Modelovanie emisií oxidu dusného (N_2O) z poľnohospodársky využívaného územia: citlivostná analýza modelu DNDC

J. Horák and B. Šiška

Katedra biometeorológie a hydrológie, SPU Nitra, Hospodárska 7, 949 01 Nitra, Sklovenská republika
(e-mail: jan.horak@uniag.sk, bernard.siska@uniag.sk)

Abstract A biogeochemical model Denitrification-Decomposition (DNDC) was used in this study to predict greenhouse gas (GHG) emissions of N_2O from agricultural used area. Modeled results were compared with the estimated from the IPCC methodology. N_2O emissions estimated according to IPCC methodology during years 2000-2004 ranged from 1,47 – 3,88 kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1} with the average value of 2,43 kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}. N_2O emissions estimated by DNDC model during years 2000-2004 ranged from 0,9 – 2,58 N_2O-N ha^{-1} yr^{-1} with the average value of 1,7 kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}. N_2O emissions estimated according to IPCC methodology were higher at the average by 25 % then the simulated N_2O emissions using DNDC model. Correlation coefficient between N_2O emissions estimated according IPCC methodology and by using DNDC model was R = 0,95 what means that it was almost ideal correlation. DNDC model was consequently subject of sensitivity analysis on farming management and environmental factors changing. Sensitivity analysis results showed, that different farming management as well as changing environmental factors has an effect on N_2O emissions from agricultural used area. Type of applied fertilizers had the most significant influence on N_2O emissions along the all tested alternative farming management. Soil properties, air temperature and soil organic carbon (C) had the most significant influence on N_2O emissions along the all tested environmental factors.

Key words: *N_2O emissions, DNDC model, IPCC methodology, sensitivity analysis*

Úvod

Zmena globálnej klímy, spôsobená antropogénnou emisiou skleníkových plynov je najvýznamnejší environmentálny problém v doterajšej histórii ľudstva. Vzhľadom k zmene globálnej klímy majú pôdy veľký význam ako zdroj uniku plynu N_2O. Najmä z ekologického hľadiska sa v súčasnom období venuje značná pozornosť samostatnému hodnoteniu úniku N_2O z pôdy do atmosféry. N_2O emisie v sektore poľnohospodárstva reprezentujú asi 75% celkových N_2O emisií SR. Z tohto dôvodu je preto dôležité rozvíjať stratégie, ktoré efektívne znižujú emisie N_2O z poľnohospodárstva, aj napriek tomu, že v prvej polovici 90-tych rokov došlo v SR k zníženiu emisii N_2O (z 17000 t v roku 1990 na 10000 t v roku 1995) (Šiška - Igaz, 2005).

Časový vývoj emitovania N_2O z našich poľnohospodárskych pôd preukazne koreluje s časovým vývojom spotreby dusíkatých hnojív v SR. Prudký pokles spotreby hnojív v SR po roku 1990 pozitívne prispel k zníženiu emitovania škodlivého N_2O z našich poľnohospodárskych pôd. Na základe tejto skutočnosti by teda situácia mohla byť uspokojivá. Predpokladaný ekonomický rast v poľnohospodárskej výrobe však prinesie v najbližších rokoch postupné nárasty spotreby hnojív a z toho vyplývajúce zvýšenie intenzity emitovania N_2O z pôdy do ovzdušia. Vzhľadom k tomu sú potrebné ďalšie analýzy založené na nových spôsoboch hodnotenia, ktoré umožnia znížený predpokladaný potenciál emitovania N_2O z pôdy do atmosféry v kontexte vplyvu jednotlivých zložiek prírodného prostredia (Bielek, 1998).

Aplikácia dusíkatých priemyselných hnojív je najvýznamnejším zdrojom N_2O na Slovensku. So zvyšovaním vstupov dusíkatých priemyselných hnojív na poľnohospodársky využívaných pôdach sa bude biogeochemická dynamika uhlíka (C) a dusíka (N) v ekosystéme podstatne meniť, čo taktiež povedie k zmenám emisií N_2O. Zmena poľnohospodárskeho manažmentu tiež môže výrazne meniť emisie z tohto zdroja. Zmeny agrotechnických zásahov ako obrábanie, hĺbka aplikácie hnojív, zapracovávanie rastlinných zvyškov do pôdy, nové odrody plodín, viac plodinové systémy atď. ako aj zmeny environmentálnych faktorov ako teplota, zrážky, pH pôdy atď. taktiež ovplyvnia dynamiky dusíka (N) a s ním súvisiace mikrobionálne procesy nitrifikácie a denitrifikácie pri ktorých vznikajú emisie N_2O. Je preto potrebné sa zaoberať štúdiom dopadov možných zmien agrotechnických zásahov ako aj zmenami environmentálnych faktorov súvisiacich so zmenami klímy. Keďže N_2O ako jeden zo skleníkovo aktívnych plynov produkovaný z poľnohospodárstva je produktom biogeochemického cyklu uhlíka (C) a dusíka (N) v agroekosystéme, každá zmena agrotechniky, klímy, alebo pôdnych podmienok môže zmeniť biochemické a geochemické procesy, ktoré nakoniec budú viesť k zmenám tokov emisií N_2O (Li et al. 2004).

Celkové emisie N_2O sa rozdeľuju na priame a nepriame emisie. Priame emisie N_2O z obrábania pôd sú prirodzeného pôvodu a vznikajú v dôsledku mikrobiálnych procesov – nitrifikácie a denitrifikácie. Závisia od vstupov dusíka z: priemyselných hnojív, organických hnojív zo živočíšnej výroby, rastlinných zvyškov a symbiotickej fixácie leguminóz. Nepriame emisie N_2O sú výsledkom procesov atmosférickej depozície amoniaku a NOx, a transformácie N strácajúceho sa vyplavovaním a odtokom (zmyvom) (Bouwman, 1990, cit. in IPCC 1996).

Nitrifikácia je aeróbna mikrobiálna oxidácia iónov amoniaku na dusitany cez NH_2OH a potom na dusičnany.

$$NH_4^+ \rightarrow NH_2OH \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- \qquad (1)$$

N_2O je formovaný v priebehu procesu denitrifikácie, anaeróbnej mikrobiálnej (hlavne bakteriálnej) redukcie dusičnanu na dusitany a potom na plyny NO, N_2O and N_2:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \qquad (2)$$

Oba procesy sa môžu v pôdach vyskytnúť simultánne, hoci ich intenzita závisí na pôdnej aerácii a dostupnosti mikróbov (Van Cleemput - Baert, 2001).

V porovnaní s inými skleníkovými plynmi mechanizmus emisií a záchytov oxidu dusného N_2O nie je celkom preskúmaný. Niektoré zdroje sú ťažko kvantifikovateľné, iné zostávajú skryté. Hodnotenie emisií N_2O je možné viacerými postupmi. K najrozšírenejším patrí metodika podľa IPCC (1996). Vypočítané emisie pomocou IPCC metodiky (1996) vykazujú vysoký stupeň neurčitosti (20-200 %). IPCC metodika nezohľadňuje regionálne rozdiely agro-ekosystémových charakteristík. Na členitom území SR sa okrem výrazných klimatických rozdielov nachádzajú pôdy rozdielnych vlastností, čo ovplyvňuje osevné postupy poľných plodín, možnosti aplikácie hnojív a poľnohospodárskeho manažmentu. Tieto rozdiely hodnotené štandardným postupom podľa IPCC metodiky veľmi pravdepodobne vedú k nepresným stanoveniam emisií N_2O.

Čiastočným riešením neurčitostí, ale súčasne i logickou reakciou na problémy vyplývajúce z uvedeného stavu môže byť modelové riešenie s využitím výpočtovej techniky. Jednou z odpovedí na sledovanie vývoja zmien emisií N_2O vzhľadom k zmenám agrotechnických zásahov a environmentálnych faktorov je ich modelové hodnotenie počítačovými modelmi, ktoré sa začali rozvíjať v nedávnych rokoch. Medzi modely ktoré simulujú emisie skleníkovo aktívnych plynov patria napr. CASA, CENTURY, EXPER-N, DNDC, etc. V našej štúdií sme použili (denitrifikačný-dekompozičný) model DNDC, ktorý predpovedá dusíkový (N) a uhlíkový (C) cyklus v poľnohospodársky využívaných pôdach.

V predkladanej práci sme sa pokúsili o hodnotenie a porovnanie vzájomných vzťahov emisií oxidu dusného (N_2O) stanovených dvoma vzájomne odlišnými metódami. Metódou počítačovej simulácie modelom DNDC a IPCC metodikou. Model DNDC bol následne podrobený citlivostnej analýze vzhľadom k meniacej sa agrotechnike a meniacich sa environmentálnych faktorov.

Materiál a metódy

Charakteristika skúmaného územia

Záujmová plocha je situovaná východne od obce Kolíňany na parcele „Letisko s nadmorskou výškou v rozpätí 160 – 180 m.n.m. Priemerný ročný úhrn zrážok predstavuje pre danú lokalitu 538 mm (1961 – 1990) s priemernou ročnou teplotou vzduchu 9,8 °C s priemerom pre mesiace hlavného vegetačného obdobia T_{IV-IX}=16,4 °C.

Pre komplexné posúdenie súčasných geneticko-agronomických vlastností vytvoreného pôdneho typu bol vykonaný podrobný pedologický prieskum. V severo-východnom cípe záujmového územia o výmere 3,6 ha bola vykopaná základná sonda do hĺbky 1,75 m, vytýčené diagnostické horizonty a vykonaný základný popis morfogenetických znakov pôdneho profilu. Z diagnostických horizontov boli odobraté pôdne vzorky na analýzu mechanických, chemických a fyzikálnych vlastností. Vzorky boli odoberané plošne vo vzdialenostiach 20 m (4 odbery na jednej dĺžke) a samostatne analyzované, čím sa získali výsledky parametrov pre celú plochu, s možnosťou vyjadrenia variability hodnôt sledovaných vlastností a zároveň aj ich priemerných hodnôt.

Skúmaným pôdnym subtypom je hnedozem kultizemná výrazne ovplyvnená antropogénnou činnosťou. Prevládajúcim pôdnym druhom je piesočnato-hlinitá pôda (obsah frakcie < 0.01 mm v intervale 20 – 30 %) so stredným obsahom humusu (2,149 % Hm). Parametre základných chemickým vlastností pôdy zo spojenej sondáže celej záujmovej plochy poukazovali na vysokú variabilitu pôdneho prostredia. Obsah organického uhlíka (C) je nízky až stredný (rozpätie 0,96 až 1,31 %), pôdna reakcia je silne kyslá až kyslá (interval 4,59 až 5,39 jednotiek pH) (Chlpík, Pospíšil, 2004).

Na danom poľnohospodársky využívanom území bola aplikovaná v rokoch 2000-2004 dole uvedená rotácia plodín. Dátum sejby, zberu a aplikácie dusíkatých priemyselných hnojív popisuje (obr. 1.1).

- 2000 - cukrová repa (*beta vulgaris)*
- 2001 - jačmeň (*Hordeum vulgare*)
- 2002 - silážna kukurica (*Zea Mays*)
- 2003 - pšenica ozimná *(Triticum aestivum)*
- 2004 - slnečnica ročná *(Helianthus annuus)*

V tejto štúdií sa následne porovnávali a dávali do kontrastu dve metódy určovania emisií N_2O z poľnohospodársky využívaného územia:

1. IPCC metodika pre stanovenie emisií N_2O z poľnohospodárstva
2. Simulácia emisií N_2O modelom DNDC

Nakoniec sa modelované výsledky získané modelom DNDC porovnali s výsledkami stanovenými podľa IPCC metodiky v časovom rade rokov 2000-2004 na experimentálnej ploche. Obe metódy boli podrobené aj vzájomnej korelácií Pearsonovým korelačným koeficientom.

Model DNDC bol následne podrobený citlivostnej analýze vzhľadom k meniacej sa agrotechnike a meniacich sa environmentálnych faktorov.

IPCC metodika pre stanovenie emisií N_2O z poľnohospodárstva

V tejto štúdii bola využitá IPCC metodika, ako jedna z možností stanovenia emisií N_2O z poľnohospodársky využívaného územia. V IPCC metodológií sú stanovené emisné faktory, ktoré špecifikujú podiel emitovaného N_2O do atmosféry z celkového množstva aplikovaných priemyselných hnojív, organických hnojív a rastlinných zvyškov, ktoré boli aplikované do pôdy. Emisný faktor pre anorganické N-hnojivá aplikované do pôdy je 0.0125 a z toho vyplýva, že 1.25% ±1% z celkového N aplikovaného do pôdy ako minerálne N-hnojivo sa stráca vo forme N_2O v atmosfére (IPCC, 1997).

Emisie N_2O z pôdy sa vypočítajú pomocou nasledovného vzťahu:

$$E\ (kg\ N_2O - N.ha^{-1}.rok^{-1}) = 1 + 0{,}0125\ .\ N_f \qquad (1)$$

kde: E = ročné emisie N_2O z pôdy,
N_f = dávka dusíka v hnojivách (kg N_2O – $N.ha^{-1}.rok^{-1}$).

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 nehnojených poľnohospodárskych pôd uvoľňuje asi 1 kg N- N_2O ročne (Bouwman, cit in Bielek, 1998).

IPCC metodika vyžaduje národné štatistiky využívania hnojív, populáciu dobytka a manažment rastlinných zvyškov. Nevyžaduje dáta, ako plocha poľnohospodársky využívaného územia, pôd, meteodata, typ hnojív, alebo iné detaily poľnohospodárskeho manažmentu (Li et al. 2001).

Simulácia emisií N_2O modelom DNDC

Model DNDC bol vytvorený na inštitúte pre štúdium Zeme, Oceánov a Vesmíru na New Hampshirskej Univerzite (Institute for the Study of Earth, Oceans and Space, University of New Hampshire) a je prístupný ne webovej stránke http://www.dndc.sr.unh.edu/.

DNDC (Denitrifikačný a Dekompozičný) model pre určovanie N_2O emisií je orientovaný na počítačovú simuláciu pôdneho uhlíka a dusíka. Model pozostáva z dvoch zložiek. Prvá zložka pozostáva z pôdnej klímy, rastu plodiny a dekompozičných sub-modelov. Simuluje teplotu pôdy, vlhkosť, pH, redox-potenciál (Eh) a substrátovú koncentráciu profilov ovplyvňovanú ekologickými zložkami (klíma, pôda, vegetácia a antropogénna činnosť). Submodel pôdnej klímy počíta vertikálne profily pôdnej teploty, vlhkosti a pôdneho redox-potenciálu, ktorý je poháňaný meteorologickými dátami a pôdnymi vlastnosťami. Submodel rastu plodiny počíta rast plodiny a jej vplyv na pôdne environmentálne faktory ako pôdna vlhkosť, rozpustený organický uhlík (DOC) a dostupné koncentrácie dusíka.. Dekompozičný submodel potom generuje profily vertikálnej koncentrácie substrátov (napr. DOC, NH_4^+, NO_3^-). Druhá zložka pozostáva zo submodelov nitrifikácie, denitrifikácie a fermentácie a predpovedá NO, N_2O, N_2, CH_4 a NH_3 toky založené na modelovaných pôdnych environmentálnych faktoroch.

Vstupy do DNDC modelu

DNDC model požaduje vstupné parametre ako meteo dáta, pôdne vlastnosti (napr. textúru, pH, objemovú hmotnosť), typ porastu a agrotechniku (napr. sejba,. obrábanie, hnojenie, zber atď).

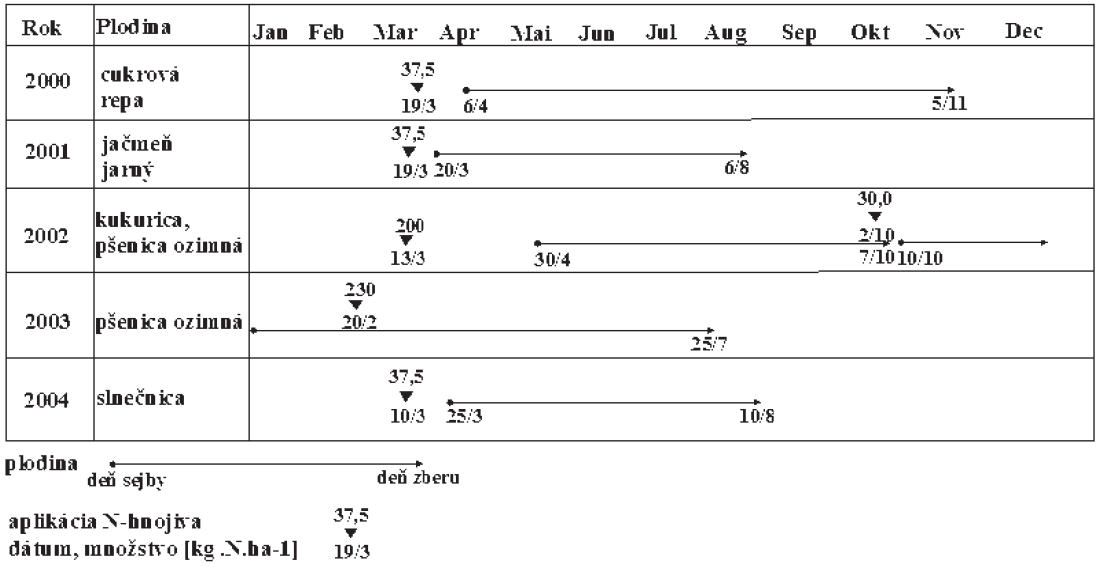
Pôda

Databáza obsahuje podrobné informácie o type pôdy, textúre, pH, pôdnom organickom uhlíku, objemovej hmotnosti atď. Skúmané územie je poľnohospodársky využívané územie s piesočnato-hlinitou pôdou s dole uvedenými vlastnosťami:

- Objemová hmotnosť ($g.cm^3$)	1.4000
- pH pôdy	4.9900
- Počiatočný obsah organického C na povrchu pôdy (kg C/kg)	0.0135
- Ílová frakcia	0.0900
- Počiatočná NO_3^- koncentrácia na povrchu pôdy (mg N/kg)	4.0500
- Počiatočná NH_4^+ koncentrácia na povrchu pôdy (mg N/kg)	0.4050

Agrotechnika

Načasovanie obrábania, sejby, zberu a aplikácie dusíkatých hnojív bolo stanovené podľa individuálnych potrieb rozdielnych plodín a aktuálnych podmienok počasia v rokoch 2000-2004. Rotácia plodín v jednotlivých rokoch, dátum sejby, zberu, a aplikácia priemyselných hnojív pre každú plodinu je na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Schéma agrotechniky

Meteo dáta

Vstupné data ako denné maximálne a minimálne teploty vzduchu v °C ako aj zrážky v mm za roky 2000-2004 boli získané z agrometeorologickej stanice Katedry biometeorológie a hydrológie, Slovenskej poľnohospodárskej Univerzity v Nitre, ktorá sa nachádza v blízkosti experimentálnej plochy.

Citlivostná analýza modelu DNDC

Na Slovensku absentuje trvalejší výskum emisií oxidu dusného (N_2O) prístrojovou technikou z poľnohospodársky využívaných pôd. Vo svete bolo uskutočnené množstvo poľných pozorovaní tokov týchto emisií, ale stále však zostávajú nejasnosti v stanovení vplyvov rozdielneho poľnohospodárskeho manažmentu, klimatických zón a pôdnych podmienok na emisie N_2O z poľnohospodárstva. Citlivostná analýza modelu DNDC bola uskutočnená v poraste slnečnice ročnej (Helianthus annuus l.) vo vybratom roku 2004 podľa scenárov uvedených v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Skutočné agrotechnické zásahy, environmentálne faktory a alternatívne scenáre použité pre citlivostnú analýzu modelu DNDC

Agrotechnické zásahy skutočné (2004)				
rastlinné zvyšky	alternatívne scenáre			
10 %	0 %	50 %	90 %	
hnojivá	alternatívne scenáre			
37,5 kg/ha	0 kg/ha	37,5	močovina	
hĺbka zapracovania hnojív	alternatívne scenáre			
5 cm	15 cm	25 cm		
Environmentálne faktory skutočné (2004)				
teplota vzduchu (priemerná ročná)	alternatívne scenáre			
10,1°C	-2°C	-4°C	+2°C	+4°C
atmosférické zrážky (priemerné ročné)	alternatívne scenáre			
561 mm	-20%	-10%	+10%	+20%
pôdne druhy	alternatívne scenáre			
piesočnato-hlinitá	hlinito-piesčitá (HP), hlinitá (H), prachovito-hlinitá (PH), ílovito-hlinitá (IH), ílovitá (I)			
obsah pôdneho organického uhlíka (C)	alternatívne scenáre			
1.35 %	0.5%	1%	2%	3%
pH pôdy	alternatívne scenáre			
4.99	5.5	6.5	7.5	

Testované agrotechnické zásahy:

- aplikácia rôznych typov priemyselných alebo organických hnojív
- hĺbku ich zapracovania
- percento rastlinných zvyškov zapracovaných do pôdy

Testované environmentálne faktory:

- meniace sa pôdne druhy
- pôdny organický uhlík (C)
- pH pôdy
- teplota vzduchu
- atmosférické zrážky

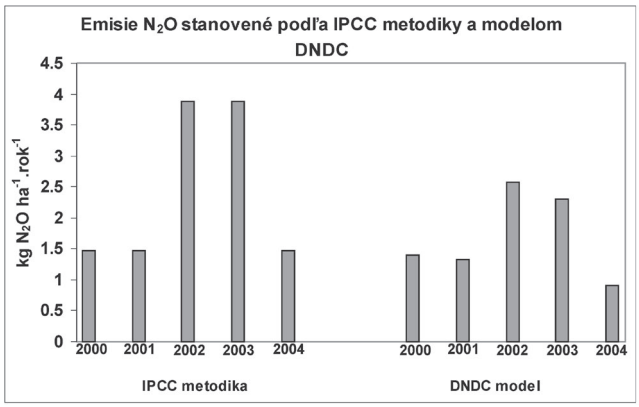
Výsledky

Stanovenie emisií oxidu dusného (N_2O) pomocou IPCC metodiky

Ako sme už uviedli v predchádzajúcom texte na stanovenie emisií N_2O sme použili IPCC metodiku ako jednu z možností stanovenia emisií N_2O z poľnohospodársky využívaného územia. Emisie N_2O stanovené podľa IPCC metodiky za časový rad rokov 2000-2004 pri danom množstve aplikovaného priemyselného N-hnojiva boli v rozsahu od 1,47 – 3,88 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$ s priemernou hodnotou 2,43 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$ (obr. 1.2). Medzi hodnotenými plodinami (cukrová repa, jačmeň jarný, silážna kukurica, pšenica ozimná, slnečnica ročná) sa najväčšie emisie N_2O zistili v rokoch 2002 a 2003 pri pestovaní silážnej kukurice a pšenice ozimnej 3,88 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$.

Stanovenie emisií oxidu dusného (N_2O) pomocou modelu DNDC

Emisie N_2O za časový rad rokov 2000-2004 stanovené modelom DNDC sa pohybovali v rozsahu od 0,9 – 2,58 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$ s priemernou hodnotou 1,7 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$ (obr. 1.2). Aj v tomto prípade sa najvyššie emisie N_2O zistili v roku 2002 - 2,58 kg N_2O ha^{-1} rok^{-1} z porastov silážnej kukurice a v roku 2003 - 2,31 kg $N_2O.ha^{-1}.rok^{-1}$ z porastov pšenice letnej formy ozimnej.



Obr. 1.2 Emisie N_2O stanovené podľa IPCC metodiky a modelom DNDC

Vzájomná korelácia a porovnanie oboch použitých metód

Po stanovení emisií oxidu dusného (N_2O) pomocou IPCC metodiky a pomocou počítačovej simulácie modelom DNDC sme následne získané výsledky podrobili vzájomnej korelácií Pearsonovým korelačným koeficientom. Tento korelačný koeficient meria silu štatistickej závislosti medzi dvoma kvantitatívnymi premennými. Korelačné koeficienty pre rôzne rozpätia majú rôznu charakteristiku závislosti:

Korelácia:

$0,1 < \lvert r \rvert$	triviálna
$0,1 < \lvert r \rvert < 0,3$	malá
$0,3 < \lvert r \rvert < 0,5$	stredná
$0,5 < \lvert r \rvert < 0,7$	veľká
$0,7 < \lvert r \rvert < 0,9$	veľmi veľká
$\lvert r \rvert > 0,9$	takmer dokonalá

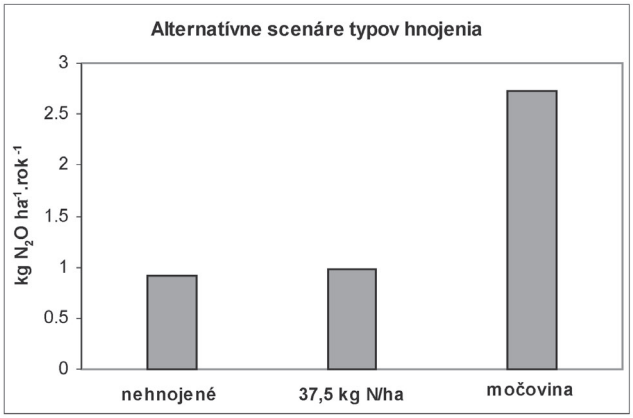
V našom prípade hodnota Pearsonovho koeficientu, ktorý hodnotí silu štatistickej závislosti medzi hodnotami emisií N_2O stanovenými podľa IPCC metodiky a modelom DNDC bola **R = 0,95** – čo znamená, že závislosť je takmer dokonalá. Takáto vysoko preukazná závislosť je však aj ovplyvnená menším počtom nami skúmaných rokov.

Z porovnania emisií N_2O stanovených podľa IPCC metodiky a pomocou simulácie modelom DNDC vyplýva, že emisie N_2O stanovené podľa IPCC metodiky sú v priemere vyššie o 25 % ako emisie N_2O stanovené modelom DNDC. Z obr. 1.2 vyplýva, že emisie N_2O úzko súvisia s množstvom aplikovaných priemyselných hnojív. V rokoch 2002 a 2003 bolo do pôdy aplikovaných až 230 kg dusíkatých priemyselných hnojív naproti rokom 2000, 2001 a 2004, kde bolo aplikovaných do pôdy len 37,5 kg dusíkatých priemyselných hnojív.

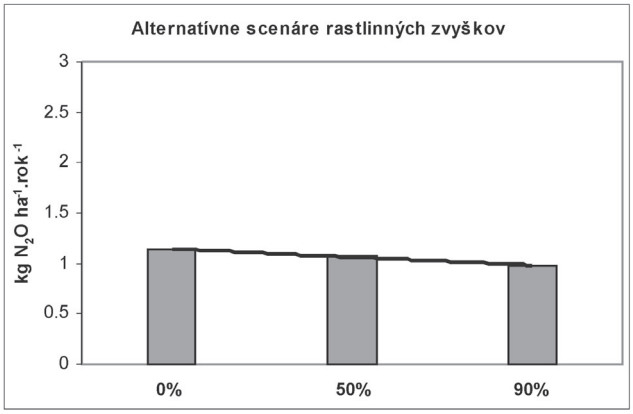
Výsledky citlivostnej analýzy modelu DNDC

- Alternatívne scenáre agrotechnických zásahov

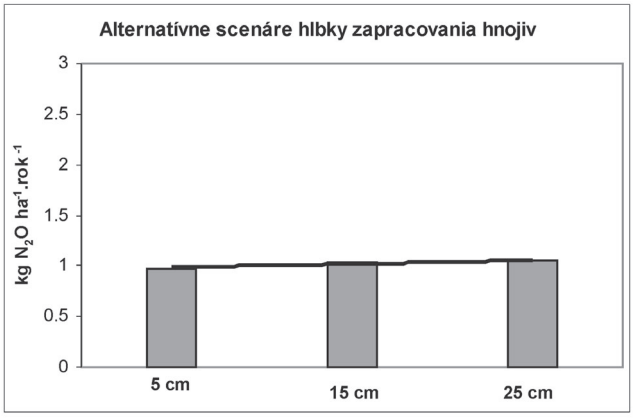
Pri hnojení močovinou boli simulované najvyššie emisie N_2O (obr.1.3). Je to ovplyvnené tým, že močovina je v kvapalnej forme a má vysoký potenciál pre vyparovanie do atmosféry. Percento (%) rastlinných zvyškov zapracovaných do pôdy po zbere úrody taktiež ovplyvnili toky emisií N_2O z pôd, avšak nie tak výrazne, ako typ hnojív použitých na hnojenie plodiny (obr.1.4). Hĺbka zapracovania hnojív do pôdy výrazne neovplyvnila toky emisií N_2O (obr.1.5).



Obr.1.3 Alternatívne scenáre typov hnojenia



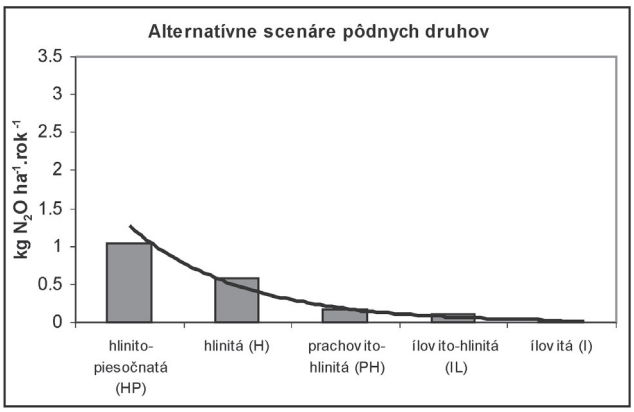
Obr.1.4 Alternatívne scenáre rastlinných zvyškov



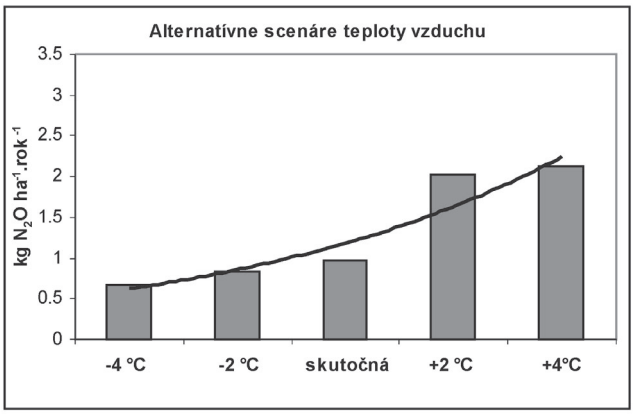
Obr.1.5 Alternatívne scenáre hĺbky zapracovania hnojív

- Alternatívne scenáre environmentálnych faktorov

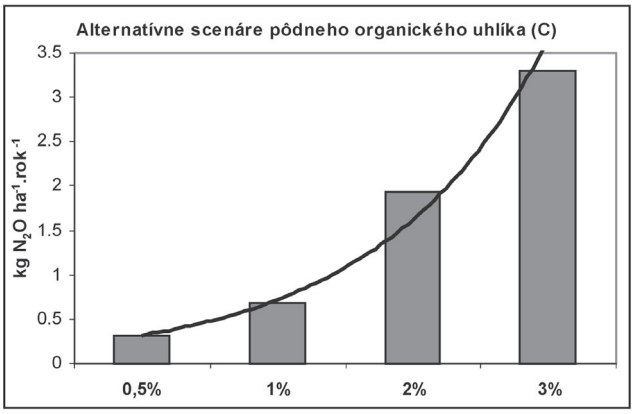
Emisie oxidu dusného (N_2O) boli pri počítačovej simulácii rôznych alternatívnych scenárov environmentálnych faktorov najcitlivejšie na zmenu pôdneho druhu, teplotu vzduchu a obsah organického uhlíka (C) v pôde.Toky emisií N_2O sa výrazne zvyšovali od ťažkých pôd smerom k ľahkým pôdam a to exponenciálne (obr. 1.6). 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, čo samozrejme ovplyvňuje rýchlosť výparu, ktorý koreluje so zvyšujúcou sa teplotou (obr. 1.7). Zvyšujúcim sa obsahom organického uhlíka (C) v pôde došlo taktiež k exponenciálnemu zvýšeniu emisií N_2O (obr. 1.8). Atmosférické zrážky a pH pôdy výrazne neovplyvnili toky nami skúmaných emisií (obr. 1.9 a obr. 1.10).



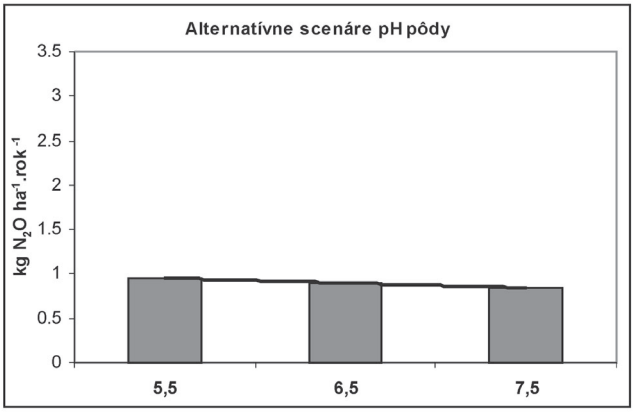
Obr.1.6 Alternatívne scenáre pôdnych druhov



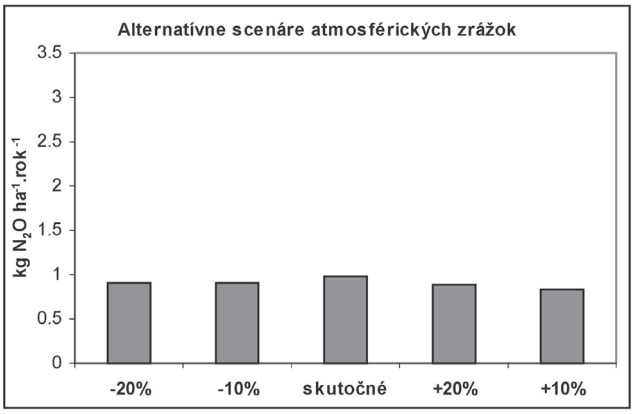
Obr.1.7 Alternatívne scenáre teploty vzduchu



Obr.1.8 Alternatívne scenáre pôdneho organického



Obr.1.9 Alternatívne scenáre pH pôdy uhlíka (C)



Obr.1.10 Alternatívne scenáre atmosférických zrážok

Záver

Vo vzťahu k výsledkom môžeme povedať, že súčasná údajová základňa a technicko-materiálne vybavenie Katedry biometeorológie a hydrológie nám umožnilo dopracovať sa k stanoveným cieľom. Emisie oxidu dusného (N_2O) stanovené pomocou oboch metód sme mohli považovať za relevantné a mohli sme ich využiť v napĺňaní ďalších dielčích cieľov, ktorým bola vzájomná korelácia a porovnanie nami získaných výsledkov. Na základe analýzy čiastkových výsledkov môžeme vysloviť 3 závery:

- Pearsonov korelačný koeficient R=0,95 medzi emisiami N_2O stanovenými podľa IPCC metodiky a pomocou simulácie modelom DNDC vykazuje takmer dokonalú silu štatistickej závislosti.

- Z porovnania emisií N_2O stanovených podľa IPCC metodiky a pomocou simulácie modelom DNDC vyplýva, že emisie N_2O stanovené podľa IPCC metodiky sú v priemere vyššie o 25 % ako emisie N_2O stanovené modelom DNDC.

- Emisie N_2O úzko súvisia s množstvom aplikovaných priemyselných hnojív.

Z uvedených skutočností vyplýva, že množstvo aplikovaných dusíkatých hnojív stále zostane najdôležitejší faktor ovplyvňujúci emisie N_2O z poľnohospodárskych pôd.

Z výsledkov citlivostnej analýzy modelu DNDC vyplýva, že rôzna agrotechnika ako aj environmentálne faktory môžu výrazne prispieť k bilancii tokov emisií N_2O z poľnohospodársky využívaných pôd. Aktuálna je stále otázka lokálne sa meniacich environmentálnych podmienok ako pôdne vlastnosti (napr. pôdny druh, obsah organického uhlíka C, pH pôdy), alebo meteorologických charakteristík ako teplota vzduchu, atmosférické zrážky atď., ktoré na základe uvedených výsledkov ovplyvňujú toky emisií N_2O. Pri simulovaní emisií na regionálnej úrovni je možné rozdeliť región do celkov a predpokladať, že všetky atribúty v jednom celku budú rovnaké. Na podporu takýchto zámerov stanovenia emisií N_2O pomocou modelu DNDC na regionálnej úrovni je možnosť využitia geografického informačného systému GIS.

Citlivostná analýza modelu DNDC pre špecifickú experimentálnu plochu nemusí byť záväzná a nemusí reprezentovať všetky klimatické a pôdne režimy na celom území Slovenska. Avšak všeobecne trendy prezentované v tejto citlivostnej analýze môžu byť využité pre iné experimentálne poľnohospodársky využívané pôdy.

Poďakovanie

Príspevok vznikol za podpory grantových projektov VEGA 1/3458/06 a VEGA 1/4427/07.

Literatúra

[1] BIELEK, P., 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska, Bratislava, 1998. 256 s. ISBN: 80-85361-44-2.

[2] CHLPÍK, J. - POSPÍŠIL, R., 2004. Spatial characteristic of mechanical and chemical soil properties on experimental base of Slovak agricultural University in Nitra, Kolinany. (in slovak) In: Acta fytotechnica at zootechnica, 7, 1, 2004. ISSN 1335-258-X.

[3] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)., 1996 Climate change 1995. The science of climate change.

[4] IPCC, Greenhouse Gas Inventory Workbook., 1997 (Revised 1996 Guidelines for National Gas Inventories), vol 2, Bracnell, England, 1997.

[5] LI, C. et al., 2001. Comparing a process-based agro-ecosystem model to the IPCC methodology for developing a national inventory of N_2O emissions from arable lands in China. In: Nutrient Cycling in Agroecosystem. 2001.60: 159-175 p.

[6] LI, C., et al., 2004. Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivitiy and upscaling. In: Global Biogeochemical cycles. 2004. VOL. 18, GB1043, doi:10.1029/2003GB002045

[7] ŠIŠKA, B. - IGAZ, D., 2005. Emissions of N_2O from agricultural sector during years 1990 –2003 in Slovakia. In: Jubilee Scientific Conference – State-of-the-art and problems of Agricultural Science and Education. Agricultural University- Plovdiv, Scientific Works, vol. L, book 6,

pp. 359-364.

[8] VAN CLEEMPUT, O. - BAERT, L. A., 2002. Key compound in N loss processes under acid conditions. In: Plant Soil 76, 233-241 p.