

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE

FAKULTA ZÁHRADNÍCTVA A KRAJINNÉHO INŽINIERSTVA

Katedra biometeorológie a hydrológie

**MODELOVÉ HODNOTENIE EMISIÍ OXIDU DUSNÉHO  
Z POĽNOHOSPODÁRSKY VYUŽÍVANÝCH PÔD SR  
Z POHLADU OCHRANY ŽP V EURÓPSKOM  
PRIESTORE**

Autoreferát dizertačnej práce  
na získanie akademického titulu *philosophiae doctor*  
v študijnom odbore 6.1.11 KRAJINÁRSTVO

Ing. Ján Horák

Nitra, 2009

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre biometeorológie a hydrológie Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Doktorand: **Ing. Ján Horák**  
Katedra biometeorológie a hydrológie  
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vedúci dizertačnej práce:  
**doc. RNDr. Bernard Šiška, PhD.**  
Katedra biometeorológie a hydrológie  
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Oponenti: **prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.**  
Katedra prírodného prostredia  
Lesnícka fakulta  
Technická univerzita vo Zvolene

**prof. Ing. Jozef Stred'anský, DrSc.**  
Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav  
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

**doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.**  
Oddelenie pôdoznalectva a mapovania pôd  
Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy  
Bratislava

Autoreferát bol odoslaný dňa .....

Stanovisko k dizertácii vypracovala Katedra biometeorológie a hydrológie, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Obhajoba doktorandskej dizertácie sa koná dňa 23.03.2009 o 9.00 h pred komisiou pre obhajobu dizertačných prác študijného odboru 6.1.11 Krajinárstvo na Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.

Miesto konania: Katedra biometeorológie a hydrológie  
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre  
Hospodárska 7, 949 01 Nitra

Miestnosť: ZP – 11

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na dekanáte Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva.

Predseda komisie pre obhajoby vo vednom odbore 6.1.11 Krajinárstvo

**prof. Ing. Jozef Stred'anský, DrSc.**  
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

## ABSTRAKT

Model DNDC a metodika IPCC boli v tejto dizertačnej práci použité na hodnotenie emisií oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) z orných pôd SR. Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  boli stanovené na lokálnej a na regionálnej úrovni. Na regionálnej úrovni v členení na poľnohospodárske výrobné oblasti boli emisie  $\text{N}_2\text{O}$  hodnotené v podmienkach súčasnej klímy pre systémy intenzity hnojenia dusíkom uvádzaných v štatistikách ÚKSUP-u (KS). Ďalej bol hodnotený vplyv zvýšenia resp. zníženia intenzity hnojenia dusíkom o 30 %. Pre podmienky meniacej sa klímy bol stanovený expertný odhad projekcií vstupov hnojenia dusíkom podľa individuálnych potrieb plodín odporúčaných v literatúre v zmysle správnej poľnohospodárskej praxe. Z porovnania emisií  $\text{N}_2\text{O}$  stanovených podľa IPCC metodiky a pomocou simulácie modelom DNDC na lokálnej úrovni (VPP-Kolíňany) vyplýva, že intenzita emisií nie je závislá len od vstupov dusíkatých látok do agrocenózy. V sérii hodnotených rokov boli emisie stanovené metodikou IPCC vyššie, ako simulačným modelom DNDC. V priemere boli vyššie o 39 %. Z výsledkov analýzy citlivosti modelu DNDC na lokálnej úrovni bolo zistené, že z alternatívnych scenárov agrotechnických postupov najvýraznejšie ovplyvnili emisie  $\text{N}_2\text{O}$  aplikácia rôznych typov hnojenia. Z environmentálnych faktorov je model DNDC najcitlivejší na zmenu pôdneho druhu, teplotu vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ), a obsah pôdneho organického uhlíka (Cox). Na regionálnej úrovni bola najvyššia intenzita emisií  $\text{N}_2\text{O}$  podľa modelu DNDC v horskej výrobnej oblasti a najnižšia v repárskej výrobnej oblasti. Zvýšením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa emisie  $\text{N}_2\text{O}$  podľa modelu DNDC zvýšili v rozsahu od 2 – 15 %. Znížením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa znížili v rozsahu od 3 – 21 %. Podľa metodiky IPCC boli naopak najvyššie emisie  $\text{N}_2\text{O}$  v repárskej výrobnej oblasti a najnižšie v horskej a zemiakarskej výrobnej oblasti. Zvýšením resp. znížením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % boli emisie  $\text{N}_2\text{O}$  podľa metodiky IPCC vyššie resp., nižšie o 16 %, vzhľadom k tomu, že metodika stanovuje emisie  $\text{N}_2\text{O}$  na základe dávok dusíka v hnojivách. Z porovnania oboch metód vyplýva, že emisie  $\text{N}_2\text{O}$  podľa metodiky IPCC boli vyššie vo všetkých výrobných oblastiach SR ako emisie  $\text{N}_2\text{O}$  stanovené modelom DNDC.

Podľa modelu DNDC, naplnením stanovených projekcií hnojenia dusíkom a naplnením scenárov klímy bola intenzita emisií  $\text{N}_2\text{O}$  z orných pôd v podmienkach meniacej sa klímy vyššia vo všetkých výrobných oblastiach SR v porovnaní s intenzitou emisií v podmienkach súčasnej klímy. V kukuričnej výrobnej oblasti bola vyššia o

18 %, v repárskej o 20 %, v zemiakarskej o 2 % a v horskej výrobnjej oblasti bola vyššia o 0,5 %. Je teda pravdepodobné, že v budúcnosti sa budú emisie  $N_2O$  z poľnohospodárstva zvyšovať a zmena klímy bude jeden z najvýznamnejších faktorov, ktoré ovplyvnia emisie  $N_2O$ . Využitie metodiky stanovenia emisií  $N_2O$  modelom DNDC v agroklimatických podmienkach Slovenska ukázalo, že zanedbanie pôdno-klimatických faktorov viedlo k významným rozdielom v stanovení emisií všetkých hodnotených regiónov v rámci výrobných oblastí SR.

**Kľúčové slová:** *emisie  $N_2O$ , DNDC model, metodika IPCC, analýza citlivosti, zmena klímy*

## ABSTRACT

Model DNDC and IPCC methodology were used in this dissertation thesis to evaluate the emissions of nitrous oxide ( $N_2O$ ) from arable soils of Slovak republic.  $N_2O$  emissions were estimated at the local and regional scale.  $N_2O$  emissions were evaluated at the regional scale (Slovak agricultural regions) in current climate condition for systems of nitrogen fertilization rate according to ÚKSUP statistical data (KS). Then we studied the influence of increase and decrease of nitrogen application rate by 30 %. It was specified an expert guess of nitrogen inputs for climate change condition according to individual needs of crops recommended in the literature in terms of good agricultural practices. A comparison of  $N_2O$  emissions estimated at the local scale (VPP-Kolíňany) according to IPCC methodology and according to DNDC model showed, that the emissions rate doesn't depend only on nitrogen fertilization inputs to the agroecosystem. Emissions estimated according to IPCC methodology were higher in the whole studied period than the emissions according to DNDC model. Emissions were higher by 39 % on average. Sensitivity analysis results of DNDC model at local scale showed, that the type of applied fertilizers had the most significant influence on  $N_2O$  emissions among the all tested farming practices. Soil properties, air temperature ( $^{\circ}C$ ), and soil organic carbon (Cox) had the most significant influence on  $N_2O$  emissions among the all tested environmental factors. According to DNDC model the highest  $N_2O$  emissions rate at regional scale was in mountainous agricultural region and the lowest was in sugar beet agricultural region. The increase in nitrogen fertilization rate by 30 % caused increase of  $N_2O$  emissions ranging from 2 – 15 %. The decrease in nitrogen fertilization rate by 30 % caused decrease of  $N_2O$  emissions ranging from 3 – 21 %.

According to IPCC methodology the highest N<sub>2</sub>O emissions rate was in sugar beet agricultural region and the lowest in mountainous region, which is on the contrary to DNDC model results. The increase or decrease in nitrogen fertilization rate by 30 % caused increase or decrease of N<sub>2</sub>O emissions by 16 % according to IPCC methodology, because IPCC methodology estimates N<sub>2</sub>O emissions on the basis of amount of nitrogen in fertilizers. Comparison of both methods showed, that N<sub>2</sub>O emissions according to IPCC methodology were higher in all agricultural regions of Slovakia than the N<sub>2</sub>O emissions according to DNDC model.

Fulfilling expert guess of nitrogen fertilization for future and fulfilling climate scenarios caused according to DNDC model increase in N<sub>2</sub>O emissions rate from arable soils of all Slovak agricultural regions in climate change condition compared to emissions in current climate condition. N<sub>2</sub>O emissions were higher in maize agricultural region by 18 %, in sugar beet region by 20 %, in potato region by 2 % and in mountainous agricultural region by 0,5 %. So there is a probability, that N<sub>2</sub>O emissions from agricultural sector will increase in the future and the climate change will be one of the most significant factor influencing these emissions. Use of DNDC model for N<sub>2</sub>O emissions estimating in Slovak agro climatic condition showed that not taking into account the soil-climatic factors caused significant differences in emissions estimates in all Slovak agricultural regions.

**Key words:** *N<sub>2</sub>O emissions, DNDC model, IPCC methodology, sensitivity analysis, climate change.*

## **OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	6
<b>1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY</b> .....	6
<b>2 CIEĽ PRÁCE</b> .....	8
<b>3 MATERIÁL A METÓDY</b> .....	8
<b>4 VÝSLEDKY</b> .....	10
<b>5 ZÁVERY</b> .....	18
<b>6 VÝBER Z POUŽITEJ LITERATÚRY</b> .....	20
<b>7 ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA SÚVISIACICH S RIEŠENOU PROBLEMATIKOU</b> .....	21

## ÚVOD

Zmena globálnej klímy, spôsobená antropogénnou emisiou skleníkových plynov, je najvýznamnejší environmentálny problém v doterajšej histórii ľudstva. Tento globálny problém bol všeobecne akceptovaný Rámcovým dohovorom OSN o zmene klímy z roku 1992 a prvé opatrenia k zmierneniu negatívnych dôsledkov zmeny klímy boli prijaté Kjótskym protokolom z roku 1997.

Zmenu globálnej klímy významne ovplyvňujú aj obrábané pôdy, ktoré sú zdrojom emisií oxidu dusného ( $N_2O$ ). V sektore poľnohospodárstva reprezentujú asi 75 % z celkových  $N_2O$  emisií v podmienkach SR. V podmienkach SR boli doposiaľ emisie  $N_2O$  hodnotené metodikou odporúčanou medzivládny panelom pre klimatickú zmenu (IPCC). Časový vývoj emitovania  $N_2O$  v zmysle použitých metodík koreluje s časovým vývojom spotreby dusíkatých hnojív v SR. Ochrana životného prostredia ako aj obchodovanie s emisiami skleníkovými aktívnymi plynmi však volá po zohľadnení ďalších faktorov podmieňujúcich tieto emisie. To vyžaduje ďalšie analýzy založené na nových spôsoboch hodnotenia, ktoré umožnia prijať účinné adaptačné a mitigačné opatrenia k zníženiu potenciálu emitovania  $N_2O$  z pôdy do atmosféry v kontexte vplyvu jednotlivých zložiek prírodného prostredia. Model DNDC, ktorý bol použitý v tejto práci môže byť jednou z možností pri hodnotení emisií oxidu dusného z poľnohospodársky využívaných pôd SR.

Práca vznikla na základe výsledkov riešenia a s finančnou podporou projektov VEGA 1/4427/07: návrh novej agroklimatickej rajonizácie rastlinnej výroby v podmienkach meniacej sa klímy na Slovensku a 6RP Cecilia.

## 1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Pod pojmom **klimatická zmena** rozumieme iba tie zmeny v klimatických pomeroch, ktoré súvisia s antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry od začiatku priemyselnej revolúcie (po roku 1750). Od konca poslednej doby ľadovej do roku 1750 sa menila koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére iba nepatrne, odvtedy sa zrýchľuje prírastok všetkých skleníkových plynov v atmosfére okrem  $H_2O$  (Lapin, Tomlain, 2001).

Zmenu globálnej klímy významne ovplyvňujú aj obrábané pôdy, ktoré sú zdrojom emisií oxidu dusného ( $N_2O$ ). Tento globálny problém bol všeobecne akceptovaný Rámcovým dohovorom OSN o zmene klímy z roku 1992 a prvé opatrenia

k zmierneniu negatívnych dôsledkov zmeny klímy boli prijaté Kjótskym protokolom z roku 1997. V máji 2002 SR ratifikovala „**Kjótsky protokol**“ a dohoda nadobudla platnosť 16. februára 2005. Podľa znenia záverečného protokolu z Kjóta sa krajiny Prílohy I dohodli na znížení výslednej emisie všetkých šiestich skleníkových plynov ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFCs, PFCs a  $\text{SF}_6$ ) v priemere o 5,2 % z úrovne roka 1990 počas cieľového obdobia rokov 2008-2012. Slovenská republika, rovnako ako EÚ, prijala záväzok na 8 % zníženie v porovnaní s úrovňou emisií v základnom roku 1990. Emisie oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sa stanovujú v súlade s požiadavkami dohovoru a Kjótskeho protokolu **metodikou IPCC**. Neurčitosti emisných faktorov a aktivitných údajov sú dôsledne vyhodnocované, používajú sa aj expertné odhady. Neurčitosti emisných inventúr sú prevažne zapríčinené a ovplyvnené nepresnosťou v štatistických aktivitných dátach. Pre zníženie neurčitosti emisných inventúr je dôležité rozpoznať kľúčové zdroje a kategórie (Szemesova, 2005).

Literatúra zaoberajúca sa emisiami  $\text{N}_2\text{O}$  z pôd (Williams et al., 1992) dokumentuje dôležité priestorové a časové variability v emisných dátach. Je veľmi zložitá stanoviť presné priestorové a časové variability emisií  $\text{N}_2\text{O}$  v rôznych miestach kvôli rozdielom v klíme, pôdnych vlastnostiach, rastu plodiny a poľnohospodárskej agrotechnike. Štúdie počas posledných rokov poskytujú bohaté informácie o procesoch a environmentálnych faktoroch produkcie a výmeny plynov. Zdokonalenia sú potrebné pre účelné merania, či už na lokálnej alebo regionálnej úrovni.

Prvým krokom pre merania na regionálnej úrovni je vývoj simulačných modelov založených na procesoch a environmentálnych faktoroch. Biogeochemická výskumná skupina Univerzity v New Hampshire (USA) vyvinula **model DNDC**, ktorý simuluje toky  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  a  $\text{NH}_3$  emisií z poľnohospodársky využívaného územia. Niekoľko vedeckých príspevkov sa zaoberalo počiatočným vývojom tohto modelu, pričom sa sústreďovali hlavne na emisie  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  (Li et al., 1992a; 1994).

Model DNDC bol porovnávaný s viacerými meranými hodnotami emisií  $\text{N}_2\text{O}$  získanými poľnými pokusmi. Staršie výsledky súvisiace s emisiami  $\text{N}_2\text{O}$  boli publikované autormi Li et al., 1992b; Li et al., 1994; Li, 1997; Frolking, 1998.

## 2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom dizertačnej práce je modelové hodnotenie emisií oxidu dusného z poľnohospodársky využívaných pôd SR z pohľadu ochrany ŽP v európskom priestore, ako aj plnenia záväzkov redukcie emisií skleníkovu aktívnych plynov vyplývajúcich z Kjótskeho protokolu. K dosiahnutiu tohto cieľa bola úloha členená do nasledovných čiastkových cieľov:

1. Modelovanie emisií oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) na základe experimentálnych podkladov z poľnohospodársky využívaného územia podľa:
  - IPCC metodiky pre stanovenie emisií  $\text{N}_2\text{O}$ ,
  - počítačovej simulácie emisií  $\text{N}_2\text{O}$  modelom DNDC.
2. Analýza citlivosti modelu DNDC k rôznym alternatívnym scenárom agrotechnických zásahov a environmentálnych faktorov.
3. Modelové hodnotenie emisií  $\text{N}_2\text{O}$  na regionálnej úrovni v členení na poľnohospodárske výrobné oblasti SR:
  - v podmienkach súčasnej klímy v SR,
  - v podmienkach meniacej sa klímy v SR.
4. Vzájomné porovnanie emisií oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) stanovených podľa IPCC metodiky a modelom DNDC (DeNitrification and DeComposition).

## 3 MATERIÁL A METÓDY

Hodnotenie emisií  $\text{N}_2\text{O}$  metodikou IPCC a modelom DNDC bolo riešené na 2 úrovniach: lokálnej a regionálnej. Pre riešenie úlohy na lokálnej úrovni bolo vybrané modelové územie Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku SPU, s.r.o., Kolíňany (ďalej len VPP-Kolíňany). Na modelovom území VPP-Kolíňany v poraste slnečnice ročne v roku 2004 bola uskutočnená analýza citlivosti modelu DNDC na meniace sa alternatívne scenáre agrotechnických postupov a environmentálnych faktorov. Regionálnu mierku pre účely tejto dizertačnej práce sme stanovili v členení Slovenskej republiky podľa poľnohospodárskych výrobných oblastí. V tomto členení boli emisie  $\text{N}_2\text{O}$  hodnotené v podmienkach súčasnej klímy a v podmienkach meniacej sa klímy v SR. V podmienkach súčasnej klímy pre systémy intenzity hnojenia dusíkom uvádzaných v štatistikách ÚKSUP-u (KS). Ďalej bol hodnotený vplyv zvýšenia resp.



zníženia intenzity hnojenia dusíkom o 30 % (KS1 +30 % a KS2 -30 %). Pre podmienky meniacej sa klímy bol stanovený expertný odhad vstupov hnojenia dusíkom podľa individuálnych potrieb plodín odporúčaných v literatúre v zmysle správnej hospodárskej praxe (KS). Výsledky stanovené modelom DNDC boli porovnané s výsledkami podľa metodiky IPCC.

V IPCC metodike sú stanovené emisné faktory, ktoré špecifikujú podiel emitovaného oxidu dusného ( $N_2O$ ) do atmosféry z celkového množstva aplikovaných priemyselných hnojív, organických hnojív a rastlinných zvyškov, ktoré boli aplikované do pôdy. V dizertačnej práci sme použili vzťah (Bouwman, cit in Bielek, 1998):

$$E \text{ (kg } N_2O \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}) = 1 + 0,0125 \cdot N_f \quad (3.1)$$

Kde:

$E$  - ročné emisie  $N_2O$  z pôdy,

$N_f$  - dávka dusíka v hnojivách ( $kg \text{ } N_2O \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )

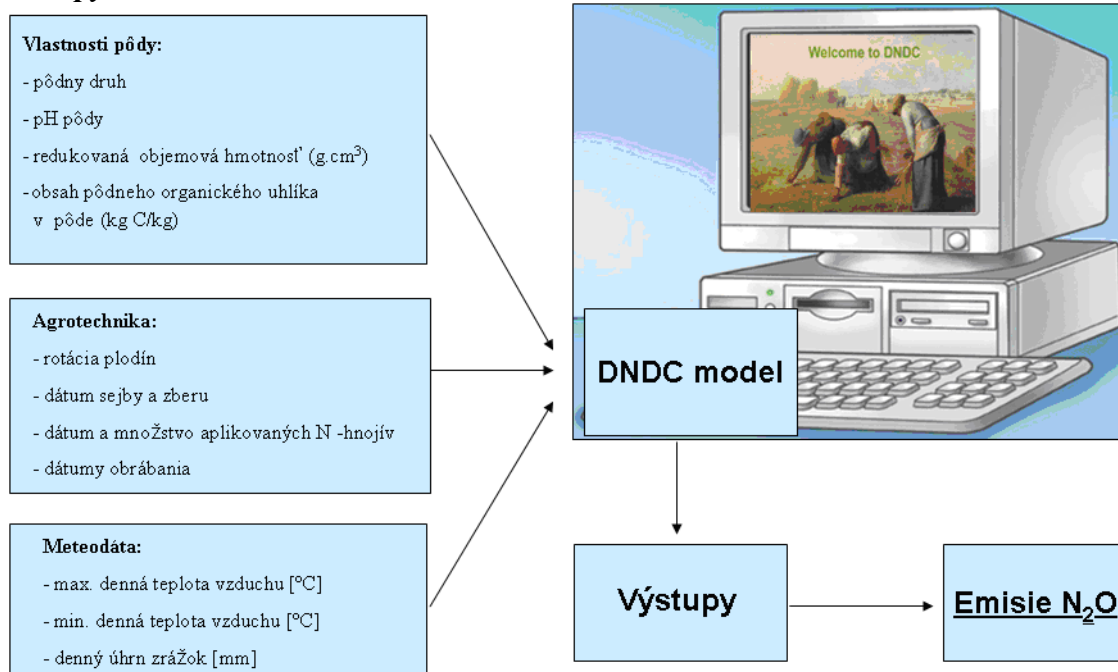
Uvedený vzťah je založený na priamoúmernej akcelerácii emisií  $N_2O$  z pôdy v závislosti od dávky dusíkatých hnojív. Súčasne uznáva, že priemerne sa z 1 ha nehnosených poľnohospodárskych pôd uvoľňuje asi 1 kg  $N_2O$  ročne (Bouwman, cit in Bielek, 1998).

IPCC metodika nevyžaduje dáta ako údaje o pôde, meteorologické dáta, typ hnojív, alebo iné detaily poľnohospodárskeho manažmentu.

Druhou metódou stanovenia emisií  $N_2O$  bol model DNDC (DeNitrification and DeComposition), ktorý je voľne dostupný na webovej stránke University of New Hampshire. (Zdroj: <http://www.dndc.sr.unh.edu/Models.html>, 20. 3.2006).

Tento model je orientovaný na počítačovú simuláciu pôdneho uhlíka a dusíka. Celý model je ovládaný štyrmi hlavnými ekologickými zložkami a to klímou, pôdnymi fyzikálnymi vlastnosťami, vegetáciou a antropogénnou činnosťou. Presné vstupné dáta o týchto zložkách podmieňujú presnú simuláciu bez ohľadu na lokálnu a regionálnu mierku.

### Vstupy do DNDC modelu:

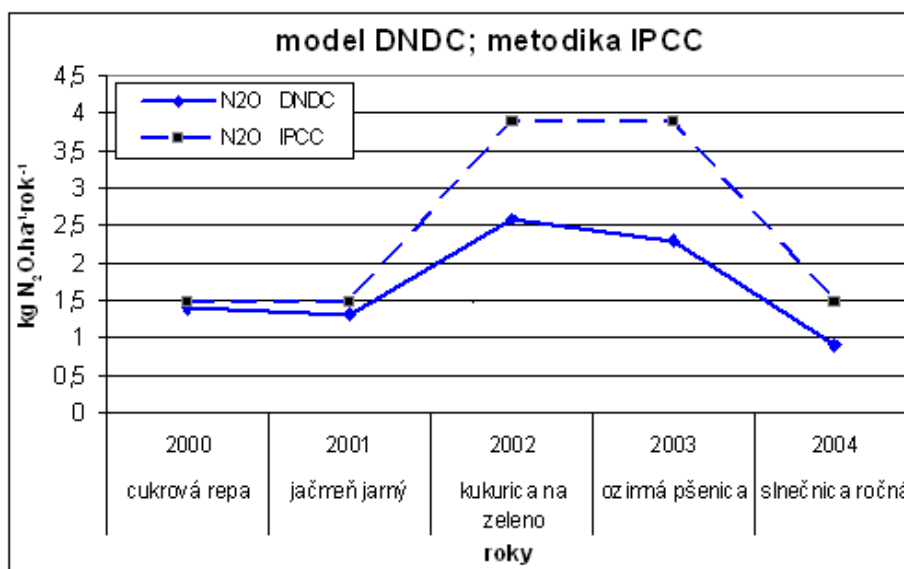


Obr. 3.1: Vstupné dáta do modelu DNDC

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Emisie $\text{N}_2\text{O}$ (modelové územie VPP-Kolíňany)

Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  stanovené podľa IPCC metodiky za časový rad rokov 2000 - 2004 pri danom množstve intenzity hnojenia dusíkom boli v rozsahu od 1,47 – 3,88  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  s priemernou hodnotou 2,43  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  stanovené modelom DNDC sa pohybovali v rozsahu od 0,9 – 2,58  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  s priemernou hodnotou 1,7  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (obr. 4.1).

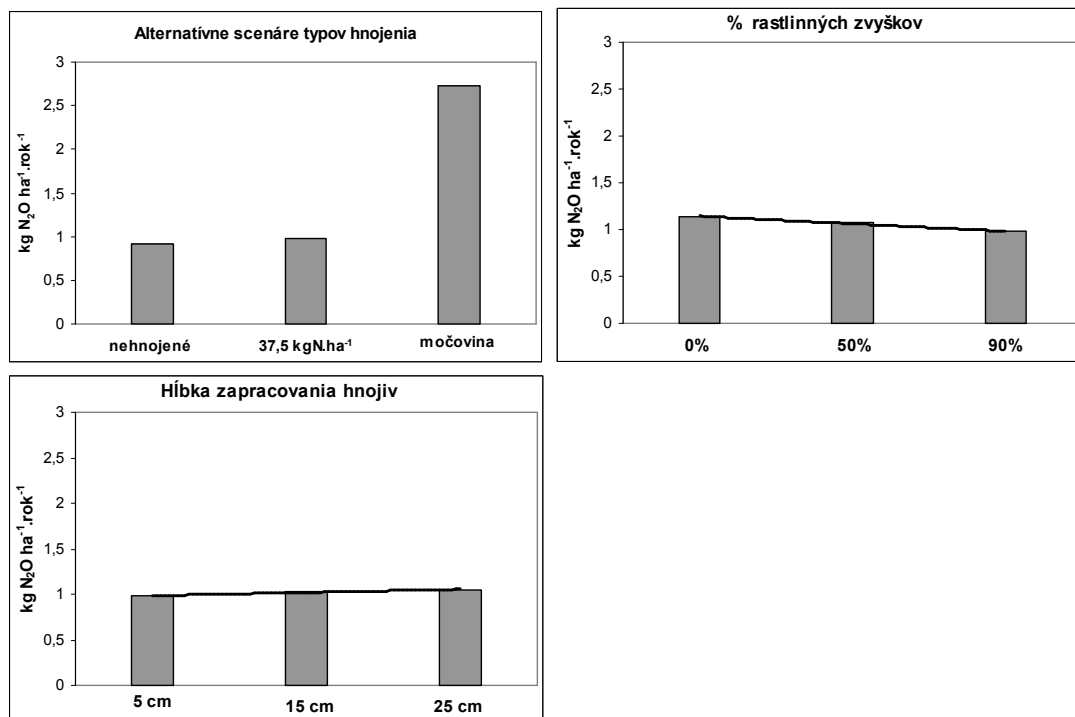


Obr. 4.1: Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  stanovené podľa IPCC metodiky a modelom DNDC

Medzi hodnotenými plodinami (cukrová repa, jačmeň jarný, kukurica siata na zeleno, pšenica ozimná, slnečnica ročná) sa najväčšie emisie  $N_2O$  zistili v rokoch 2002 a 2003 pri pestovaní kukurice na zeleno a pšenice ozimnej u oboch metódach ich stanovenia. V rokoch 2002 a 2003 bolo do pôdy aplikovaných až  $230 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  naproti rokom 2000, 2001 a 2004, kde bolo aplikovaných len  $37,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Chod emisií stanovený oboma metodikami má podobný priebeh. V rokoch 2002 a 2003 však boli zistené významné rozdiely v stanovených emisiách, čo umožňuje konštatovať, že intenzita emisií nie je závislá len od vstupov dusíkatých látok do agroecológie, ako vyplýva z dosiaľ používanej metodiky hodnotenia emisií podľa IPCC. V sérii hodnotených rokov boli emisie stanovené metodikou IPCC vyššie, ako simulačným modelom DNDC. V priemere boli vyššie o 39 %.

### Výsledky alternatívnych scenárov agrotechnických postupov

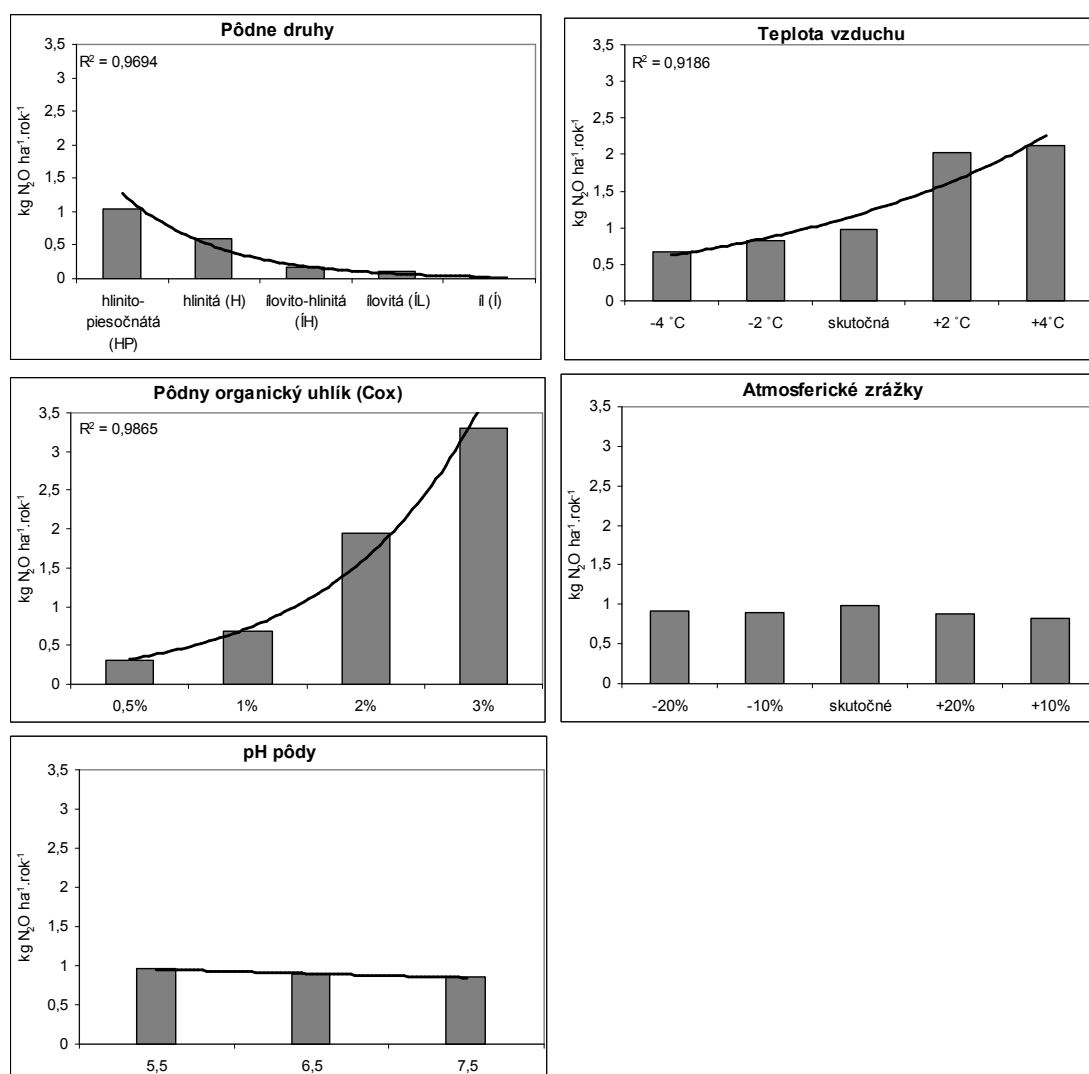
Z obr. 4.2 vyplýva, že hnojenie močovinou vyvolalo najvyššie emisie  $N_2O$ . Je to ovplyvnené tým, že močovina v kvapalnej forme má vysoký potenciál pre vyparovanie do atmosféry. Percento (%) rastlinných zvyškov zapracovaných do pôdy po zbere úrody taktiež ovplyvnilo toky emisií  $N_2O$  z pôd, avšak nie tak výrazne, ako typ hnojív použitých na hnojenie slnečnice ročnej. Hĺbka zapracovania hnojív do pôdy výrazne neovplyvnila toky emisií  $N_2O$ .



Obr. 4.2: Alternatívne scenáre agrotechnických postupov

## Výsledky alternatívnych scenárov environmentálnych faktorov

Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  boli pri počítačovej simulácii rôznych alternatívnych scenárov environmentálnych faktorov (obr. 4.3) najcitlivejšie na zmenu pôdneho druhu, teplotu vzduchu a obsah pôdneho organického uhlíka (Cox). Toky emisií  $\text{N}_2\text{O}$  sa výrazne zvyšovali od ťažkých pôd smerom k ľahkým pôdam a to exponenciálne. Pri pôdnych druhoch je to spôsobené tým, že ľahké pôdy umožňujú ľahší pohyb vody v pôdnom profile. Voda pôsobí ako rozpúšťadlo dusíkatých látok a rýchlym presychaním ľahkých pôd sa tieto dostávajú do atmosféry. K exponenciálnemu zvýšeniu emisií došlo aj pri zvýšení teploty vzduchu, ktorá ovplyvňuje mineralizáciu. Zvyšujúcim sa obsahom pôdneho organického uhlíka (Cox) došlo taktiež k exponenciálnemu zvýšeniu emisií  $\text{N}_2\text{O}$ . Atmosférické zrážky a pH pôdy výrazne neovplyvnili toky skúmaných emisií.



Obr. 4.3: Alternatívne scenáre meniacich sa environmentálnych faktorov

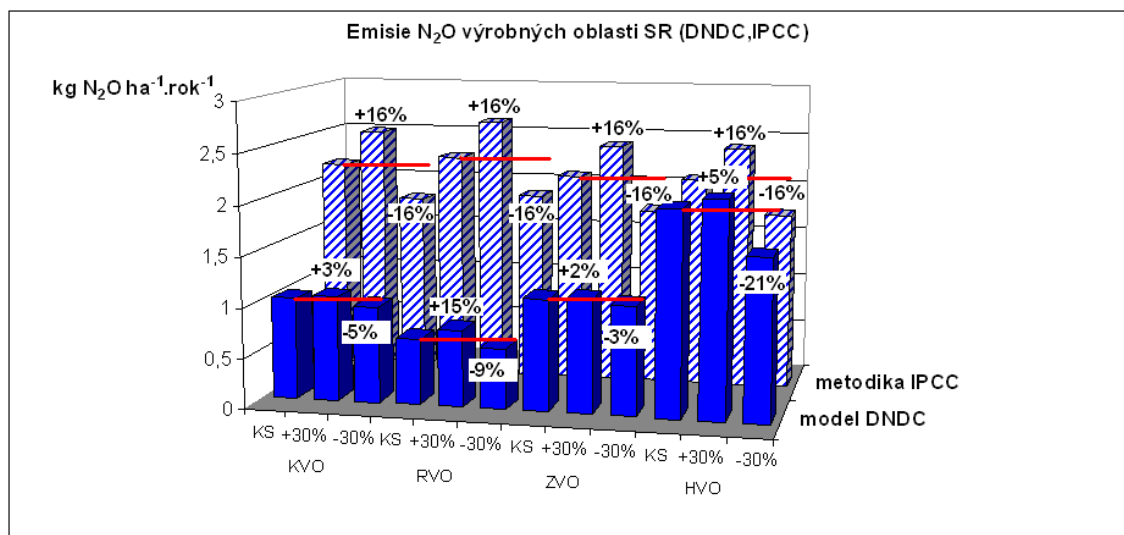
## 4.2 Emisie N<sub>2</sub>O (výrobné oblasti SR)

### *Emisie N<sub>2</sub>O v podmienkach súčasnej klímy v SR*

Z výsledkov simulovaných emisií N<sub>2</sub>O vyplýva, že pôdne druhy ovplyvňujú emisie N<sub>2</sub>O. Emisie N<sub>2</sub>O na pôdných druhoch podľa BPEJ [ľahké pôdy (1), stredne ťažké pôdy (2), ťažké pôdy (3), veľmi ťažké pôdy (4), stredne ťažké ľahšie pôdy (5)] sa zvyšovali v nasledovnom poradí:

- 1) KVO - KVO\_1: (4), (1), (5), (2), (3)  
- KVO\_2: (3), (4), (5), (2), (1)
- 2) RVO - RVO\_1: (4), (3), (5), (2), (1)  
- RVO\_2: (4), (3), (5), (2), (1)  
- RVO\_3: (3), (4), (5), (2), (1)
- 3) ZVO - (4), (3), (2), (5), (1)
- 4) HVO - (4), (3), (5), (2), (1)

Vo zvolenom regionálnom rozdelení výrobných oblastí bola intenzita emisií N<sub>2</sub>O ovplyvňovaná pôdami rovnakým spôsobom. Okrem KVO\_1 sa emisie zvyšovali od veľmi ťažkých pôd (4), alebo ťažkých pôd (3) cez stredne ťažké pôdy ľahšie (5), stredne ťažké pôdy (2) a najvyššie emisie N<sub>2</sub>O boli dosahované na ľahkých pôdach (1).



Obr. 4.4: Priemerná intenzita emisií N<sub>2</sub>O v kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> z orných pôd výrobných oblastí SR podľa modelu DNDC a metodiky IPCC

Tab. 4.1: Priemerná intenzita emisií N<sub>2</sub>O v kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> z orných pôd výrobných oblastí SR podľa modelu DNDC a metodiky IPCC

	KVO			RVO			ZVO			HVO		
	KS	+30%	-30%	KS	+30%	-30%	KS	+30%	-30%	KS	+30%	-30%
<b>DNDC</b> [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	<b>1,01</b>	<b>1,04</b>	<b>0,96</b>	<b>0,66</b>	<b>0,76</b>	<b>0,60</b>	<b>1,11</b>	<b>1,13</b>	<b>1,08</b>	<b>2,03</b>	<b>2,13</b>	<b>1,60</b>
[kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]		+0,03	-0,05		+0,10	-0,06		+0,02	-0,03		+0,10	-0,43
[%]		+3	-5		+15	-9		+2	-3		+5	-21
<b>IPCC</b> [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	<b>2,17</b>	<b>2,52</b>	<b>1,82</b>	<b>2,27</b>	<b>2,65</b>	<b>1,89</b>	<b>2,10</b>	<b>2,43</b>	<b>1,77</b>	<b>2,10</b>	<b>2,43</b>	<b>1,77</b>
[kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]		+0,35	-0,35		+0,38	-0,38		+0,33	-0,33		+0,33	-0,33
[%]		+16	-16		+16	-16		+16	-16		+16	-16
<b>DNDC</b> [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	<b>1,01</b>	<b>1,04</b>	<b>0,96</b>	<b>0,66</b>	<b>0,76</b>	<b>0,60</b>	<b>1,11</b>	<b>1,13</b>	<b>1,08</b>	<b>2,03</b>	<b>2,13</b>	<b>1,60</b>
<b>IPCC</b> [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	<b>2,17</b>	<b>2,52</b>	<b>1,82</b>	<b>2,27</b>	<b>2,65</b>	<b>1,89</b>	<b>2,10</b>	<b>2,43</b>	<b>1,77</b>	<b>2,10</b>	<b>2,43</b>	<b>1,77</b>
Rozdiel <b>DNDC – IPCC</b> [kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> ]	1,16	1,48	0,86	1,61	1,89	1,29	0,99	1,30	0,69	0,07	0,30	0,17
<b>IPCC &lt;;&gt; DNDC</b> [%]	>115	>142	>90	>244	>249	>215	>89	>115	>64	>4	>14	>9

Z obr. 4.4 a tab. 4.1 vyplýva, že najvyššie emisie N<sub>2</sub>O podľa modelu DNDC boli v horskej výrobnej oblasti a najnižšie v repárskej výrobnej oblasti. Z výsledkov analýzy citlivosti modelu DNDC vyplýva, že pôdny organický uhlík (Cox) výrazne ovplyvňuje emisie N<sub>2</sub>O a to tak, že so zvyšujúcim sa obsahom Cox sa zvyšujú emisie N<sub>2</sub>O a naopak. V rámci výrobných oblastí SR je najvyšší obsah pôdneho organického uhlíka (Cox) v horskej výrobnej oblasti a najnižší v repárskej výrobnej oblasti (tab. 4.2). Najvyššia intenzita emisií N<sub>2</sub>O stanovená modelom DNDC bola v horskej výrobnej oblasti, potom v zemiakarskej, kukuričnej a najnižšia bola v repárskej výrobnej oblasti. V repárskej výrobnej oblasti boli najnižšie emisie N<sub>2</sub>O i napriek faktu, že tu boli aplikované najvyššie dávky dusíka v kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a naopak v horskej výrobnej oblasti spoločne so zemiakarskou výrobnou oblasťou boli aplikované najnižšie dávky (obr. 4.5 až obr. 4.7).

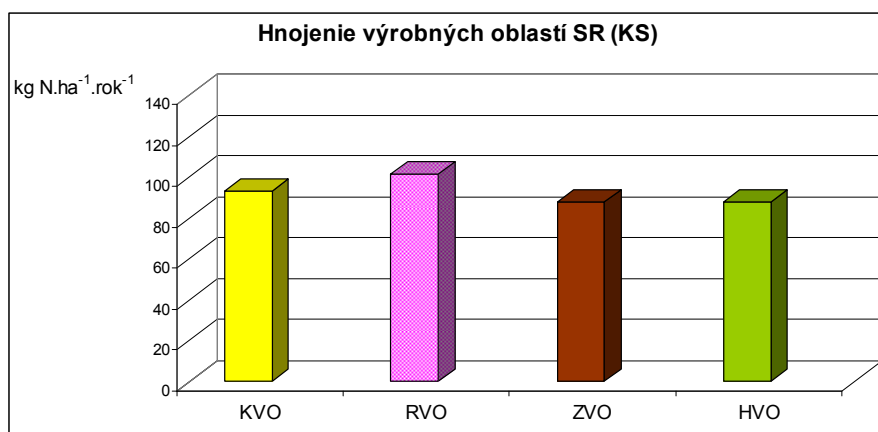
Tab. 4.2: Priemerný obsah Cox v pôde v kg C.kg<sup>-1</sup> výrobných oblastí SR

Výrobná oblasť	Cox [kg C.kg <sup>-1</sup> ]
Kukuričná výrobná oblasť (KVO)	0,014
Repárska výrobná oblasť (RVO)	0,011
Zemiakarská výrobná oblasť (ZVO)	0,016
Horská výrobná oblasť (HVO)	0,024

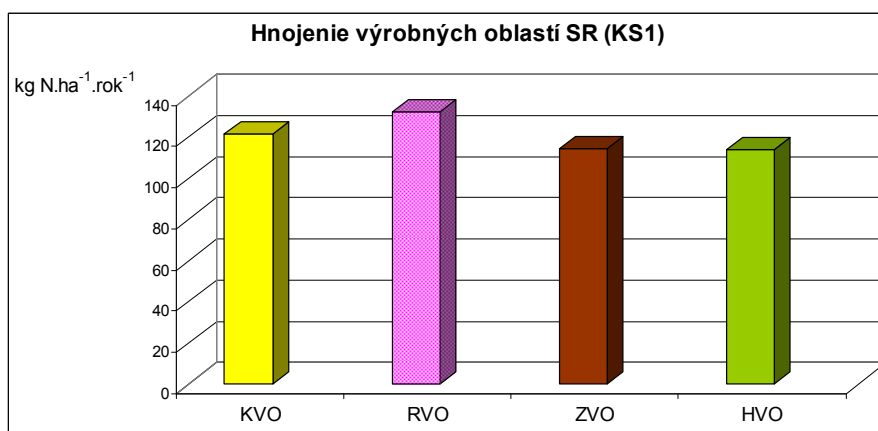
Zvýšením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa emisie  $\text{N}_2\text{O}$  podľa modelu DNDC zvýšili v rozsahu od 0,02 – 0,10  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (2 – 15 %), pričom najvýraznejšie zvýšenie bolo zaznamenané v repárskej výrobnjej oblasti (15 %) a najnižšie v zemiakarskej výrobnjej oblasti (2 %).

Znížením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa znížili v rozsahu od 0,03 – 0,43  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (3 – 21 %). Najmenej výrazné zníženie bolo v zemiakarskej výrobnjej oblasti (3 %) a najvýraznejšie zníženie emisií  $\text{N}_2\text{O}$  bolo v horskej výrobnjej oblasti (21 %).

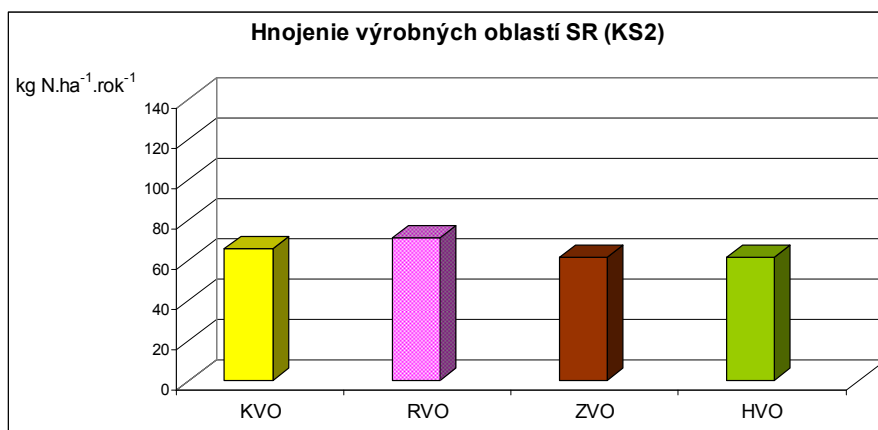
Podľa metodiky IPCC boli naopak najvyššie emisie  $\text{N}_2\text{O}$  v repárskej výrobnjej oblasti a najnižšie v horskej a zemiakarskej výrobnjej oblasti. Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  stanovené metodikou IPCC sú priamoúmerne závislé od dávok dusíka v  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Najvyššie dávky dusíka boli aplikované v repárskej výrobnjej oblasti a najnižšie v horskej a zemiakarskej výrobnjej oblasti (obr. 4.5 až obr. 4.7).



Obr. 4.5: Priemerné množstvo aplikovaných hnojív v  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  zo všetkých skúmaných rokov vo výrobných oblastiach SR pre systém intenzity hnojenia KS



Obr. 4.6: Priemerné množstvo aplikovaných hnojív v  $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  zo všetkých skúmaných rokov vo výrobných oblastiach SR pre systém intenzity hnojenia KS1 +30 %



Obr. 4.7: Priemerné množstvo aplikovaných hnojív v kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> zo všetkých skúmaných rokov vo výrobných oblastiach SR pre systém intenzity hnojenia KS2 -30 %

Zvýšením resp. znížením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % boli emisie N<sub>2</sub>O podľa metodiky IPCC vyššie resp., nižšie o 16 %, vzhľadom k tomu, že metodika stanovuje emisie N<sub>2</sub>O na základe dávok dusíka v hnojivách.

Z porovnania oboch metód vyplýva (tab. 4.1 a obr. 4.4), že emisie N<sub>2</sub>O podľa metodiky IPCC sú vyššie vo všetkých výrobných oblastiach SR ako emisie N<sub>2</sub>O stanovené modelom DNDC.

Pre intenzitu hnojenia dusíkom KS sú vyššie o 4 – 244 %. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnéj oblasti (244 %) a najnižší v horskej výrobnéj oblasti (4 %).

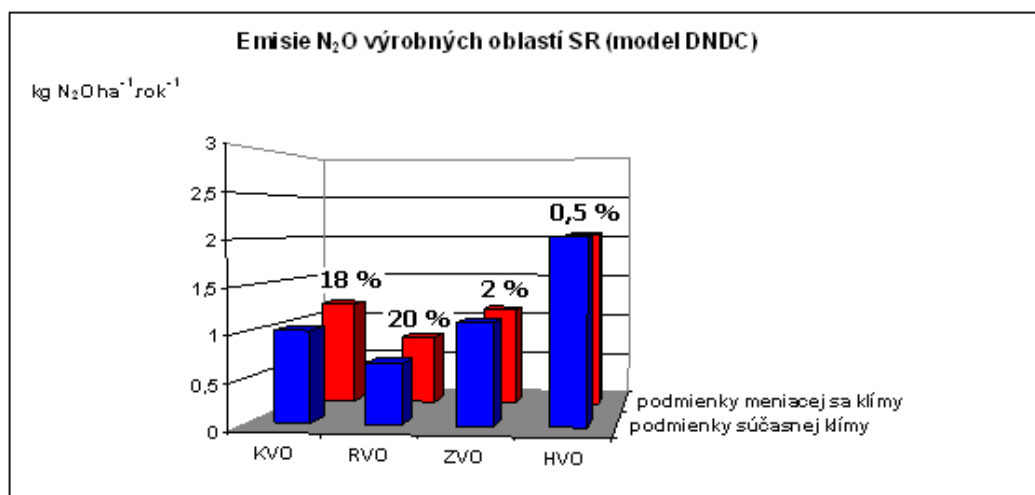
Zvýšením intenzity hnojenia o 30 % boli vyššie o 14 – 249 %. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnéj oblasti (249 %) a najnižší v horskej výrobnéj oblasti (14 %).

Znížením intenzity hnojenia o 30 % boli vyššie o 9 – 215 %. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnéj oblasti (215 %) a najnižší v horskej výrobnéj oblasti (9 %).

### ***Emisie N<sub>2</sub>O v podmienkach súčasnej klímy a v podmienkach meniacej sa klímy v SR podľa modelu DNDC***

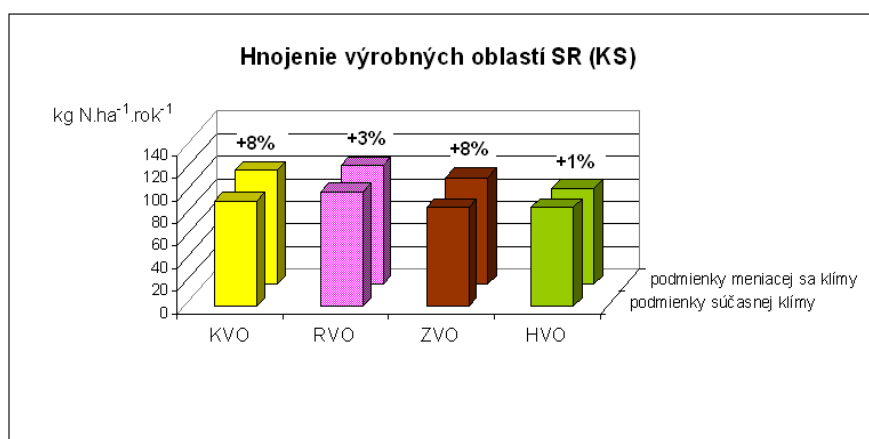
Intenzita emisií N<sub>2</sub>O výrobných oblastí SR bola v podmienkach meniacej sa klímy v SR vyššia vo všetkých výrobných oblastiach SR v porovnaní s intenzitou emisií N<sub>2</sub>O v podmienkach súčasnej klímy (obr. 4.8). V KVO boli emisie vyššie o 0,18 kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (+18 %), v RVO o 0,13 kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (+20 %), v ZVO o 0,02 kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (+2 %) a v HVO o 0,01 kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (+0,5 %).





Obr. 4.8: Priemerná intenzita emisií N<sub>2</sub>O z orných pôd výrobných oblastí SR podľa modelu DNDC v podmienkach súčasnej klímy a v podmienkach meniacej sa klímy na Slovensku

Pre podmienky meniacej sa klímy bolo zmenené množstvo aplikovaných hnojív v kg N.ha<sup>-1</sup> a boli zmenené klimatické podmienky územia podľa výstupov klimatických dát modelu ALADIN. Vstupy vlastností pôdy boli rovnaké pre podmienky súčasnej klímy a pre podmienky meniacej sa klímy v SR. V podmienkach meniacej sa klímy bolo priemerné množstvo aplikovaných hnojív v kg N.ha<sup>-1</sup>, vyššie vo všetkých výrobných oblastiach SR (obr. 4.9). V rámci Slovenskej republiky boli vyššie v priemere o 5 % v porovnaní s priemerným množstvom aplikovaných hnojív v podmienkach súčasnej klímy v SR.



Obr. 4.9: Priemerné množstvo dávok hnojív v kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> zo všetkých skúmaných rokov vo výrobných oblastiach SR pri systéme intenzity hnojenia KS v podmienkach súčasnej klímy a v podmienkach meniacej sa klímy v SR

Podľa výstupov klimatických scenárov modelu ALADIN bol zaznamenaný trend rastu priemerných ročných teplôt vzduchu o 0,2 – 0,9 °C vo všetkých nami vybraných staniách reprezentujúcich regióny výrobných oblastí SR, čo je v priemere o 8 %. Je teda pravdepodobné, že zvýšenie emisií N<sub>2</sub>O bude ovplyvňované rastom množstva aplikovaných hnojív kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>, ako aj rastom priemernej ročnej teploty vzduchu v podmienkach meniacej sa klímy v SR.

## **5 ZÁVERY**

### ***1) Modelové územie (VPP-Kolíňany)***

Na základe analýzy výsledkov modelového územia (VPP-Kolíňany) môžeme vysloviť nasledovné závery:

- Z porovnania emisií N<sub>2</sub>O stanovených podľa IPCC metodiky a pomocou simulácie modelom DNDC vyplýva, že chod emisií stanovený oboma metodikami má podobný priebeh. V rokoch 2002 a 2003 však boli zistené významné rozdiely v stanovených emisiách, čo umožňuje konštatovať, že intenzita emisií nie je závislá len od vstupov dusíkatých látok do agroecénózy, ako vyplýva z dosiaľ používanej metodiky hodnotenia emisií podľa IPCC. V sérii hodnotených rokov boli emisie stanovené metodikou IPCC vyššie, ako simulačným modelom DNDC. V priemere boli vyššie o 39 %.
- Z výsledkov analýzy citlivosti modelu DNDC vyplýva, že agrotechnika, ako aj environmentálne faktory výrazne ovplyvňujú emisie N<sub>2</sub>O z poľnohospodársky využívaných pôd. Z alternatívnych scenárov agrotechnických postupov najvýraznejšie ovplyvnili emisie N<sub>2</sub>O typy použitých hnojív. Hnojenie močovinou spôsobilo najvyššie emisie N<sub>2</sub>O, nakoľko močovina v kvapalnej forme má vysoký potenciál vyparovania sa do atmosféry. Z environmentálnych faktorov je model DNDC citlivý na pôdny druh, obsah pôdneho organického uhlíka (C<sub>org</sub>) a teplotu vzduchu (°C). Zmena teploty vzduchu bude významne ovplyvňovať intenzitu emisií N<sub>2</sub>O v podmienkach meniacej sa klímy. Zvýšená teplota vzduchu ovplyvňuje intenzitu mineralizácie dusíka v pôde, čo vedie k zvýšeniu emisií N<sub>2</sub>O. Toky emisií N<sub>2</sub>O sa výrazne zvyšovali od ťažkých pôd smerom k ľahkým pôdam a to exponenciálne. Je to spôsobené tým, že ľahké pôdy umožňujú ľahší pohyb vody v pôdnom profile. Voda pôsobí ako rozpúšťadlo dusíkatých látok a rýchlym presychaním ľahkých pôd sa tieto dostávajú do atmosféry.

### ***2) Výrobné oblasti SR***

Na základe analýzy výsledkov emisií N<sub>2</sub>O na regionálnej úrovni môžeme vysloviť nasledovné závery:

#### ***a) Emisie N<sub>2</sub>O v podmienkach súčasnej klímy v SR***

- Vo zvolenom regionálnom rozdelení výrobných oblastí boli emisie N<sub>2</sub>O ovplyvňované pôdami rovnakým spôsobom. Okrem KVO\_1 sa emisie zvyšovali od veľmi ťažkých pôd (4), alebo ťažkých pôd (3) cez stredne ťažké pôdy ľahšie (5), stredne ťažké pôdy (2) a najvyššie emisie N<sub>2</sub>O boli dosahované na ľahkých pôdach (1).
- Významným faktorom ovplyvňujúcim medziročnú variabilitu intenzity emisií N<sub>2</sub>O v kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> je priemerná teplota vzduchu za vegetačnú periódu (IV.-VIII.). Zvýšením teploty vzduchu dochádza k zvýšeniu intenzity mineralizácie dusíka a tým aj k nárastu emisií N<sub>2</sub>O do atmosféry. Znížením priemernej teploty vzduchu je trend opačný. Táto väzba bola prakticky potvrdená vo všetkých regiónoch výrobných oblastí SR.
- Pôdny organický uhlík (Cox) výrazne ovplyvňuje emisie N<sub>2</sub>O a to tak, že so zvyšujúcim sa obsahom Cox sa zvyšujú emisie N<sub>2</sub>O a naopak. V rámci výrobných oblastí SR je najvyšší obsah pôdneho organického uhlíka (Cox) v horskej výrobnjej oblasti potom v zemiakarskej, kukuričnej a najnižší je v repárskej výrobnjej oblasti. Najvyššie emisie N<sub>2</sub>O v kg N<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> stanovené modelom DNDC boli v horskej výrobnjej oblasti, potom v zemiakarskej, kukuričnej a najnižšie boli v repárskej výrobnjej oblasti. V repárskej výrobnjej oblasti boli najnižšie emisie N<sub>2</sub>O i napriek faktu, že tu boli aplikované najvyššie dávky dusíka v kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a naopak v horskej výrobnjej oblasti spoločne so zemiakarskou výrobnou oblasťou boli aplikované najnižšie dávky.

Emisie N<sub>2</sub>O stanovené metodikou IPCC pre všetky systémy hnojenia dusíkom KS, KS1 +30 % a KS2 -30 % boli naopak najvyššie v repárskej výrobnjej oblasti a najnižšie v horskej a zemiakarskej výrobnjej oblasti, nakoľko emisie N<sub>2</sub>O stanovené metodikou IPCC sú priamoúmerne závislé len od vstupov dusíka.

Zvýšením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa emisie N<sub>2</sub>O podľa modelu DNDC zvýšili v rozsahu od 2 – 15 %, pričom najvýraznejšie zvýšenie bolo zaznamenané v repárskej výrobnjej oblasti (15 %) a najnižšie v zemiakarskej výrobnjej oblasti (2 %).

Znížením intenzity hnojenia dusíkom o 30 % sa znížili v rozsahu od 3 – 21 %. Najmenej výrazné zníženie bolo v zemiakarskej výrobnjej oblasti (3 %) a najvýraznejšie zníženie emisií N<sub>2</sub>O bolo v horskej výrobnjej oblasti (21 %).

Zvýšením resp. znížením dávok dusíka o 30 % boli emisie N<sub>2</sub>O podľa metodiky IPCC vyššie resp., nižšie o 16 %, vzhľadom k tomu, že metodika stanovuje emisie N<sub>2</sub>O na základe dávok dusíka v hnojivách.

Emisie  $\text{N}_2\text{O}$  v  $\text{kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  stanovené metodikou IPCC pri hnojení podľa štatistických údajov sú vyššie o 4 – 244 % v porovnaní so simulovanými podľa modelu DNDC. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnjej oblasti (244 %) a najnižší v horskej výrobnjej oblasti (4 %).

Zvýšením dávok dusíka o 30 % v porovnaní s hnojením podľa štatistických údajov sú vyššie o 14 – 249 %. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnjej oblasti (249 %) a najnižší v horskej výrobnjej oblasti (14 %).

Znížením dávok dusíka o 30 % v porovnaní s hnojením podľa štatistických údajov sú vyššie o 9 – 215 %. Najvyšší rozdiel bol v repárskej výrobnjej oblasti (215 %) a najnižší v horskej výrobnjej oblasti (9 %).

#### ***b) Emisie $\text{N}_2\text{O}$ v podmienkach meniacej sa klímy v SR***

▪ Podľa modelu DNDC naplnením stanovených projekcií hnojenia dusíkom a naplnením scenárov klímy podľa modelu ALADIN bude intenzita emisií  $\text{N}_2\text{O}$  z orných pôd v podmienkach meniacej sa klímy vyššia v KVO o  $0,18 \text{ kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (18 %), v RVO o  $0,13 \text{ kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (20 %), v ZVO o  $0,02 \text{ kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (2 %) a v HVO o  $0,01 \text{ kg N}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (0,5 %).

Je pravdepodobné, že zmena klímy bude jeden z najvýznamnejších faktorov, ktoré ovplyvnia emisie  $\text{N}_2\text{O}$  z poľnohospodárstva.

Využitie metodiky stanovenia emisií  $\text{N}_2\text{O}$  modelom DNDC v agroklimatických podmienkach Slovenska ukázalo, že zanedbanie pôdno-klimatických faktorov vedie k významným rozdielom v stanovení emisií všetkých hodnotených regiónov v rámci výrobných oblastí SR.

Keďže dostupné databázy v rámci SR umožňujú hodnotenie emisií modelovaním, t.j. kvalitatívne vyšším stupňom hodnotenia, uvedené postupy a dosiahnuté výsledky môžu prispieť k návrhu efektívnych opatrení k ich zníženiu z poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska. To prispieva k plneniu záväzkov vyplývajúcich z Kjótskeho protokolu.

## **6 VÝBER Z POUŽITEJ LITERATÚRY**

1. BIELEK, P. 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Bratislava: VÚPOP, 1998. 256 s. ISBN: 80-85361-44-2
2. LAPIN, M. – TOMLAIN, J. 2001. Všeobecná a regionálna klimatológia. 1 vyd. Bratislava: vydavateľstvo Univerzity Komenského, 2001. 184 s. ISBN 80-223-1433-1

3. SZEMESOVA, J. 2005. Emisné inventúry skleníkových plynov v SR. In: Enviromagazín. 1/2005. 14-15 s. ISSN 1335-1877
4. LI, C. – FROLKING, S. – FROLKING, T.A. 1992a. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. J Geophys Res 97:9759-9776
5. LI, C. – FROLKING, S. – FROLKING, T.A. 1992b. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Model applications. J Geophys Res 97:9777-9783
6. LI, C. - FROLKING, S.E. - HARRISS, R.C. - TERRY, R.E. 1994. Modeling nitrous oxide emissions from agriculture: A Florida case study, Chemosphere, 28, p. 1401-1415
7. LI, C. - FROLKING, S.E. - HARRISS, R.C. - TERRY, R.E. 1994. Modeling nitrous oxide emissions from agriculture: A Florida case study, Chemosphere, 28, p. 1401-1415
8. LI, C. – FROLKING, S. – CROCKEY, G.J. – GRACE, R.R. – KLIR, J. KORCHENS, M. – POULTON, P.R. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model. Geoderma 81:45-60
9. FROLKING, S.E. – MOSIER, A.R. – OJIMA, D.S. – LI, C. – PARTON, W.J. – POTTER, C.S., –PRIESACK, E. – STENGER, R. – HABERBOSH, C. – DORSH, P. – FLESSA, H. – SMITH, K.A. 1998. Comparison of N<sub>2</sub>O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. Nutr Cycling Agroecosyst

## **7 ZOZNAM PUBLIKOVANÝCH PRÁC AUTORA SÚVISIACICH S RIEŠENOU PROBLEMATIKOU**

### **ADE Vedecké práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch**

ADE01 Evaluation of N<sub>2</sub>O emissions by DNDC model for sandy loam soils of Daanubian lowland / Ján Horák, Bernard Šiška. In: Journal of environmental engineering and landscape management : Research Journal of Vilnius Gediminas Technical University. - Vilnius, Litva : Vilnius Gediminas Technical University. - ISSN 1648-6897. - Vol. 14, no. 4 (2006), p. 165-171

### **AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií**

AFG01 Model estimates of N<sub>2</sub>O emissions from 4 main agro regions (productive types) of Slovakia / Ján Horák, Bernard Šiška, Karol Kováč. - Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. In: Bioklimatologické aspekty hodnotení procesů v krajine [elektronický zdroj] : sborník příspěvků z mezinárodní konference,

Mikulov 9.-11.9.2008. - Praha : Česká bioklimatologická společnost, 2008. - ISBN 978-80-86690-55-1

#### **AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách**

AFC01 N<sub>2</sub>O emissions from agricultural resources on sandy loam soils of Danubian Lowland evaluated by DNDC model in condition of climate change / Ján Horák. In: Zborník radova sa 30. smotre naučnih radova studenata poljoprivrede sa međunarodnim učešćem = proceedings of the 30th conference of agricultural students with international participation : Novi Sad, 20. novembar 2006. - Novi Sad : Univerzitet u Novom Sadu, 2006. - ISBN 86-7520-099-4. - S. 106-110

#### **ADF Vedecké práce v domácich nekarentovaných časopisoch**

ADF01 N<sub>2</sub>O emissions from sandy loam soils of the Danubian lowland in conditions of climate change / Bernard Šiška, Ján Horák. In: Meteorologický časopis Meteorological journal. - Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 1998-. - ISSN 1335-339X. - Roč. 10, č. 1 (2007), s. 21-26

#### **AFL Postery z domácich konferencií**

AFL01 Emisie N<sub>2</sub>O z poľnohospodárskych zdrojov na piesočnato-hlinitých pôdach Podunajskej pahorkatiny hodnotené modelom DNDC v podmienkach meniacej sa klímy = Evaluation of N<sub>2</sub>O emissions from agricultural sources on sandy loam soils of Danubian lowland by DNDC model in condition of changing climate / J. Horák, B. Šiška. - Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. - Vyšiel aj abstrakt tohto článku v zborníku abstraktov na str. 94. In: Bioklimatológia a voda v krajine = Bioclimatology and water in the land [elektronický zdroj] : bioklimatologické pracovné dni 2006 : medzinárodná vedecká konferencia pod záštitou dekana FMFI UK Doc. RNDr. Jána Boďu, CSc., 11. – 14. septembra 2006, Strečno = international bioclimatological conference organized under the auspices of Dean of the FMFI UK Assoc. Prof. RNDr. Ján Boďa, PhD., September 11 – 14, 2006, Strečno, Slovak Republic. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2006. - ISBN 80-89186-12-2. - Nestr.

AFL02 Modelovanie emisií oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) z poľnohospodársky využívaného územia: citlivosť analýza modelu DNDC / J. Horák, B. Šiška. - Požiadavky na systém: Windows 95 a vyššie; CD-ROM mechanika. - abstrakt článku sa nachádza v zborníku abstraktov z tejto konferencie na s. 133. In: Bioclimatology and natural hazards [elektronický zdroj] : international scientific conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, 17-20 september 2007. - Zvolen : Technická univerzita, 2007. - ISBN 978-80-228-17-60-8