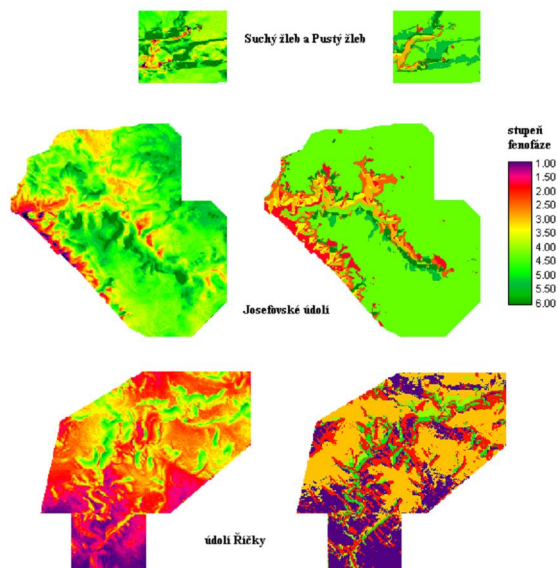
Obr. 9: Grafické znázornění teplotní sumy prům. denních teplot vzduchu nad 5°C od počátku velké veg. sezóny do 1. dne časně jarního fenologického pozorování v letech 2004-2006 na lokalitě s celkovou fenofází 1 – Kadlecův mlýn v údolí Řičky



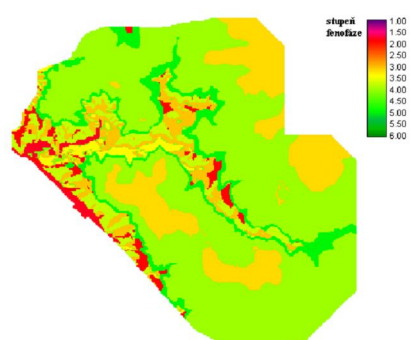
Obr. 10: Grafické znázornění teplotní sumy prům. denních teplot vzduchu nad 5°C od počátku velké veg. sezóny do 1. dne časně jarního fenologického pozorování v letech 2004-2006 na lokalitě s celkovou fenofází 5 - Kamenný žlíbek v údolí Řičky

Tab. 6: Počty statisticky významných modelů při různé kombinaci sloučených vstupních souborů pomocí Spearmanova korelačního koeficientu při p<0.01

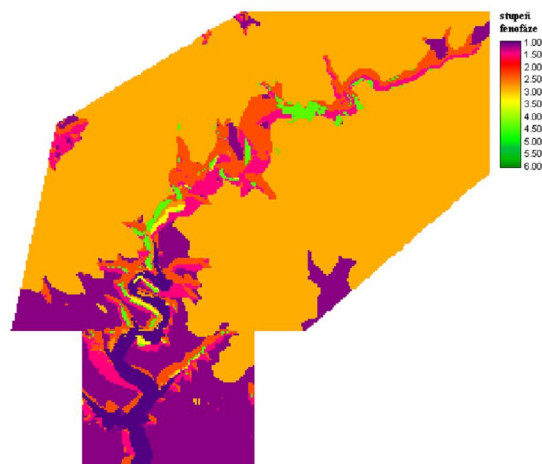
sloučené vstupní soubory	ověření	počet stat. signifikantních modelů na hladině p<0.01
údolí Řičky + Suchý žleb a Pustý žleb	Josefovské údolí (N = 34)	0
Josefovské údolí + Suchý žleb a Pustý žleb	údolí Řičky (N = 35)	7
údolí Řičky + Josefovské údolí	Suchý žleb a Pustý žleb (N = 14)	2



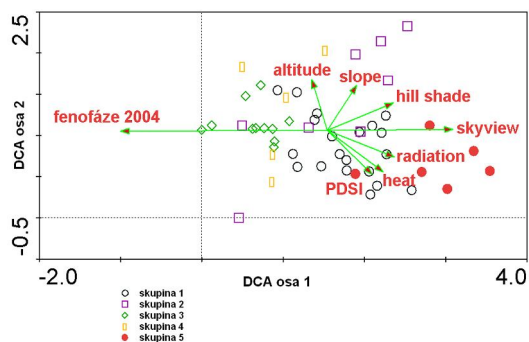
Obr. 11: Výsledné fenologické mapy - regresní analýzy vstupního souboru Josefovské údolí + Suchý žleb a Pustý žleb (N = 48) testované na souboru údolí Řičky (N = 35), v levé části obrázku mapy - proměnné 3 vstupy, neuronová síť MLP 3:3-5-1:1 ($r_s = 0.45$; Train Error = 0.23, Selection Error = 0.04, Test Error = 0.2), v pravé části obrázku mapy - násobené i základní proměnné, strom CART ($r_s = 0.37$; $r_s = 0.84$ trénovací soubor)



Obr. 13: Jarní fenologická mapa Josefovského údolí vytvořená (na základě všech lokalit pouze z tohoto údolí, N = 34) analýzou regresními stromy s použitím proměnných 3 vstupy, trénovací soubor (r_s) = 0.73



Obr. 12: Jarní fenologická mapa údolí Řičky vytvořená (na základě všech lokalit pouze z tohoto údolí, N = 35) analýzou regresními stromy s použitím proměnných 3 vstupy, trénovací soubor (r_s) = 0.87



Obr. 14: Ordinační diagram detrendované korespondenční analýzy (DCA) 1. a 2. osy se snímky rozdělenými do 5-ti skupin a pasivně proloženými proměnnými prostředí, 1. osa vysvětluje 8.5 % variability a 2. osa 4.5 % variability v druhových datech

Tab. 7: Korelace hlavních os detrendované korespondenční analýzy (DCA) s proměnnými prostředí, Spearmanovy korelační koeficienty statisticky významné na hladině $p < 0.01$ jsou psány červeně

	altitude	PDSI	skyview	radiation	slope	hill shade	heat index	fenologie 2004
osa 1	-0.12	0.17	0.41	0.16	0.13	0.23	0.20	-0.73
osa 2	0.17	-0.15	-0.17	-0.02	0.22	0.06	-0.17	0.15
osa 3	0.45	-0.28	0.27	-0.25	0.16	-0.23	-0.13	0.09
osa 4	-0.33	0.00	-0.13	0.19	0.06	0.16	0.17	-0.35