



**Výskumný ústav pôdoznalectva
a ochrany pôdy, Bratislava**



Národný systém pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín SK_CGMS

**Martina Nováková
Zuzana Klikušovská
Rastislav Skalský
Michal Sviček
Monika Mišková
Tatiana Čičová**

Bratislava 2010

Obsah

	Strana
Úvod	3
1. Európsky systém pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín	4
2. Implementácia metodiky CGMS na národnú úroveň (SK_CGMS)	6
2.1. Priestorový aspekt národného systému SK_CGMS	6
2.2. Monitoring počasia v rámci SK_CGMS	7
2.2.1. Interpolácia meteorologických údajov v rámci európskeho CGMS	7
2.2.2. Princíp interpolácie meteorologických údajov v rámci SK_CGMS	8
2.2.3. Výstupy interpolácie meteorologických údajov v rámci SK_CGMS	9
2.3. Monitoring biomasy v rámci SK_CGMS	13
2.3.1. Pôdne údajové vstupy a priestorová schematizácia v rámci európskeho systému CGMS	14
2.3.2. Pôdne údajové vstupy a priestorová schematizácia v rámci národného systému SK_CGMS	15
2.3.3. Výstupy monitoringu biomasy v rámci SK_CGMS	18
2.4. Štatistické analýzy - odhad úrod v rámci SK_CGMS	24
2.4.1. Štatistické analýzy v rámci európskeho systému CGMS	24
2.4.2. Štatistické analýzy v rámci národného systému SK_CGMS	25
2.4.3. Výstupy štatistických analýz v rámci národného systému SK_CGMS	27
3. Záver	28
Zoznam použitej literatúry	31

Úvod

Produkčná schopnosť poľnohospodárskych plodín predstavuje jednu zo základných funkčných charakteristík poľnohospodárskych pôd a poľnohospodárskej krajiny. Význam hodnotenia produkčnej schopnosti je podstatný nielen pri zabezpečovaní potravinovej bezpečnosti, či pri cenotvorbe poľnohospodárskych pôd pri ich zábere, ale aj pri riadení trhu s poľnohospodárskymi komoditami.

Odhad úrod a produkcie konkrétnych poľnohospodárskych plodín (vrátane monitoringu porastov poľnohospodárskych plodín) priebežne počas aktuálnej poľnohospodárskej sezóny poskytuje okrem ekonomického prínosu aj prínos „ekologický“. Spočíva v postupnej implementácii opatrení s výrazným aspektom cielenej ochrany životného prostredia do poľnohospodárskej praxe, a tým aj v potenciálnom dosiahnutí úspor v nákladoch na používané uniformné technologické postupy. Zároveň je odhad úrod poľnohospodárskych plodín, resp. komplexná analýza poľnohospodárskej sezóny, zdrojom nových, odvodených údajov alebo informácií o fungovaní systému poľnohospodárskej krajiny, ako aj o jej odozvách na extrémne situácie (predovšetkým extrémne poveternostné pomery).

Pri implementácii nariadení a regulácií Spoločnej poľnohospodárskej politiky (CAP) do bežnej poľnohospodárskej praxe je potrebné zabezpečiť aj priebežný monitoring a kontrolu plnenia jednotlivých opatrení (požiadavka je zahrnutá v Nariadení Rady (ES) č. 78/2008 z 21. januára 2008: *„Nariadenie Rady ES o opatreniach, ktoré má Komisia vykonávať v období rokov 2008 – 2013 technikami diaľkového pozorovania implementovanými v rámci spoločnej poľnohospodárskej politiky“*).

Priebežné odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín v rámci Európskej Únie (EU) realizuje JRC Ispra (Joint Research Centre of EC, Spoločné výskumné stredisko Európskej Komisie), konkrétne Inštitút pre ochranu a bezpečnosť obyvateľstva (Institute for the Protection and Security of the Citizen) a v rámci neho oddelenie MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) a jednotka MARS-AGRI4CAST. Priebežné odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín sú stanovované na základe využitia meteorologických analýz, analýz stavu a vývoja plodín prostredníctvom vybraných vegetačných indikátorov a indexov (simulovaných agrometeorologickým modelovaním a interpretovaných zo satelitných obrazových záznamov) a odhady štruktúry osevu.

Priebežné odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín na národnej úrovni (pre SR) realizuje viacero inštitúcií, pričom každá z nich vychádza z aplikácie rozdielnych metodických postupov (Štatistický úrad – štatistické a pravdepodobnostné modely; Slovenské centrum poľnohospodárskeho výskumu – Výskumný ústav rastlinnej výroby – terénny prieskum; Slovenská

poľnohospodárska a potravinárska komora – spracovanie údajov poskytnutých poľnohospodárskymi subjektmi počas žatvy).

Priebežné odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín realizuje v rámci svojich činností aj Výskumný ústav pôdoznaectva a ochrany pôdy (VÚPOP), a to na základe kontraktov s Ministerstvom pôdohospodárstva SR od roku 1998. Odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín boli v rokoch 1998 – 2008 realizované mierne modifikovanou metodikou vyvinutou a doporučenou pre tieto účely JRC. Vychádzali z aplikovania dvoch samostatných metód – metódy interpretácie satelitných záznamov (pre SR Scholtz 2005) a metódy agrometeorologického modelovania (pre SR Nováková 2005); následnou štatistickou analýzou odvodených vegetačných indexov/indikátorov a štatistických radov dosiahnutých úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín boli určené konečné hodnoty produkcie jednotlivých poľnohospodárskych plodín. Z hľadiska priestorovej reprezentácie mali výstupy odhadu úrod metódou agrometeorologického modelovania bodový charakter, pričom boli následne transformované a interpretované na okresnú, krajskú a národnú úroveň. Výstupy odhadu úrod metódou interpretácie satelitných záznamov boli priamo odvodené a interpretované na okresnej, krajskej a národnej úrovni.

Vzhľadom na požiadavky na podrobnejšiu prezentáciu priestorovej variability „tvorby“ produkcie poľnohospodárskych plodín bolo potrebné pristúpiť k transformácii existujúceho národného systému pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín a k postupnej implementácii metodického postupu, ktorý pre tieto účely využíva JRC.

1. Európsky systém pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín

Myšlienka monitorovania biomasy orientovaného na sledovanie stavu a vývoja porastov poľnohospodárskych plodín a s cieľnou kvantitatívnou koncovkou vo forme predpovedí úrod poľnohospodárskych plodín na európskej úrovni je implementovaná v Systéme pre monitoring poľnohospodárskych plodín (Crop Growth Monitoring System, CGMS) a v Systéme pre predpovedanie úrod poľnohospodárskych plodín (MARS Crop Yield Forecasting System, MCYFS) (<http://mars.jrc.it/mars/About-us/AGRI4CAST>; Micale a Genovese, 2004; Lazar a Genovese, 2004; Royer a Genovese, 2004; Genovese a Bettio, 2004).

Oba systémy boli vyvinuté Spoločným výskumným centrom Európskej Komisie (JRC Ispra, Taliansko) v spolupráci s univerzitou vo Wageningene (Holandsko), resp. jej výskumným inštitútom – Science Institute of Wageningen University Research Centre; Meteoconsult (Dutch

meteorological company) a VITO (Flemish Institute for Technological Research) v období 1988 – 1993, resp. v období 1994 – 1998, počas ktorého boli oba systémy (CGMS a MCYFS) integrované.

Štruktúra CGMS (už v integrovanej forme) zodpovedá trom navzájom prepojeným úrovniam – samostatným aplikáciám:

- 1. úroveň: *Monitoring počasia* – ktorá zabezpečuje spracovanie meteorologických údajov vo forme interpolácie údajov a interpretáciu výstupov interpolácie prostredníctvom vopred definovanej priestorovej gridovej siete (s rozlíšením 50 x 50 km); výstupom tejto úrovne sú: a) interpolované meteorologické údaje – indikátory, prostredníctvom ktorých sa hodnotí vývoj vegetačnej sezóny vzhľadom na uspokojenie nárokov plodín na podmienky prostredia a vzhľadom na stav a vývoj porastov poľnohospodárskych plodín a b) vstupné meteorologické údaje pre model WOFOST;
- 2. úroveň: *Monitoring biomasy* – v rámci ktorej je implementovaný agrometeorologický model WOFOST; výstupom tejto úrovne sú modelované, priestorovo lokalizované vegetačné indikátory – ako parametre stavu biomasy (celková nadzemná biomasa, listová pokrývnosť, produkcia sušiny v zásobných orgánoch a pod.), prezentované sú prostredníctvom vopred definovanej priestorovej gridovej siete (s rozlíšením 50 x 50 km);
- 3. úroveň: *Štatistické analýzy* – ktorá prostredníctvom historických údajov (osevné plochy, v minulosti dosiahnuté úrody za administratívne a štatistické jednotky), údajov interpretovaných zo satelitných obrazových záznamov (historický rad hodnôt NDVI) a výstupov agrometeorologického modelovania (historický rad simulovaných vegetačných indexov) a pomocou vybraných metód štatistických analýz (trendová analýza, regresný rad a pod.) stanoví odhady priemerných úrod pre definované priestorové elementy.

Výstupy sú prezentované na úrovni administratívnych a štatistických priestorových jednotiek EU alebo prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 50 x 50 km (viac na <http://mars.jrc.it/mars/About-us/AGRI4CAST>).

Softvérová aplikácia CGMS plní aj funkciu databázovú (organizácia všetkých údajov – vstupné, výstupné, pomocné, dočasné), zabezpečuje realizáciu väčšiny čiastkových, tematicky samostatných procesov v rámci celého algoritmu aplikácie a zároveň podporuje čiastočnú automatizáciu jednotlivých krokov.

2. Implementácia metodiky CGMS na národnú úroveň (SK_CGMS)

V národnom systéme pre odhadovanie úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín, ktorý bol používaný v rokoch 1998 – 2008 nebola plne implementovaná softvérová aplikácia CGMS, pričom práve tejto problematike sa v poslednom období (od roku 2007) venovala zvýšená pozornosť.

Implementácia európskej metodiky na národnú úroveň a budovanie národného systému agrometeorologického modelovania s nadstavbou pre odhad úrod a produkciu poľnohospodárskych plodín (aplikácia SK_CGMS) spočívala v: a) čiastočnej modifikácii samotného metodického postupu vplyvom implementácie národných, priestorovo detailnejších údajových vstupov; b) v budovaní národnej údajovej vstupno-výstupnej databázy a c) v aplikácii odvodenej referenčnej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km, prípadne v aplikácii priestorovo detailnejších, administratívno-štatistických jednotiek – okresov (a s potenciálom využitia obcí) ako základných priestorových jednotiek pre priestorovú vizualizáciu výsledkov samotného odhadu úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín.

2.1. Priestorový aspekt národného systému SK_CGMS

Základný priestorový rámec pre národný systém SK_CGMS je definovaný referenčnou gridovou sieťou s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km, ktorá zodpovedá potrebám harmonizovanej výmeny geografickej informácie definovanej direktívou INSPIRE (Inspire Directive). V priestore hierarchicky nadväzuje na gridovú sieť s priestorovým rozlíšením 50 x 50 km, využívanú v európskom systéme CGMS.

Referenčná gridová sieť s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km je využitá: a) ako klimatický grid, resp. ako priestorový prienik gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km s geodatabázou Land Parcel Identification System (LPIS), a to pri interpolácii meteorologických údajov a následnej priestorovej reprezentácii výstupov monitoringu počasia a b) ako priestorová jednotka agregovania a následne reprezentácie výstupov monitoringu poľnohospodárskych plodín.

Ovodený priestorový rámec národného systému SK_CGMS je definovaný detailnejšou gridovou sieťou s priestorovým rozlíšením 1 x 1 km. Využitá je: a) pri reprezentácii vstupných údajov o pôde (ako priestorový prienik s geodatabázou LPIS, resp. s priestorovou delimitáciou ornej pôdy, pričom do úvahy sa brali len elementy gridovej siete so zastúpením nad 20 percent ornej pôdy), b) pri priestorovej delimitácii *simulačných a elementárnych mapovacích jednotiek* a c) ako základná priestorová jednotka reprezentácie výstupov monitoringu poľnohospodárskych plodín.

2.2. Monitoring počasia v rámci SK_CGMS

Monitoring počasia (ako samostatný subsystem v rámci systému SK_CGMS) pozostáva z viacerých, vzájomne prepojených čiastkových procesov – procesu zberu a prvotného spracovania meteorologických údajov, procesu priestorovej interpolácie a interpretácie meteorologických údajov v rámci pravidelnej klimatickej gridovej siete a procesu interpretácie meteorologických a klimatických indikátorov vo vzťahu k stavu porastov poľnohospodárskych plodín (Boogaard a iní 2002). Výstupy monitoringu počasia sa následne využívajú:

- pre potreby monitorovania a analýzy počasia počas aktuálnej vegetačnej sezóny;
- pre potreby fungovania varovného systému – výskytu extrémnych poveternostných situácií z hľadiska vývoja poľnohospodárskych plodín (biomasy);
- a zároveň ako údajové vstupy o priebehu počasia pre potreby biofyzikálneho modelovania v prostredí modelu WOFOST (Supit a iní 1993, Boogaart a iní 1998, Supit a Goot 2003).

Monitoring počasia, ako samostatný subsystem v rámci systému SK_CGMS je v súčasnosti plne funkčný.

2.2.1. Interpolácia meteorologických údajov v rámci európskeho CGMS

Princíp interpolácie meteorologických údajov v rámci CGMS vo všeobecnosti spočíva v priestorovej interpretácii meteorologických údajov prislúchajúcich centroidom klimatickej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 50 x 50 km (v rámci európskeho kontinentu tvorená 5625 gridovými bunkami). Veľkosť gridovej bunky je podmienená predpokladom, na základe ktorého je počasie v rámci 50 x 50 km bunky gridu považované za homogénne a k jeho výraznejším zmenám dochádza pri uvažovaní vzdialeností nad 50 až 150 km, t. j. mimo uvažovanej bunky.

Prvá časť samotnej interpolácie meteorologických údajov v systéme CGMS spočíva vo výbere vhodných meteorologických staníc pre centroid každej gridovej bunky. Do procesu interpolácie vstupujú meteorologické stanice nachádzajúce sa v okruhu 250 km (polomer) od každého centroidu. Zo staníc v definovanom priestore sa algoritmom skórovania vyberú tie najpodobnejšie (algoritmus stanovenia podobnosti staníc je uvedený podrobne v prácach Supit a iní 1994, Voet a iní 1994, van der Goot 1998).

Druhá časť procesu interpolácie meteorologických údajov v systéme CGMS spočíva v procese vlastnej interpolácie údajov. Pre centroid každej bunky gridu, v interpretačnom význame pre každú bunku gridu, sa v závislosti od interpolovaného parametra, berú do úvahy 1 až 4 stanice z okruhu 250 km.

Pri interpolácii atmosférických zrážok sa pre bunku rastra berie za smerodajný údaj z najpodobnejšej meteorologickej stanice (zo stanice s najnižším skóre), t. j. hodnota úhrnu zrážok predstavuje reálne nameranú hodnotu. Pri interpolácii ostatných meteorologických údajov (extrémne denné teploty vzduchu, rýchlosť vetra, tlak vodný pár, radiácia a evapotranspirácia) sa zo skupiny 1 až 4 staníc vyberie stanica, resp. kombinácia 1 – 4 meteorologických staníc, ktorú charakterizuje najnižšie skóre v skupine staníc (vo vzťahu 2 vyjadrené ako parameter *setscore*). Skóre v skupine staníc sa stanovuje pre všetky kombinácie vybraných 1 - 4 staníc vzhľadom ku každému centroidu bunky gridovej siete (Supit a iní 1994, Voet a iní 1994, Van der Goot 1998):

$$SetScore = distavg + Daltavg * Walt + DdCstcorravg + DCG + FnS * Scoremin$$

kde: *SetScore* je číslo (hodnota) vyjadrujúce podobnosť meteorologickej stanice (alebo ich kombinácie) a centroidu bunky gridu (km); *distavg* zodpovedá priemernej vzdialenosti medzi meteorologickou stanicou (stanicami) a centroidom bunky gridu (km); *Daltavg* je priemerný rozdiel medzi nadmorskou výškou centroidu bunky gridu a meteorologickej stanice (staníc) (m); *Walt* zodpovedá váženému koeficientu pre $\Delta Dalt$ (zodpovedá hodnote 0,5 km/m); *DdCstcorr* je priemerný rozdiel medzi reálnymi a upravenými vzdialenosťami k pobrežiu (km); *DCG* predstavuje vzdialenosť medzi centroidom bunky gridu a gravitačným centrom hodnotených meteorologických staníc (km); *FnS* je daný počtom staníc v skupine (-); a *Scoremin* zodpovedá minimálnemu skóre v skupine staníc (km).

Po výbere vhodnej meteorologickej stanice, resp. kombinácie staníc sa meteorologické údaje interpolujú jednoduchým spôsobom – aritmetickým priemerom. Pre centroid bunky gridu, v interpretačnom význame pre celú bunku gridu, sa berie do úvahy aritmetický priemer údajov z kombinácie staníc s najnižším skóre; v prípade maximálnej a minimálnej teploty vzduchu, ako aj v prípade tlaku vodných pár, predchádza aritmetickému priemerovaniu korekcia údajov vzhľadom na referenčnú nadmorskú výšku centroidu bunky rastra (koeficient $-0,006 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$ v prípade teplôt a $-0,00025 \text{ hPa.m}^{-1}$ v prípade tlaku vodných pár).

2.2.2. Princíp interpolácie meteorologických údajov v rámci SK_CGMS

Modifikácia princípov interpolácie CGMS (databázovej a výkonnej funkcie systému SK_CGMS; Nováková 2007) bola uplatnená len do tej miery, ktorú podmienil a spôsobil vstup národných meteorologických údajov a s ním súvisiaca zmena priestorového rozlíšenia (úroveň detailu) samotného procesu interpolácie meteorologických údajov.

Pozorovania a zber meteorologických údajov v rámci siete meteorologických staníc v SR a ich následnú distribúciu zabezpečuje Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ). Pri tvorbe databázy meteorologických údajov pre budovanie systému SK_CGMS bola analyzovaná sieť meteorologických staníc, a to a) z hľadiska možností pravidelného poskytovania požadovaných meteorologických údajov (denné hodnoty maximálnej a minimálnej teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$); trvanie slnečného svitu (hod); priemerná denná rýchlosť vetra ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); tlak vodných pár (hPa) a denný úhrn atmosférických zrážok (mm)) nameraných priamo na meteorologických stanicach v približne reálnom čase a b) z hľadiska ich lokalizácie (požiadavka reprezentatívnosti pre poľnohospodársku krajinu). Zároveň bola analyzovaná možnosť využitia údajov zo siete zrážkomerných staníc v rámci SR (dostupnosť údajov, priestorová distribúcia zrážkomerných staníc).

Po získaní a prvotnom spracovaní meteorologických údajov (kontrola kvality a kvantity) bola, na základe štruktúry databázy CGMS, vybudovaná databáza vstupných meteorologických údajov systému SK_CGMS. Pred samotným procesom interpolácie meteorologických údajov boli v aplikácii SK_CGMS realizované doplnkové výpočty (výpočet potenciálnej evapotranspirácie ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$) a radiácie ($\text{KJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) implementovanými algoritmami - Supit a iní 1994).

Mierne modifikovaný bol samotný algoritmus interpolácie meteorologických parametrov. Dostatočné pokrytie územia SR meteorologickými stanicami umožnilo znížiť okruh (polomer) pre stanovenie a výber staníc vstupujúcich do procesu interpolácie pre centroid každej bunky gridu (z 250 km v CGMS na 100 km v rámci SK_CGMS); pri interpolácii sa nebral do úvahy vplyv vzdialenosti od pobrežia (reálna vzdialenosť presahuje 200 km); uvažovaný nebol ani vplyv klimatických bariér - všetky meteorologické stanice sú lokalizované v rámci poľnohospodársky využívanej krajiny mimo výrazných horských celkov.

Dostatočné pokrytie územia SR meteorologickými stanicami umožnilo modifikovať aj možnosť priestorovej reprezentácie meteorologických údajov v rámci SK_CGMS. Pre potreby procesu interpolácie a následnej interpretácie výsledkov interpolácie bola definovaná gridová sieť s detailnejším priestorovým rozlíšením ($10 \times 10 \text{ km}$), v prípade využitia údajov aj zo zrážkomerných staníc gridová sieť s priestorovým rozlíšením $5 \times 5 \text{ km}$.

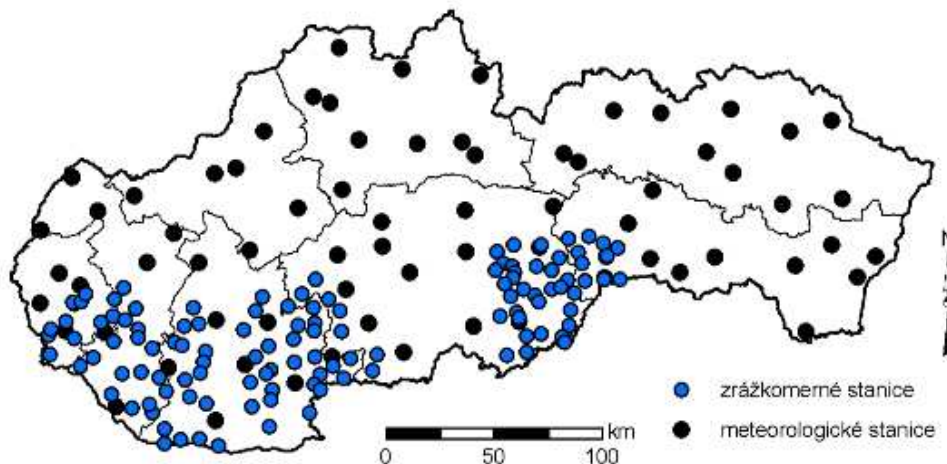
2.2.3. Výstupy interpolácie meteorologických údajov v rámci SK_CGMS

Údajové vstupy pre monitoring počasia

Ako *vstup pre proces interpolácie meteorologických údajov* v systéme SK_CGMS bolo vybraných 70 meteorologických staníc (obr. 1). V databáze SK_CGMS sú zahrnuté meteorologické údaje (denné hodnoty maximálnej a minimálnej teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$); trvanie slnečného svitu (hod); priemerná denná rýchlosť vetra ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); tlak vodných pár (hPa) a denný úhrn atmosférických zrážok (mm)) v časovom horizonte od 1.1.1989.

Potenciál využitia údajov zo zrážkomerných staníc (denné úhrny zrážok) v rámci SK_CGMS spočíva v možnosti zabezpečenia priestorovo detailnejších vstupných údajov, pričom však sú poskytované s určitým časovým posunom (cca 2 - 3 mesiace), zapríčineným spracovávaním a kontrolou údajov na SHMÚ.

Obrázok 1. Lokalizácia meteorologických a zrážkomerných staníc v rámci SK_CGMS.



Z tohto dôvodu sú údaje zo zrážkomerných staníc využiteľné predovšetkým pre potreby spätných regionálnych analýz. Do SK_CGMS boli zahrnuté tieto údaje len z vybraných regiónov SK, konkrétne zo Žitného ostrova, z okresu Levice a okolia a z regiónu južnej časti okresov Rimavská Sobota, Revúca a Rožňava (obr. 1). Podobne ako pri údajoch z meteorologických staníc, sú v SK_CGMS zahrnuté údaje zo zrážkomerných staníc v časovom horizonte od 1.1.1989.

Databáza meteorologických údajov pre monitoring počasia

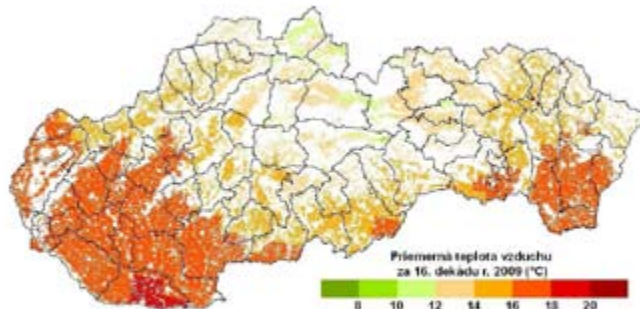
Databáza subsystému monitoringu počasia (databáza meteorologických údajov), vytvorená v systéme SK_CGMS, zabezpečuje funkciu údajového skladu a archívu pre meteorologické údaje z jednotlivých meteorologických staníc (t. j. pre vstupné údaje procesu interpolácie), pre interpolované meteorologické údaje (t. j. pre výstupné údaje z procesu interpolácie), pre pomocné údaje (pomocné z hľadiska definovania priestorového rámca procesu interpolácie a z hľadiska doplnkových výpočtov v rámci algoritmu interpolácie) a údajov – medziproduktov procesu interpolácie. Zároveň vytvorená databáza meteorologických údajov predstavuje požadovaný vstup pre biofyzikálne modelovanie v prostredí modelu WOFOST (implementovanom v systéme SK_CGMS).

Priestorová reprezentácia výstupov monitoringu počasia

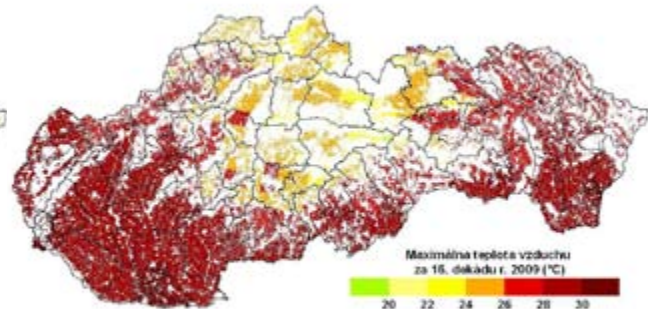
Klimatický grid (gridová sieť) predstavuje a definuje priestorový rámec pre proces interpolácie meteorologických údajov a zároveň pre možnosť prezentácie interpolovaných meteorologických údajov. Výsledky interpolácie meteorologických údajov pre celé územie SR (národná úroveň), sú prezentované prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km (obr. 2 - 5); výsledky interpolácie meteorologických údajov z meteorologických a zrážkomerných staníc pre vybrané regióny SR (regionálna úroveň), sú prezentované prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5 x 5 km.

Obrázok 2. Ukážky interpolovaných meteorologických údajov za dekádu (16. dekáda, t. j. od 1.6. do 10.6. 2009): priemerná denná teplota vzduchu (2a), maximálna denná teplota vzduchu (2b), denný úhrn atmosférických zrážok (2c) a potenciálna evapotranspirácia (2d).

2a



2b



2c



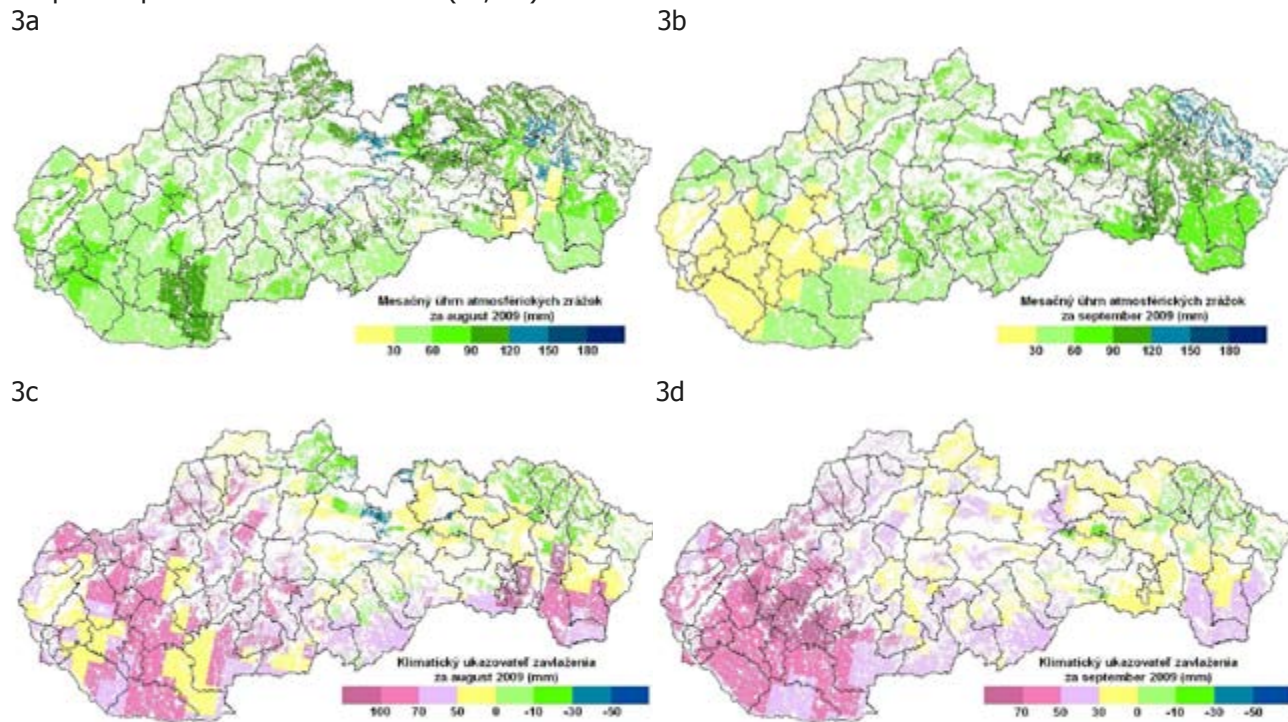
2d



Výsledky interpolácie meteorologických údajov, t. j. interpolované povrchy jednotlivých meteorologických parametrov (a/alebo odvodených meteorologických indikátorov), umožňujú v priestorovom a v časovom kontexte charakterizovať a analyzovať *stav počasia* vždy k určitému termínu, prípadne za určité obdobie - prostredníctvom kumulatívnych hodnôt sledovaných

meteorologických parametrov – obr. 4a a 4b, *priebeh počasia* v určitom období (stav počasia v po sebe nasledujúcich časových horizontoch – obr. 3a až 3d) a zároveň umožňujú *porovnávať charakter počasia* (za identické obdobia viacerých rokov, alebo s dlhodobou priemerným počasiem, obr. 5a a 5b).

Obrázok 3. Ukážky mesačných interpolovaných meteorologických údajov (august a september 2009): úhrn atmosférických zrážok (3a, 3b); klimatický ukazovateľ zavlaženia, t. j. rozdiel medzi potenciálnou evapotranspiráciou a úhrnom zrážok (3c, 3d).

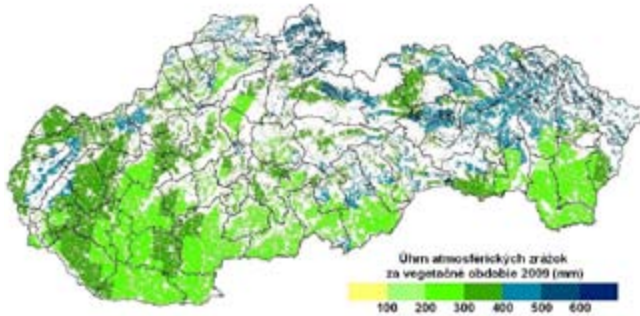


Možnosť pravidelnej priebežnej analýzy stavu počasia, priebehu počasia, spolu s možnosťou porovnávania charakteru počasia v rámci vybraných časových horizontov prostredníctvom výstupov zo systému SK_CGMS, sú predpokladom pre *monitoring počasia*.

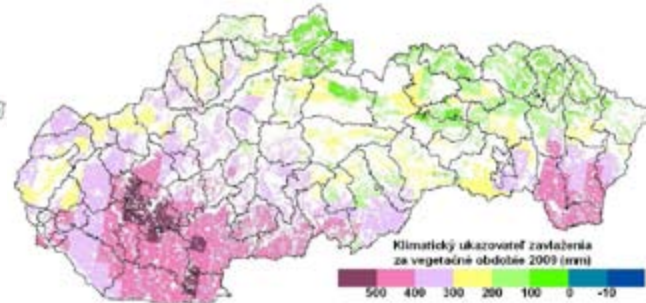
Výstupy monitoringu počasia tvoria východisko pre analýzu, hodnotenie a interpretáciu vývoja počasia z hľadiska zabezpečenia nárokov jednotlivých poľnohospodárskych plodín počas vegetačnej sezóny.

Obrázok 4. Ukážky interpolovaných meteorologických údajov za vegetačné obdobie (apríl až september 2009): celkový úhrn atmosférických zrážok (4a) a klimatický ukazovateľ zavláženia, t. j. rozdiel medzi potenciálnou evapotranspiráciou a úhrnom zrážok (4b).

4a

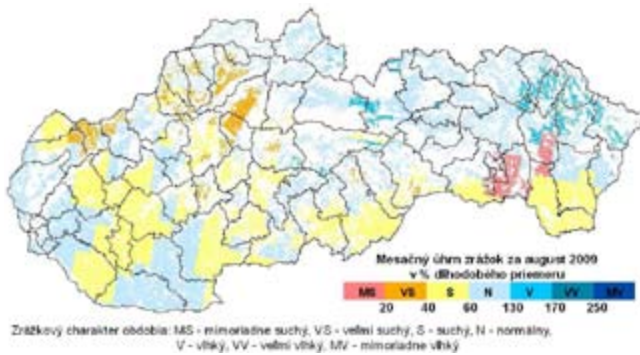


4b

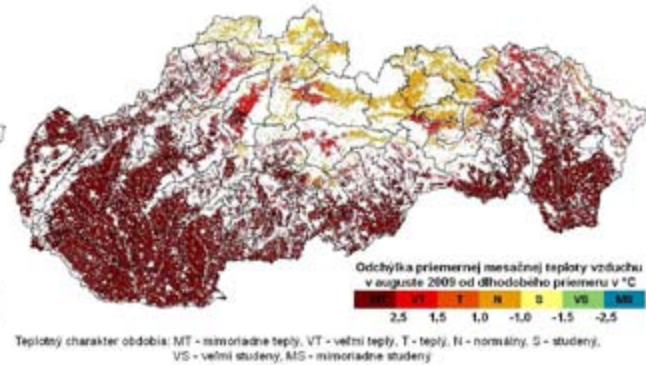


Obrázok 5. Ukážky porovnania mesačných interpolovaných meteorologických údajov (za august 2009) s dlhodobým priemerom (za obdobie 1971-1995): podiel na dlhodobom priemernom úhrne atmosférických zrážok (5a) a odchýlka priemernej mesačnej teploty vzduchu od dlhodobého priemeru (5b).

5a



5b



2.3. Monitoring biomasy v rámci SK_CGMS

Druhá úroveň CGMS, *Monitoring biomasy* ako samostatný subsystém v rámci systému CGMS pozostáva z viacerých samostatných, avšak navzájom prepojených čiastkových procesov:

- zber a spracovanie požadovaných vstupných údajov (pôdne údaje, fenologické údaje, údaje o rastlinách);

- priestorová schematizácia;
- simulácie – aplikácia modelu WOFOST;
- priestorová agregácia a
- tvorba mapových výstupov – interpretovaných, priestorovo lokalizovaných vegetačných parametrov (indexov) – indikátorov.

Samotný monitoring stavu a vývoja biomasy je zabezpečovaný prostredníctvom v aplikácii implementovaného agrometeorologického a biofyzikálneho modelu WOFOST (Supit a iní 1994, Boogaart a iní 1998). WOFOST predstavuje deterministický, agrometeorologický model, ktorý simuluje fenologický vývoj, rast a postupné formovanie „produkcie“ plodiny, a to od začiatku vegetačnej sezóny, t. j. od siatia (vzchádzania) až po zber plodiny, pričom celkový vývoj plodiny je podmienený genetickými a fyziologickými vlastnosťami plodiny a podmienok prostredia, v ktorom sa plodina pestuje.

2.3.1. Pôdne údajové vstupy a priestorová schematizácia v rámci európskeho systému CGMS

Pôdne údaje predstavujú jeden z kľúčových vstupov modelu WOFOST. Ide predovšetkým o vlastnosti pôdy, ktoré do významnej miery ovplyvňujú rast a vývoj plodín. Z tohto hľadiska je pre rastliny určujúca prítomnosť, množstvo a dostupnosť vody v pôde, ktorú je pre potreby modelovania možné vyjadriť parametrami vlhkostných pomerov pôdy, t. j. hydrofyzikálnymi vlastnosťami pôd (retenčné a hydraulické vlastnosti pôd); ako aj vybrané vlastnosti pôd z hľadiska ich limitujúcej, či obmedzujúcej črty pre rastlinnú výrobu, resp. pre pestovanie jednotlivých plodín.

Zároveň pôdne údaje (ich priestorová diferenciácia) vstupujú do geografickej (priestorovej) analýzy, ktorej cieľom je generovanie a priestorová delimitácia elementárnych mapovacích a simulačných jednotiek.

Na európskej úrovni, pre potreby modelovania a monitoringu biomasy (prostredníctvom CGMS), je pre prípravu požadovaných pôdnych údajov využívaná Európska pôdna geografická databáza v mierke 1:1 000 000 (*European soil geographical database and soil map, 1:1 000 000*; Lambert a iní 2002). Pôdne údaje sú spracované podľa metodiky Lazar a Genovese 2004, pričom z hľadiska organizácie údajov v rámci CGMS sú nosné definície a spracovanie údajov pre priestorové jednotky – základné kartografické jednotky pôd (Soil Mapping Unit, SMU) a základné typologické jednotky pôd (Soil Typological Unit, STU), pričom práve k týmto pôdnym jednotkám sú priradené údaje o požadovaných pôdnych vlastnostiach.

2.3.2. Pôdne údajové vstupy a priestorová schematizácia v rámci národného systému SK_CGMS

Údajové vstupy pre prípravu pôdnych vstupov v rámci systému SK_CGMS

Z existujúcich pôdnych databáz pre SR boli analyzované tie pôdne databázy, ktoré spĺňajú podmienku potenciálnej využiteľnosti údajov pre priamy, resp. nepriamy vstup do SK_CGMS a podmienku celoslovenského pokrytia:

- Digitálna databáza výberových sond Komplexného prieskumu pôd Slovenska (KPP_DB, Skalský a Balkovič 2002), ktorá je tvorená údajmi o pôdnych sondách (údaje o lokalizácii a údaje o profilových vlastnostiach – vertikálnej variabilite morfológických, chemických a vybraných fyzikálnych vlastností jednotlivých genetických horizontov);
- Databáza pôdno-ekologických jednotiek (PEU_DB), ktorá je tvorená údajmi o priestorovej distribúcii topických priestorových jednotiek – bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ) definovaných číselným kódom, ktorý vyjadruje príslušnosť ku klimatickej oblasti, príslušnosť ku genetickej pôdnej jednotke na rôznej taxonomickej úrovni, sklon a orientáciu svahu, hĺbku, skeletovitost' pôdy a pôdny druh (Linkeš a iní 1996);
- Databáza pôdno-ekologických regiónov (PER_DB), ktorá je tvorená údajmi o priestorovej distribúcii pôdno-ekologických jednotiek na vyššej, regionálnej úrovni – pôdno-ekologických regiónov (PER), Džatko 2002.

Spracovanie pôdnych údajových vstupov v rámci systému SK_CGMS

Vlastnosti pôd potrebné pre národný systém SK_CGMS sú odvodené pre základné priestorové jednotky *STU (pôdna typologická jednotka)* a *SMU (pôdna mapovacia jednotka)*. *STU* a *SMU* sú v priestore definované dominantným pôdnym typom so zodpovedajúcou hĺbkou pôdy, textúrou a skeletovitost'ou pôdy v danom pôdno-ekologickom regióne. V zmysle princípov Európskej pôdnej geografickej databázy v mierke 1:1 000 000, *SMU* môže byť tvorená jednou alebo viacerými *STU*; v prípade národného systému SK_CGMS *SMU* vždy zodpovedá jednej *STU* ($SMU = STU$; celkový počet definovaných jednotiek je 2751).

Ovodené vlastnosti pôd pre priestorové jednotky (*STU* a *SMU*), sú organizované v *databáze*, ktorá priamo umožňuje prípravu údajových vstupov pre model WOFOST. Ide o a) *databázu odvodených hydrofyzikálnych údajov* a b) *databázu limitov a obmedzení pôd* (vrátane údajov o vhodnosti pôd) pre pestovanie jednotlivých poľnohospodárskych plodín.

Ako základný údajový vstup pre stanovenie *pôdnych hydrofyzikálnych vlastností* pre model WOFOST bola využitá databáza KPP-DB, a to aj napriek skutočnosti, že priamo neobsahuje

vstupné údaje o pôde vyžadované modelom WOFOST. Obsahuje však kvantitatívne údaje o profilovej (vertikálnej) diferenciacii hodnôt parametrov zrnitosti pôdy (obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií pôdy) v percentách hmotnosti, na základe ktorých je možné vyžadované parametre stanoviť.

Modelom WOFOST je pôdny profil, z hľadiska hydrofyzikálnych vlastností považovaný za homogénny, preto vstupné údaje o vertikálnej variabilite zrnitosti (resp. o obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií v pôde) boli prebraté z povrchového horizontu. Získané hodnoty pre kategórie zrnitostného zloženia pôdy (piesok, prach, íl) jednotlivých pôdnych sond boli následne agregované na úrovni pôdnoekologických regiónov a stanovený bol aritmetický priemer z priestorovo príslušných pôdnych sond.

Pre všetky odvodené údaje o priemernej zrnitosti boli následne stanovené hodnoty požadovaných parametrov hydrofyzikálnych vlastností pôdy, a to nasledovným spôsobom:

- hodnoty vlhkosti pôdy a nenasýtenej hydraulickej vodivosti pri daných hodnotách vlhkosťného potenciálu pôdy, hodnoty vybraných hydrolimitov (ako priame vstupy pre model WOFOST) boli stanovené pomocou Van Genuchtenových vzťahov (Wösten a Van Genuchten 1988) pre výpočet bodov retenčnej krivky a bodov krivky nenasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy;
- hodnoty reziduálnej vlhkosti pôdy, nasýtenej vlhkosti pôdy a hodnoty tvarových parametrov retenčných kriviek (ako parametrov pre Van Genuchtenove vzťahy) boli stanovené prostredníctvom komplexných (všeobecných) PTF spracovaných vo forme stacionárneho matematického modelu (model Rosetta, Schaap a Bouten 1996);
- pomocné parametre fyzikálnych a hydrofyzikálnych parametrov pôdy (objemová hmotnosť pôdy a obsah vody v pôde pri hodnotách vlhkosťného potenciálu $h = 33$ kPa a $h = 1500$ kPa), potrebné pre aplikovanie modelu Rosetta, boli stanovené prostredníctvom regionálnych PTF (definovaných a validovaných pre oblasť Záhorskej nížiny) (Orfánus a Balkovič 2004).

Postup odvodenia kvantitatívnych pôdnych vlastností (hydrofyzikálnych; t. j. retenčných a hydraulických) pre SK_CGMS je detailne popísaný v samostatnej práci (Nováková a Skalský 2006). Odvodené údaje sú priradené priestorovým sub-jednotkám SMU a STU – *pôdne fyzikálne skupiny*, ktoré sú definované dominantnou textúrou pôdy v danom pôdno-ekologickom regióne (celkový počet definovaných jednotiek je 285).

Okrem hydrofyzikálnych vlastností pôd vstupujú do modelovania stavu a vývoja biomasy aj *kvalitatívne vlastnosti pôd, resp. limity a obmedzenia pôdy (vrátane vhodnosti pôd)* pre pestovanie jednotlivých poľnohospodárskych plodín. Ako zdroj údajov pre odvodenie týchto vlastností pôd

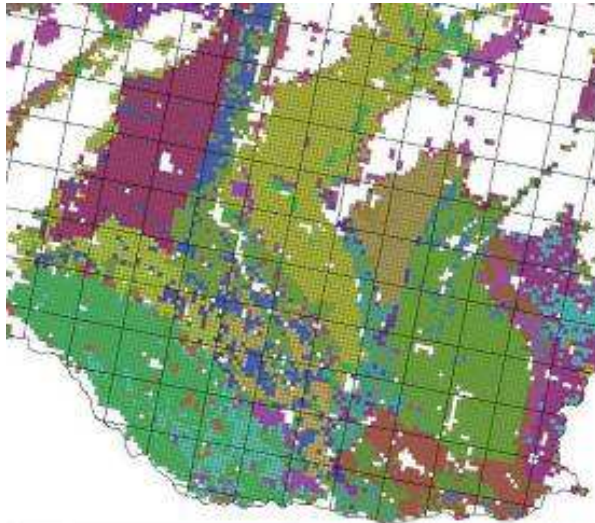
bola identifikovaná databáza bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (PEU_DB). Pripravené boli modifikovanými postupmi taxo-transférových funkcií (pravidiel), pôvodne definovaných v procese prípravy pôdných údajov pre európsky systém CGMS na základe existujúcej európskej geografickej pôdnej databázy (Lazar a Genovese 2004, Baruth a iní 2006). Odvodené údaje boli priradené pôdnym typologickým skupinám, definovaným dominantným pôdnym typom, sklonitostnými pomermi, textúrou, potenciálnou hĺbkou koreňovej zóny, pôdnou fyzikálnou skupinou, drenážnymi pomermi, alkalinitou a salinitou (údaje sú klasifikované do kategórií; celkovo 2751).

Priestorová reprezentácia pôdných údajov

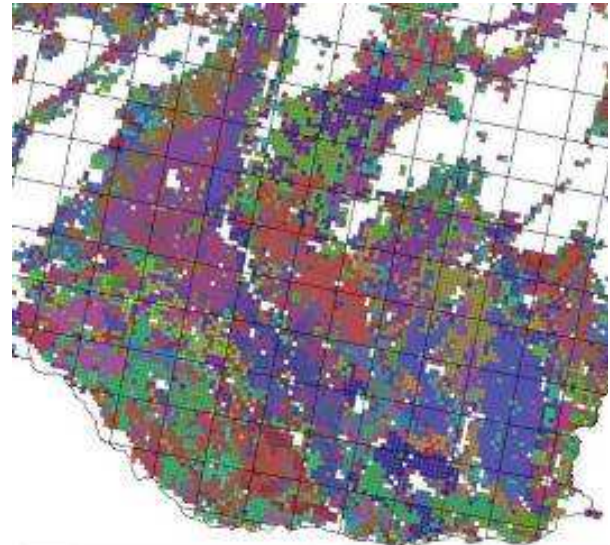
Pre potreby *priestorovej reprezentácie* a harmonizovanej komunikácie vytvorených priestorových informácií o poľnohospodárskej pôdach Slovenska, bol zvolený referenčný priestorový rámec – *pravidelný grid s priestorovým rozlíšením 1 x 1 km* (obr. 6). Zvolená gridová sieť predstavuje sieť pravidelných, priestorových štatistických jednotiek (buniek s plochou 1 km²), ktorým sú priradené odvodené hydrofyzikálne vlastnosti, ako aj odvodené kvalitatívne vlastnosti pôd.

Obrázok 6. Harmonizovaná prezentácia priestorových jednotiek s priradenými hydrofyzikálnymi (6a) a kvalitatívnymi vlastnosťami pôd (6b) v rámci gridovej siete s priestorovým rozlíšením, 1 x 1 km, resp. 10 x 10 km.

6a



6b



2.3.3. Výstupy monitoringu biomasy v rámci SK_CGMS

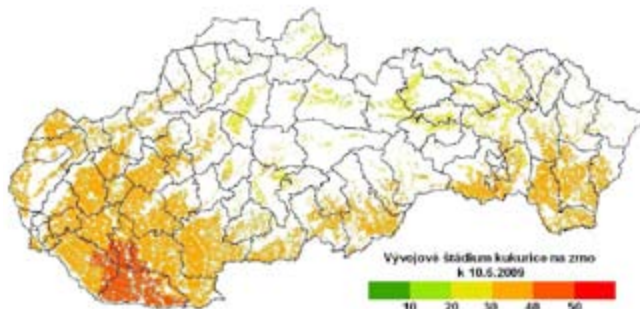
Funkciu *geografického priestoru* pre potreby organizácie a priestorovej schematizácie výstupov biofyzikálneho modelovania, zabezpečujú *elementárne priestorové jednotky*.

Simulačné a elementárne mapovacie jednotky sú v rámci systému SK_CGMS priestorovo totožné. Definované sú dominantným pôdnym typom so zodpovedajúcou hĺbkou pôdy, textúrou a skeletovitosťou pôdy v danom pôdno-ekologickom regióne a v danom elemente klimatického gridu; priestorovo sú reprezentované prostredníctvom elementov gridovej siete s priestorovým rozlíšením 1 x 1 km so zastúpením ornej pôdy nad 20 % (celkový počet definovaných jednotiek je 6647). Jediný významový rozdiel medzi simulačnou a elementárnou mapovacou jednotkou je daný bližšou špecifikáciou pestovanej plodiny pri simulačnej jednotke. V súčasnej verzii národného systému SK_CGMS, pri aplikovanom zjednodušení modelovania, pri ktorom sa predpokladá pestovanie každej plodiny na celej výmere ornej pôdy, však tento významový rozdiel zaniká.

Obrázok 7. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – vývojové štádium kukurice na zrno v roku 2009: 16. dekáda (7a), 20. dekáda (7b), 24. dekáda (7c) a 28. dekáda (7d).

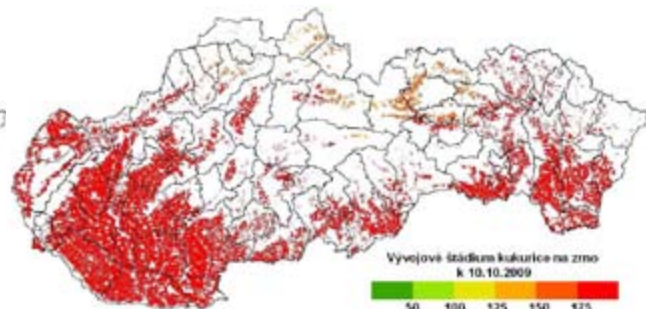
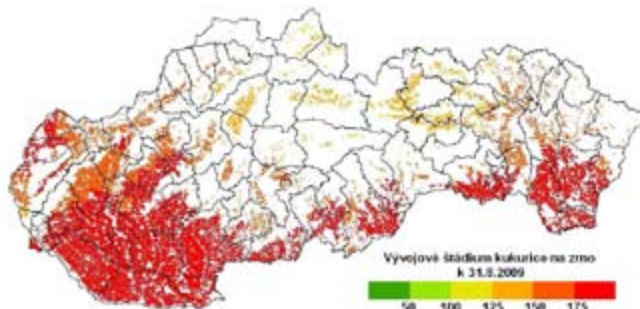
7a

7b



7c

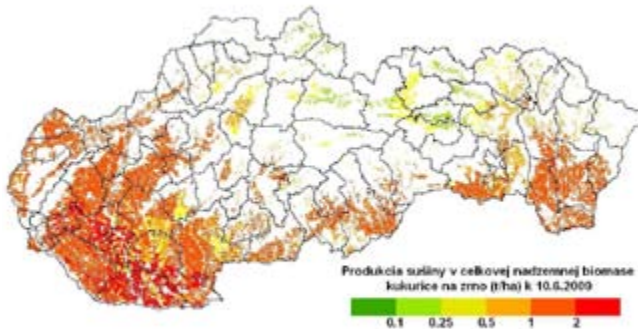
7d



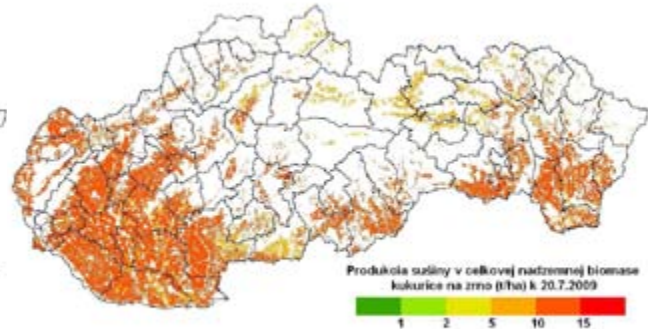
Výsledky potenciálnych výstupov národného systému SK_CGMS sú prezentované na príklade simulácie produkcie *kukurice na zrno v roku 2009*. Pri simulácii boli nastavené nasledovné podmienky: a) modelovanie vodou limitovanej produkcie; b) s vplyvom podzemnej vody; c) začiatok kalkulácie vodnej bilancie v deň vzchádzania kukurice na zrno (t. j. 14. mája); d) všetky pôdy sú vhodné pre pestovanie kukurice, t. j. produkcia je modelovaná na celej výmere ornej pôdy SR.

Obrázok 8. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – vodou limitovaná produkcia sušiny na celkovej biomase kukurice na zrno v roku 2009: 16. dekáda (8a), 20. dekáda (8b), 24. dekáda (8c) a 28. dekáda (8d).

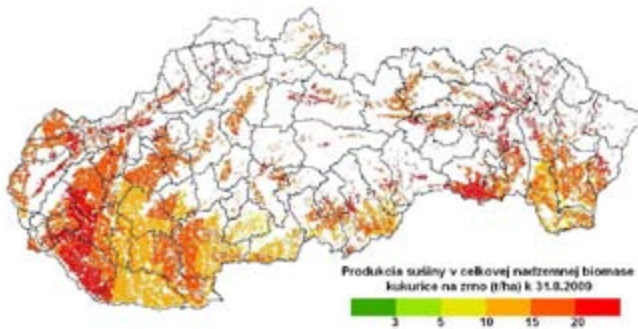
8a



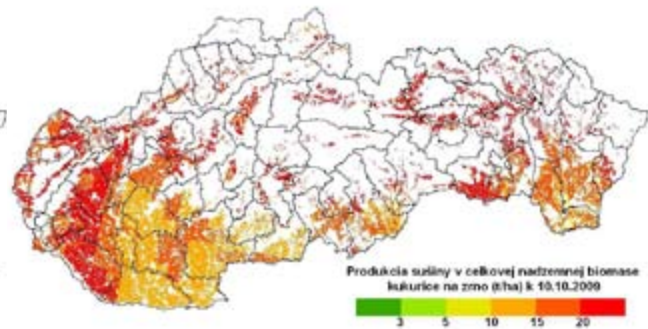
8b



8c



8d



Výstupy monitoringu poľnohospodárskych plodín (simulované, priestorovo interpretované vegetačné indexy a indikátory stavu pôdy, resp. dostupnosti vody v pôde) tvoria východisko pre analýzu, hodnotenie a interpretáciu vývoja poľnohospodárskych plodín počas vegetačnej sezóny.

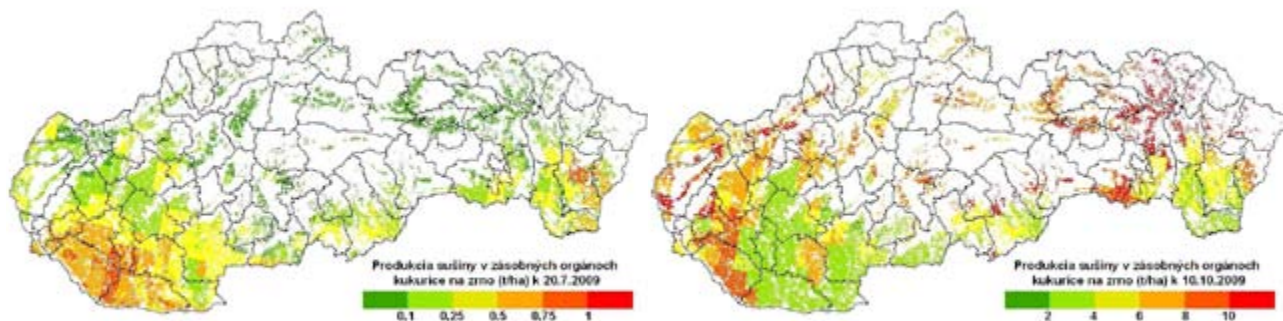
Podobne ako výstupy monitoringu počasia, aj výstupy monitoringu poľnohospodárskych plodín umožňujú interpretovať *priestorovú a časovú variabilitu* vývoja poľnohospodárskych plodín vždy

k určitému termínu alebo za určité obdobie (*stav*), s možnosťou analýzy a porovnávania po sebe nasledujúcich stavov (*dynamika, vývoj*), čo zodpovedá hlavnej myšlienke *monitoringu* – priebežnej, pravidelne aktualizovanej analýze a hodnotenia stavu a vývoja porastov poľnohospodárskych plodín.

Obrázok 9. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – vodou limitovaná produkcia sušiny v zásobných orgánoch kukurice na zrno v roku 2009: 20. dekáda (9a), 28. dekáda (9b).

9a

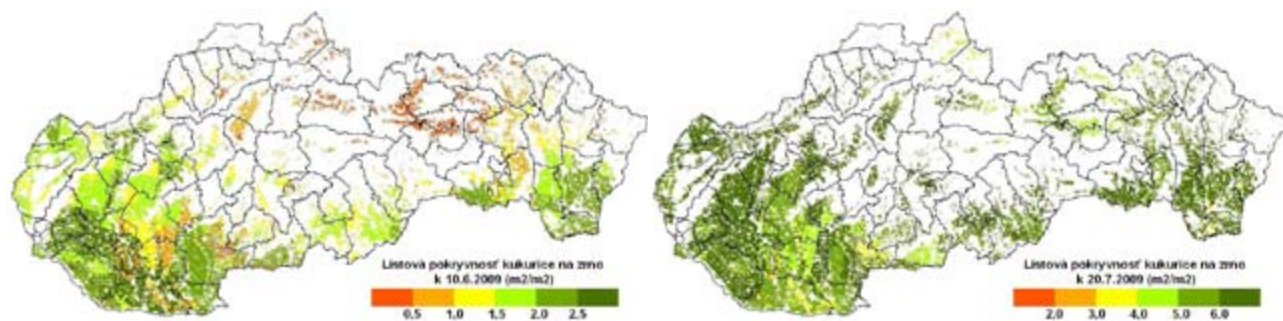
9b



Obrázok 10. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – vodou limitovaná listová pokrývnosť kukurice na zrno v roku 2009: 16. dekáda (10a), 20. dekáda (10b).

10a

10b



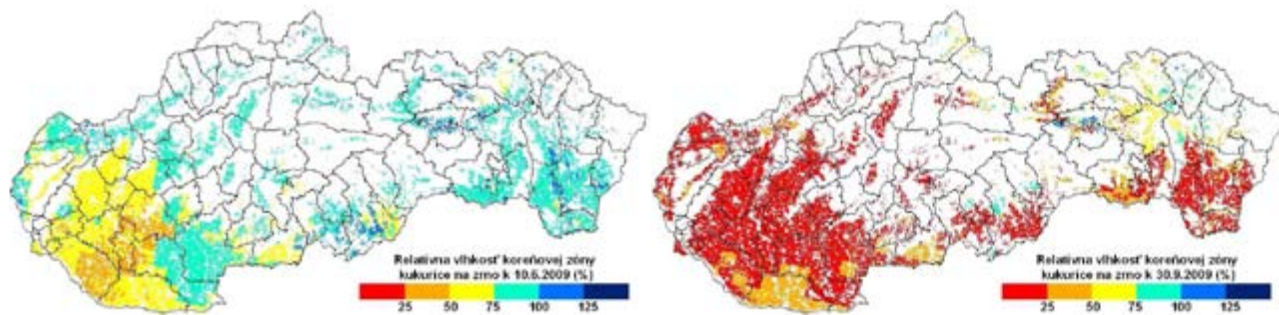
Pre monitoring poľnohospodárskych plodín (v systéme agrometeorologického modelovania SK_CGMS) sú potenciálne využiteľné nasledovné indexy/indikátory: a) vývojové štádium (DVS), hodnota ktorého sa môže pohybovať v intervale 1 – 200, pričom 1 je vzhádzanie, 100 zodpovedá kvitnutiu a 200 reprezentuje fenologickú fázu zrelosti - obr. 7; b) vodou limitovaná produkcia sušiny v celkovej biomase (t/ha) - obr. 8; c) vodou limitovaná produkcia sušiny v zásobných

orgánoch (t/ha) - obr. 9; d) vodou limitovaná listová pokryvnosť (LAI) (m^2/m^2) - obr. 10; e) relatívna vlhkosť pôdy (% prístupnej vody z celkového množstva dlhodobu prístupnej pôdnej vody stanovenej ako rozdiel poľnej vodnej kapacity a bodu vädnutia) - obr. 11; f) objemová vlhkosť pôdy v koreňovej zóne rastlín - obr. 12; g) celková potreba vody (cm), ktorá je definovaná ako suma potenciálnej transpirácie - obr. 13 a h) celková spotreba vody (cm), ktorá je definovaná ako suma vodou limitovanej transpirácie - obr. 14.

Obrázok 11. Ukážky simulovaného indikátora stavu pôdy – relatívna vlhkosť koreňovej zóny pod kukuricou na zrno v roku 2009: 16. dekáda (11a), 27. dekáda (11b).

11a

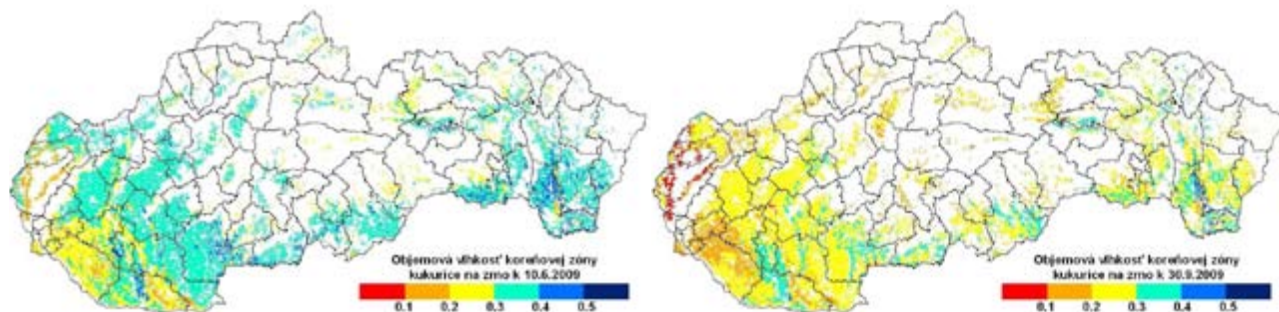
11b



Obrázok 12. Ukážky simulovaného indikátora stavu pôdy – objemová vlhkosť pôdy v koreňovej zóne kukurice na zrno v roku 2009: 16. dekáda (12a) a 27. dekáda (12b).

12a

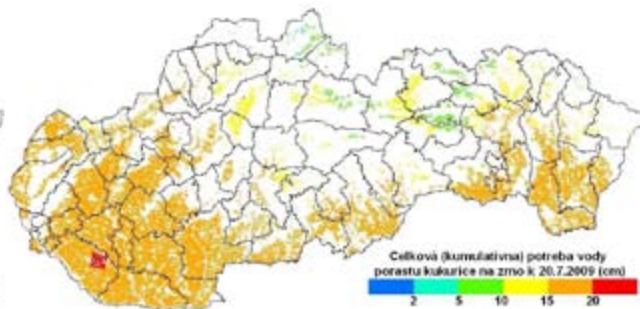
12b



Obrázok 13. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – celková potreba vody pre kukuricu na zrno v roku 2009: 16. dekáda (13a), 20. dekáda (13b), 24. dekáda (13c) a 27. dekáda (13d).

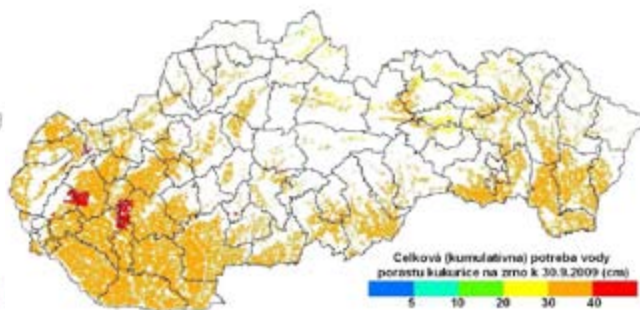
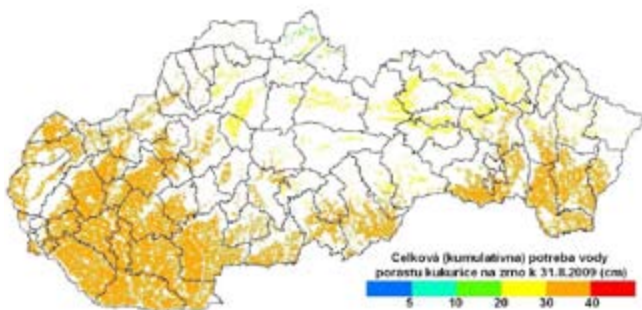
13a

13b



13c

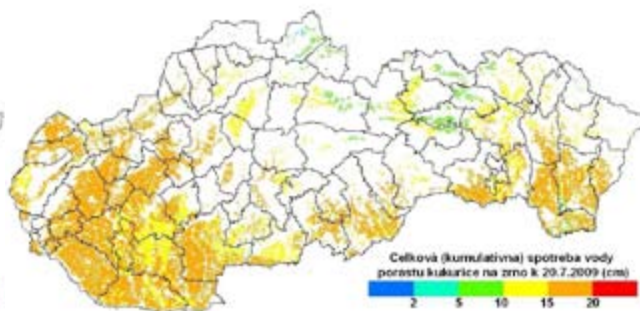
13d



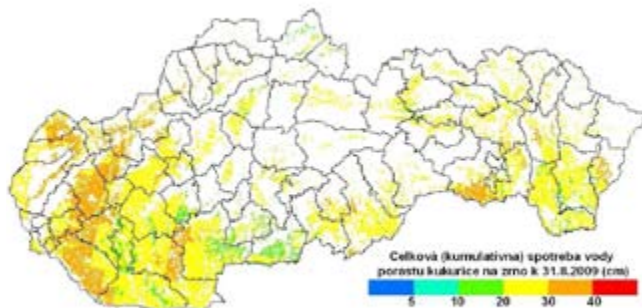
Obrázok 14. Ukážky simulovaného vegetačného indexu – celková spotreba vody kukuricou na zrno v roku 2009: 16. dekáda (14a), 20. dekáda (14b), 24. dekáda (14c) a 27. dekáda (14d).

14a

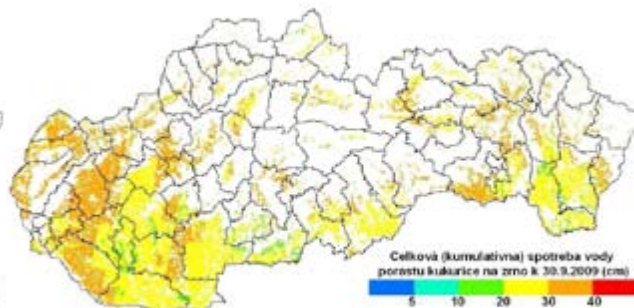
14b



14c



14d



Analýzu *priestorovej variability* sledovaného indikátora/indexu je možné realizovať: a) v definovanom priestorovom rámci – prostredníctvom elementov priestorového prieniku referenčnej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 1 x 1 km a vrstvy ornej pôdy (z registra poľnohospodárskych pôd - LPIS); b) prostredníctvom agregovaných údajov v referenčnej gridovej sieti s priestorovým rozlíšením 10 x 10 km alebo c) prostredníctvom agregovaných údajov pre administratívne jednotky (okresy, obr.15).

Obrázok 15. Ukážky priestorovo agregovaného (na úrovni okresu) simulovaného vegetačného indexu kukurice na zrnó – produkcie sušiny v celkovej biomase (15a) a v zásobných orgánoch (15b).

15a



15b



Pri využívaní výstupov monitoringu poľnohospodárskych plodín je však potrebné poznamenať, že pri súčasnom stave budovania národného systému agrometeorologického modelovania možno simulované indexy považovať len za indikátory, t. j. relatívne ukazovatele a nie za absolútne, realite zodpovedajúce hodnoty konkrétnych charakteristík (napr. úrody plodiny v t/ha).

2.4. Štatistické analýzy - odhad úrod v rámci SK_CGMS

Tretia úroveň CGMS, *Štatistické analýzy* (ako samostatný subsystem v rámci systému CGMS) pozostáva z viacerých samostatných, avšak navzájom prepojených a na seba nadväzujúcich čiastkových procesov:

- zber a spracovanie požadovaných vstupných - štatistických údajov (osevné plochy, dosiahnuté úrody za štatistické jednotky za čo najdlhšie časové obdobie; klimatické a agroklimatické údaje - historický rad interpolovaných údajov; údaje interpretované zo satelitných obrazových záznamov - historický rad hodnôt NDVI; údaje modelované prostredníctvom agrometeorologického modelovania - historický rad simulovaných vegetačných indexov);
- zber a spracovanie požadovaných vstupných údajov za aktuálnu poľnohospodársku sezónu - vždy ku dátumu realizovania odhadu úrod (klimatické a agroklimatické údaje; údaje interpretované zo satelitných obrazových záznamov - hodnoty NDVI; údaje modelované prostredníctvom agrometeorologického modelovania - simulované vegetačné indexy);
- priestorová agregácia údajov na úrovni administratívnych a štatistických jednotiek;
- štatistické analýzy.

Samotné štatistické analýzy sú zabezpečované prostredníctvom implementovanej štatistickej nadstavby, ktorá umožňuje na základe agregovaných údajov a aplikovanej štatistickej metódy odhadovať priemerné úrody konkrétnych poľnohospodárskych plodín priebežne počas vegetačnej sezóny.

2.4.1. Štatistické analýzy v rámci európskeho systému CGMS

Princíp nadstavby štatistických analýz s koncovkou odhadu úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín v európskom systéme CGMS spočíva:

- vo vytvorení historického radu dosiahnutých úrod na jednej strane, historických a aktuálnych modelovaných alebo interpretovaných agroklimatických a vegetačných indikátorov na strane druhej pre každú administratívnu a štatistickú priestorovú jednotku (NUTS 0, NUTS 1 alebo NUTS 2), pričom modelované a interpretované indexy a indikátory sú na danú priestorovú úroveň agregované (metódou váženého priemerovania výstupov interpolácie klimatických údajov, modelovaných vegetačných indikátorov a interpretovaných vegetačných indexov);

- v aplikácii vybranej štatistickej metódy na predpripravené historické rady údajov, pričom cieľom je predikcia produkčnej schopnosti konkrétnych poľnohospodárskych plodín v aktuálnej vegetačnej sezóne, resp. v jej konkrétnom časovom horizonte; v súčasnosti sú aplikovateľné tri metódy: a) regresný rad – lineárna regresia v kombinácii s trendovou analýzou pre historické rady štyroch konkrétnych agroklimatických a vegetačných indikátorov (podľa vlastného výberu), b) štatistická analýza viacrozmerých údajov (PCA alebo klastrová analýza) zameraná na identifikáciu „najpodobnejšej“ sezóny k aktuálnej sezóne, ktorá je následne použitá (spolu s trendovou analýzou) pre výpočet odhadovanej úrody a c) užívateľom definovaná funkcia pre konkrétnu priestorovú jednotku.

2.4.2. Štatistické analýzy v rámci národného systému SK_CGMS

Implementácia štatistickej nadstavby pre odhad úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín na národné podmienky (v rámci SK_CGMS) bola do značnej miery problematická. Súčasná verzia aplikácie európskeho systému CGMS, a teda verzia, z ktorej sme pri budovaní národného systému SK_CGMS vychádzali, nemá funkčnú nadstavbu štatistických analýz. Potrebné preto bolo túto nadstavbu aplikácie vybudovať.

Pre tretiu úroveň národného systému SK_CGMS - štatistické analýzy boli pripravené a spracované nasledovné „analytické“ údaje:

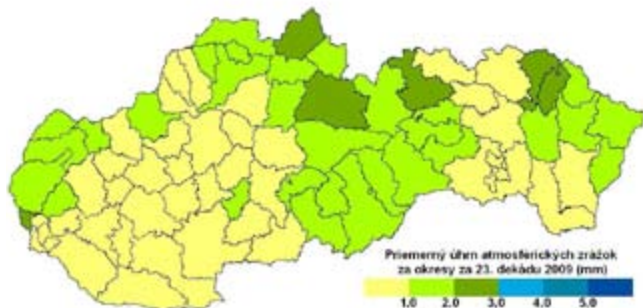
- interpolované a na úroveň požadovaných štatistických a administratívnych priestorových jednotiek agregované klimatické a agroklimatické indikátory (*vodná bilancia*, ktorá zodpovedá rozdielu medzi zaznamenanými atmosférickými zrážkami a úhrnom potenciálnej evapotranspirácie a *úhrn atmosférických zrážok*, pričom hodnoty oboch boli stanovené za vopred definované obdobie; obr. 16a, b) za obdobie rokov 1997 – 2008, ako aj za aktuálnu poľnohospodársku sezónu (ku konkrétnemu časovému horizontu);
- modelované a na úroveň požadovaných štatistických a administratívnych priestorových jednotiek agregované vegetačné indikátory konkrétnych poľnohospodárskych plodín - celková nadzemná biomasa (Total Above Ground Production, *TAGP*) a vývoj suchej hmoty v zásobných orgánoch (Total Dry Weight of Storage Organs, *TWSO*); Nováková 2005; obr. 16c) za každú sledovanú poľnohospodársku plodinu za obdobie rokov 1997 – 2008, ako aj za aktuálnu poľnohospodársku sezónu (ku konkrétnemu časovému horizontu);
- na základe satelitných obrazových záznamov interpretované a na úroveň požadovaných štatistických a administratívnych priestorových jednotiek agregované vegetačné indexy (*NDVI* - Normalized Difference Vegetation Index a *DMP* - Dry Matter Production; obr. 16d;

Scholtz 2005), a to za obdobie rokov 1997 – 2008, ako aj za aktuálnu poľnohospodársku sezónu (ku konkrétnemu časovému horizontu) a

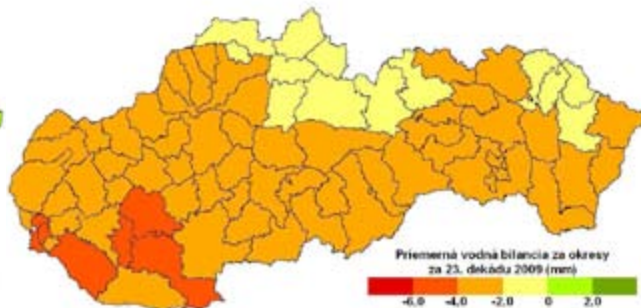
- dosiahnuté *priemerné úrody* konkrétnych poľnohospodárskych plodín (pšenica ozimná, jačmeň jarný, repka olejná ozimná; kukurica na zrno, slnečnica ročná, cukrová repa technická a zemiaky) na úrovni okresov, krajov a štátu za obdobie 1997 – 2008.

Obrázok 16. Ukážky agregovaných údajov za 23. dekádu 2009 (11.8. – 20.8. 2009) pre: úhrn atmosférických zrážok (16a), vodnú bilanciáciu (16b), TWSO pre kukuricu na zrno (16c) a NDVI (16d).

16a



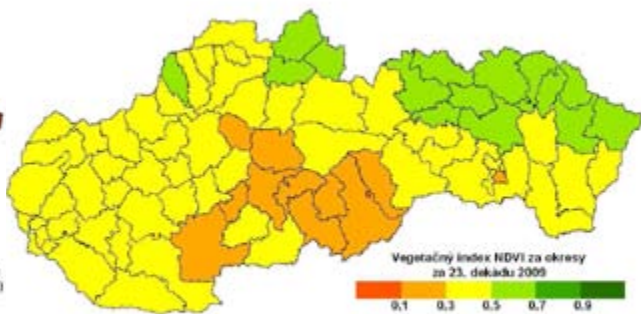
16b



16c



16d



Pre stanovenie odhadovaných úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín bol aplikovaný algoritmus regresného radu (vo forme skriptov) pre historické rady údajov za všetky štatistické a administratívne priestorové jednotky (okresy, kraje a štát).

Na odhady priemerných úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín v aktuálnej poľnohospodárskej sezóne priamo nadväzujú odhady ich produkcie.

2.4.3. Výstupy štatistických analýz v rámci národného systému SK_CGMS

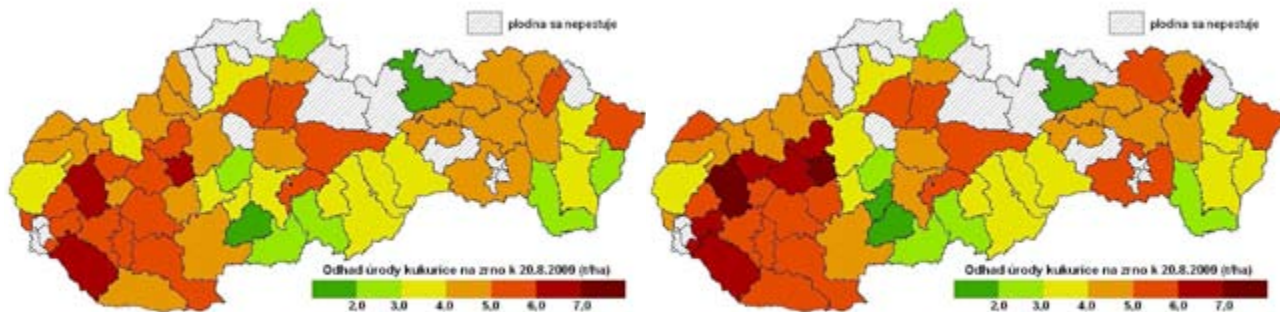
Na základe spracovaných a pripravených historických radov údajov a aplikovaných štatistických analýz je možné stanoviť nasledovné, tematicky rozdielne odhady priemerných úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín (pšenica ozimná, jačmeň jarný a repka olejná ozimná; kukurica na zrna, slnečnica ročná, cukrová repa technická a zemiaky):

- **odhady úrod prostredníctvom vybraných interpolovaných meteorologických ukazovateľov**, historický rad údajov bol teda tvorený meteorologickými a klimatickými údajmi a štatistickými údajmi dosiahnutých úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín (obr. 17a);
- **odhady úrod metódou biofyzikálneho modelovania**, historický rad údajov bol teda tvorený modelovanými údajmi a štatistickými údajmi dosiahnutých úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín (obr. 17b);

Obrázok 17. Ukážky odhadov úrod kukurice na zrna k 20.8.2009 stanovených na základe agroklimatických indikátorov (17a) a metódou biofyzikálneho modelovania (17b).

17a

17b



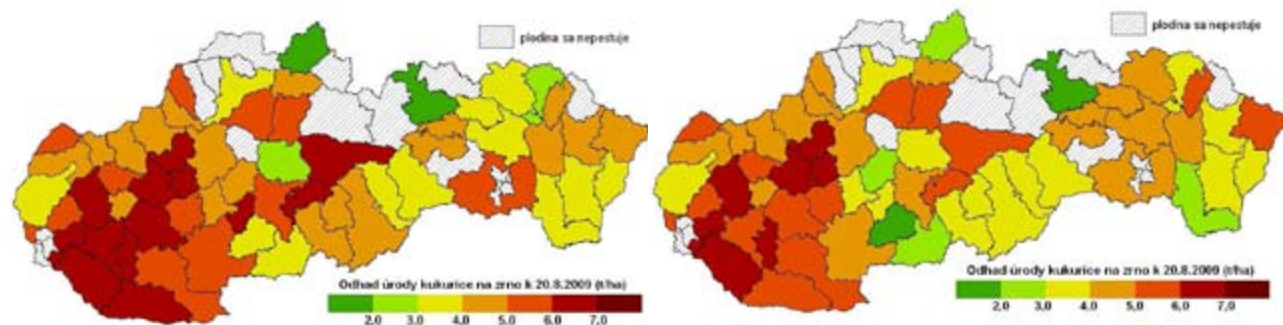
- **odhady úrod metódou interpretácie satelitných obrazových záznamov** s malým rozlíšením (metóda DPZ), štatistický historický rad údajov bol teda tvorený údajmi DPZ a štatistickými údajmi dosiahnutých úrod konkrétnych poľnohospodárskych plodín (obr. 18a);

- **integrované odhady**, ktoré „sumarizujú“ širšie spektrum rôznorodých indikátorov a indexov, ktoré sa v súčasnosti pre účely predpovedania úrod a následne aj produkcie poľnohospodárskych plodín využívajú (všetky uvedené; obr. 18b).

Obrázok 18. Ukážky odhadov úrod kukurice na zrno k 20.8.2009 stanovených metódou DPZ (18a) a integrovaným odhadom (18b).

18a

18b



Vizualizácia výsledkov štatistických analýz, realizovaných vždy ku konkrétnemu časovému horizontu počas aktuálnej poľnohospodárskej sezóny, umožnila analyzovať a interpretovať *časovú a priestorovú variabilitu predpokladanej úrody* konkrétnych poľnohospodárskych plodín.

3. Záver

Národný systém pre odhad úrod poľnohospodárskych plodín (SK_CGMS) je v súčasnosti plne funkčný; odhady úrod a produkcie v poľnohospodárskej sezóne 2008/2009 boli realizované prezentovaným metodickým postupom (Nováková a kol. 2009a-d, Klikušovská a kol. 2009a,b).

Dôležitým aspektom využívania systému SK_CGMS pre odhady úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín v praxi, a to ako na úrovni poľnohospodárskeho subjektu, tak aj na úrovni regionálnej a národnej, je presnosť a presnosťou podmienená spoľahlivosť odhadov. Z tohto dôvodu v súčasnej dobe prebieha testovanie presnosti odhadov spätne od roku 2003; validácia výsledkov priestorovej presnosti poukazuje na potrebu a mieru kalibrácie systému. Kalibrácia SK_CGMS na úrovni vstupných údajov sa bude týkať predovšetkým modifikácie fenologických vstupných údajov a údajov o poľnohospodárskych plodinách (fyziologické parametre) a až následne je možné uvažovať o kalibrácii funkčnej.

Presnosť odhadov úrod stanovených systémom SK_CGMS teda nie je momentálne k dispozícii; orientačne však možno brať do úvahy presnosť systému pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín, ktorý bol využívaný v minulosti (spočíval v aplikácii dvoch samostatných metodických postupov – biofyzikálneho modelovania a interpretácie údajov DPZ). V závislosti od konkrétnej poľnohospodárskej plodiny a konkrétneho aplikovaného metodického postupu sa dosiahnutá priemerná presnosť (za obdobie 2005 – 2008) pohybovala na nasledovnej úrovni:

- pri pšenici ozimnej +/- 8,93 %, pričom presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde biofyzikálneho modelovania;
- pri jačmeni jarnom +/- 7,27 %, presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde biofyzikálneho modelovania;
- pri repke olejnej ozimnej +/- 9,13 %, presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde biofyzikálneho modelovania;
- pri kukurici na zrno +/- 11,28 %, presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde DPZ;
- pri slnečnici ročnej +/- 11,40 %, presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde biofyzikálneho modelovania;
- pri cukrovej repe technickej +/- 14,39 % presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde DPZ;
- a pri zemiakoch konzumných +/- 4,15 % presnejší výsledok bol dosiahnutý pri metóde biofyzikálneho modelovania.

Do výpočtu bol však zahrnutý aj rok 2008, v ktorom odhady úrod všetkých poľnohospodárskych plodín výrazne zaostávali za dosiahnutými priemernými úrodami; rok 2008 patril z hľadiska zaznamenaných úrod k extrémne dobrým, a to najmä pri letných plodinách – pri niektorých plodinách boli zaznamenané historicky rekordné úrody.

Realizovaná analýza presnosti odhadov úrod poľnohospodárskych plodín stanovených samostatne metódami biofyzikálneho modelovania a interpretácie údajov DPZ poukázala na množstvo faktorov, ktoré do veľkej miery ovplyvnili samotnú presnosť odhadov.

V prvom rade samotný proces predpovedania (využitím metódy DPZ a metódy biofyzikálneho modelovania) predstavuje len vybrané *techniky modelovania reality*, pričom *rozdiel medzi modelom a realitou je nežiaducim vedľajším efektom tohto procesu*.

Z hľadiska *aktuálnosti a flexibility vegetačných indexov* metóda DPZ predstavuje výrazne flexibilný spôsob odhadu úrod, ktorá vychádza z reálneho (aktuálneho) stavu vegetácie vždy k určitému obdobiu. Odhad úrod biofyzikálnym modelovaním nemusí odrážať (k danému termínu) aktuálne poveternostné podmienky - meteorologické údaje sú poskytované s určitým časovým oneskorením, čo do značnej miery môže ovplyvniť výsledok modelovania. Z hľadiska *charakteru*

vegetačných indexov nevýhoda aplikovania metódy DPZ spočíva v tom, že vegetačný index NDVI charakterizuje vegetáciu ako celok - bez rozlíšenia jednotlivých plodín. Naopak, významným pozitívom a výhodou biofyzikálneho modelovania je fakt, že odvodené vegetačné indexy postihujú rozlíšené plodiny, t. j. pre každú plodinu sú tieto indexy odvodzované zvlášť a môžu tak výrazne prispieť k spresneniu odhadov úrod.

Z hľadiska *citlivosti metód* (resp. vegetačných indexov) *na abnormálne vplyvy* ani jedna zo spomínaných metód nedokáže predpovedať a ani v plnej miere postihnúť neočakávané abiotické a biotické javy (vymrzanie, záplavy, silné búrky s krupobitím, choroby, škodcovia, atď.) súvisiace s poškodením porastov. Stanovenie vegetačných indexov, a odhadu úrod jednotlivých poľnohospodárskych plodín sa preto vyznačuje vysokou mierou potenciality, t. j. hodnoty vegetačných indexov za predpokladu „normálneho“ priebehu počasia.

Využitelnosť prezentovanej aplikácie systému SK_CGMS ako národného systému agrometeorologického, agrohydrologického a biofyzikálneho modelovania nespočíva len v koncovke smerujúcej ku kvantitatívnym odhadom úrod poľnohospodárskych plodín; potenciálne je využitelná pre priebežný závlahový dispečing, t. j. pre hodnotenie vlhkostných pomerov v pôde a potreby aplikovania závlah, prípadne pre krajinno-ekologické hodnotenie konkrétnych regiónov.

Zároveň systém SK_CGMS má predpoklady (výrazný potenciál) pre využitie pri analýze vývoja aktuálnej poľnohospodárskej sezóny vrátane varovného sub-systému v prípade identifikácie regiónov s nepriaznivým vývojom v pravidelných desaťdenných intervaloch. Môže tak predstavovať efektívny a účelný nástroj aplikovateľný nielen v teoretickej, ale aj praktickej rovine.

A na záver – potenciál národného systému SK_CGMS spočíva aj v možnosti spresňovania detailizácie vstupov aj výstupov; prechod na podrobnejšiu priestorovú rozlišovaciu úroveň odhadov (odhady úrod pre obce) je podmienený dostupnosťou štatistických údajov (dosiahnuté úrody konkrétnych poľnohospodárskych plodín) za tieto štatistické jednotky, avšak nie je nemožný.

Zoznam použitej literatúry

- BARUTH, B., GENOVESE, G., MONTANARELLA, L., 2006. New soil information for the. MARS Crop Yield Forecastin system. Report, JRC Ispra, EUR 22499 EN, 95pp.
- 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. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 141 pp.
- 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, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL, 179 pp.
- DŽATKO, M., 2002. Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdnoekologických regiónov Slovenska. VÚPOP, Bratislava, 87 s.
- GENOVESE, G., BETTIO, M., 2004. Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 4 Statistical data collection. processing and analysis. Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, 94 pp.
- JOINT RESEARCH CENTRE – MARS: ACTION AGRI4CAST [online]. European Communities, c1995-2009 [cit. 2009-04-29]. Dostupné na internete: <http://mars.jrc.it/mars/About-us/AGRI4CAST>
- KLIKUŠOVSKÁ, Z., NOVÁKOVÁ, M., FECKOVÁ, B., MIŠKOVÁ, M., SVIČEK, M., 2009a. Odhad úrod a produkcie kukurice na zrnó, cukrovej repy technickej, slnečnice ročnej a zemiakov k 20.8.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 18
- KLIKUŠOVSKÁ, Z., NOVÁKOVÁ, M., FECKOVÁ, B., MIŠKOVÁ, M., SVIČEK, M., 2009b. Odhad úrod a produkcie kukurice na zrnó, cukrovej repy technickej, slnečnice ročnej a zemiakov k 30.9.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 17
- LAMBERT, J. J., DAROUSSIN, J., EIMBERCH, M., LE BAS, C., JAMAGNE, M., KING, D., MONTANARELLA, L., 2002. Soil Geographical Database for Eurasia & The Mediterranean: Instructions Guige for Elaboration at scale 1:1,000,000. Version 4.0. European Commission, JRC, 58 pp., EUR 20422 EN
- LAZAR, C., GENOVESE, G., 2004. Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 2: Agro-meteorological data collection. processing and analysis. The Office for Official Publications of European Communities, Luxembourg, 98 pp.
- LINKEŠ, V, PESTÚŇ, V., DŽATKO, M., 1996. Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdnoekologických jednotiek. VÚPÚ, Bratislava, 103 s.
- MICALE, F., GENOVESE, G., 2004. Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 1: Meteorological data collection. Processing and analysis. The Office for Official Publications of European Communities, Luxembourg, 100 pp.
- NOVÁKOVÁ, M., 2005. WOFOST based crop yield and production forecasting system on Soil Science and Conservation Research Institute (SSCRI). In Bujnovský, R., Tekel'ová, Z., (Eds.), Vedecké práce č. 27, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, s. 67 – 78, ISBN 80-89128-17-3
- NOVÁKOVÁ, M., 2007. Interpolácia meteorologických údajov pre potreby monitoringu stavu, vývoja a odhadu úrod poľnohospodárskych plodín. In Bujnovský, R., Tekel'ová, Z., (Eds.), Vedecké práce č. 29, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, s. 93 – 103, ISBN 978-80-89128-40-2

- NOVÁKOVÁ, M., SKALSKÝ, R., 2006. Soil data potential for its application in process of selected crops yield prediction. *Agriculture*, Vol. 52, No.4, s. 177 – 188
- NOVÁKOVÁ, M., KLIKUŠOVSKÁ, Z., FECKOVÁ, B., SVIČEK, M., 2009a. Odhad úrod a produkcie pšenice ozimnej, jačmeňa jarného a repky olejnej ozimnej k 15.5.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 18
- NOVÁKOVÁ, M., KLIKUŠOVSKÁ, Z., FECKOVÁ, B., MIŠKOVÁ, M., SVIČEK, M., 2009b. Odhad úrod a produkcie pšenice ozimnej, jačmeňa jarného a repky olejnej ozimnej k 15.6.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 19
- NOVÁKOVÁ, M., KLIKUŠOVSKÁ, Z., FECKOVÁ, B., MIŠKOVÁ, M., SVIČEK, M., 2009c. Odhad úrod a produkcie pšenice ozimnej, jačmeňa jarného a repky olejnej ozimnej k 10.7.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 20
- NOVÁKOVÁ, M., KLIKUŠOVSKÁ, Z., FECKOVÁ, B., MIŠKOVÁ, M., SVIČEK, M., 2009d. Odhad úrod a produkcie kukurice na zrno, cukrovej repy technickej, slnečnice ročnej a zemiakov k 31.7.2009. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 2009, s. 20
- ORFÁNUS, T., BALKOVIČ, J., 2004. Metodika generovania priestorových máp retenčných vlastností pôd z bodových dát o pôdnej textúre. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 5, No. 1, s. 139-148
- ROYER, A., GENOVESE, G., 2004. Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 3 Remote sensing information. data processing and analysis. Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, 82 pp.
- SCHAAP, M.G., BOUTEN, W., 1996. Modelling Water Retention Curves of Sandy Soils Using Neural Networks. *Water Resour. Res.*, Vol. 32, s. 3033 – 3040
- SCHOLTZ, P., 2005. Crop yield prediction based on satellite images utilization. In Bujnovský, R., Tekel'ová, Z., (Eds.), *Vedecké práce č. 27*, Bratislava: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, s. 79 - 86, ISBN 80-89128-17-3
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., 2002: Digital Database of Selected Soil Profiles of Complex Soil Survey of Slovakia (KPP-DB). In: *Proceedings*, No. 25, SSCRI, Bratislava, p. 129 – 140
- SUPIT, I., HOOIJER, A.A., VAN DIEPEN, C.A., 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms. EUR Publication N° 15959 EN of the Office for Official Publications of the EC. Luxembourg, 146 pp.
- SUPIT, I., VAN DER GOOT, E., 2003. Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by European Commission. *Treebook 7*. Treemail Publishers, Heelsum. ISBN 90-804443-8-3, 120 pp.
- VOET, P. VAN DER, DIEPEN, C.A. VAN, OUDE VOSHAAR, J., 1994. Spatial interpolation of meteorological data. A knowledge based procedure for the region of the European Communities. SC-DLO, Report 53.3, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 35 pp.
- WÖSTEN, J. H. M. – VAN GENUCHTEN, M. T., 1988. Using Texture and Other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Functions. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 52, p. 1762 - 1770

Národný systém pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín SK_CGMS

Autori: Martina Nováková, Zuzana Klikušovská, Rastislav Skalský,
Michal Sviček, Monika Mišková, Tatiana Čičová
Vydal: Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava
Tlač: Edičné stredisko VÚPOP, Bratislava

ISBN 978-80-89128-68-6

ISBN978-80-89128-68-6



9 788089 128686