

ODHAD ÚROD POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PLODÍN POMOCOU SATELITNÝCH OBRAZOVÝCH ZÁZNAMOV

Crop yield prediction based on satellite images utilization

Mgr. Peter Scholtz

scholtz@vupu.sk

Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava

ABSTRAKT

Európska Komisia (EK) sa prostredníctvom spoločnej poľnohospodárskej politiky (CAP) snaží kontrolovať spoločný trh s poľnohospodárskymi komoditami, zabezpečiť dostatok potravín a udržiavať ceny potravín na adekvátnej úrovni. V záujme prispôsobenia stratégie trhu s poľnohospodárskymi plodinami Slovenskej republiky trhom krajín Európskej Únie (EÚ), je dôležité vykonávať priebežný odhad úrod strategických poľnohospodárskych plodín priebežne počas vegetačného obdobia. Spoločné výskumné stredisko EÚ (JRC Ispra) rieši od roku 1988 projekt Monitoring poľnohospodárstva diaľkovým prieskumom Zeme (MARS). Oddelenie monitoringu poľnohospodárstva diaľkovým prieskumom Zeme (MARS Unit) JRC momentálne prevádzkuje systém predpovede úrod (MCYFS). Tento systém je založený na simulácií agro-meteorologických parametrov rastu plodín, analýze satelitných obrazových záznamov s nízkym rozlíšením a štatistických analýzach a predpovediach.

V roku 2005 budú pri odhade úrod poľnohospodárskych plodín pomocou diaľkového prieskumu Zeme použité satelitné obrazové záznamy so senzora AVHRR satelitu NOAA a senzora VEGETATION satelitov SPOT. Dva hlavné indikátory vegetácie budú analyzované: vegetačný index NDVI a produkcia suchej hmoty (DMP).

Kľúčové slová: odhad úrod, satelitné obrazové záznamy, NOAA-AVHRR, SPOT VEGETATION, vegetačný index (NDVI), produkcia suchej hmoty (DMP)

ABSTRACT

The European Commission (EC) attempts to regulate the common agriculture market, to secure food supplies and to provide food at reasonable prices through its Common Agricultural Policy (CAP). Behalf the adaptation of the common agricultural market of Slovak Republic with other European Union (EU) member states markets, it is necessary to carry out the preliminary yield predictions of strategic agriculture crops during their vegetation period. Since 1988, according the CAP, the EU project Monitoring Agriculture with Remote Sensing (MARS) has been realized by the EU Joint Research Centre (JRC) Ispra, Italy. The MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing) Unit of the JRC is now running in an operational context the Mars Crop Yield Forecasting System (MCYFS).

The MCYFS is based on simulation of agro-meteorological crop growth parameters, low resolution satellite data analysis and statistical analysis and forecasts.

Satellite images from AVHRR sensor of NOAA satellite and VEGETATION sensor of SPOT satellites will be used in the 2005 campaign of yield prediction of strategic agriculture crops utilizing remote sensing in Slovak Republic. Two vegetation indicators will be analysed: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Dry Matter Productivity (DMP).

Keywords: crop yield prediction, satellite images, NOAA-AVHRR, SPOT VEGETATION, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Dry Matter Productivity (DMP)

ÚVOD

Pre efektívne operovanie na spoločnom poľnohospodárskom trhu Európskej Únie (EÚ), rovnako ako aj na domácom trhu, je veľmi dôležité vykonávať priebežné odhady úrod hlavných poľnohospodárskych plodín priebežne počas vegetačného obdobia. V dôsledku toho členské štáty EÚ zbierajú potrebné údaje a následne ich využívajú pre potreby odhadu úrod plodín na národnej úrovni.

História

Spoločné výskumné stredisko EÚ (JRC v Ispre) začalo v roku 1988 s projektom monitoringu poľnohospodárstva diaľkovým prieskumom Zeme (MARS - Monitoring Agriculture with Remote Sensing). Na požiadavku Európskej Komisie (EK) bolo v priebehu posledných 14-tich rokov v rámci MARS projektu riešených viacero rámcových výskumných programov ohľadom štúdia, vývoja a implementácie viacerých metód a techník. V súčasnosti, po niekoľkých rokoch výskumu v kooperácii s členskými štátmi EÚ a pred-operatívnu fázou, oddelenie monitoringu poľnohospodárstva diaľkovým prieskumom Zeme JRC prevádzkuje systém odhadu úrod poľnohospodárskych plodín (MCYFS - Mars Crop Yield Forecasting System). Hlavnými súčasťami tohto systému sú:

- zber, spracovanie a analýza meteorologických dát
- simulácia agro-meteorologických parametrov rastu plodín
- analýza satelitných obrazových záznamov s nízkym rozlíšením
- štatistické analýzy a predpovede ((Royer et al, 2004).

V Slovenskej republike sa začalo s MARS aktivitami v roku 1994 a od roku 1998 Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP) sa venuje problematike odhadu úrod poľnohospodárskych plodín na základe kontraktov s Ministerstvom pôdohospodárstva SR (MP SR) (Scholtz et al., 2004). Odhad úrod poľnohospodárskych plodín vykonávaný VÚPOP-om je založený na simulácii rastu plodín pomocou agrometeorologických modelov programu WOFOST a na analýze satelitných obrazových záznamov s nízkym rozlíšením, pričom tieto sa využívajú od kampane 2003.

MATERIÁLY A METÓDY

V kampani 2005 budú použité satelitné obrazové záznamy zo senzora AVHRR satelitu NOAA a senzora VEGETATION satelitu SPOT, pričom budú analyzované dva indikátory vegetácie: vegetačný index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a produkcia suchej hmoty (DMP - Dry Matter Productivity).

Satelitné systémy

Vďaka ich veľkému zornému poľu, majú satelitné systémy s nízkym rozlíšením vysokú časovú frekvenciu a široký záber: scény majú veľkú šírku (až do 3000 km), čo im umožňuje nasnímať celý Zemský povrch každý deň. Nevýhodou týchto satelitných systémov je nízke rozlíšenie – veľkosť obrazového elementu býva okolo 1 km² (Royer et al, 2004).

Od roku 1978 NASA vypustila na obežnú dráhu 12 rôznych satelitov **NOAA** (Tabuľka 1).

Satelit	Čas prevádzky
TIROS-N	19.10.1978 - 30 .1.1980
NOAA6	27.7.1979 - 5.3.1983 a 3.7.1984 - 16.11.1956
NOAA7	19.8.1981 - 7.6.1986
NOAA8	20.7.1983 - 12.6.1984 a 1.7.1985 - 31.10.1985
NOAA9	25.2.1985 - 7.11.1988
NOAA10	17.11.1986 - 16.9.1991
NOAA11	8.11.1988 - 11.4.1995
NOAA12	14.5.1991 - 14.12.1998
NOAA13	9.8.1993 - 21.8.1993 – neúspešný
NOAA14	30.12.1994 – doposiaľ
NOAA15	13.5.1998 – doposiaľ
NOAA16	21.9.2000 – doposiaľ

Tabuľka 1. Prehľad satelitov NOAA.

Jedným z hlavných senzorov na palube satelitov NOAA, ktoré obiehajú okolo Zeme na polárnej dráhe obehu vo výške približne 833 km s frekvenciou 14.1 obehu za deň, je Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). AVHRR je snímací senzor, ktorý meria emitovanú a odrazenú radiáciu systému Zem-atmosféra v 5-tich kanáloch s rozlíšením 1,1 km v nadire (Royer et al, 2004).

Kanál č.	Rozpätie kanála (μm)	Názov spektra	Poznámka
1	0.58 - 0.68	viditeľné (VIS)	
2	0.725 - 1.00	blízke infračervené (NIR)	
3A	1.58 - 1.64	krátkovlnné infračervené (SWIR)	cez deň
3B	3.55 - 3.93	stredné infračervené (MIR)	v noci
4	10.3 - 11.3	termálne infračervené (TIR ₁)	
5	11.5 - 12.5	termálne infračervené (TIR ₂)	

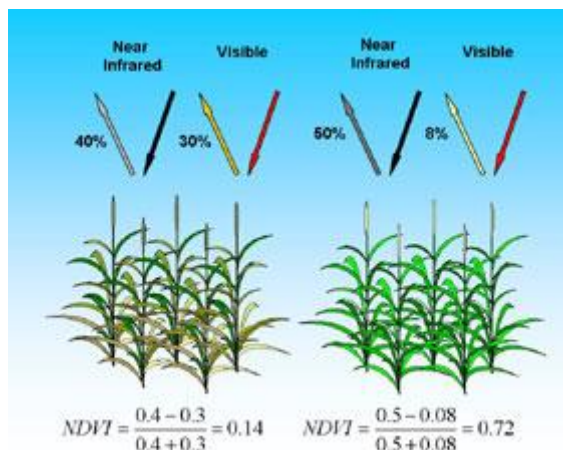
Tabuľka 2. Charakteristika spektrálnych pásiem senzora AVHRR.

Naproti tomu je systém satelitov **SPOT** Francúzskej. Satelity SPOT1, 2 a 3 boli na obežnú dráhu vypustené v rokoch 1986, 1990 respektíve 1993. Tieto satelity mali na palube senzor HRV snímajúci v multispektrálnom móde (zelené: 0.50 – 0.59 μm , červené: 0.61 – 0.68 μm a blízke infračervené: 0.78 – 0.89 μm) s rozlíšením 20 m a v panchromatickom móde s rozlíšením 10 m. V roku 1998 bol na obežnú dráhu vypustený satelit SPOT4, ktorý má na palube senzor HRVIR, čo je vlastne senzor HRV doplnený o stredné infračervené spektrum (1.58 – 1.75 μm). Tento satelit má však na palube aj senzor s nízkym rozlíšením (1,15 km): VEGETATION (skrátene VGT). 24. mája 2002 bol vypustený doposiaľ posledný satelit SPOT – SPOT5, ktorý na palube nesie dva senzory HRG (spektrálna pásma sú rovnaké ako pri senzore HRVIR, ale rozlíšenie je 10 m respektíve 5 m v panchromatickom móde) a senzor VEGETATION (presne taký istý aký sa nachádza na palube satelitu SPOT4) (Royer et al, 2004).

Indikátory vegetácie

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) vyjadruje množstvo a vitalitu vegetácie na Zemskej povrchu. Veľkosť NDVI indexu zodpovedá fotosyntetickej aktivite vegetácie. Časť slnečného žiarenia dopadajúceho na objekt sa odrazí a iná je zasa absorbovaná objektom. Pigment obsiahnutý v listoch rastlín – chlorofyl, silno absorbuje viditeľnú časť rádiového žiarenia (od 0.4 do 0.7 μm), ktoré sa využíva pri fotosyntéze. Naproti tomu, bunková štruktúra listov silno odráža blízke infračervené žiarenie (od 0.7 do 1.1 μm). Čím viac listov plodina má, tým viac žiarenia je absorbovaného respektívne odrazeného a naopak (SANDHOLT). V konečnom dôsledku je tento fakt dobrým ukazovateľom množstva a kondície vegetácie. NDVI je definovaný nasledovne:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



Obrázok 1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Výsledkom výpočtu NDVI indexu je hodnota od -1 do +1 pre každý obrazový element. NDVI sa pri suchozemskej vegetácii zvyšuje v závislosti od hustoty vegetácie od hodnoty +0,15 (holá pôda) až po +1 (veľmi hustá vegetácia). Na druhej strane, vodné plochy majú negatívne hodnoty NDVI a oblaky majú hodnoty NDVI okolo 0 (Royer et al, 2004).

Červený a blízky infračervený kanál senzora VGT satelitu SPOT, na rozdiel od viditeľného a blízko infračerveného kanála senzora AVHRR satelitu NOAA, majú užší rozsah a sú teda lepšie prispôsobené k spektru absorbovaného/odrazeného pigmentom rastlín (chlorofylom) (Royer et al, 2004). Okrem toho viditeľný kanál senzora AVHRR sníma okrem červeného spektra aj časť zeleného spektra a v neposlednom rade AVHRR senzor satelitu NOAA v blízkom infračervenom spektre sníma od 0.72 μm do 1.1 μm , pričom v tomto pásme sa nachádza aj pásmo, ktoré je značne absorbované vodnou parou v atmosfére (do 0.9 μm do 0.98 μm) (SANDHOLT). Toto vysvetľuje, prečo vo všeobecnosti hodnoty NDVI indexu vypočítaného zo senzora VGT sú o niečo vyššie ako hodnoty NDVI indexu vypočítané so senzora AVHRR (Royer et al, 2004).

Monteith (Monteith, 1972) formuloval všeobecnú rovnicu výpočtu **produkcie suchej hmoty** (DMP - Dry Matter Productivity, v kg suchej hmoty/ha/deň), vyjadrujúc nárast suchej hmoty biomasy za deň:

$$DMP_1 = R_1 \cdot 0.48 \cdot fAPAR_1 \cdot \varepsilon(T_1) \cdot 10000$$

pričom R_1 [$\text{J}/\text{m}^2/\text{deň}$] je dopadajúca krátkovlnná slnečná radiácia (200-3000 nm), z ktorej v priemere 48% tvorí fotosynteticky aktívna radiácia (PAR: 400-700nm). $fAPAR_1$ je časťou PAR, ktorá je absorbovaná zelenou vegetáciou. Koeficient efektívnosti $\varepsilon(T_1)$ [kg suchej hmoty/ J_{PAR}] vyjadruje konverziu absorbovanej energie do biomasy (efektívnosť využitia radiácie) a straty spôsobené transportom produktov fotosyntézy, udržiavanie biomasy atď. Definícia $\varepsilon(T_1)$ je veľmi komplexná ale pri tomto riešení je jednoducho aproximovaná ako funkcia dennej teploty T_1 . Funkcia $\varepsilon(T_1)$ je nelineárna v tvare zvona: dosahuje maximum pri teplote 22°C a hodnotu 0 dosahuje pre teplotách pod

0°C a nad 40°C. Konštanta 10 000 [m²/ha] transformuje metre štvorcové na hektáre, ktoré sa zväčša používajú v poľnohospodárskej štatistike (Royer et al, 2004).

Lineárny vzťah medzi $fAPAR$ a NDVI bol už viackrát preukázaný (Myneni and Williams, 1994). Preto sa pre výpočet $fAPAR$ (pre každý obrazový element) používa rovnica $fAPAR=A+B \cdot NDVI$, kde posun A a sklon B sú pre každý senzor vypočítané zvlášť. S využitím Belgických dát Eernes (et al., 2000) stanovil nasledujúce hodnoty týchto parametrov: $A=-0.269$, $B=1.68$ pre NOAA-AVHRR, a $A=-0.247$, $B=1.54$ pre SPOT-VGT. Na úrovni $fAPAR$ by už potom mali byť eliminované všetky rozdiely medzi spomínanými senzorami (Royer et al, 2004).

R_1 a T_1 sú dva vstupné meteorologické parametre tohto riešenia, ktoré sú získavané s "veľmi nízkym" rozlíšením (nižším ako je rozlíšenie satelitných obrazových záznamov použitých na výpočet NDVI) (Royer et al, 2004).

Metodika

Úlohou systému odhadu úrod poľnohospodárskych plodín je poskytovanie najpravdepodobnejších, precíznych, presných, vedeckých a nezávislých odhadov úrod pre hlavné poľnohospodárske plodiny (Genovese et al., 2004).

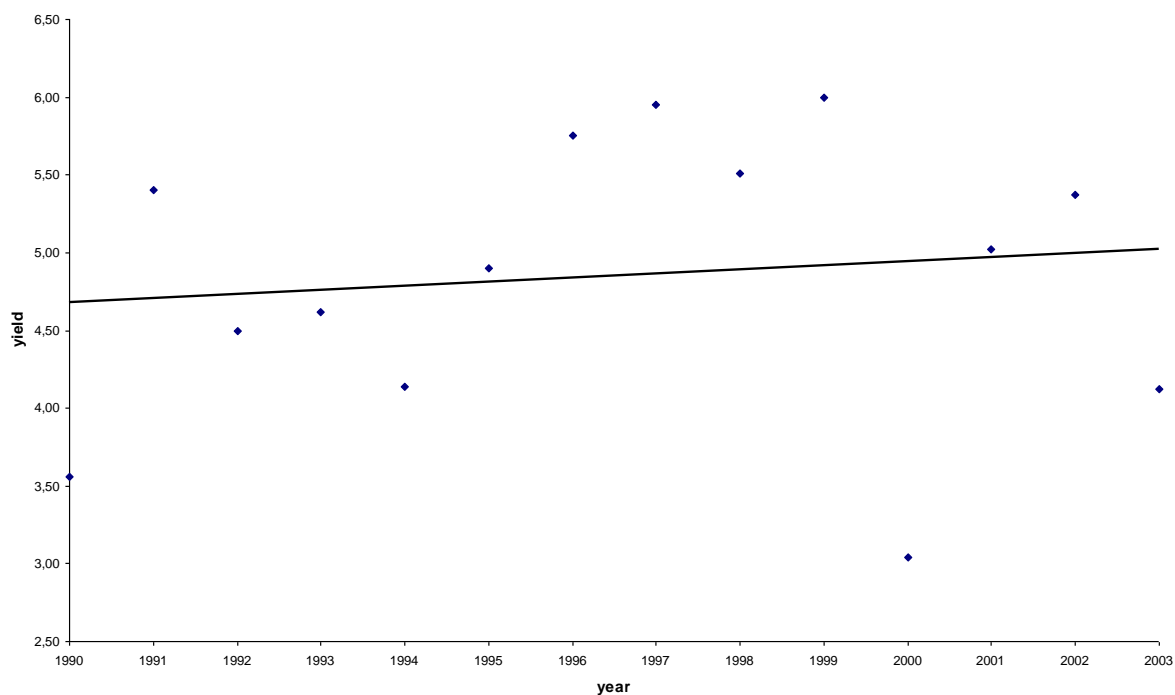
Systém pozostáva s modelu lineárnej regresie kombinujúcej priemernú úrodu - lineárny trend a lineárnu regresiu popisujúcu zvyškové variácie. Lineárny trend zohľadňuje vplyv dlhodobých ekonomických a technologických zmien ako nárast hnojenia, využívanie vylepšených metód manažmentu plodín, používanie nových vysoko úrodných variet atď. na úrodnosť. Zvyškové variácie sú modelované ako funkcia indikátorov vegetácie odvodených zo satelitných obrazových záznamov. Tieto indikátory popisujú medziročnú variabilitu úrodnosti vyvolanú rôznym vývojom počasia (Genovese et al., 2004).

$$\text{úroda} = f_1(\text{trend}) + f_2(\text{satelitné dáta})$$

1. **Analýza trendu úrod.** Na základe výsledkov Palm and Dagnelie (1993) a de Koning (et al. 1993) bude použitý lineárny trend, ktorý dostatočne popisuje nárast úrod.
2. **Regresná analýza dát diaľkového prieskumu Zeme.** Tri indikátory vegetácie budú analyzované ($NDVI_{AVHRR}$, $NDVI_{VGT}$ and DMP_{VGT}) s využitím regresnej analýzy pre zistenie roku s najpodobnejším vývojom týchto indikátorov.
3. **Odhad úrod.** Rozdiel medzi trendom a úrodou v roku nájdenom pomocou regresnej analýzy dát diaľkového prieskumu Zeme bude pridaný k úrode predpovedanej na základe trendu.

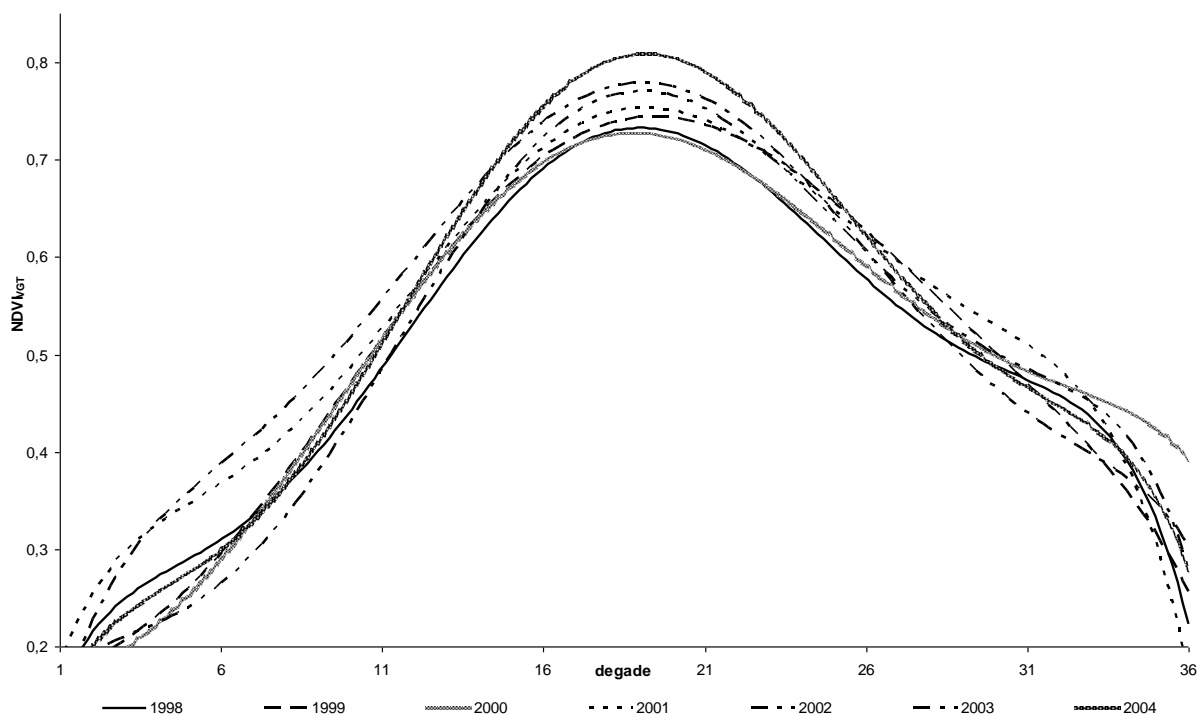
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre krajiny východnej Európy by sa pre analýzu trendu úrod, kvôli politickým zmenám okolo roku 1990, mali brať do úvahy len dáta od roku 1990 (Genovese et al., 2004).



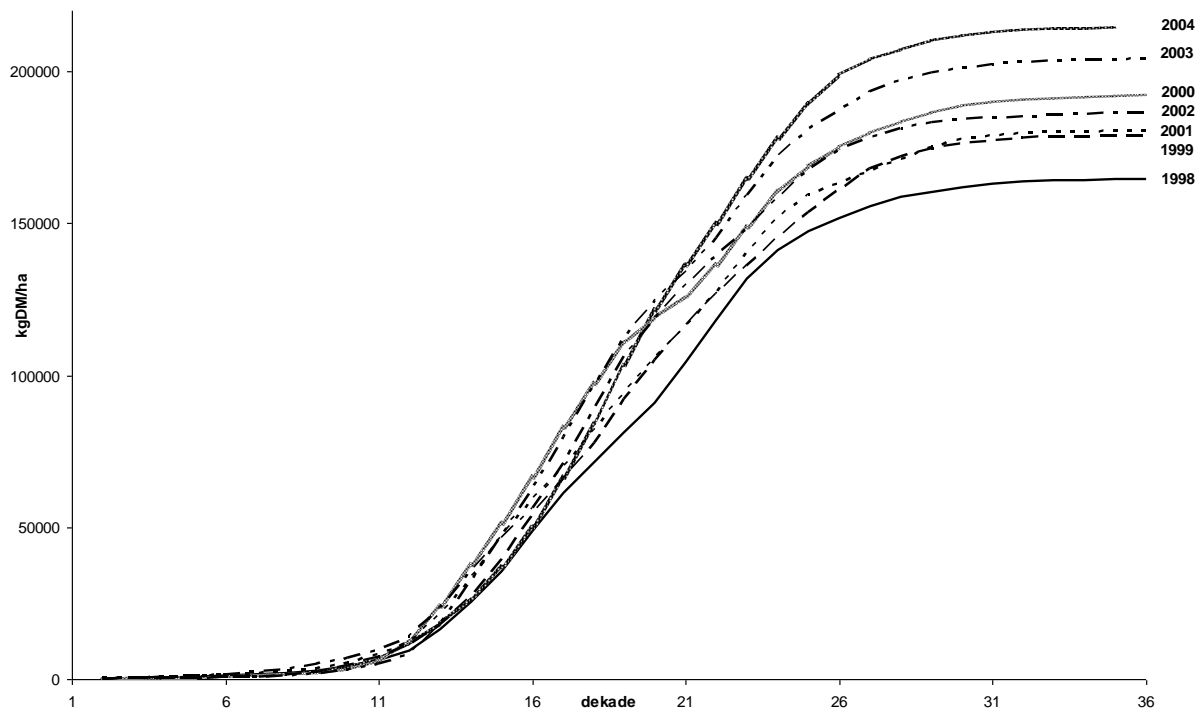
Graf 1. Analýza trendu úrody kukurice na zrno v Slovenskej republike.

Pri NDVI indexe sa pre každú dekádu (10 dní) počíta maximálna hodnota (MVC - Maximum Value Compositing). Prvé dve dekády každého mesiaca sa tým pádom počítajú z 10-tich dní/dát a posledná dekáda v mesiaci z rôzneho počtu dní/dát (8,9,10 alebo 11).



Graf 2. Vývoj NDVI_{VGT} indikátora v Slovenskej republike.

Vo všeobecnosti neexistuje priama korelácia medzi produkciou suchej hmoty zistenou s dát diaľkového prieskumu Zeme v danom momente a úrodou v čase zberu. Konečná úroda je viac výsledkom vývoja rastliny. Tento vývoj rastliny môže byť kvantifikovaný kumulovaným súčtom produkcie suchej hmoty od dňa vzchádzania plodiny (Eerens et al., 2001).



Graf 3. Kumulatívny vývoj DMP_{VGT} indikátora v Slovenskej republike.

ZÁVER

Výhodou systému odhadu úrod vykonávanom na Výskumnom ústave pôdoznavectva a ochrany pôdy je fakt, že je možné prezentovať priebežné odhady úrody v priebehu vegetačného obdobia.

Satelitné obrazové záznamy s nízkym rozlíšením sa pre odhad úrod na VÚPOP-e používajú od roku 2003. Pri porovnaní odhadov úrod vypracovaných VÚPOP-om, Štatistickým úradom Slovenskej republiky a Spoločným výskumným strediskom Európskej Únie (JRC, Ispra) v rámci kampane 2003 sa zistilo, že odhady boli zhruba rovnaké, akurát odhady vypracované VÚPOP-om vykazovali väčšiu variabilitu (VÚPOP mal lepšie ale aj horšie odhady). Porovnanie odhadov úrod vypracovaných v rámci kampane 2004 zatiaľ nebolo vykonané, keďže ešte neboli oficiálne zverejnené úrody dosiahnuté v minuloročnej kampani. Napriek tomu, výsledky zistených odhadov úrod boli prezentované predstaviteľom Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky, ktorý vyjadrili spokojnosť s projektom. Dúfame, že vylepšenia tohto systému tak, ako sú prezentované v tomto článku prispievajú k zvýšeniu jeho kvality – povedú k presnejším odhadom.

REFERENCIE

- EERENS, H., WOUTERS, K., BUFFET, D., OGER, R., DEHEM, D., TYCHON, B., 2000: Use of 1km²-resolution imagery in the Belgian Crop Growth Monitoring System (B-CGMS). In: Proceedings VEGETATION 2000, 3-6 April 2000, Space Applications Institute, Joint Research Centre of the European Commission, Lake Maggiore, Italy.
- EERENS, H., KEMPENEERS, P., PACCARD, I., VERHEIJEN, Y., 2001: Crop Monitoring and Yield Forecasting with NOAA-AVHRR or SPOT-VEGETATION, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Belgium, p. 3.
- 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, p. 94
- KONING, G.H.J. DE, JANSEN, M.J.W., BOONS-PRINS, E.R., DIEPEN, C.A. VAN, PENNING DE VRIES, F.W.T., 1993: Crop growth simulation and statistical validation for regional yield forecasting across the European Community. Simulation Reports CABO-TT, No. 31, AB-DLO, Wageningen, The Netherlands, p. 105.
- MONTEITH, J.L., 1972: Solar radiation and productivity in tropical ecosystems, Applied Ecology, 19, p. 747-766.
- MYNENI, R., WILLIAMS, D., 1994: On the relationship between fAPAR and NDVI, Remote Sensing of Environment, 19, p. 200-211.
- PALM, R., DAGNELIE, P., 1993: Tendances générales et effets du climat dans la prévision des rendements agricoles des différents pays des C.E.. EUR 15106 FR, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, p. 128.
- 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, p. 82
- SANDHOLT, I., SCHULTZ RASMUSSEN, M., RASMUSSEN, K., FENSHOLT, R.: Estimation of Net Primary Production in Senegal using TERRA MODIS and ENVISAT MERIS satellite data, Institute of Geography, University of Copenhagen, <http://www.geogr.ku.dk/research/eovs/>
- SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M., 2004: Crop Yield Prediction in Year 2003, In: Proceeding, No. 26, 2004, Soil Science and Conservation Research Institute, Bratislava, p. 193-199.