ZACHYCENÍ NEURČITOSTÍ V MODELOVÁNÍ VÝSKYTU ROSTLIN S VYUŽITÍM MAPOVÉ ALGEBRY

J. Machalová

Došlo: 2. června 2009

Abstract

MACHALOVÁ, J.: *The interception of vagueness in occurrence of plants modeling with using map algebra*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2009, LVII, No. 6, pp. 143–152

Information plays an important role in process of decision-making. Information and communication technologies give to the decision-makers not only relevant information, but they help in their interpretation. The basic advantage of fuzzy logic is the capability mathematic catch up the information, which is phrased. If we have set of elements, in that every element is characterised by grade of pertinence (member ship function), we call it fuzzy set. Map algebra is instrument that allows working up the raster representation of reality with using language of the map algebra. The using fuzzy sets for solving spatial problems is qualified by process in 3 steps: a) the correct definition of the type of member ship function, 2) the reserve of quality of input data, and 3) to modelling defined fuzzy sets by expert and the implementation of spatial analysis above them. The article has the goal, exemplify of modelling of occurrence of *Epipogium aphyllum* in the Czech Republic, to propose the way of spatial analysis above fuzzygeoelements with using map algebra. Only 4 restrictive conditions input to model, and the size of pixel in layer is 10m. Fuzzy sets are realised above selected raster layers, that were defined in the step 1) by instruments of the map algebra. The resulting model specifies the places with documented occurrence with the high degree of member ship function.

geographic information technologies, modelling, map algebra, space analysis, fuzzy sets, plant

Dříve byly informace brány jen jako soustava faktů, dat. Informační a komunikační technologie mají na současnou společnost značný vliv, který neustále roste. Mluvíme o informační společnosti, která intenzivně využívá informační a komunikační technologie a postupně tak dochází i ke změnám myšlení. Informační a komunikační technologie ukládají obraz reality ve formě dat, data zpracovávají, analyzují a prezentují. Tento proces umožňuje pak z dat získávat informace a nad nimi znalosti o realitě. Novou kvalitu do tohoto procesu zavedly geografické informační technologie se svými prostorovými analýzami a uživatelsky přívětivými prezentačními schopnostmi. Prostorové analýzy jsou vystavěny na matematickém aparátu. Mapová algebra pracující s rastrovými daty je jedním z nich.

Informace mají v procesu rozhodování důležitou roli. Informační a komunikační technologie (ICT) nejen dodávají rozhodovateli relevantní informace,

ale také pomáhají v jejich interpretaci. Problém nastane, pokud se mají výroky rozhodovatele zaznamenat prostředky ICT, jež používají dvouhodnotovou logiku. Informační technologie založené na technologiích umělé inteligence patří mezi nejprogresivnější současné trendy v celé oblasti informační a výpočetní techniky (Konečný, Pezlar, Rejnuš; 2001). Rozhodovatel se vyjadřuje přirozeným jazykem, který umožňuje pracovat s vágními pojmy. Každý vágní pojem charakterizuje určitou třídu objektů, jejichž hranice je těžce specifikovatelná. Existuje matematický aparát, který dovede do jisté míry vágnost modelovat. Základním pojmem je zde fuzzy množina, jako funkce z nějaké množiny většinou do intervalu $(0;1)$ (Zadeh, 1965).

Článek si klade za cíl na příkladu modelování výskytu sklenobýlu bezlistého navrhnout způsob prostorových analýz nad fuzzygeoprvky (fuzzy-vrstvami) s využitím mapové algebry.

MATERIÁL A METODY

Základní předností **fuzzy logiky** je schopnost matematicky podchytit informace vyjádřené slovně. Jinak řečeno umožňuje pracovat s nejednoznačnými pojmy, často používanými v lidské řeči. Fuzzy logika poskytuje způsob, jak prostředky ICT zachytit, to znamená „málo, značně, aj.“ na základě porovnání. Předností je i vyhledávání informací na základě nepřesných anebo neúplných údajů i s možností najít chybně uložené informace.

Def. 1: Mějme prvek a , o kterém máme rozhodnout, zda patří do dané množiny. Každému prvku a (z definičního oboru D) přiřadíme číslo z , $z \in \langle 0;1 \rangle$, které vyjadřuje stupeň příslušnosti do dané množiny (0 znamená: zcela patří do dané množiny, 1 znamená: zcela nepatří do dané množiny). Máme-li množinu prvků, v níž je každý prvek charakterizován stupněm příslušnosti do ní, nazýváme fuzzy množinou (Zadeh, 1965).

„Klasickou“ množinu můžeme chápat jako speciální případ fuzzy množiny, $z \in Z$, $Z \equiv \{0;1\}$. Obr. 1 demonstruje rozdíl v hranicích fuzzy množiny a „klasické“ množiny.

1: Hranice fuzzy množiny a „klasické“ množiny

Čísla z tvoří funkci stupně příslušnosti (Membership fiction). U „klasických“ množin s exaktními hranicemi h_1, h_2 ji lze definovat následovně:

$$MF(a) = 1, \text{ pro } a \in \langle h_1; h_2 \rangle$$

$$MF(a) = 0, \text{ pro } a \notin \langle h_1; h_2 \rangle$$

Fuzzy množinu můžeme prakticky vyjádřit následovně:

$$A = (a, MF(a)), \text{ pro } \forall a \in D, \text{ kde } MF(a) \text{ je}$$

funkce stupně příslušnosti prvku a v množině A , která nabývá hodnot z intervalu $\langle 0;1 \rangle$. Oborem hodnot funkce MF může být celý interval $\langle 0;1 \rangle$ nebo jen některé vybrané hodnoty.

Funkce MF a příslušný obor hodnot mohou být určeny odborníkem v dané problematice nebo pomocí metod operační analýzy. První způsob se používá tam, kde jde o modelování sémantiky slov přirozeného jazyka. Chápání slov je značně subjektivní záležitost. Pokud to okolnosti dovolují, lze využít více osob k vyjádření, a to v zásadě dvěma způsoby. Jednou možností je nechat vyjádřit osoby číselně nebo na základě grafické škály, zda daný prvek vyhovuje zkoumanému výrazu a pak výsledný stupeň příslušnosti dostaneme statistickým vyhodnocením (průměr individuálních vyjádření); druhou možností je nechat osoby vyjádřit, zda daný prvek odpovídá zkoumanému výrazu či nikoliv a výsledný stupeň příslušnosti určit jako podíl kladných odpovědí k celkovému počtu. V reálné situaci většinou nastává situace, kdy jedna osoba (expert) určí bod A , který ještě do dané množiny nepatří, bod D , který už do dané množiny nepatří, interval hodnot $\langle B;C \rangle$ se stupněm příslušnosti 1 a interval $y \langle A;B \rangle \langle C;D \rangle$ proloží vhodnou funkcí aproximující stupeň příslušnosti u bodů z daných interval (viz obr. 2). Popsané metodě se říká parametrická metoda (Novák, 1986).

Fuzzy množiny je do značné míry určena funkcí příslušnosti, které přísluší. Výběr funkce příslušnosti ovlivňuje hranice fuzzy množiny (viz obr. 3).

2: Parametrická metoda určení fuzzy množiny

3: Fuzzy množina s lineární a parabolickou funkcí příslušnosti

Def. 2: Prostorová data neboli **geodata** (spatial data) jsou data, která se vztahují k určitým místům v prostoru, a pro která jsou na potřebné úrovni rozlišení známe lokalizace těchto míst (Rapant, 2006).

Jinými slovy ve formě geodat ukládáme prostředky ICT informace o prvcích majících vztah ke své poloze na Zemi (georpvky). S geodaty pracují geografické informační technologie (GIT). Geodata lze ukládat ve vektorové nebo rastrové podobě ve formě tematických vrstev (viz obr. 4). Data ve vektorové podobě mají dvě části: prostorovou a popisnou (atributovou). Prostorová část využívá pravidla vektorové grafiky, popisná část pravidla relačních databázových systémů. V případě uložení geodat v rastrové podobě je vrstva prezentována čtvercovou sítí buněk (pixelů), kde každé buňce náleží určitá hodnota (číslo z určitého definičního oboru).

Volba uložení geodat záleží na mnoha faktorech. Důležitým faktorem jsou prostorové analýzy, které potřebujeme s daty provádět. Prostorové analýzy jsou procesy mající za cíl z geodat získat informace (Machalová, 2007). Při rastrovém uložení geodat lze využívat aparátu mapové algebry. Mapová algebra umožňuje kombinovat rastrové vrstvy pomocí různých matematických operací s využitím jazyka mapové algebry (Břehovský, Jedlička; 2008).

Def. 3: Mapová algebra je nástroj, který dovoluje zpracovávat rastrové reprezentace reality s použitím

jazyka mapové algebry. Operace mapové algebry lze provádět s jednou nebo více vrstvami. Operace (funkce) se dělí na lokální, zonální, fokální a globální (Tomlin, 1990).

Výsledkem lokální funkce je změna hodnoty jedné buňky vrstvy. To lze využít například při bodové vrstvě. Reprezentuje-li hodnota v buňce výšku stromu zde rostoucího, lze jednoduchou operací výšku stromu změnit. Fokální funkce mění hodnotu v buňce na základě hodnot v buňkách okolních. Ty jsou nejvíce využívány při analýzách proudění. Zonální funkce mění hodnoty buněk na základě hodnot buněk v jiné vrstvě. Globální funkce se týkají celé vrstvy a využívají se například při analýzách vzdáleností (nákladových, časových, aj.).

Součástí funkcí jsou operátory aritmetické (plus, minus, krát aj.), booleovské (pravda, nepravda), relační (větší než aj.) a dále pak speciální jako jsou bitové posuny, akumulativní, kombinatorické a přiřazovací operátory. Operandů jsou pak hodnoty uložené v buňce (buňkách) vrstev, které vstupují do prostorové analýzy (viz obr. 5).

Jak bylo uvedeno, fuzzy množiny poskytují možnost zachytit neurčitost, vágnost, která je běžná pro lidskou řeč. Nutnost popsat realitu dvouhodnotovou logikou mnohdy způsobuje nepřesnost, která pak může zapříčinit nekvalitní rozhodnutí. Jak exaktně stanovit hranici, od jakého procenta je lo-

4: Vrstva řek uložených v rastrové a vektorové podobě

5: Příklad mapové algebry na jedné vrstvě s využitím aritmetického operátoru

kalita stinná, humózní, vápnitá aj.? Fuzzy množiny umožňují prezentovat informaci, do jaké míry je lokalita stinná, humózní, vápnitá aj. Využití fuzzy množin v takových situacích je podmíněno postupem ve třech krocích:

1. Správná definice typu funkce příslušnosti a hodnot A, B, C a D (viz obr. 2).
2. Zajištění kvalitních vstupních dat, kde kvalita je dána přesností, věrností a aktuálností (Lake, 2008).
3. Modelování expertem definovaných fuzzy množin a provedení prostorových analýz nad nimi.

Řešení kroků 1. a 2. není hlavním přínosem tohoto článku. Jak bylo uvedeno, správná definice fuzzy množin je otázkou expertů v řešené problematice. Krok 2. může být kritickým pro úspěch projektu, protože zvláště u rastrových dat jde vždy o kompromis mezi rozlišením (množství buněk na palec, tzv. dpi) a velikostí souboru (v MB, popř. TB). Zde se většinou naráží na hranice výkonu počítače, popř. spřažených počítačů, na kterých analýzy probíhají.

Především způsobem přístupu k řešení kroku 3. je tento článek inovativní. Jak bylo uvedeno, mapová algebra pracující s rastrovými vrstvami umožňuje měnit hodnoty buněk rastru pomocí funkcí mapové algebry.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Sklenobýl bezlistý (*Epipogium aphyllum*) je vytrvalá, nazelenalá, voskově bleďožlutá nebo narůžovělá bylina, 10 až 20 cm vysoká. Sklenobýl bezlistý je zařazen mezi kriticky ohrožené druhy naší květeny, ve své kategorii je chráněn zákonem a podléhá ochraně mezinárodní úmluvy CITES. Roste na vlhkých, stinných, mechatých místech. Upřednostňuje místa s čistým ovzduším. Často roste u pramenišť, v blízkém okolí potůčků a vyskytuje se v nadmořské výšce 210 až 360 metrů n. m. (Průša, 2008).

Krok 1.: Dílčí omezující podmínky nechť jsou stanoveny následovně:

- a. Čistota ovzduší – vzdálenost od silnic, zástavby a hustoty zalidnění. Lineární funkce stupně pří-

slušnosti ohodnocena stupnicí 1 až 10 (1 nejbližší místu znečištění, 10 nejdále) pro každý ukazatel. Výsledná vrstva čistoty ovzduší je globální funkcí mapové algebry vypočítána následovně:

- b. Nadmořská výška – 210 až 360 m n. m. je ohodnocena stupněm příslušnosti 8 až 10 parabolickou funkcí (nejvíce vhodné), ostatní nadmořské výšky jsou ohodnoceny 1 (viz obr. 6).
- c. Stinné lesíky – zde se nejedná o fuzzy množinu, ale o klasickou množinu. Lesy byly ohodnoceny hodnotou maximální, ostatní plochy hodnotou minimální.
- d. Okolí řek a potůčků – bezprostřední blízkost vodního toku je oklasifikována hyperbolickou funkcí stupně příslušnosti, která strměji roste s blízkostí k vodnímu toku (viz obr. 7).

Jednotlivé dílčí omezující podmínky byly ohodnoceny váhami. Suma vah byla stanovena na hodnotu 1. Všechny hodnoty funkce stupně příslušnosti jsou v intervalu $\langle 1;10 \rangle$. Funkce stupně příslušnosti výskytu sklenobýlu bezlistého je určena:

$$\text{Výskyt} = \text{Čistota} \times 0,20 + \text{výška} \times 0,3 + \text{lesy} \times 0,15 + \text{řeky} \times 0,35$$

Krok 2. stanovuje volbu dat, která budou vstupovat do prostorových analýz. Z dílčích omezujících podmínek vyplývá potřeba vrstev silnic, zástavby, hustoty obyvatel, nadmořská výška, lesů a vodních toků. Tyto vrstvy jsou dostupné v Základní bázi geografických dat (ZABAGED), kterou spravuje Český úřad zeměměřičský a katastrální ve vektorové podobě. Pro potřeby analýz je nezbytné vektorové vrstvy rasterizovat se stanovením vhodné velikosti pixelu. Čím menší pixel, tím přesnější data, tím však větší soubory dat. Velikost pixelu 10 metrů vyhovuje dílčím omezujícím podmínkám a) až c), podmínka d) by však potřebovala velikost pixelu max. 1 metr. Při rozloze České republiky a dostupnému počítači parametrů kvalitního osobního počítače to však není možné.

6: Funkce stupně příslušnosti fuzzy množiny: vhodnost nadmořské výšky

7: Funkce stupně příslušnosti fuzzy množiny: vzdálenost od řeky

Krok 3. nad vybranými rastrovými vrstvami realizuje fuzzy množiny definované v kroku 1. prostředky mapové algebry.

Čistota ovzduší vzniká kombinací čtyř fuzzy-vrstev, které mají lineární funkci příslušnosti ($f(x) = ax + b$). Obrázek 8 demonstruje jednotlivé kroky vedoucí ke vzniku výsledné fuzzy-vrstvy čistoty ovzduší.

$$\text{Čistota} = \text{silnice} \times 0,35 + \text{zástavba} \times 0,25 + \text{hustota} \times 0,40$$

Hodnoty v buňce fuzzy-vrstvy nadmořské výšky se vypočtou dle funkce stupně příslušnosti, která je definovaná následovně:

$$\text{if } x < 210 \text{ then } f(x) = 1;$$

$$\text{if } x > 360 \text{ then } f(x) = 1$$

$$\text{else } f(x) = -0,000119x^2 + 0,084x - 4,36$$

Výsledná vrstva lesů nemá formu fuzzy-vrstvy, je definována následovně:

$$\text{if } x = 1 \text{ then } f(x) = 10 \text{ else } f(x) = 1$$

Fuzzy-vrstva okolí vodních toků se vypočtou dle funkce stupně příslušnosti, kde při $x < 5$ je $f(x) = 10$, při $x > 16$ je $f(x) = 1$ a v intervalu $(5;16)$ je definována hyperbolickou funkcí se středem v bodě $[1;1]$ a směrnici asymptoty $2/-1$.

Ekvivalentním postupem pak dle funkce stupně příslušnosti výskytu sklenobýlu bezlistého (viz výše) vznikne výsledná fuzzy-vrstva výskytu sklenobýlu bezlistého (viz obr. 9).

8: Fuzzy-vrstva čistoty ovzduší

9: Výsledná fuzzy-vrstva výskytu sklenobýlu bezlistého s vyznačením prokázaného výskytu

Kompromis mezi kvalitou a objemem dat byl v celém postupu limitujícím faktorem. Lepších výsledků by určitě bylo dosaženo, pokud by území bylo rozděleno na menší území (jednotlivé kraje ČR) a analýzy by byly provedeny pro každé území separátně. To by také umožnilo zmenšení velikosti pixelu v rastrových vrstvách.

Analýzu stinných míst lze také provést pomocí analýzy slunečního záření (Passinger, 2008). Výpočet dopadajícího slunečního záření je ovlivněn nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou území, svazitostí povrchu a jeho orientací ke světovým stranám, atmosférickými vlivy, denními a sezonními změnami pohybu slunce a odrazy i stíny vytvářenými reliéfem a druhem porostu. Kalkulace slunečního záření může být provedena pro jednotlivé body nebo konkrétní území. Proces výpočtu probíhá v několika bodech: 1) kalkulace hemisférického pohledu vzhůru proti obloze (ovlivněno reliéfem krajiny), 2) výpočet dohlednosti s pomocí mapy přímého záření a 3) výpočet dohlednosti s pomocí mapy difúzního záření. Pak jsou zde další nastavitelné parametry, jako je výpočet pro specifické dny v rámci roku. Výsledkem takového výpočtu je rastrová vrstva, která v každé buňce obsahuje hodnotu intenzity záření udanou ve Watt/hodinu připadající na 1 m². Průběh kalkulace je velmi časově náročný. Pro území rozlohy České republiky s rozlišením 1 m/pix

na počítači současných parametrů může kalkulace probíhat řádově několik hodin. Proto bylo od tohoto postupu upuštěno a byl zvolen jednodušší postup výpočtu stinných míst.

C. D. Tomlin publikovala svou práci o mapové algebře již v roce 1990. Od té doby byly některé GIT SW (ESRI Spatial Analyst, Grass) rozšířeny o prostorové analýzy nad rastrovými daty s využitím mapové algebry. Mapová algebra se používá například při vypočítání orientace ke světovým stranám nebo svazitosti terénu. Teorie fuzzy množin vznikla dokonce již v 60. letech minulého století a od té doby byla využita v mnoha aplikacích pracujících s neurčitými daty. Fuzzygeoprvky v rastrové reprezentaci byly definovány v roce 2004¹ a aplikace zveřejněna v roce 2005² a také na mezinárodní konferenci Digital Earth. Modelování expertem definovaných fuzzy množin a provedení prostorových analýz nad nimi s využitím mapové algebry je dalším krokem k využití potenciálu obou výše uvedených paradigmat.

Obrázek 9 demonstruje porovnání namodelovaného výskytu sklenobýlu bezlistého s jeho doloženým výskytem. Je patrné, že model určil tato místa s vysokým stupněm funkce příslušnosti. Model určil i jiná místa s poměrně vysokým stupněm příslušnosti, kde výskyt této byliny není v současnosti doložen. Může to být způsobeno dvěma faktory a) bylina se v těch místech vyskytuje, jen její výskyt není dolo-

1 MACHALOVÁ, J. *Fuzzygeoprvky v rastrové reprezentaci pro podporu rozhodování* (disertační práce), Brno: MZLU v Brně, 2004.

2 MACHALOVÁ, J. *Geografické IT pro podporu rozhodování v pojišťování nemovitostí*. In: *Acta Universitatis*, Brno: MZLU v Brně, 2005.

žen, b) výskyt byliny je omezen dalšími faktory, které nebyly v modelu zohledněny (kyselost půdy, vápnité podloží, aj.). Přidáním dalších omezujících podmínek vstupujících do modelu, zpřesnění modelovaného území a zmenšení velikosti pixelu vrstev by

s velkou pravděpodobností přineslo kvalitnější výsledky. Výsledek bezesporu ukázal, že prezentovaná metoda je použitelná v modelování výskytu rostlin, popř. živočichů.

SOUHRN

Článek si klade za cíl na příkladu modelování výskytu sklenobýlu bezlistého v České republice navrhnout způsob prostorových analýz nad fuzzygeoprvky (fuzzy-vrstvami) s využitím mapové algebry.

V práci jsou využita paradigmata fuzzy množin a mapové algebry. Základním pojmem je zde fuzzy množina, jako funkce z nějaké množiny většinou do intervalu $(0;1)$. Základní předností fuzzy logiky je schopnost matematicky podchytit vágní informace vyjádřené slovně. Fuzzy množina je do značné míry určena funkcí příslušnosti. Výběr funkce příslušnosti ovlivňuje hranice fuzzy množiny. Informace o prvcích majících vztah ke své poloze na Zemi (geoprvky) ukládáme ve formě geodat prostředky ICT. S geodaty pracují geografické informační technologie. Geodata lze ukládat ve vektorové nebo rastrové formě. Při rastrovém uložení geodat lze využívat aparátu mapové algebry. Mapová algebra umožňuje kombinovat rastrové vrstvy pomocí různých matematických operací s využitím jazyka mapové algebry. Operace mapové algebry lze provádět s jednou nebo více vrstvami. Operace (funkce) se dělí na lokální, zonální, fokální a globální.

Fuzzy množiny umožňují například prezentovat informaci, do jaké míry je lokalita stinná, humózní, vápnitá aj. Využití fuzzy množin v takových situacích je podmíněno postupem ve 3 krocích: 1) správná definice typu funkce příslušnosti, 2) zajištění kvalitních vstupních dat a 3) modelování expertem definovaných fuzzy množin a provedení prostorových analýz nad nimi.

Pro modelování sklenobýlu bezlistého byly použity čtyři omezující podmínky: čistota ovzduší (vzdálenost od silnic, zástavby a hustoty zalidnění s lineární funkcí stupně příslušnosti), nadmořská výška (210 až 360 m n. m. je ohodnocena stupněm příslušnosti parabolickou funkcí jako nejvíce vhodné, ostatní nadmořské výšky jsou ohodnoceny jako nevhodné), stinné lesíky (klasická množina, lesy byly ohodnoceny hodnotou maximální, ostatní plochy hodnotou minimální), okolí vodních ploch (bezprostřední blízkost vodního toku je oklasifikována hyperbolickou funkcí stupně příslušnosti, která strměji roste s blízkostí k vodnímu toku). Jednotlivé dílčí omezující podmínky byly ohodnoceny váhami. Suma vah byla stanovena na hodnotu 1. Funkce stupně příslušnosti výskytu sklenobýlu bezlistého byla určena:

$$\text{Výskyt} = \text{Čistota} \times 0,20 + \text{výška} \times 0,3 + \text{lesy} \times 0,15 + \text{řeky} \times 0,35$$

Z dílčích omezujících podmínek vyplývá potřeba vrstev silnic, zástavby, hustoty obyvatel, nadmořská výška, lesů a vodních toků, které byly vzaty ze ZABAGED.

Nad vybranými rastrovými vrstvami byly realizovány fuzzy množiny definované v kroku 1. prostředky mapové algebry. Čistota ovzduší vzniká kombinací 3 fuzzy-vrstev, které mají lineární funkci příslušnosti ($f(x) = ax + b$):

$$\text{Čistota} = \text{silnice} \times 0,35 + \text{zástavba} \times 0,25 + \text{hustota} \times 0,40$$

Hodnoty v buňce fuzzy-vrstvy nadmořské výšky byla vypočtena dle funkce stupně příslušnosti, která je definovaná následovně:

$$\text{if } x < 210 \text{ then } f(x) = 1;$$

$$\text{if } x > 360 \text{ then } f(x) = 1$$

$$\text{else } f(x) = -0,000119x^2 + 0,084x - 4,36$$

Výsledná vrstva lesů nemá formu fuzzy-vrstvy, byla definována následovně:

$$\text{if } x = 1 \text{ then } f(x) = 10 \text{ else } f(x) = 1$$

Fuzzy-vrstva okolí vodních toků byla vypočtena dle funkce stupně příslušnosti, kde při $x < 5$ je $f(x) = 10$, při $x > 16$ je $f(x) = 1$ a v intervalu $(5;16)$ je definovaná hyperbolickou funkcí se středem v bodě $[1;1]$ a směrnicí asymptoty $2/-1$. Ekvivalentním postupem pak dle funkce stupně příslušnosti výskytu sklenobýlu bezlistého (viz výše) vznikla výsledná fuzzy-vrstva výskytu sklenobýlu bezlistého.

Kompromis mezi kvalitou a objemem dat byl v celém postupu limitujícím faktorem. Analýzu stinných míst bylo také možné provést pomocí analýzy slunečního záření. Pro území rozlohy České republiky s rozlišením 1 m/px na počítači současných parametrů může kalkulace probíhat řádově několik hodin. Proto bylo od tohoto postupu upuštěno a byl zvolen jednodušší postup výpočtu stinných míst. Výsledný model specifikoval místa s doloženým výskytem s vysokým stupněm příslušnosti.

geografické informační technologie, modelování, mapová algebra, prostorové analýzy, fuzzy množiny, rostlina

SUMMARY

The article has the goal, exemplify of modelling of occurrence of *Epipogium aphyllum* in the Czech Republic, to propose the way of spatial analysis above fuzzygeoelements (fuzzy-layers) with using map algebra.

Paradigms of fuzzy sets and map algebra are used in this article. Fuzzy set as the function from some set mostly to the interval $(0;1)$ is the basic term in this article. The basic precedence of fuzzy set is the ability mathematical catch up the vague information by phrase. Fuzzy set is largely specified by member ship function. The selection of member ship function influences the borders of fuzzy sets. The information about elements with relation to own position on the Earth we save in form of geodata by ICT. Geographical information technologies work with geodata. We can save the geodata in vector or raster form. If we use raster saving, we can use map algebra. Map algebra makes possible to combine of raster layers by the help of different mathematical operations with using language of map algebra. The operation of map algebra is possible to do with one or more layers. The operations (function) divide to local, zonal, focal and global.

Fuzzy sets, for example, make possible to presented of information how much is the locality shady, humus, calcite ... Using fuzzy sets in that situation is qualify by procedure in three steps: 1) the correct definition of the type of member ship function, 2) the provision of quilted input data, and 3) the modelling by expert defined fuzzy sets and the fulfilment of spatial analysis above them.

Four restrictive conditions were used for modelling of *Epipogium aphyllum*: the air quality (the distance from roads, the build-up area, and the density of people with linear member ship function), the altitude (from 210 to 360 meters is values by parabolic member ship function as the most advantage, all else as disadvantage), the shady woods (the classic set, woods was valued by maximum number, all else areas by minimum value), and the surroundings of water areas (nearness of water areas was classified by hyperbolic member ship function, that rapid grows with the nearness of water area). All restrictive conditions were valued and the member ship function of occurrence of *Epipogium aphyllum* was fixing:

$$\text{Occurrence} = \text{air quality} \times 0,20 + \text{altitude} \times 0,3 + \text{woods} \times 0,15 + \text{water} \times 0,35$$

From the particular restrictive conditions flows the need of layers of roads, build-up area, density of people, altitude, woods and water areas. It was taken from ZABAGED.

The fuzzy sets defined in the step 1) by map algebra was realised above the selected raster layers. Air quality spring by combination from 3 fuzzy layers, that have linear member ship function ($f(x) = ax + b$):

$$\text{Air condition} = \text{roads} \times 0,35 + \text{build-up area} \times 0,25 + \text{density} \times 0,40$$

The value in cell of fuzzy layer of altitude was calculated with using follow member ship function:

$$\text{if } x < 210 \text{ then } f(x) = 1;$$

$$\text{if } x > 360 \text{ then } f(x) = 1$$

$$\text{else } f(x) = -0,000119x^2 + 0,084x - 4,36$$

The result layer has not the form of fuzzy set, it was defined follow:

$$\text{if } x = 1 \text{ then } f(x) = 10 \text{ else } f(x) = 1$$

The fuzzy layer of the surroundings of water areas was calculate with using follow member ship function: if $x < 5$ is $f(x) = 10$, if $x > 16$ is $f(x) = 1$, and in interval $(5;16)$ is defined by hyperbolic fiction with the centre in point $[1;1]$ and with the tangent of asymptote $2/-1$. The result of fuzzy layer of occur-

rence of *Epipogium aphyllum* was made by the equivalent process in compliance with member ship function.

The compromise between the quality and capacity of data was limited factor in all process. The analysis of shade places would be made by the help of the analysis of insulation. But, if we have the area of the Czech Republic with resolution 1 m/px and if we use computer with current parameters, the calculation can wage same hours. Therefore it was given out this process and it was selected more easy process of calculation of shady places. The resulting model specifies the places with documented occurrence with the high degree of member ship function.

LITERATURA

- BŘEHOVSKÝ, M., JEDLIČKA, K., 2008: *Úvod do geografických informačních systémů – mapová algebra (on-line přednáškové texty)*. Praha: ČZU [cit. 5. 7. 2008]. Dostupné na http://gis.zcu.cz/studium/ugi/ekskripta/ugi_k3d-cinnosti_v_GIS.pdf.
- KOL. AUTORŮ, 2006: *Analytická studie možnosti využití geodatabáze a dalších GIS technologií v podmínkách hodnocení a modelování ekologického stavu vod*. Brno: VARS BRNO, a. s.
- KONEČNÝ, V., PEZLAR, Z., REJNUŠ, O., 2001: Fuzzy expertní systémy a rozhodování. In: *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, IL, No 6, pp. 7–16.
- LAKE, R., 2008: *Virtual Globes as Essential Services?* (on-line). Vancouver: Galdos Systems, Inc. [cit. 10. 7. 2008]. Dostupné na <http://www.galdosinc.com/archives/533>.
- MACHALOVÁ, J., 2007: *Prostorově orientované systémy pro podporu manažerského rozhodování*. Praha: C.H.Beck.
- NOVÁK, V., 1986: *Fuzzy množiny a jejich aplikace*. Praha: SNTL.
- PASSINGER, P., 2008: *Potenciály vybraného území – modelování a prostorové analýzy* (diplomová práce). Brno: MZLU v Brně.
- PRŮŠA, D., 2008: *Epipogium aphyllum – sklenobýl bezlistý* (on-line). Praha: Wordpress [cit. 25. 7. 2008]. Dostupné na <http://botany.cz/cs/epipogium-aphyllum>.
- RAPANT, P., 2006: *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: VŠB-TU.
- TOMLIN, C. D., 1990: *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. New Jersey: Prentice Hall.
- ZADEH, L., 1965: *Fuzzy sets*. Inf & Control.

Adresa

Mgr. Jitka Machalová, Ph.D., Ústav informatiky, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika