

ANALÝZA SUCHA V KRAJINE AKO PRÍKLAD VYUŽITIA SIMULAČNÝCH MODELOV V GEOGRAFII

Rastislav Skalský, Martina Nováková, Monika Mišková*

* Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava,
r.skalsky@vupop.sk, m.novakova@vupop.sk, m.miskova@vupop.sk

Analysis of drought in the landscape as an example of the simulation model applied in geography

The soil-plant-atmosphere system simulation models can produce information on various processes in the landscape. The modelling system comprising the national geographical data on climate and soil, data on spring barley, and WOFOST model are presented here. The modelling system was applied to produce a time series of soil drought data for Slovakia. Simple data interpretation was done. On the basis of the results, the methodological principles of the approach, which compare well with the existing concepts of geographical modelling – theoretical model of geographical sphere and ideas of landscape synthesis are discussed. The conclusion is that the presented methodological approach is a useful way of geographical analysis of landscape.

Key words: landscape modelling, soil-plant-atmosphere system simulation models, modelling system, geographical sphere model, landscape synthesis

ÚVOD

V poslednom období sa najmä vo svete, ale aj u nás, objavujú práce zamerané na modelovanie rôznych procesných charakteristík krajiny – produkciu biomasy poľnohospodárskych plodín a lesných porastov, sekvestráciu alebo emisiu skleníkových plynov z pôdy a vegetácie, vodnú bilanciáciu pôdy a porastov poľnohospodárskych plodín či vyplavovanie škodlivých látok z pôdy (napr. Takáč 2002, Balkovič et al. 2006, Nováková a Skalský 2006, Cerri et al. 2007, Easter et al. 2007, Liu et al. 2007, Stehfest et al. 2007 a Leip et al. 2008). Nástrojom modelovania sú softvérové aplikácie – simulačné modely, napríklad EPIC (Williams 1995), DAISY (Abrahamsen a Hansen 2000), CENTURY (Parton et al. 1988), WOFOST (Boogaard et al. 1998), RothC (Coleman a Jenkinson 2005) či DNDC (Li et al. 1992). Simulačné modely spolu s vhodne organizovanými geografickými údajmi o krajine (napr. údaje o klíme, georeliéfe, pôde, krajinnej pokrývke a využívaní krajiny) umožňujú geograficky vyjadriť časovú dynamiku látkovo-energetických procesov v krajine, ako napr. prírastok biomasy rastlín, obsah vody v pôde, množstvo z pôdy emitovaného CO₂ a pod. Pomocou simulačných modelov je možné modelovať historický, aktuálny, ale aj budúci charakter látkovo-energetických procesov v krajine a uvažovať aj o alternatívnom vývoji týchto procesov pod vplyvom zmenených faktorov prostredia. Vzhľadom na svoje možnosti sú simulačné modely potenciálne veľmi vhodným nástrojom účelového hodnotenia niektorých ekologických a environmentálnych vlastností krajiny (napr. úrodnosť pôdy, akumulácia vody, kolobeh živín, filtrácia a zneškodňovanie cudzorodých látok).

Cieľom nášho príspevku je popísanie možného prístupu k analýze a účelovej interpretácii takého komplexného javu v krajine, akým je sucho, na príklade

konkrétnej plodiny (jačmeň jarný) pestovanej v období rokov 1997-2007 na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Prezentovaný prístup je založený na spoločnej aplikácii simulačného modelu vybraných procesov v krajine a geografických údajov. Konkrétny príklad analýzy a hodnotenia sucha v poľnohospodárskej krajine chceme zároveň využiť na hlbší rozbor teoretických princípov problematiky aplikácie simulačných modelov pri modelovaní vybraných látkovo-energetických procesov v krajine a poukázať tak na ich využiteľnosť pri riešení vybraných problémov geografického modelovania krajiny. V praxi by mohol poslúžiť najmä pri rozhodovaní v oblasti poľnohospodárstva a životného prostredia.

TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Sucho

Sucho je v našich podmienkach pomerne významný abiotický stresor pre pestované poľnohospodárske plodiny. Definícia sucha môže byť v závislosti od predmetu hodnotenia rôzna. Sucho môžeme vnímať ako klimatické sucho (Majerčák 2005), pôdne sucho (Šútor a Štekauerová 2008) alebo z pohľadu pestovanej plodiny ako fyziologické sucho (Kostrej et al. 1992). Z geografického pohľadu je sucho možné považovať za stav poľnohospodárskej krajiny. Tento priestorovo diferencovaný stav je podmienený dlhotrvajúcim výrazným nedostatkom atmosférických zrážok, ktorý sa následne prejavuje nedostatkom vody v pôde dostupnej pre poľnohospodárske plodiny a nakoniec zníženou produkciou poľnohospodárskych plodín.

Simulačný model

Simulačné modely, tak ako ich vnímame v tejto práci, môžeme po obsahovej stránke považovať za modely štruktúry a fungovania systému pôda – rastlina – atmosféra (ďalej ako PRAT). Systém PRAT môžeme považovať v zmysle Nováka (1995) za subsystém geosféry, ktorý je zodpovedný za primárnu produkciu biomasy. Je charakterizovaný dynamikou vzájomne prepojených látkovo-energetických procesov. Pomocou systému PRAT je možné detailne popísať množstvo elementárnych látkovo-energetických procesov v ekosystéme ako napr. evapotranspirácia, fotosyntéza a primárna produkcia biomasy, kolobehy biogénnych prvkov, kyslíka a vody (napr. Richter 1987, Novák 1995, Abrahamson a Hansen 2000). Priame a spätné väzby medzi prvkami vyjadrujú modely systému PRAT v podobe matematických rovníc. Uvažujú najmä väzby sprostredkované konkrétnymi fyzikálnymi, chemickými a biochemickými procesmi. Príkladmi takýchto väzieb môže byť vzťah medzi slnečným žiarením, listovou plochou a intenzitou fotosyntézy, závislosť rýchlosti prúdenia vody v pôde od jej vlhkostného potenciálu, závislosť intenzity nitrifikácie od obsahu vody, dusíka a organickej hmoty v pôde a jej teploty či závislosť evapotranspirácie od teploty a vlhkosti vzduchu, listovej plochy rastliny a aktuálneho obsahu vody v pôde. Model simuluje vývoj systému PRAT v čase (dni, mesiace, roky, desaťročia). Vstupmi pre model sú číselné údaje o charakteristikách uvažovaných prvkov systému PRAT a jeho okolia (napr. údaje o počasí, pôde, georeliéfe, pestovanej plodine či pestovateľských zásahoch). Výstupy modelu majú charakter číselných údajov. Často predstavujú kvalitatívne nové údaje o systéme

PRAT, ktoré neboli súčasťou vstupov (napr. množstvo vyprodukovanej biomasy pestovaných plodín, množstvo emitovaného CO₂ alebo množstvo z pôdy vyplavených dusičnanov). Výstupy môžu mať charakter časového radu hodnôt alebo jednoduchej hodnoty – bilancie danej charakteristiky za zvolené časové obdobie simulácie.

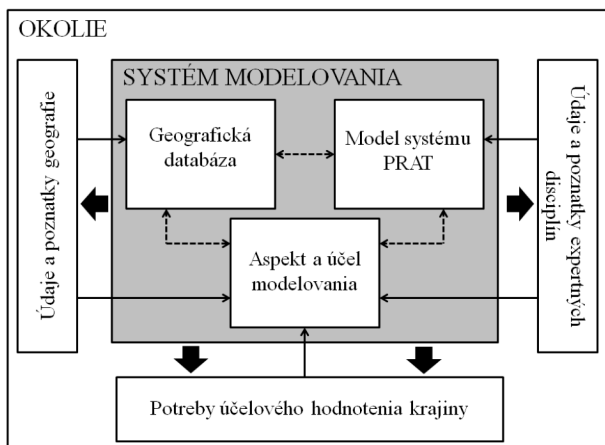
Simulačná jednotka

Simulačný model je výsledkom účelovej abstrakcie látkovo-energetických procesov v systéme PRAT. Nositeľmi týchto procesov sú prvky krajiny, ich konkrétne charakteristiky. V simulačnom modeli sú vyjadrené ako jeho vstupy a výstupy. Vstupy a výstupy simulačného modelu môžu byť, ako akékoľvek iné charakteristiky prvkov krajiny, vyjadrené v mape (geografickej databáze) v podobe obsahu zobrazenej priestorovej jednotky alebo bodu poľa. Takúto obsahovo-priestorovú jednotku (bod poľa), ktorá je obsahovo špecifikovaná s ohľadom na potreby simulačného modelu môžeme označiť pojmom simulačná jednotka. Simulačné jednotky pre aplikáciu simulačného modelu sú z metodologického hľadiska syntetické priestorové (geografické) jednotky. Ich priestorové ohraničenie a obsah vzniká ako výsledok geoeologickej (komplexnej fyzickogeografickej) analýzy územia (napr. Minár et al. 2001). Špecifikom tejto analýzy je to, že jej účel – a tým aj ohraničenie a obsah geoeologických jednotiek – nie je všeobecný, ale presne sleduje nároky simulačného modelu.

Systém modelovania

Z pohľadu technického riešenia môžeme spoločnú aplikáciu simulačného modelu a geografických údajov i jej výsledok vnímať ako určitý systém. Tento systém označíme pojmom systém modelovania. Systém modelovania je vytvorený z existujúcich nástrojov spracovávania dát – simulačného modelu a geografickej databázy simulačných jednotiek pre jeho aplikáciu. Spolu so simulačným modelom a geografickou databázou je užitočné vnímať ako prvok systému modelovania aj zvolený aspekt štúdia krajiny. Aspekt štúdia krajiny môžeme považovať za určitú konkrétnu motiváciu, zámer spoločnej aplikácie modelu systému PRAT a geografických údajov. Od neho totiž závisí celková stratégia integrácie – voľba simulačného modelu a jeho konkrétnych výstupov a tým aj nasmerovanie geoeologickej analýzy záujmového územia a výsledný obsah geografických údajov.

Na obr. 1 je schematicky vyjadrený systém modelovania a jeho vzťah k okoliu. Okrem už naznačených vzťahov medzi prvkami systému modelovania navzájom táto schéma vyjadruje aj jeho vzťah ku geografii, expertným vedeckým oblastiam (ekológia, pôdna hydrológia a pôdna geochémia) a oblastiam účelového hodnotenia krajiny (krajinné plánovanie, agronómia, bioklimatológia, poľnohospodárska ekonómia a pod.), ktoré pokladáme za jeho okolie. Systém modelovania ako celok je zdrojom účelovej geografickej informácie pre tieto oblasti. Uvedené oblasti zas ovplyvňujú obsah prvkov systému modelovania. Geografickú databázu a model systému PRAT v tomto zmysle vnímame ako podmnožinu údajov a vedeckých poznatkov z oblastí geografie a expertných disciplín, ktoré sú vyjadrené špecifickým spôsobom. Aspekt a účel modelovania je daný konkrétnymi potrebami, či už na strane geografie a expertných oblastí, alebo na strane účelového hodnotenia krajiny.



Obr. 1. Schéma systému modelovania

Prerušované šípky znázorňujú vzťah medzi prvkami systému modelovania navzájom, plné šípky ich vzťah k okoliu a hrubé šípky vzťah systému modelovania ako celku k jeho okoliu.

METODIKA

Tvorba systému modelovania sucha

Pre modelovanie bilancie pôdnej vody a produkcie biomasy jačmeňa jarného sme si zvolili simulačný model WOFOST (*World Food Studies*, pozri Supit et al. 1994 a Boogaart et al. 1998). Pre potreby organizácie priestorovo vyjadrených vstupov a výstupov modelu WOFOST a realizáciu simulácií sme použili softvérovú aplikáciu CGMS (Boogaart et al. 2002 a Savin et al. 2004). Model WOFOST je agro-meteorologický model, ktorý umožňuje matematicky simulovať vývoj poľnohospodárskych plodín. Rast plodiny model simuluje v závislosti od miery asimilácie, ktorá je daná množstvom prijatého slnečného žiarenia. Prijaté množstvo slnečného žiarenia je ovplyvňované úrovňou prichádzajúceho žiarenia a listovou plochou plodiny. Z absorbovaného množstva žiarenia a charakteristík fotosyntézy model potom odvodzuje mieru dennej potenciálnej fotosyntézy. Simulované množstvo asimilátov model rozdeľuje medzi rôzne orgány rastlín (vrátane zásobných orgánov – semená a hľuzy). Nedostatok (sucho) alebo nadbytok (kyslíkový stres) vody v pôde sa pri simuláciách prejaví na zníženej produkcii plodiny. Model simuluje aktuálny stav vody v koreňovej zóne pomocou jednoduchšej bilancie vstupov (zrážky) a výstupov (evapotranspirácia, odtok) vody do a z koreňovej zóny pôdy v danom časovom intervale (deň, dekáda). Model zohľadňuje aj dočasné zadržiavanie potenciálne prístupnej vody pre rastliny v koreňovej zóne pôdy v závislosti od retenčných schopností pôdy.

Údaje o počasi pre územie poľnohospodársky využívannej pôdy Slovenska za obdobie rokov 1997-2007 sme získali zo siete 71 meteorologických staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu. Použili sme denné hodnoty maximálnej a minimálnej teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$), trvanie slnečného žiarenia (hod.), priemernú dennú rýchlosť vetra ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), tlak vodných pár (hPa) a denný úhrn

zrážok ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), ktoré boli priamo merané. Dopočítané boli denné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) a radiácie ($\text{KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Meteorologické údaje sme interpolovali do pravidelnej siete štvorcových elementov s priestorovým rozlíšením 10×10 km. Použitý bol algoritmus implementovaný priamo v CGMS (Groot 1998), ktorý bol upravený na podmienky Slovenska Novákovou (2007). Údaje o poľnohospodárskej pôde sme získali z informačného systému o pôde v správe Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy. Pre ďalšie spracovanie sme použili údaje o pôdných sondách (Skalský a Balkovič 2002), bonitovaných pôdno-ekologických jednotkách (Linkeš et al. 1996) a pôdno-ekologickú regionalizáciu Slovenska (Džatko 2002). Z údajov o zrnitosti pôdy – obsahu ílu (%), prachu (%) a piesku (%) v orničnom horizonte pre celkom 16 663 pôdných sond boli vyrátané priemerné hodnoty zrnitosti pre priestorové pôdne jednotky. Priestorové pôdne jednotky sme vytvorili ako kombináciu areálov pôdno-ekologických regiónov a areálov zrnitosti pôd, ktoré boli interpretované z bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek. Pomocou publikovaných rovníc (Orfánus a Balkovič 2004) bola z údajov o zrnitosti pôdy pre každú priestorovú pôdnu jednotku vypočítaná objemová hmotnosť pôdy ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) a obsah vody v pôde pri hodnotách vlhkostného potenciálu $h = 33$ kPa a $h = 1\,500$ kPa ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$). S použitím týchto hodnôt a údajov o zrnitosti pôdy boli modelom Rosetta (Schaap et al. 1998) odvodené hodnoty reziduálnej a nasýtenej vlhkosti pôdy ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$) a hodnoty tvarových parametrov retenčných kriviek potrebné pre výpočet bodov retenčnej krivky a krivky nenasýtenej hydraulikkej vodivosti (Wösten a Van Genuchten 1988). Vyrátané hydrofyzikálne vlastnosti nám slúžili ako vstupy pre model WOFOST. Údaje o pôde sme podľa požiadaviek aplikácie CGMS doplnili údajmi o dominantnom pôdnom type a druhu, svahovitosti, potenciálnej hĺbke koreňovej zóny, pôdnej fyzikálnej skupine, drenážnych pomeroch a potenciálnom zasolení (z údajov o bonitovaných pôdno-ekologických jednotkách). Priestorové pôdne jednotky sme nakoniec agregovali do siete pravidelných štvorcových elementov s priestorovým rozlíšením 1×1 km. Každý priestorový element bol reprezentovaný plošne dominantnou priestorovou pôdnou jednotkou. Ako modelovú plodinu pre simuláciu produkčného procesu a vodnej bilancie modelom WOFOST sme vybrali jačmeň jarný. Jačmeň jarný je hospodársky významná poľnohospodárska plodina, ktorá sa bežne pestuje v rámci celého územia Slovenska. Údaje o fyziologických vlastnostiach a fenológii jačmeňa jarného boli prebrané priamo z modelu WOFOST.

Simulácia fungovania systému PRAT v priestore

Priestorové simulačné jednotky pre aplikáciu modelu WOFOST sme vytvorili ako prienik siete priestorových elementov s rozlíšením 10×10 km (údaje o počasí) a siete priestorových elementov s rozlíšením 1×1 km (údaje o pôde). Simulačná jednotka je tak tvorená jednou až sto bunkami s rozlíšením 1×1 km, ktoré sa nachádzajú v rámci daného štvorca s rozlíšením 10×10 km. Všetky simulačné jednotky reprezentujú iba poľnohospodársky využívané pôdy Slovenska a uvažovalo sa o nich ako o vhodných na pestovanie jačmeňa jarného. Simuláciu produkčného procesu jačmeňa jarného a vodnej bilancie pôdy sme realizovali v poľnohospodárskych sezónach 1997-2007. Modelovaná bola vo-

dou limitovaná produkcia jačmeňa jarného. Bol uvažovaný vplyv podzemnej vody. Ako začiatok kalkulácie vodnej bilancie bol stanovený deň vzchádzania jačmeňa jarného v konkrétnom roku. Simulovali sme časové rady hodnôt celkového množstva sušiny v zásobných orgánoch jačmeňa jarného (úroda zrna) – TWST uvádzané v t/ha (výstupný atribút modelu WOFOST – *Total Water limited dry weight of Storage organs*) s desaťdenným krokom a časové rady hodnôt relatívnej vlhkosti pôdy pod porastom jačmeňa jarného – RSM s denným krokom uvádzané ako % dlhodobu prístupnej vody v pôde, t. j. objem vody v pôde v intervale hydrolimitov poľnej vodnej kapacity a bodu vädnutia (výstupný atribút modelu WOFOST – *Relative Soil Moisture*). Pre potreby vizualizácie sme výstupy modelu WOFOST agregovali na priestorové rozlíšenie 10×10 km. Ako funkcia pre agregovanie bol použitý aritmetický priemer hodnôt TWST alebo RSM vzťahovaných k tým simulačným jednotkám, ktoré sa nachádzali v rámci priestorového elementu 10×10 km.

Identifikácia regiónov sucha

Pre potreby interpretácie výstupov systému modelovania bol použitý časový rad simulovanej hodnoty RSM za obdobie 1997-2007. Hodnoty RSM stanovené pre simulačné jednotky boli pomocou aritmetického priemeru agregované na priestorové rozlíšenie 10×10 km. Takto upravené údaje predstavovali vstup pre účelovú interpretáciu. Na základe hraničnej hodnoty RSM menej ako 40 % boli určené suché dni. Pre obdobie najväčšieho nároku jačmeňa jarného na prístupnú vodu v pôde (od 1. mája do 15. júna) bol pre každú simulačnú jednotku a vegetačnú sezónu zistený počet suchých dní, ktorý bol následne spriemerovaný za celé obdobie rokov 1997-2007. Táto hodnota bola vyjadrená v klasifikovanej podobe ako index priemerného ročného počtu suchých dní (tab. 1). Pre každú simulačnú jednotku bola zároveň stanovená frekvencia výskytu sucha – ako podiel kumulatívneho počtu suchých dní ku kumulatívne počtu všetkých dní v období od 1. mája do 15. júna za celé obdobie rokov 1997-2007. Táto hodnota bola vyjadrená v klasifikovanej podobe ako index frekvencie výskytu suchých dní (tab. 1).

Tab. 1. Definícia indexu priemerného ročného počtu suchých dní a indexu frekvencie výskytu suchých dní

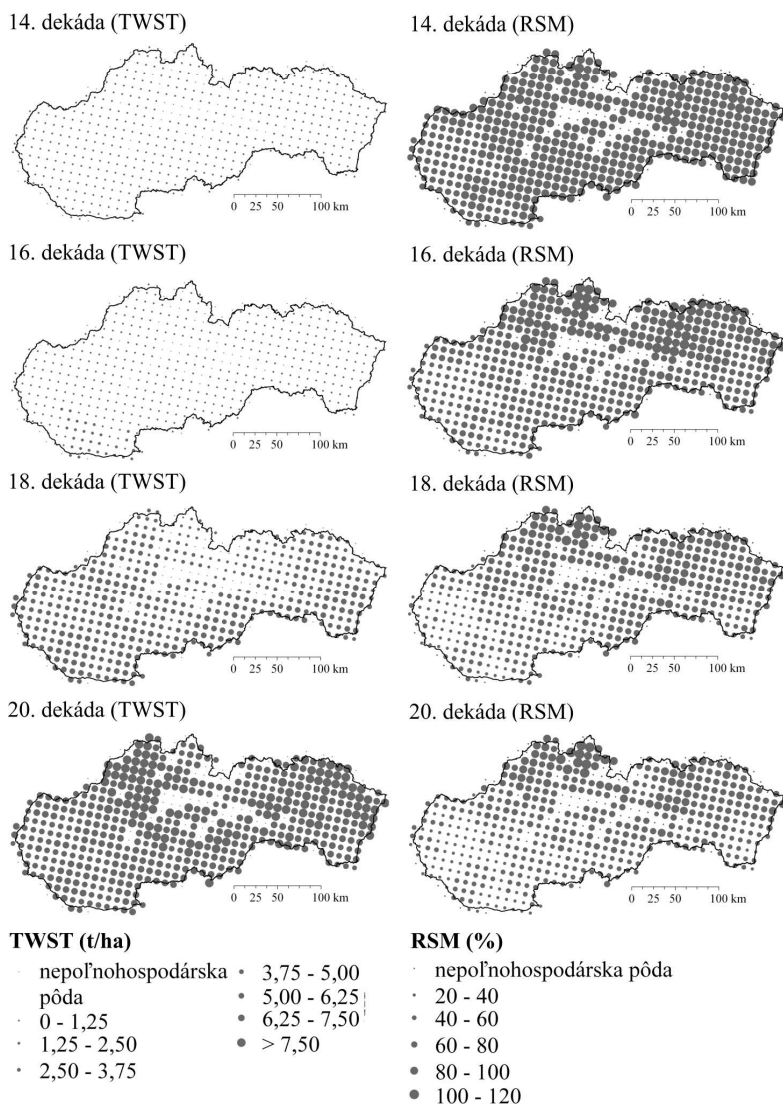
Index priemerného ročného počtu suchých dní	Interval priemerného počtu suchých dní	Index frekvencie výskytu sucha	Interval relatívneho počtu suchých dní
A	< 1	1	< 5%
B	1 - 2,5	2	5 - 10%
C	2,5 - 5	3	10 - 15%
D	5 - 10	4	15 - 20%
E	> 10	5	> 20 %

VÝSLEDKY

Aplikácia systému modelovania

Systém modelovania, ktorý sme vytvorili z existujúceho simulačného modelu WOFOST a geografickej databázy priestorovo reprezentovaných vstupov o počasí a pôde, umožňuje simulovať stav a vývoj porastov jačmeňa jarného

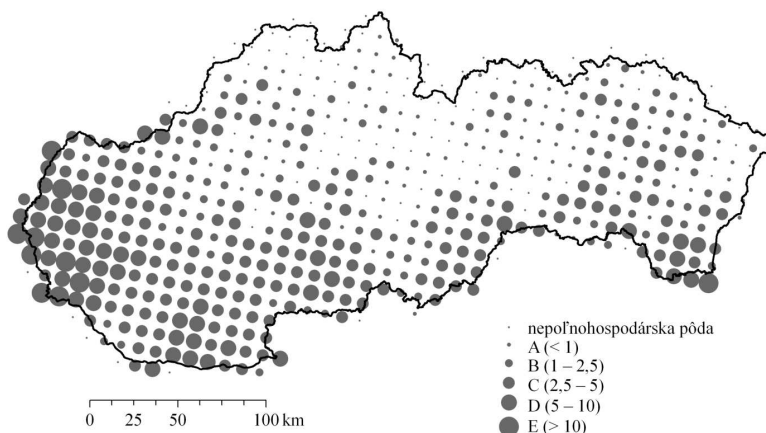
priebežne počas celej vegetačnej sezóny. Voľba simulačného modelu a spôsob spracovania vstupov pre model sledovali konkrétny účel tvorby systému modelovania, ktorým je hodnotenie sucha v poľnohospodárskej krajine. Na podklade existujúcich údajov o počasi a pôde sme pre celé územie poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska odvodili časové rady priestorovo reprezentovaných charakteristík produkčných schopností jačmeňa jarného (TWST) a vlhkostných pomerov pôd pod jeho porastom (RSM). Príklad výstupov je uvedený na obr. 2.



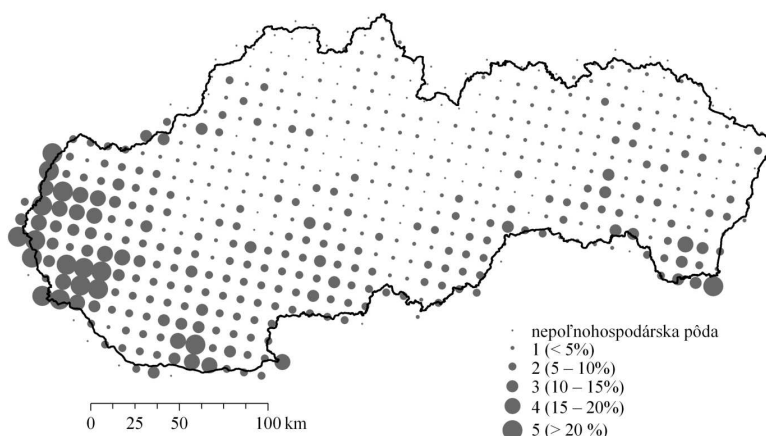
Obr. 2. Časovo-priestorová sezónna dynamika simulovaných hodnôt produkcie sušiny zásobných orgánov jačmeňa jarného (TWST) a relatívnej vlhkosti pôdy (RSM) ako priemer za obdobie rokov 1997-2007 (dekády počítané od 1. januára)

Identifikácia regiónov sucha

Z výsledkov priestorového rozloženia indikátorov sucha – index priemerného ročného počtu suchých dní (obr. 3) a index frekvencie výskytu sucha (obr. 4) vyplýva, že oblasti potenciálneho ohrozenia porastov jačmeňa jarného suchom sa nachádzajú v južných a juhozápadných oblastiach Záhorskej, Podunajskej (oblasť horného Žitného ostrova a okolie mesta Hurbanovo) a Východoslovenskej nížiny. Menej rizikové sa zdajú byť oblasti v severnej časti Podunajskej nížiny a vo Východoslovenskej nížine, Chvojníckej a Myjavskej pahorkatine a v oblasti Juhoslovenskej kotliny. Ostatné oblasti Slovenska sa javia z pohľadu potenciálneho ohrozenia jačmeňa jarného suchom ako bezproblémové.



Obr. 3. Priestorové rozloženie hodnôt indexu priemerného ročného počtu suchých dní za obdobie rokov 1997-2007 pre jačmeň jarný (v zátvorke interval počtu suchých dní)



Obr. 4. Priestorové rozloženie hodnôt indexu frekvencie výskytu suchých dní za obdobie rokov 1997-2007 pre jačmeň jarný (v zátvorke interval relatívneho počtu suchých dní v %)

DISKUSIA

Systém modelovania ako nástroj modelovania geosystému

Klasické výsledky úvah o krajine v zmysle všeobecnej teórie systémov sa spájajú s pojmom geosystém. Vo všeobecnosti je geosystém vnímaný ako systém prvkov krajiny a ich vzťahov. Zdôrazňovaná je tak priestorová, ako aj procesná stránka existencie geosystému. Konkrétny obsah pojmu sa u rôznych autorov mierne líši (cf. Krcho 1968 a 1974, Demek 1974, Míchal 1992, Miklós a Izakovičová 1997, Minár et al. 2001). Vyčerpávajúcu definíciu geosystému a podrobnú systémovú analýzu jeho štruktúry vo formalizovanej podobe vytvoril vo svojich viacerých teoretických prácach Krcho (1968, 1971, 1974 a 1990). Pri našich ďalších úvahách budeme vychádzať práve z týchto prác. V kontexte Krchových teoretických úvah predstavuje geografická databáza úplne kvantifikovaný model priestorovej diferenciácie prvkov geografickej sféry. V matematicky formalizovanej podobe vyjadruje polohu prvkov, ich polohovo priradené stavové charakteristiky a vertikálne a horizontálne vzťahy v priestore (priestorové usporiadanie). Model systému PRAT predstavuje v kontexte teoretických úvah Krcha úplne kvantifikovaný model funkčných vzťahov medzi prvkami geografickej sféry. V matematicky formalizovanej podobe a na veľmi elementárnej úrovni vyjadruje procesy výmeny, premeny, transportu látok, energie a informácie v tomto subsystéme geografickej sféry. Uvažovaný samostatne, bez konkrétnej priestorovej lokalizácie a konkrétnej stavovej parametrizácie jeho prvkov v podobe mozaiky simulačných jednotiek, predstavuje model systému PRAT vyjadrenie jeho funkčnej štruktúry. Systém modelovania, ako výsledok integrácie modelu systému PRAT a geografickej databázy simulačných jednotiek pre jeho aplikáciu predstavuje v zmysle Krchových prác vhodne matematicky formalizovaný model priestorového usporiadania a fungovania zvoleného subsystému geografickej sféry. Tento model umožňuje na veľmi detailnej rozlišovacej úrovni (topické alebo chórické priestorové jednotky) prostredníctvom konkrétnych stavových veličín popísať priestorovú diferenciáciu systému PRAT a jeho nevratnú alebo cyklickú zmenu v čase.

Systém modelovania ako spôsob realizácie krajinných syntéz

Potreby praxe v oblasti ochrany a tvorby životného prostredia viedli u nás začiatkom osemdesiatych rokov 20. storočia k formulácii myšlienky krajinných syntéz (napr. Drdoš et al. 1980, Urbánek et al. 1980 a Mazúr et al. 1983). Autori sa snažili zdôrazniť potrebu vyjadrenia funkčných vzťahov medzi prvkami krajiny pri jej geografickej analýze a tvorbe modelu jej priestorového usporiadania. Ako funkčné vnímali tie vzťahy v krajine, ktorými je sprostredkovaná nejaká funkcia prvku v účelovo zvolenom systéme prírodných a sociálno-ekonomických prvkov krajiny. Výsledkom geografickej analýzy územia v zmysle krajinných syntéz je kartografické vyjadrenie práve tých prvkov krajiny a ich charakteristík (vlastností), ktoré sú z daného (účelového) hľadiska vo vzájomnej interakcii funkčne prepojené. Uvedenú definíciu krajinných syntéz sčasti abstrahuje od konkrétneho krajinnno-plánovacieho účelu vo svojej práci Urbánek (2006). Krajinné syntézy vo všeobecnosti vníma ako logicky nevyhnutný metodologický aparát štúdia krajiny, ktorý vedie k identifikácii a abstrakcii systému funkčne prepojených prvkov v krajine. Z metodologickej podstaty systému mo-

delovania vyplýva, že geografická analýza územia a tvorba priestorového modelu krajiny je vždy realizovaná s ohľadom na konkrétne funkčné vzťahy. Vo funkcii analytického nástroja, t. j. nástroja na abstrakciu a systemizáciu krajiny z procesného pohľadu, tu slúži zvolený simulačný model. Na úrovni priestorového modelu sú vyjadrené vždy len tie prvky a ich charakteristiky, ktoré sú vo vzájomnej funkčnej interakcii (vstupy a výstupy modelu systému PRAT). Z toho vyplýva, že systém modelovania môžeme považovať za možný spôsob formulácie a realizácie krajinných syntéz alebo v zmysle práce Urbánka (2006) aj za metodologicky vhodný nástroj analýzy krajiny. Simulačný model systému PRAT vyjadruje vzťahy medzi prvkami krajiny na veľmi elementárnej úrovni. Geografická databáza, ktorá odráža nároky simulačného modelu na priestorovú reprezentáciu vstupov a výstupov, tak na úrovni simulačných jednotiek obsahuje množstvo kvantitatívne vyjadrených údajov o konkrétnych charakteristikách uvažovaných prvkov krajiny. Výstupy zo systému modelovania sú v čase aj priestore relatívne detailné a v rámci obmedzení daných simulačným modelom aj obsahovo všeobecné (neklasifikované, neinterpretované). Krajinné syntézy v klasickom ponímaní (napr. Mazúr a Krippel 1980 a Džatko 2002) predstavujú vždy jednoduchší a viacúčelovo zameraný systém analýzy krajiny. Na úrovni svojich výstupov využívajú klasifikované a rôzne interpretované vlastnosti krajiny. Funkčné vzťahy, ktoré sú uvažované na úrovni takejto krajinnnej syntézy, majú komplexný a obsahovo integrovaný charakter. Systém modelovania so svojimi detailnými a neinterpretovanými výstupmi tak vo vzťahu ku klasicky ponímanej krajinnnej syntéze predstavuje skôr všeobecnú bázu priestorovo vyjadrených elementárnych funkčných vzťahov v krajine. Po ich zjednodušení alebo interpretácii v podobe priestorovo a časovo účelovo agregovaných hodnôt (indikátorov, indexov a potenciálov) umožňuje daný systém modelovania interpretáciu viacerých krajinných syntéz v klasickom ponímaní.

Model sucha v kontexte teoretických princípov

Nami simulované charakteristiky poľnohospodárskej krajiny použité pre analýzu sucha odrážajú výsledky komplexných funkčných vzťahov v systéme PRAT, ktoré sú realizované najmä prostredníctvom látkovo-energetických tokov. Model WOFOST a účelovo vytvorená geografická databáza vstupov pre model umožnili vhodne vyjadriť priestorovú distribúciu uvažovaných funkčných vzťahov v systéme PRAT a vďaka tomu aj modelovať časovú a priestorovú variabilitu intenzity procesov určujúcich časovú a priestorovú variabilitu sledovaných indikátorov stavov poľnohospodárskej krajiny (pôdne sucha a produkcia biomasy).

Prezentované interpretácie výstupov simulácií v podobe indexu priemerného ročného počtu suchých dní a indexu frekvencie výskytu sucha predstavujú jednoduché príklady krajinných syntéz, ktoré v účelovo zjednodušenej podobe tried zvolenej regionálnej klasifikácie vyjadrujú komplexný časovo a priestorovo dynamický vzťah medzi prvkami poľnohospodárskej krajiny. Ako také, sú len jedny z možných interpretácií (syntéz), ktoré môžu byť odvodené na báze výstupov vytvoreného systému modelovania (model WOFOST a geografická databáza jeho priestorovo reprezentovaných vstupov a výstupov). Príkladom inej syntézy, ktorá by mohla byť vytvorená na podklade tohto systému modelovania, môže byť kategorizácia vhodnosti územia pre pestovanie jačmeňa

jarného. Takáto syntéza by na úrovni funkčných vzťahov mohla napríklad uvažovať okrem simulovaných údajov o bilancii pôdnej vody aj simulované výsledky produkčného procesu jačmeňa jarného. Pri takejto syntéze by sa na úrovni funkčných vzťahov mohlo napríklad uvažovať nielen o simulovaných údajoch o bilancii pôdnej vody, ale aj o simulovaných výsledkoch produkčného procesu jačmeňa jarného.

ZÁVER

V našom príspevku sme sa venovali analýze problematiky využitia modelu systému PRAT v geografickom výskume. Vytvorili sme systém modelovania, ktorý je zložený zo simulačného modelu WOFOST a geografickej databázy jeho priestorovo reprezentovaných vstupov o pôde a počasi. Účelom tvorby systému modelovania bolo získanie údajov pre potreby analýzy výskytu sucha v poľnohospodárskej krajine. Pomocou vytvoreného systému modelovania boli pre priestorové simulačné jednotky získané časové rady údajov o produkcii sušiny zásobných orgánov jačmeňa jarného a relatívnej vlhkosti pôdy pod jeho porastom v rokoch 1997-2007. Pomocou interpretácie časového radu údajov o relatívnej vlhkosti pôdy pod porastom jačmeňa jarného v období rokov 1997-2007 sme vyjadrili index priemerného ročného počtu suchých dní a index frekvencie výskytu sucha na území a ako najrizikovejšie z pohľadu ohrozenia suchom pomocou nich identifikovali regióny na západe Záhorskej nížiny, horného Žitného ostrova a okolia mesta Hurbanovo. Metodická podstata vytvoreného systému modelovania je dobre obsahovo stotožniteľná s ponímaním geografickej sféry v zmysle teoretických prác Krcha (1968, 1971, 1974 a 1990). Systém modelovania môžeme v zmysle viacerých teoretických prác na tému krajinných syntéz (Drdoš et al. 1980, Urbánek et al. 1980, Mazúr et al. 1983 a Urbánek 2006) považovať za nástroj tvorby geografických informácií vhodných na realizáciu súboru jednej alebo viacerých konkrétnych krajinných syntéz. Prezentovaná účelová interpretácia výstupov simulácie pomocou vytvorených indexov predstavuje jednoduché príklady krajinných syntéz. Ako také sú len jednými z možných príkladov interpretácie výstupov vytvoreného systému modelovania. Na základe prezentovaných výsledkov si myslíme, že spoločná aplikácia simulačného modelu a geografických údajov v podobe systému modelovania predstavuje perspektívny a vedecky opodstatnený nástroj geografického štúdia krajiny. Systém modelovania umožňuje vhodne vyjadriť priestorový aj funkčný aspekt krajiny a modelovať tak dynamiku priestorového usporiadania krajiny v čase. Flexibilita systému modelovania umožňuje na úrovni vytváraných výstupov tento nástroj využiť ako zdroj špecifických geografických informácií pri účelovom hodnotení krajiny.

LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P., HANSEN, S. (2000). Daisy: an open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling and Software*, 15, 313-330.
- BALKOVIČ, J., SCHMID, E., BUJNOVSKÝ, R., SKALSKÝ, R., POLTÁRSKA, K. (2006). Biophysical modelling for evaluating soil carbon sequestration potentials on arable land in the pilot area Baden-Württemberg (Germany). *Agriculture*, 52, 169-176.

- BOOGAARD, H. L., van DIEPEN, C. A., ROTTER, R. P., CABRERA, J. M. C. A., van LAAR, H. H. (1998). *WOFOST 7.1. User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5*. Wageningen (DLO Winand Staring Centre).
- BOOGAARD, H. L., EERENS, H., SUPIT, I., VAN DIEPEN, C. A., PICCARD, I., KEMPENEERS, P. (2002). *Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP-report 1/3, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL*. Wageningen (Alterra and VITO).
- CERRI, C. E. P., EASTER, M., PAUSTIAN, K., KILLIAN, K., COLEMAN, K., BERNOUX, M., FALLOON, P., POWLSON, D. S., BATJES, N. H., MILNE, E., CERRI, C. C. (2007). Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 58-72.
- COLEMAN, K., JENKINSON, D. S. (2005). *RothC-26.3. A model for the turnover of carbon in soil: model description and users guide*. Rothamsted (IACR).
- DEMEK, J. (1974). Systémová teória a štúdium krajiny. *Studia Geographica*, 40, 1-20.
- DRDOŠ, J., URBÁNEK, J., MAZÚR, E. (1980). Landscape synthesis and their role in solving the problems of environment. *Geografický časopis*, 32, 119-129.
- DŽATKO, M. (2002). *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdnoekologických regiónov Slovenska*. Bratislava (Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy).
- GROOT van der, E. (1998). Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS). In Bindi, M., Gozzini, B., eds. *Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September – 3 October 1997, Volterra, Italy*. Luxembourg (The Office for Official Publications of European Communities).
- EASTER, M., PAUSTIAN, K., KILLIAN, K., WILLIAMS, S. (2007). The GEFSOC soil carbon modelling system: a tool for conducting regional-scale soil carbon inventories and assessing the impacts of land use change on soil carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 13-25.
- KOSTREJ, A., DANKO, J., GÁBORČÍK, N., JUREKOVÁ, Z., KUBOVÁ, A., REPKA, J., ŠVIHRA, J., ZIMA, M. (1992). *Fyziológia porastu poľných plodín*. Nitra (Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre).
- KRCHO, J. (1968). Prírodná časť geosféry ako kybernetický systém a jeho vyjadrenie v mape. *Geografický časopis*, 20, 115-139.
- KRCHO, J. (1971). Teoretické problémy modelovania prírodnej časti geografickej sféry ako kybernetického systému. *Geografický časopis*, 22, 160-167.
- KRCHO, J. (1974). Štruktúra a priestorová diferenciácia fyzickogeografickej sféry ako kybernetického systému. *Geografický časopis*, 26, 133-162.
- KRCHO, J. (1990). *Morfometrická analýza a digitálne modely reliéfu*. Bratislava (Veda).
- LEIP, A., MARCHI, G., KOEBLE, R., KEMPEN, M., BRITZ, W., LI, C. (2008). Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. *Biogeosciences*, 5, 73-94.
- LI, C., FROLKING, S. M., FROLKING, T. A. (1992). Model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research*, 97, 9759-9776.
- LINKEŠ, V., PESTŮN, V., DŽATKO, M. (1996). *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek*. Bratislava (Výskumný ústav pôdnej úrodnosti).

- LIU, J., WILLIAMS, R. J., ZEHNDER, A. J. B., YANG, H. (2007). GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on global scale. *Agricultural Systems*, 94, 478-493.
- MAJERČÁK, J. (2005). Matematický model a indexy sucha. In Sobocká, J., ed. *Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku. (Zborník referátov z vedeckej konferencie pôdoznalcov SR)*. Bratislava (Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy), pp. 207-213.
- MAZÚR, E., KRIPPEL, E. (1980). Typy súčasnej krajiny, 1:500 000. In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Bratislava (Slovenská akadémia vied, Slovenský úrad geodézie a kartografie), pp. 102-103.
- MAZÚR, E., DRDOŠ, J., URBÁNEK, J. (1983). Krajinne syntézy – ich východiská a smerovanie. *Geografický časopis*, 35, 3-19.
- MÍCHAL, I. (1992). *Ekologická stabilita*. Brno (MŽP ČR).
- MIKLÓS, L., IZAKOVIČOVÁ, Z. (1997). *Krajina ako geosystém*. Bratislava (Veda).
- MINÁR, J., BARKA, I., BONK, R., BIZUBOVÁ, M., ČERNANSKÝ, J., FALTÁN, V., GAŠPÁREK, J., KOLÉNY, M., KOŽUCH, M., KUSENDOVÁ, D., MACHOVÁ, Z., MIČIAN, L., MIČIETOVÁ, E., MICHÁLKA, R., NOVOTNÝ, J., RUŽEK, I., ŠVEC, P., TREMBOŠ, P., TRIZNA, M., ZAŤKO, M. (2001). Geoeologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. *Geografické spektrum*, 3. Bratislava (Geo-grafika).
- NOVÁK, V. (1995). *Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania*. Bratislava (Veda).
- NOVÁKOVÁ, M. (2007). Interpolácia meteorologických údajov pre potreby monitoringu stavu vývoja a odhadu úrod poľnohospodárskych plodín. In Bujnovský, R., ed. *Vedecké práce č. 29*. Bratislava (Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy), pp. 93-103.
- NOVÁKOVÁ, M., SKALSKÝ, R. (2006). Soil data potential for its application in process of selected crops yield prediction. *Agriculture*, 52, 177-188.
- ORFÁNUS, T., BALKOVIČ, J. (2004). Metodika generovania priestorových máp retenčných vlastností pôd z bodových dát o pôdnej textúre. *Acta Hydrologica Slovaca*, 5, 139-148.
- PARTON, W. J., STEWART, J. W. B., COLE, C. V. (1988). Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*, 5, 109-131.
- RICHTER, J. (1987). *The soil as a reactor: modelling processes in the soil*. Cremlingen (CATENA VERLAG).
- SAVIN, I., BOOGAARD, H., DIEPEN van, C., NÉGRE, T. (2004). *CGMS version 8.0. User manual and technical documentation*. Luxembourg (The Office for Official Publications of European Communities).
- SCHAAP, M. G., LEIJ, F. J., GENUCHTEN van, M. T. (1998). Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 847-855.
- SKALSKÝ R., BALKOVIČ, J. (2002). Digital database of selected soil profiles of complex soil survey of Slovakia (KPP-DB). In Jambor, P., ed. *Vedecké práce 25*. Bratislava (Výskumný ústav pôdoznalstva a ochrany pôdy), pp. 129-140.
- STEHFEST, E., HEISTERMAN, M., PRIESS, J. A., OBJÍMA, D. S., ALCAMO, J. (2007). Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. *Ecological Modelling*, 209, 203-219.
- SUPIT, I., HOOIJER, A. A., DIEPEN van, C. A. (1994). *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: theory and algorithms*. Luxembourg (Office for Official Publications of the EC).
- ŠÚTOR, J., ŠTEKAUEROVÁ, V. (2008). Prognóza pôdneho sucha. In Rožnovský, J., Litschmann, T., eds. *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině. Zborník príspevkov z konferencie, Mikulov 9. – 11.9.2008*. Praha (Český hydrometeorologický ústav pre Českú bioklimatologickú spoločnosť). Dostupné na: <http://www.cbks.cz/sbornik08b/Sutor.pdf> (cit.: 2012-03-02).

- TAKÁČ, J. (2002). Využitie matematického modelovania na hodnotenie procesov v poľnohospodárskej krajine. *Phytopedon (Bratislava)*, 1, 227-231.
- URBÁNEK, J. (2006). Krajinné syntézy. *Geografický časopis*, 58, 85-98.
- URBÁNEK, J., MAZÚR, E., DRDOŠ, J. (1980). The search for the new way of the landscape study. *Geografický časopis*, 32, 108-118.
- WILLIAMS, J. R. (1995). The EPIC Model. In Singh, V. P., ed. *Computer models of watershed hydrology*. Highlands Ranch, Colorado (Water Resources Publications), pp. 909-1000.
- WÖSTEN, J. H. M., GENUCHTEN van, M. T. (1988). Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 1762-1770.

Rastislav Skalský, Martina Nováková, Monika Mišková

ANALYSIS OF DROUGHT IN THE LANDSCAPE AS AN EXAMPLE OF THE SIMULATION MODEL APPLIED IN GEOGRAPHY

A stepwise process of setting up a modelling system of the plant-soil-atmosphere system (PRAT) simulation model and identification of spring barley drought risk regions based on the modelling system outputs is presented here. The modelling system example is discussed in the perspective of its possible use in geographical research. Drought is a complex landscape characteristic, which reflects the state of landscape elements (atmosphere, soil, plants). The soil-plant-atmosphere system (PRAT) is the sub-system of the geosystem that is responsible for mass-energy processes such as evapo-transpiration, photosynthesis and primary production of plants (Novák 1995). The simulation model can describe the processes running in the PRAT system by the basic biophysical processes such as heat and other energy fluxes, water and elements balances etc., (Richter 1987, Abrahamsen and Hansen 2000, Novák 1995). Inputs and outputs of the simulation model can be considered as landscape characteristics, which can be displayed spatially on the map. Spatial units supposed to represent simulation model inputs or outputs on the map are simulation units, results of a purposeful analysis of landscape data (e.g. Minár et al. 2001). Integration of the PRAT system simulation model and a corresponding geographical database of the simulation units, which is designed for the particular purpose, can be referred to as a modelling system (Fig. 1). Modelling system is a useful term for and the methodological and technical expression of the complex and inter-disciplinary approach to the geographical landscape modelling. The agro-meteorological model WOFOST (Supit et al. 1994, Boogaard et al. 1998) was selected as the PRAT system simulation model. The CGMS application (Boogaard et al. 2002, Savin et al. 2004) served as a tool for the WOFOST model running and organization of its data inputs and outputs. Daily meteorological data measured for 71 meteorological stations across Slovakia (maximum and minimum temperature, sunshine, wind speed, vapour pressure, and precipitation) and calculated values of evapo-transpiration and solar radiation were interpolated into a regular grid of 10×10 km spatial resolution using the algorithm of Groot (1998) adjusted to the conditions of Slovakia by Nováková (2007). Topsoil texture data (clay, silt, sand content) coming from the soil profile database (Skalský et al. 2002) were averaged across soil polygons, which resulted from intersection of soil ecological regions (Džatko 2002) and soil texture polygons derived from land evaluation units (Linkeš et al. 1996). Soil hydro-physical properties data required by the WOFOST were derived from soil texture data by the set of pedo-transfer rules (Orfánus et al. 2004, Schaap et al. 1998, Wösten et al. 1988). Simulation units for the WOFOST model were defined as an intersect of 10×10

km resolution climate data and soil polygon data aggregated into 1×1 spatial resolution grid. Time series of spring barley dry mass of storage organs production in t/ha (TWST) and relative soil moisture in % (RSM) were simulated for the period 1997-2007 (Fig. 2). The average number of dry days in the year (Fig. 3) and drought day frequency (Fig. 4), both for 1. May-15. June were calculated from daily time series of RSM and classified according to Tab. 1 (index of average number of dry days in the year and index of drought day frequency). The most sensitive regions were identified based on the indices at south-west and south-east parts of Slovakia. Krcho (1968, 1971, 1974 and 1990) defines the geographical sphere on several hierarchical levels as a system having its spatial and functional structure. The methodological principles of the modelling system compare well with the theoretical model of the geographical sphere. As a whole, the modelling system can theoretically describe that subset of the geographical sphere which is defined by the PRAT system. Landscape syntheses (Drdoš et al. 1980, Urbánek et al. 1980, Mazúr et al. 1983, Urbánek 2006) represent ideas of such a purposeful mapping of landscape, which takes into account mutual interactions of the landscape elements. The modelling system is a kind of landscape synthesis describing very elemental functional relationships in the landscape. Compared to the classical view on landscape synthesis (e.g. Mazúr and Krippel 1980, Džatko 2002) the modelling system is, however, more of a basis for the definition of several particular landscape syntheses than the landscape synthesis itself. Drought regions identification based on interpreted indices represent only particular landscape syntheses which can be done upon the WOFOST model based modelling system outputs. The results of the theoretical analysis allow us to conclude that integration of the simulation models into geographical research can be useful and promising for future landscape research studies.

