

DROUGHT EVENT PROBABILITY UNDER THE PRESENT AND CHANGED CLIMATIC CONDITIONS

HODNOCENÍ PRAVDĚPODOBNOСТИ VÝSKYTU SUCHA V SOUČASNÝCH A OČEKÁVANÝCH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH

Kapler, P., Žalud, Z., Trnka, M., Semerádová, D.

Ústav obecné produkce rostlinné, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: pavel.kapler@centrum.cz

ABSTRACT

Newhall simulation model was evaluated and applied in this study for drought probability assesment. In this study we took into account four major groups of soil conditions according to their maximum soil water holding capacities. It was conluded that under present climate only a fraction of the Czech Republic is situated within the “high” risk area with aridic or xeric events probability over 45%. Consequently the model was run over the climatic data corresponding to the conditions expected in 2050 using two emission scenarios in combination with two GCM models. The model runs indicate that significant increase of the areas with a high probability (more than 45%) of aridic or xeric events is to be expected. Approximately 6,3-8,1% of the Czech Republic would be faced the aridic or xeric events during at least six out of ten years with a higher probability of weak aridic and even typic aridic events.

Keywords: Agricultural drought, Newhall Simulation Model, GCM model, soil moisture regime

ABSTRAKT

V rámci předkládané studie byl použit Newhallův model pro posouzení pravděpodobnosti výskytu sucha pro současné a očekávané klimatické podmínky. V simulacích byly zohledněny čtyři hlavní skupiny půdních podmínek na základě retenční schopnosti profilu. V současných klimatických podmínkách leží pouze nepatrná část území ČR v oblasti s pravděpodobností výskytu sucha (resp. aridních až xerických podmínek) vyšší než 45%. Simulace s využitím dvou emisních (B1- SRES a A2 – SRES) a dvou klimatických scénářů (HaDCM3 a ECHAM) pro rok 2050 ukázaly významný nárůst ploch s vysokou pravděpodobností výskytu sucha. Přibližně 6,3-8,1% území ČR bude pravděpodobně ohroženo výskytem aridních až xerických podmínek po

nejméně šest z deseti let s vyšší pravděpodobností výskytu slabě aridních až spíše typicky aridních případů.

Klíčová slova: Zemědělské sucho, Newhallův simulační model, emisní a klimatické scénáře, půdně klimatické režimy, plná vodní kapacita

ÚVOD

Sucho je nejkomplexnější a nejméně probádaná přírodní hrozba, ovlivňuje podstatně větší část populace, než kterýkoliv jiný extrémní jev (Wilhite *Ed.*, 2000). Sucho je ale zároveň nedílnou součástí všech klimatických oblastí a lze jej popsat i v oblastech s dostatkem srážek. Také ve střední Evropě je sucho často se vyskytujícím fenoménem. Nezřídka se lze setkat s tak zvaným “zeleným suchem”, tj. suchem spojeným se zdánlivým dostatkem srážek (roční průměr významně nevybočuje z normálu), které významně snižuje zemědělskou produkci vzhledem k neefektivnímu rozložení srážek ve vztahu k potřebám plodin. Vezmeme-li v úvahu všemi klimatickými scénáři (např. Kalvová *et al.*, 2002) prognózovanému zvýšení teplot vzduchu nad střední Evropou spolu s nepatrným nárůstem srážkových úhrnů v zimě a naopak jejich poklesem v létě, je zřejmé, že výskyt a závažnost dopadů sucha v této oblasti vzroste. Rostoucí požadavky na vodu a kontinuálně se zvyšující tlak na ostatní přírodní zdroje pak mohou vést k vyšší zranitelnosti společnosti suchem (McCarthy *et al.*, 2001). Proto je otázka odhalení rizika výskytu sucha aktuální jak pro současné, tak pro očekávané klimatické podmínky. Z pohledu definice samotného pojmu sucho, je těžké vymezit počátek a konec trvání sucha; projevy sucha se často pomalu hromadí po dlouhou dobu a některé jeho důsledky mohou přetrvávat ještě několik let po skončení dané epizody. Kromě toho je nutné zdůraznit, že dosud neexistuje přesná a všeobecně platná definice sucha, což vede k nejasnostem v otázce zda sucho je či ne, a jestliže ano, pak jakého stupně závažnosti. Jako daň za přesnost je většina užívaných definic příliš specifikovaná a jejich aplikace tedy úzce regionální. Obvykle se rozlišují čtyři kategorie sucha: meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické. Existuje množství parametrů, které mohou být užity pro popis a hodnocení sucha v různých časových úsecích, např. Standartizovaný srážkový index (SPI) či Palmerův index intenzity sucha (PDSI). Užití hodnot půdní vlhkosti jako jednoho z indikátorů sucha (zvláště pro potřeby hodnocení zemědělského sucha) je základním prvkem mnoha ve světě užívaných monitorovacích systémů (např. Svoboda *et al.*, 2002) se zaměřením na půdní klima.

Jedním z nástrojů, které jsou schopny popsat a zařadit půdu do kategorií podle půdně vlhkostního režimu v souladu s půdní klasifikací (USDA, 1999) je Newhallův simulační model (Van Wambeke *et al.*, 1992). V předkládané studii byl tento model použit ke kvantifikaci potenciálních vlivů klimatické změny na pravděpodobnost výskytu sucha v ČR a po implementaci do GIS (Geografických informačních systémů) k prostorové delimitaci nejvíce ohrožených oblastí.

METODIKA

Sucho se obvykle projevuje poklesem půdní vlhkosti a proto je tento údaj často užíván k determinaci zemědělského sucha. Newhallův simulační model umožňuje zjistit roční vlhkostní režim půdy a vyčíslit opakování a pravděpodobnost krátkodobého výskytu jiných hydrických režimů. Pracuje jak v ročním chodu, tak v ucelených klimatických periodách, může tedy odhalit trend změny půdního klimatu (vysychání, zvlhčování).

Aplikace Newhallova modelu

Newhallův model je používán *USDA Natural Resources Conservation Service* ke stanovení půdně vlhkostních režimů tak, jak jsou definovány v *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 1975, 1999; Newhall and Berdanier, 1996). Van Wambeke *et al.* (1992) modifikoval původní model zavedením dalších podjednotek půdně vlhkostních režimů podle zásoby vody v půdě. Van Wambeke (1981, 1982, and 1985) použil Newhallův model pro mapování půdně vlhkostních režimů Afriky, Jižní Ameriky a Asie. Poslední inovace modelu jejíž produktem je tzv. Enhanced Newhall Simulation model (ENSM), byla provedena Waltmanem *et al.*, (2003). Předkládaná studie využívá Newhallův model pro stanovení pravděpodobnosti výskytu sucha jak pro současné, tak pro očekávané klimatické podmínky České republiky na základě padesáti klimatologických stanic (Obr. 1). Jednou z hlavních výhod ENSM je fakt, že dovoluje uživateli zohlednit ve výpočtech vliv fyzikální vlastnosti půd. Půdní profil je charakterizován hodnotou plné vodní kapacity od horní vrstvy po maximální hloubku kořenů (maximum water holding capacity, MWHC).

Pro začlenění tohoto parametru pro celou zemi a pro následné propojení ENSM se software GIS ArcMap byl na Ústavu obecné produkce rostlinné MZLU v Brně vyvinut “digitální model krajiny“ (DLM). DLM pracuje v rozlišení velikosti gridu 1x1 km a obsahuje základní

pedologické, klimatické a geografické informace (např. zeměpisnou polohu, půdní typ, nadmořskou výšku atp.), které jsou přiřazeny každé buňce v gridové síti. Kořenící hloubka půdního profilu, stejně jako hodnota jeho plné vodní kapacity (MWHC) byla odvozena z reprezentativního vzorku více než 1000 půdních sond detailně zaznamenaných při Komplexním průzkumu půd ČR. Tab. 1 zobrazuje výčet půdních typů a hodnoty jejich plné vodní kapacity, které jsou nyní součástí nejnovější verze DLM. Prostorové rozložení čtyř hlavních kategorií půd podle MWHC zachycuje Obr. 2.

Tab. 1: Přehled půdních typů klasifikace FAO a jejich plná vodní kapacita (MWHC).

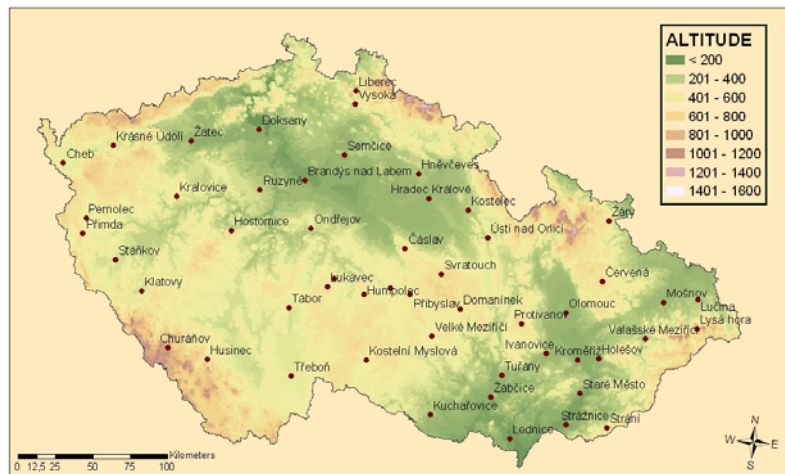
ID	Půdní klasifikace FAO	Plná vodní kapacita (mm)*
1	Haplic Chernozem	260
2	Haplic Phaeozem	260
3	Eutric Vertisol	260
4	Haplic Greyzem	260
5	Haplic Luvisol	220
6	Albic Luvisol	220
7	Plano-Gleyic Luvisol	220
8	Rendzic Leptosol	140
9	Eutric Leptosol	140
10	Haplic Arenosol	140
11	Eutric Cambisol	180
12	Eutric Regosol	140
13	Cambic Podzol	220
14	Haplic Podzol	180
15	Eutric Fluvisol	220
16	Fluvi-Gleyic Phaeozem	220
17	Dystric Gleysol	180
18	Peat Soils	simulace neprovedena
19	Antropogenic soils	180

*) v celém půdním profilu, tj. od horní vrstvy po maximální hloubku kořenů.

Propojení Newhallova modelu(ENSM) s DLM

Pro výpočet pravděpodobnosti výskytu půdně vlhkostních režimů (aridní a xerický) v ČR byla použita databáze, která byla odvozena stochastickým generátorem meteorologických dat Met&Roll (Dubrovský, 1997) na základě záznamů pozorování z padesáti meteorologických stanic (Obr. 1). K dispozici byla data z období 1961-2000 pro 43 stanic, pro zbylých 7 stanic z let 1961-1990. Užití generátoru umožnilo práci se stoletou řadou hodnot namísto jen 39 resp. 29 ročníků pozorování, což podle názoru autorů v případě předpovědních scénářů značně zvyšuje

vypovídací schopnost studie. Pro simulace postihující změnu klimatu byly parametry generátoru Met&Roll upraveny v souladu s daným scénářem změny klimatu a pro každý z obou uvažovaných emisních scénářů (B1, A2) byly rovněž generovány stoleté řady vstupních hodnot.



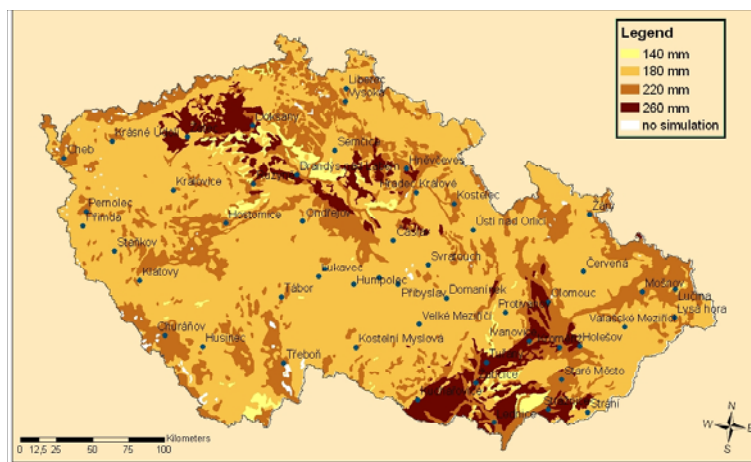
Obr. 1: Mapa nadmořské výšky ČR a rozmístění padesáti meteorologických stanic, jejichž pozorovaná data byla užita v této studii (Digital Landscape Model).

Návazně byl použit Newhallův model (ENSM) na generované stoleté řady dat ze všech padesáti stanic jak pro současné, tak pro očekávané klimatické podmínky. Simulace byly provedeny pro každou ze čtyř kategorií plné vodní kapacity (z tab. 1 podle hodnot MWHC 140, 180, 220 a 260 mm) pro každou stanicí.

Pravděpodobnost výskytu xerických a aridních let byla vypočtena pro všechny stanice a kategorie MWHC. Následně byla pro každou skupinu kategorií půd (Obr. 2) odvozena závislost mezi zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou (nezávislé proměnné) a pravděpodobností xerického či aridního půdně vlhkostního režimu (závislá proměnná). Závislost byla odvozena pomocí vícenásobné lineární regrese přičemž krom prostých hodnot nezávislých proměnných byly testovány i interakce prvního řádu a hodnoty jejich druhých mocnin. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu mezi nezávislými a závislými proměnnými se pohybovala 0,80-0,97 podle kategorie MWHC. Závěrem byl pro každý grid aplikován příslušný regresní model (podle MWHC gridu) a byla vyčíslena pravděpodobnost výskytu xerických či aridních let. Pro prostorovou delimitaci oblastí o shodných pravděpodobnostech výskytu takových let byl použit GIS software ArcView 8.3.

Hodnocení vlhkostní režimy půd

Studie se zabývala dvěma ze šesti hlavních půdně vlhkostních režimů rozeznávaných americkou klasifikací (USDA, 1999), tedy xerickým a aridním. ENSM dále rozlišuje dva typy xerického režimu – suchý xerický a typicky xerický, v obou případech je půdní profil zcela vlhký alespoň 45 po sobě jdoucích dní následujících po zimním slunovratu a vysychá na více než 45 dní ve čtyřech měsících následujících po slunovratu letním. Typický je tento režim pro oblasti Středozemního moře, kde jsou zimy vlhké a léta horká a suchá. Nicméně je v některých letech možno oba tyto režimy diagnostikovat i ve všeobecně vlhčích prostředích, kde jsou obvykle spojeny s výskytem zemědělského sucha. Charakteristickým rysem takového klimatického režimu je nedostatek půdní vláhy na vrcholu vegetačního období. Také v případě aridního půdně vlhkostního režimu lze rozeznat několik podtypů, z nichž se pouze slabě aridní a typicky aridní čas od času projevuje na území ČR. Aridní režimy vykazují suchý celý půdní profil úhrnem po více než polovinu dní roku přičemž teplota v hloubce 50 cm je vyšší než 5 °C a půdní profil je celkově či částečně zvlhčený po méně než 90 po sobě jdoucích dní při teplotě v hloubce 50 cm vyšší než 8°C. Aridní režim je nepromyvný, rozpustné soli se hromadí v půdním profilu. V ČR je výskyt tohoto režimu obvykle spjat s vážným zemědělským suchem s vysokou pravděpodobností hydrologických následků (přechod na sucho hydrologické).



Obr. 2: Prostorové rozložení čtyř hlavních kategorií plné vodní kapacity půd (DLM).

Scénáře změny klimatu

V práci použité scénáře změny klimatu (klimatické změny) jsou založeny na dvou GCM (Globálních cirkulačních modelech, ECHAM a HadCM3), které vycházejí z emisních scénářů

SRES-A2 a SRES-B1. Vstupní hodnoty modelů byly převzaty z databáze IPCC-DDC (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>). Scénáře změny klimatu vytvořil Santer *et al.*, (1990), když je odvodil od standardního scénáře změnou globální průměrné teploty (T_G). Standardní scénář (počítající s nárůstem T_G o 1 K) byl odvozen ze série simulací GCM pro období 2010-99. Změna globální průměrné teploty (ΔT_G) (se středem hodnoceného období v roce 2050) byla vypočtena klimatickým modelem MAGICC (Harvey et al. 1997, Hulme et al. 2000) pro kombinaci dvou emisních scénářů a dvou tříd citlivosti klimatu. Nižší ΔT_G předpokládá kombinaci nižší citlivosti klimatu ($\Delta T_{G,2 \times CO_2} = 1.5$ K) a emisního scénáře SRES-B1. Vyšší ΔT_G pak vyšší citlivosti klimatu ($\Delta T_{G,2 \times CO_2} = 4.5$ K) a emisního scénáře SRES-A2.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Za současných klimatických podmínek se na většině území České republiky může aridní či xerická epizoda objevit přibližně jedenkrát za sto let (Obr.3). Pouze velmi malá část území je situována do oblasti vysokého rizika (více než 45% pravděpodobnosti výskytu aridní/xerické události), tj. jižní Morava a oblast srážkového stínu Krušných hor (Žatecko). V těchto oblastech za současných podmínek převládá slabě a typicky aridní půdní režim s pravděpodobností výskytu během 15-23 let ze sta, ačkoli žádný z regionů nevykazuje známky významné dominance xerického či aridního půdně vlhkostního režimu.

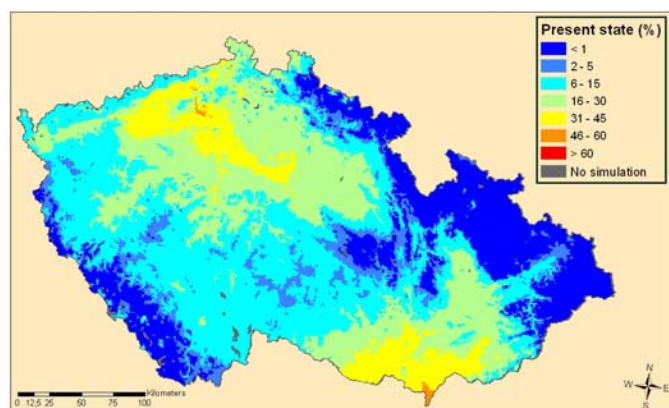
Zatímco za současných klimatických podmínek mohou být za k suchu náchylné označeny pouze dvě oblasti (na Obr. 3 značeny oranžově), očekávaná změna klimatu během tohoto století pravděpodobně povede ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu sucha.

V případě naplnění emisního scénáře B1 dojde ke snížení emisí radiačně aktivních plynů (RAP, skleníkové plyny) a následná změna bude relativně menší, přesto dojde k nárůstu suchem ohrožených oblastí v závislosti na aplikovaném GCM modelu (ECHAM či HadCM3) 16-20krát oproti současnému stavu (Obr.4). Přibližně 0.1% území ČR se bude potýkat s aridním či xerickým půdně vlhkostním režimem šest let z deseti. Naproti tomu pravděpodobnost výskytu udického režimu v takovýchto oblastech poklesne k nule, což může vést k výrazným změnám v půdních procesech, včetně rizika zasolení při užití intenzivních závlahových systémů.

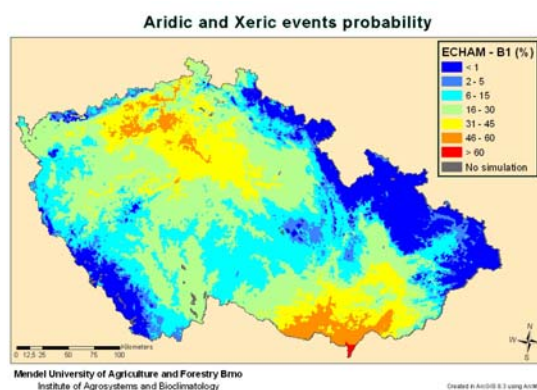
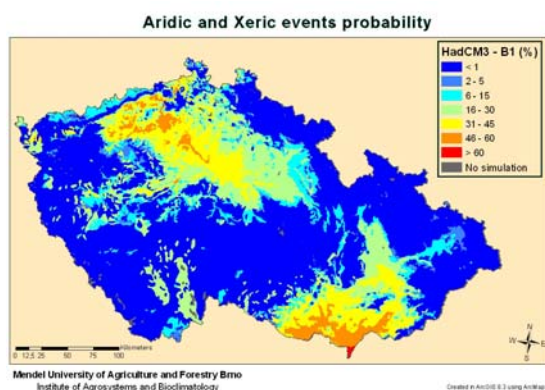
Pokud budou emise skleníkových plynů dále narůstat (jak indikuje scénář A2), budou změny půdního klimatu ČR enormní (Obr. 5). V závislosti na aplikovaném GCM modelu (ECHAM či HadCM3) až 6,3-8,1% území bude čelit aridním až xerickým podmínkám šest let

z deseti. Udický a perudický půdní režim, který zde v současnosti převládá, bude zcela eliminován, což bude mít negativní vliv nejen na půdní vlhkost, ale také na zdroje podzemní vody ve vyšších nadmořských výškách. Zřejmě také dojde ke zvětšení oblastí s pravděpodobností výskytu sucha 15-45%.. Očekávaný pokles srážkových úhrnů v létě spolu s vyšší teplotou ještě navýší pravděpodobnost výskytu suchých období a jejich intenzitu.

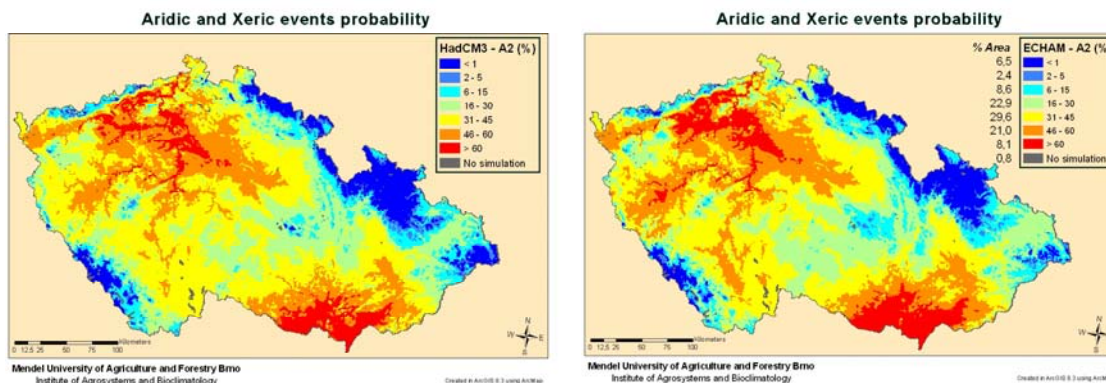
Aridizace klimatu může vést ke zvýšené potřebě závlah; absence vlhkých let může způsobit akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu. Je třeba poznamenat, že pravděpodobnost výskytu sucha bude zvýšena také ve vyšších polohách, jejichž ekosystém není na takové situace připraven.



Obr. 3: Prostorové znázornění pravděpodobnosti (%) výskytu aridních či xerických případů v České republice za současných klimatických podmínek (1961-2000).



Obr. 4: Prostorové znázornění pravděpodobnosti (%) výskytu aridních či xerických případů v České republice v očekávaných klimatických podmínkách (2050) při emisním scénáři B1-SRES.



Obr. 5: Prostorové znázornění pravděpodobnosti (%) výskytu aridních či xerických případů v České republice v očekávaných klimatických podmínkách (2050) při emisním scénáři A2-SRES.

ZÁVĚR

V této studii byla pomocí Newhallova modelu provedena prostorová analýza území České republiky pro současné a očekávané podmínky se zaměřením na pravděpodobnost výskytu sucha. Bylo zjištěno, že za současných podmínek spadá pouze nepatrná část rozlohy státu do oblasti, kterou můžeme nazvat „vysoce ohroženou“ (s pravděpodobností výskytu sucha vyšší než 45%). Nyní i v budoucnosti bude suchem nejohroženější region srážkového stínu Krušných hor (Žatecko) a nejjižnější Morava. Podle emisního scénáře SRES-B1 dojde k nárůstu suchem ohrožených oblastí (pravděpodobnost výskytu vyšší než 45%) 16-20krát oproti současnému stavu. Naproti tomu pravděpodobnost výskytu udického režimu v těchto oblastech poklesne k nule, což může vést k výrazným změnám v půdních procesech, včetně zvýšení rizika zasolení budou-li pro zmírnění následků sucha opětovně zavedeny závlahy. Pokud budou emise skleníkových plynů narůstat podle emisního scénáře SRES-A2, lze očekávat výraznější změny půdního klimatu ČR. Až 6,3-8,1% území bude ohroženo aridními až xerickými podmínkami šest z deseti let. Varováním by měla být skutečnost, že potenciálně postižené oblasti jsou v ČR hlavními centry zemědělské výroby. Udický a perudický půdní režim, který zde v současnosti převládá, bude zcela eliminován, což bude mít negativní vliv nejen na půdní vlhkost, ale také na zásoby podzemní vody. Dopady sucha mohou v extrémních případech vyústit až k významným ztrátám výnosů zemědělských plodin, ke zvýšení ceny krmiv pro hospodářská zvířata, či vážnému poškození lesních porostů. Takové porosty pak budou snadno náchylné k chorobám a škůdcům; zvýšené riziko lesních požárů pak bude záviset na aktuální povětrnostní situaci. Aridizace klimatu může vést ke zvýšené větrné erozi a vyšší potřebě závlah, absence vlhkých let

může způsobit akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu. Je třeba poznamenat, že pravděpodobnost výskytu sucha bude zvýšena také ve vyšších polohách, jejichž ekosystém není na takové situace připraven. Navíc očekávaný pokles srážkových úhrnů v létě spolu s vyšší teplotou ještě zvýší pravděpodobnost výskytu suchých období. Změny půdního klimatu budou mít vliv nejen na biologickou složku půdy; ovlivněn bude mj. proces vzlinání podzemní vody a za hranice únosnosti se dále bude stupňovat i tlak na zbytky vzácných přírodě blízkých ekosystémů (zvláště na jižní Moravě). Úroveň rostlinné produkce však pravděpodobně nebude z dlouhodobého hlediska aridizací klimatu vážněji ohrožena. Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého spojená s klimatickou změnou přispěje pravděpodobně zvýšení výnosů díky lepšímu hospodaření rostlin s vodou a intenzivnější fotosyntéze (např. Trnka *et al.* 2004) a lze očekávat i introdukci odrůd případně nových plodin dobře snášejících tento typ klimatu. Je ale mít na paměti, že aridní a xerické režimy půdního klimatu jsou úzce spjaty s dalšími negativními dopady sucha. Proto je nutné očekávat zvýšení společensko-ekonomických ztrát souvislosti s jejich častějším výskytem.

Poděkování:

Příspěvek mohl být zpracován a publikován s podporou projektu Fondu Rozvoje Vysokých Škol (FRVŠ) ČR č.2004/178.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Barák et al., 2004: Proč se to nepovedlo tak, jak jsme předpokládali. *Plant, Soil and Environment*, 40 (8): 253 – 256.
- Dubrovský M., 1997: Creating Daily Weather Series With Use of the Weather Generator. *Environmetrics*8, 409-424.
- Harvey LDD, Gregory J, Hoffert M, Jain A, Lal M, Leemans R, Raper SBC, Wigley TML, de Wolde J (1997) An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report: IPCC Technical Paper 2 (eds JT Houghton, LG Meira Filho, DJ Griggs, M Noguer), Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, pp.50
- Hulme M, Wigley TML, Barrow EM, Raper SCB, Centella, Smith S, Chipanshi A.C. (2000) Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich, UK, 2000, 52 pp.
- Kalvová, J, Kašpárek, L, Janouš, D, Žalud, Z, Kazmarová, H. Zpřesnění scénářů projekce klimatické změny na území České republiky a odhadů projekce klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. NKP Praha 2003. 151 s.

- McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken D.J., and White K.S. (Eds.), 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of WG II to the Third Assessment Report of IPCC. Cambridge University Press, UK. pp 1000.
- Newhall, F., and C.R. Berdanier. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Soil Survey Investigations Report No. 46, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE.
- Santer BD, Wigley TML, Schlesinger ME, Mitchell JFB (1990) Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. Max Planck Institute für Meteorologie, Report No.47, Hamburg, Germany
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA Soil Conservation Service, Agric. Handbook No. 436. US Gov't Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition, USDA Soil Conservation Service, Agric. Handbook No. 436. US Gov't Printing Office, Washington, D.C.
- Svoboda, M.D., D. LeCompte, M.J. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus, and S. Stevens, 2002. The Drought Monitor. Bulletin of the Amer. Meteorol. Society 83: 8, 1181-1190
- Trnka M., Dubrovský M., Žalud Z., 2004: Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Spring Barley Production in the Czech Republic. *Climatic Change* 64 (No. 1-2), 227-255.
- Van Wambeke, A. 1981. Calculated soil moisture and temperature regimes of South America. Soil Management Support Services Technical Monograph No. 2, USDA-SCS, Washington, D.C.
- Van Wambeke, A. 1982. Calculated soil moisture and temperature regimes of Africa. Soil Management Support Services Technical Monograph No. 3, USDA-SCS, Washington, D.C.
- Van Wambeke, 1985. Calculated soil moisture and temperature regimes of Asia. Soil Management Support Services Technical Monograph No. 9, USDA-SCS, Washington, D.C.
- Van Wambeke, A., P. Hastings, and M. Tolomeo. 1992. Newhall Simulation Model—A BASIC Program for the IBM PC (DOS 2.0 or later). Dept. of Agronomy, Cornell University, Ithaca, NY.
- Waltman, W.J., Goddard, S. Reichenbach, S.E. Svoboda, M.D. Hayes, M.J., Peake, J.S. Patterns and trends of soil climate regimes and drought events in the northern Great Plains, 2003
- Wilhite, D.A. (ed.), 2000. Drought: A Global Assessment (2 volumes, 51 chapters, 700 pages). Hazards and Disasters: A Series of Definitive Major Works (7 volume series), edited by A.Z. Keller. Routledge Publishers.