

УТИЦАЈ КЛИМАТСКИХ ПРОМЈЕНА НА ПРОИЗВОДЊУ КУКУРУЗА У СЛОВАЧКОЈ И ЊЕНА ПРОЈЕКЦИЈА ДО 2100. ГОДИНЕ

Матеј Жилински^{1*}, Слободан Гњато² и Бернард Шишка¹

¹Словачки пољопривредни универзитет у Нитри, Факултет европских студија и регионалног развоја,
Одсек за екологију, Нитра, Словачка

²Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

Сажетак: У раду се тематизује моделовање приноса култура и временских услова под утицајем климатских промјена. Анализира се однос између агроекосистема и климе са фокусом на производњу зрна кукуруза (*Zea mays* L.). Помоћу модела Daisy симулирани су ефекти климатских промјена, према IPCC SRES A1B сценарију, на потенцијал приноса кукуруза у најпродуктивнијим пољопривредним регионима Словачке – Нитри и Милхостову. Пројекције приноса базиране су на GCM ARPEGE подацима добијеним за периоде 2021–20150. и 2071–2100. године. Резултати симулација потом су упоређени са производњом по хектару у периоду 1961–1990. године.

Кључне ријечи: моделовање приноса култура и временских услова, Daisy модел, климатске промјене, кукуруз, принос кукуруза, адаптације, A1B сценарио.

Original scientific paper

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE PRODUCTION AND ITS PROJECTION BY 2100 IN SLOVAKIA

Matej Žilinský^{1*}, Slobodan Gnjato² and Bernard Šiška¹

¹Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of European Studies and Regional Development,
Department of Ecology, Nitra, Slovak Republic

²University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: This paper deals with crop-weather modelling under conditions of climate change. It analyses relations between agroecosystem and climate with focus on grain production of maize (*Zea mays* L.). Daisy model simulated the effects of climate change by using IPCC SRES A1B scenario on yield potential of maize in Nitra and Milhostov, located in the most productive agricultural regions of Slovakia. The yield predictions were based on the GCM ARPEGE outputs for projection the 2021–2050 and 2071–2100 periods. Yields were simulated for the periods and compared with 1961–1990 hectare production.

Key words: crop-weather modelling, model Daisy, climate change, maize, corn yield, adaptation, A1B scenario.

* Аутор за кореспонденцију: Матеј Жилински, Словачки пољопривредни универзитет у Нитри, Факултет европских студија и регионалног развоја, Одсек за екологију, Марианска 10, 94901, Нитра, Република Словачка, Е-mail: xzilinsky@uniag.sk
Corresponding author: Matej Žilinský, Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of European Studies and Regional Development, Department of Ecology, Mariánska 10, 94901, Nitra, Slovak Republic, E-mail: xzilinsky@uniag.sk

УВОД

Промјене климатских услова представљају једну од главних пријетњи како глобалној, тако и домаћој пољопривреди, биодиверзитету и шумарству. У Словачкој је запажен значајан пораст средње годишње температуре у периоду 1881–2016. године. Температура ваздуха је сада за 2°C виша у поређењу са преиндустријским периодом. Укупни пораст падавина износи 0.8 %, али је забиљежен и њихов значајан пад и то за 10 % у јужним областима Словачке, које су уједно и најплодније. На тај начин, повећање температуре ваздуха и смањење количине падавина довели су до смањења релативне влажности ваздуха и повећања евапотранспирације за 5 % (Ministry of Environment of the Slovak Republic, 2017). Неки од индикатора указују на посљедице које су већ присутне и потврђују присутне трендове. Индекс суше Palmer Drought Severity Index (PDSI), на примјер, забиљежио је пад у периоду 1980–2010. године у многим регионима Словачке, указујући на већу учесталост сушних периода, посебно у јужним подручјима земље (Zuzulova et al., 2015). Утицај климатских промјена на пољопривредну производњу манифестује се на различите начине. Као прво, стање животне средине биће потпуно другачије од оног које влада данас. Према А1В SRES сценарију емисија гасова стаклене баште, у периоду 2071–2100. године Међувладин панел за климатске промјене (IPCC) за област Нитре (југозапад Словачке) предвиђа повећање средње годишње температуре за 3.1°C у односу на период 1961–1990. године, а за подручје Милхостова у југоисточној Словачкој предвиђено повећање за исти период износи 3.2°C. Овако промијењени температурни услови довешће до продужења вегетационог периода, који ће почињати све раније и завршавати све касније, те ће се тако, на примјер, повећати и ризици настанка штете од мраза (Halenka, 2006). Повећање концентрације гасова стаклене баште, с друге стране, може имати различит утицај на усјеве, њихов принос и производњу биомасе. Уколико се концентрација CO₂ удвостручи и достигне 660 ppm, производња биомасе биљака из групе C3 (на примјер, пшеница и јечам) била би већа за 41 %. У случају биљака из групе C4, попут кукуруза, продукција би била већа за 22

INTRODUCTION

Changes in climate conditions are one of the main threats of the global and domestic agriculture, biodiversity and forestry. In Slovakia, there was significant increase of mean annual temperature during the 1881–2016 periods. The air temperature is currently 2°C higher in comparison to the preindustrial period. Overall precipitation has increased by 0.8 %. However, there was a significant 10 % decrease in the south of Slovakia with most fertile soils. Thus, the higher air temperature and lower precipitation led to a decrease in relative air humidity and increase in potential evapotranspiration by 5 % (Ministry of Environment of the Slovak Republic, 2017). Some of the indicators suggest possible impacts, which are already occurring and the trend, which is continuing. For instance, Palmer Drought Severity Index (PDSI) had a decreasing trend during the 1980–2010 periods in many Slovak regions, suggesting that drought periods are becoming more frequent, especially in the south of Slovakia (Zuzulova et al., 2015). Climate change affects agricultural production in various ways. First of all, environmental conditions will be completely different to what they are nowadays. According to the A1B greenhouse gases SRES scenario of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the mean air temperature is projected to be 3.1°C higher in 2071–2100 in contrast to 1961–1990 climate normal in Nitra (southwest of Slovakia) and 3.2°C higher for the same reference periods in Milhostov (southeast of Slovakia). These air temperature conditions will prolong the vegetation period with an earlier start and later finish that might cause the crop to be damaged by frost in the beginning of vegetation period, for instance (Halenka, 2006). On the other hand, increasing concentrations of greenhouse gases might have various effects on crops and their yields and biomass production. If the concentrations of CO₂ increase twofold to 660 ppm, the biomass production of C3 plants (for example: wheat and barley) will be 41 % higher, in the case of C4 plants, such as corn, the production will be higher by 22 %. Nevertheless, this is limited by air temperature and sufficient levels of soil moisture, therefore

%. Сва ова предвиђања, ипак, морају узети у обзир и друге ограничавајуће факторе као што су температура ваздуха и влажност тла који својим дјеловањем могу утицати на смањење производње биомасе биљака и поред повећане концентрације CO_2 у природним условима (Pooster, 1993).

plants might not be capable of benefiting from higher concentration of CO_2 in natural conditions (Pooster, 1993).

ПОДАЦИ И МЕТОДЕ

DATA AND METHODS

Подручје проучавања

Study area

У сврху истраживања изабрали смо двије локације: Нитра–Долна Маланта у западној Словачкој и Милхостов у источној Словачкој. Наведене локације смјештене су у два најпродуктивнија пољопривредна региона Словачке – у Дунавској низији (Нитра) и Источној словачкој низији (Милхостов), при чему оба наведена простора припадају Великој мађарској равници. Географске координате Нитре су $48^{\circ}17'$ с. г. ш, $18^{\circ}08'$ и. г. д. док надморска висина износи 135 m, док је Милхостов позициониран на $48^{\circ}55'$ с. г. ш. и $21^{\circ}69'$ и. г. д. и на 102 m надморске висине.

For this paper, we chose two sample locations with topsoil: Nitra–Dolna Malanta in western Slovakia and Milhostov in eastern Slovakia region (Fig. 1). These subjects are located in two of the most productive agricultural regions in Slovakia – Danubian Lowland (Nitra) and Eastern Slovak Lowland (Milhostov), both belonging to Great Hungarian Plains. GPS coordinates are $48^{\circ}17'$ latitude, $18^{\circ}08'$ longitude with altitude of 135 m in Nitra–Dolna Malanta and $48^{\circ}55'$ latitude, $21^{\circ}69'$ longitude with altitude of 102 m in Milhostov.



Сл. 1. Географски положај изучаваног простора
Fig. 1. Geographic location of study area

Daisy модел

Процјена утицаја климатских промјена на пољопривредну производњу извршена је помоћу моделовања серијом симулација за период до 2100. године. Модел Daisy представља усјев–вријеме тип модела који узима у обзир процесе трансформације и кретања воде, енергије, угљеника, азота и пестицида, како на површини тла, тако и у тлу. Процес моделовања заснива се на развоју и валидацији математичких модела за симулацију развоја усјева, циклуса кретања воде и азота у процесу пољопривредне производње и тла у односу на различите стратегије и управљање земљиштем. Симулације садрже податке о производњи усјева, кретању количине азота и величини евапотранспирације за одређене пољопривредне културе (Hansen et al., 1990). Овај модел захтјева улазну групу података који треба да представљају стварне услове средине (на примјер, временски услови, управљање земљиштем и подаци о земљишту) да би се могла покренути симулација. У неким случајевима, модел је способан да функционише и у случајевима када су подаци непотпуни. Недостатак података настоји се надокнадити путем деривације из информација које су доступне. Захтјев за врстом и количином ових почетних података зависи од очекиваног нивоа анализе Daisy модела (Abrahamsen, 2016).

Параметризација

За потребе истраживања креирана је посебна скрипта са улазним подацима која је садржавала три основне групе података – податке о времену, тлу, води и управљању земљиштем засађеним кукурузом. У истраживању смо користили два типа података о времену у распону од 30 година за сваку групу:

1. мјерени подаци означени екстензијом .dwf (Daisy Weather File) укључивали су просјечне дневне вриједности климатских елемената (прикупљене од Словачког хидрометеоролошког института) за

Model Daisy

The impact of climate change on agricultural production was evaluated by the model in a series of simulations to 2100. The Daisy model is a crop–weather model that includes transformation and transportation processes of water, energy, carbon, nitrogen and pesticides, all of this below and above ground. This is based on the development and validation of mathematical models for crop simulation, water and nitrogen cycle in agriculture and soil with respect to different land management and strategies. Simulations contain a production data, nitrogen flow and evapotranspiration rate for agricultural crops (Hansen et al., 1990). The model requires entry dataset that represent real environmental conditions (for example weather, land management and soil data) in order to launch the simulation. In some cases, it is capable of working in the absence of some data. In this case, the model tries to derive the respective data from available content. The input requirements depend on the expected output level of the Daisy model (Abrahamsen, 2011).

Parameterisation

We created special text log (script) files with entry dataset in three main data groups, which contained information about weather, soil, ground water and land management for maize. In this study, we used two types of weather data in climate normals with 30-year long period for each:

1. measured data represented by .dwf (Daisy Weather File) files included weather information (produced by Slovak Hydrometeorological Institute) in daily steps for Nitra–Veľké Janíkovce and Milhostov weather stations for the 1961–

Нитру, Велике Јаниковце и Милхостов у периоду 1961–1990. године. Фајлови са подацима укључивали су податке и о локацијама станица, надморској висини, опште информације о условима у којима је вршено мјерење (2 m изнад тла), временске интервале мјерења и садржај азота у атмосфери. Ове .dwf датотеке садржавале су просјечне дневне температуре ваздуха, њихове максимуме и минимуме, глобалну радијацију, брзину вјетра, релативну влажност ваздуха и дневну количину падавина.

2. симулирани експериментални подаци из базе података програма ProclimDB дефинисани моделом опште циркулације ARPEGE према условима A1B SRES сценарија. Подаци су обрађени за периоде 1961–1990., 2021–2050. и 2071–2100. године за обје истраживане локације (мрежа 10x10 km). Подаци у овој групи садржавали су такође и вриједности просјечне дневне температуре ваздуха, њихове максимуме и минимуме, глобалну радијацију, брзину вјетра, релативну влажност ваздуха и дневне количине падавина. Укупни подаци су пребачени у .dwf датотеке за сваки од наведених периода. Анализирано је и трајање вегетационих периода на основу података о времену, при чему је за почетак вегетационог периода узиман датум када је просјечна дневна температура пет узастопних дана била бар 10.0°C. Подаци о тлу су добијени на основу теренског рада у сарадњи са Словачким пољопривредним универзитетом у Нитри, у току којег су урађене анализе тла у Долној Маланти и Милхостову. Датотека са овим подацима садржавала је дубину земљишних хоризоната, механички састав земљишта и ниво подземних вода (Сл. 2).

1990 periods climates normal. These files were comprised from GPS locations of the stations, altitude, general information about the measuring conditions (2 m above ground level), time interval of measurement and atmospheric nitrogen deposition. In .dwf we used data on: daily mean air temperature, max and min air temperature, global radiation, wind velocity, relative humidity and daily precipitation.

2. simulated experimental data were the outputs from database software ProclimDB defined by general circulation model ARPEGE in condition of A1B SRES scenario. Data were processed for the 1961–1990, 2021–2050, 2071–2100 periods for both locations (grid 10x10 km). Data contains the information about daily mean air temperature, max and min air temperature, global radiation, wind velocity, relative humidity and daily precipitation. All of the data were transformed to .dwf files for each period. The duration of the vegetation period was analysed and evaluated from weather data, when the beginning of the vegetation period (and growing season) was considered as a period with an average temperature of 10.0°C (and 5.0°C) for 5 consecutive days. The soil data had an experimental basis (field experiments realized by co-operating departments at Slovak University of Agriculture in Nitra) from soil analyses in Dolna Malanta and Milhostov. The soil file contained information about soil horizons depth, fractions of soil and their ratio, ground water depth as shown in Fig. 2.

```
;; Milhostov
(defhorizon "Treb FLi A" default
  (clay 0.39 []) (silt 0.56 []) (sand 0.05 [])
  (humus 0.029 [])
  (C_per_N 10 [g C/g N])
  (dry_bulk_density 1.34 [g/cm^3]))
(defhorizon "Treb FLi B" default
  (clay 0.41 []) (silt 0.52 []) (sand 0.07 [])
  (humus 0.015 [])
  (C_per_N 11 [g C/g N])
  (dry_bulk_density 1.44 [g/cm^3]))
(defhorizon "Treb FLi C" default
  (clay 0.46 []) (silt 0.46 []) (sand 0.08 [])
  (humus 0.013 [])
  (C_per_N 11 [g C/g N])
  (dry_bulk_density 1.42 [g/cm^3]))
(defhorizon "Treb FLi S" default
  (clay 0.30 []) (silt 0.52 []) (sand 0.18 [])
  (humus 0.002 [])
  (C_per_N 11 [g C/g N])
  (dry_bulk_density 1.45 [g/cm^3]))

;; podne profily
(defcolumn "NR HMz" default
  (OrganicMatter
    (init (input 1860 [kg C/ha/y])
      (root 900 [kg C/ha/y])
      (background_mineralization 55 [kg N/ha/y])
      (end -30 [cm])))
  (Soil (MaxRootingDepth 120 [cm])
    (horizons ( -33 [cm] "NR HMz A1")
      ( -76 [cm] "NR HMz Bt")
      ( -95 [cm] "NR HMz Bt/C")
      ( -400 [cm] "NR HMz C"))))
  (Groundwater deep))
```

Сл. 2. Скрипта података о земљишту за подручје Нитра–Долна Маланта и Милхостов

Fig. 2. Soil data script for Nitra-Dolna Malanta and Milhostov

Податке о управљању земљиштем сачињавале су информације о плодореду, орању, сјетви, ђубриву и жетви. Ова датотека садржи и дефинисање периода „почетног загријавања“ чија је функција била минимизација неправилности које се могу појавити усљед почетних услова у којима се налазило тло – на примјер, земљиште са различитим плодоредом у годинама које нису обухваћене подацима. Овај период односио се на сљедеће усјеве: кукуруз (*Zea mays* L.) сорте Evelina, грашак (*Pisum sativum*), озима пшеница (*Triticum aestivum*), јари јечам (*Hordeum vulgare*) који је засијан на пољу луцерке (*Medicago sativa*) (Takac & Siska, 2011). У сљедећем кораку (званом “NAOSTRO”) у датотеку смо унијели плодоред који је установљен на експерименталном пољу у Долној Маланти (у сарадњи са Факултетом за агробиологију и ресурсе хране Словачког пољопривредног универзитета у Нитри). Плодоред се састојао од усјева: кукуруза (*Zea mays* L. сорте Evelina), озиме пшенице (*Triticum*

Land management data was information about crop rotation, plowing, sowing, fertilizing and harvesting. In the file, there was a defined warming-up period that was used for minimization of irregularities due to initial soil condition (land with a different crop rotation in previous years). The warming-up period consisted of the following crops: maize (*Zea mays* L.) Evelina variety, pea (*Pisum sativum*), winter wheat (*Triticum aestivum*), spring barley (*Hordeum vulgare*) with undersowing of lucerne (*Medicago sativa*) (Takac & Siska, 2011). In the next step (called “NAOSTRO”) we set up the same crop rotation as at the experimental field in Dolna Malanta (provided by Faculty of Agrobiolology and Food Resources at Slovak University of Agriculture in Nitra) to the file. The crop rotation included the following crops: maize (*Zea mays* L.) Evelina variety, winter wheat (*Triticum aestivum*) and spring barley (*Hordeum vulgare*). The crop rotation

aestivum) и јарог јечма (*Hordeum vulgare*). Овај плодоред укључен је у три различите симулације у циљу покривања свих усјева у свакој години у оквиру периода од 30 година. У датотеку је унесен и слједећи календар радних активности на узгоју кукуруза: припрема тла за сјетву која је одређена за крај априла (28.04), предсјетвено ђубрење тла азотним ђубривом (30 kg/ha) (11.03) и ђубрење амонијум нитратом (100 kg/ha) за вријеме вегетационог периода средином јуна (13.06). Берба је одређена за почетак октобра (07.10.).

Валидација

Резултати мјерења у периоду 1961–1991. године коришћени су за валидацију резултата нашег модела. Резултати моделовања засновани на измјереним подацима о времену Словачког хидрометеоролошког института и експерименталним подацима ARPEGE-а, потом су упоређени са подацима о приносима Словачког завода за статистику у том периоду. Коефицијент варијације скупа података износио је 0.20 (20 %), а скупови података показивали су исти тренд (тренд раста) током година. Ипак, подаци Завода за статистику о просјечним приносима били су и до 40 % нижи од резултата добијених моделовањем. Ова разлика настала је усљед различитих начина располагања земљиштем током наведеног периода – сјетвом различитих сорти кукуруза, али и чињеницом да подаци Завода за статистику представљају регионални просјек док су се резултати моделовања односили на специфичне локације Нитре и Милхостова.

РЕЗУЛТАТИ

На основу проведених симулација, урађене су процјене за периоде 2021–2050. и 2071–2100. године за простор Нитре–Долна Маланте и Милхостова. Резултати Daisy модела указују на смањење приноса претежно узроковано екстремним временским условима – високом температуром ваздуха комбинованом са

was included in three different simulations to cover all crops in each year within a 30-year dataset. We set a framework of activities with maize to the file in the following sequence: preparation of maize's seedbed that was defined at the end of April (4/28), fertilizing with a nitrogen fertilizer (30 kg/ha) in the pre-sowing phase (3/11) and ammonium nitrate fertilizer in the total volume of 100 kg/ha N during the vegetation period in the middle of June (6/13) and harvesting was set for the beginning of October (10/7).

Validation

We used 1961–1990 data for validation of our model. The model outputs, based on measured weather data (Slovak Hydrometeorological Institute) and ARPEGE experimental data, were compared with historical yields measured by Statistical Office of the Slovak Republic in this period. The coefficient of variation for dataset was 0.20 (20 %) and datasets showed the same trend (uptrend) during the years. However, the average yields (measured by Statistical Office) were by 40 % lower in comparison with model results. This was caused by different management during years, planting of different maize varieties and the fact that the data from the statistical office is regional average (model outputs are fixed to specific location: Nitra–Dolna Malanta and Milhostov).

RESULTS

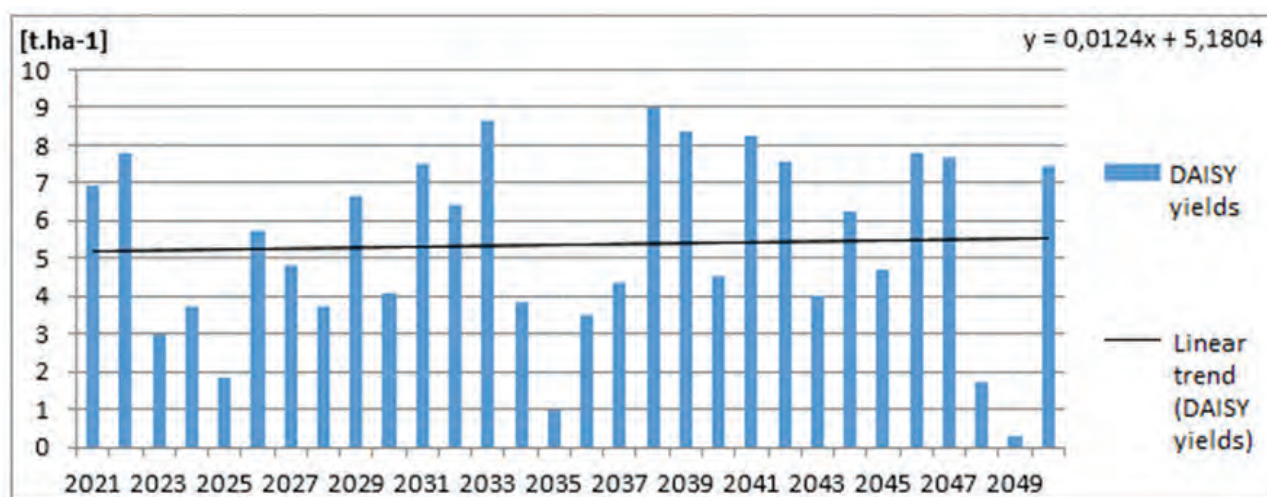
According to our simulations, we figured out an estimate for the 2021–2050 and 2071–2100 periods in Nitra–Dolna Malanta and Milhostov. The results from Daisy model suggest a decrease in grain yields mainly due to weather extremes – high air temperature combined with low precipitations that lead to

смањењем количине падавина што би довело до појаве суша, али и падавинских екстрема усљед јаких киша које могу изазвати бујичне поплаве у периоду клијања и развоја биљке.

Приноси су значајно мањи у годинама у којима се појављују екстремне вриједности климатских елемената, а сорте кукуруза нису у стању прилагодити се измијењеним климатским условима. Симулација извршена на основу ARPEGE климатских показатеља, показује да ће просјечни приноси на подручју Нитра–Долна Маланта у периоду 2021–2050. године износити 5.37 t/ha (Сл. 3) што представља повећање од 8 % у односу на приносе остварене у периоду 1960–1990. године.

drought and rainfall extremes from supercell, which could result in a flash flood in period of emergency and development.

The yields are significantly lower in the years affected by weather extremes and the maize variety could not adapt to changed climate conditions. The average grain yield was 5.37 t/ha for the 2021–2050 periods in Nitra–Dolna Malanta (Fig. 3) that represents an 8 % decrease in contrast to estimated yields in 1960–1990 climates normal based on ARPEGE climate data.



Сл. 3. Симулирани приноси кукуруза за подручје Нитра–Долна Маланта у периоду 2021–2050. године

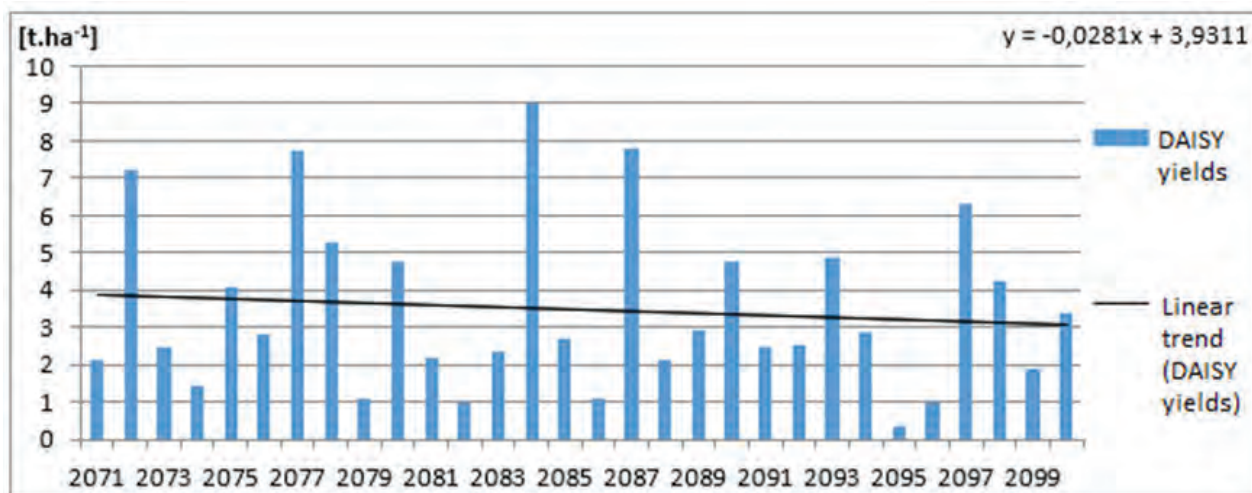
Fig. 3. The maize grain yields simulated for Nitra–Dolna Malanata in the 2021–2050 periods

На исти начин, на основу резултата Daisy модела, за подручје Нитра–Долна Маланта, детектовали смо и пад од 35% (просјечни принос 3.50 t/ha) за период 2071–2099. године (Сл. 4) у односу на период 1961–1990. године. На графикону се јасно могу уочити значајне разлике у кретањима приноса током појединих година наведеног периода. Подједнак узрок овим флукуацијама лежи у све чешћим појавама сушних и влажних година, екстремним временским приликама и посебно неједнакој дистрибуцији атмосферских падавина по мјесецима у периоду 2071–2099. године. Екстремно ниски приноси (само 0.5 t/

In the same way, we detected a decrease by 35% (average grain yield 3.50 t/ha) between 2071–2099 model Daisy results and 1961–1990 grain yields in Nitra–Dolna Malanta (Fig. 4). Production outages are observable in many years, which correspond to a high difference of values within the yields in 2071–2100. This is equally caused by the more frequent occurrences of wet and dry years, extreme weather, and especially an uneven distribution of atmospheric precipitation over the months during the 2071–2099 periods. Extremely low grain production (only 0.5 t/ha) in 2095 is caused

ha) за 2095. годину проузроковани су сушом. Симулација на основу ARPEGE модела показује за наведену годину вриједност падавина од 480 mm и просјечну годишњу температуру вишу од 13°C.

by drought. The ARPEGE model simulated precipitation for 2095 at only 480 mm and an average temperature above 13°C.

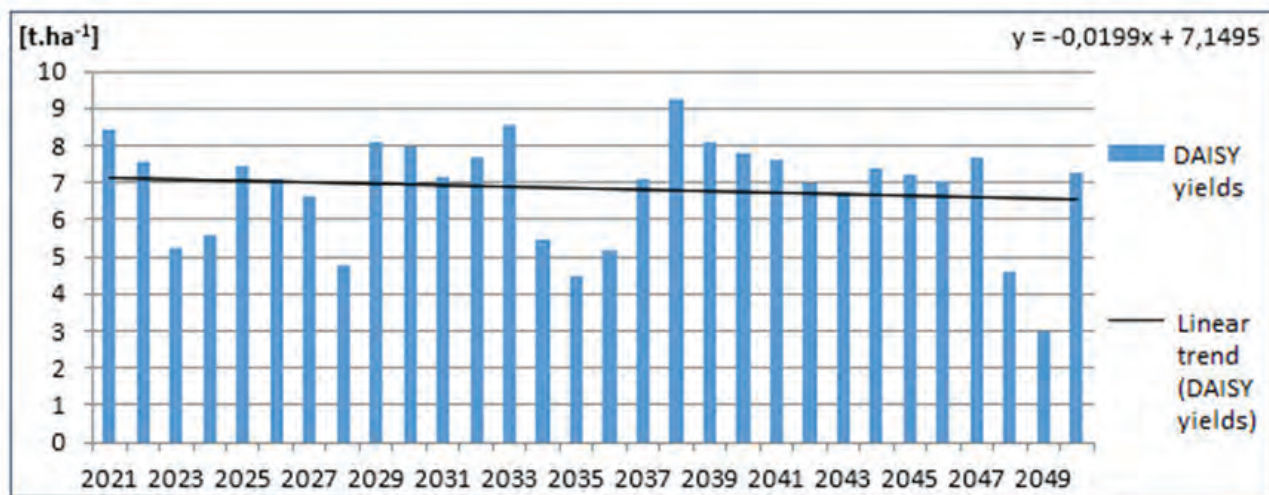


Сл. 4. Симулирани приноси кукуруза за подручје Нитра–Долна Маланта у периоду 2071–2100. године

Fig. 4. The maize grain yields simulated for Nitra–Dolna Malanata in the 2071–2100 periods

За подручје Милхостова, симулација Daisy модела показала је смањење приноса кукуруза за 3.5% ако упоредимо резултате модела за период 1961–1990. године са подацима базираним на ARPEGE за период 2021–2050. године на локацији Милхостов. Укупни просјечни приноси зрна кукуруза у Милхостову (Сл. 5) за период 2021–2050. године износе 6.84 t/ha, што је за готово 1.5 t/ha више него у Нитри. Ипак, укупни тренд за период 2021–2050. године је опадајући. Смањење приноса није толико значајно као на подручју Нитра–Долна Маланте, али су поједине изразито лоше године (попут на примјер 2049. године исто као и у Нитра–Долна Маланти) узроковане сушом (ARPEGE показује само 500 mm падавина и вишу просјечну годишњу температуру – 13°C за Нитру и 12°C за Милхостов).

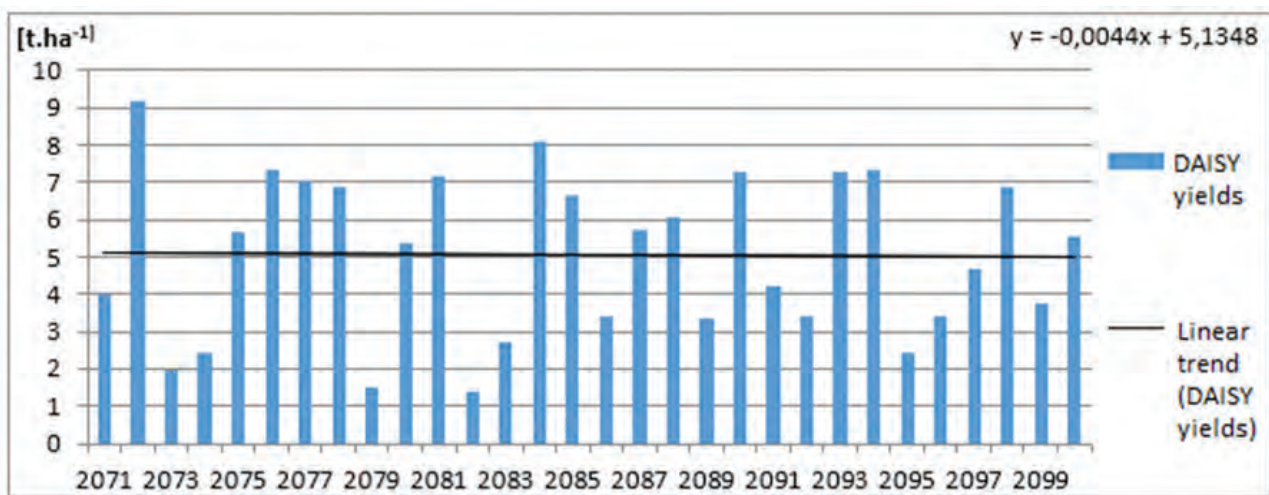
The Daisy model showed a decrease in yields of maize grain by 3.5 % compared to model results in the 1961–1990 periods with data based on ARPEGE in the 2021–2050 periods in Milhostov location. The total average production of grain in the Milhostov location (Fig. 5) in the 2021–2050 periods reached 6.84 t/ha, which is almost about 1.5 t/ha more than in Nitra–Dolna Malanta. However, the overall trend was declining during the 2021–2050 periods as well. Production failures were not so serious as in Nitra–Dolna Malanta location but weak years (for example 2049 – the same as in Nitra–Dolna Malanta) were due to drought in locations (ARPEGE model of atmospheric precipitation simulated only 500 mm per year and higher annual mean air temperature – 13°C in Nitra and 12°C for Milhostov).



Сл. 5. Симулирани приноси кукуруза за подручје Милхостова у периоду 2021–2050. године.
Fig. 5. The maize grain yields simulated for Milhostov in the 2021–2050 periods

Пројекције показују просјечни принос од 5.07 t/ha у Милхостову у периоду 2071–2100. године што представља смањење за 26 % у поређењу са периодом 2021–2050. године (Сл. 6).

The model expected decreasing of yields by 26 % in the 2071–2100 periods compared to the 2021–2050 periods with total yield 5.07 t/ha in Milhostov (Fig. 6). The outages were more frequent than in the previous period in the light of changing climate conditions.



Сл. 6. Симулирани приноси кукуруза за подручје Милхостова у периоду 2071–2100. године.
Fig. 6. The maize grain yields simulated for Milhostov in the 2071–2100 periods

ДИСКУСИЈА

Модел предвиђа значајан опадајући тренд на обе истраживане локације. Прилагођавање ће, тако, бити непходно у циљу одржавања привредног развоја. Смањење приноса може довести до значајног повећања цијена пољопривредних производа. Једна од студија показала је да се до 2050. године очекује пораст цијена за 45 % (Trnka, 2015). Аграрна производња неће бити угрожена само дугорочним постепеним промјенама климе, него и екстремним временским појавама попут кишних олуја, изненадних поплава, орканских вјетрова и суше. Промјене, такође, могу изазвати и убрзано ширење инвазивних врста штеточина или експанзију већ постојећих, што може значајно утицати на приносе различитих сорти кукуруза. Предности повећања концентрације угљен-диоксида, описане у уводу рада, поништавају се озбиљним утицајем екстремних временских услова, што су показали и резултати моделовања. Различите студије бавиле су се евалуацијом утицаја климатских промјена на производни потенцијал. AquaCrop и STICS модели симулирали су (према сценарију RCP4.5 – еквивалент А1В сценарију) за подручје Португала смањење производње за 17 % до 2080. године у односу на период 1986–2005. године (Yang et al., 2017). Слични резултати смањења приноса добијени су и у симулацијама за Швајцарску, гдје је истраживан утицај климатских промјена до 2050. године на три локације (Holkämper et al., 2015). Температура ваздуха на наведеним подручјима слична је оној у Нитри и Милхостову, док је годишња количина падавина већа. Према резултатима добијеним помоћу модела CropSyst, приноси кукуруза износили су само 2–3 t/ha у зависности од временских услова на појединим локацијама. Ово истраживање показало је да ће територија Швајцарске вјероватно бити погодна за узгој кукуруза, али под условом да се до 2050. године изврши адаптација на пројектоване промјене (Holkämper et al., 2015). На резултате наше студије, међутим, утицао је и различит плодоред на експерименталним засадама који

DISCUSSION

The model predicted a significant decreasing trend in both locations. Thus, the adaptations will be necessary for securing the economic value. Outages in crop production could lead to a higher price of agricultural commodities. One of the studies expected an increase in prices by 45 % by 2050 (Trnka, 2015). The production will not only be affected by changes in long term climate normal but also by severe weather, for instance heavy rains, flash floods, high wind velocity and drought. Changes could lead to a spread of invasive pests or further expansion of existing species, which can significantly affect grain yields of maize varieties. The advantages of increasing concentrations of carbon dioxide for plants, described in the introduction, is replaced by serious impacts of weather conditions (severe weather) which is also shown in the model's results.

Many studies evaluated the effects of climate change on the productive potential. AquaCrop and STICS models simulated (scenario RCP 4.5 – eq. A1B) production decreased by 17 % by 2080 in Portugal in comparison to the 1986–2005 average (Yang et al., 2017). The same assumption of decreasing yields is also simulated in Switzerland (Holkämper et al., 2015). The impact of climate change was evaluated at three locations to 2050. The sites were similar in air temperature but with a higher precipitation sum compared to Nitra and Milhostov. According to CropSyst, the maize yield was only 2–3 t/ha depending on the weather conditions of locations. The study argues that the territory of Switzerland will probably be suitable for maize production but it will be necessary to use adaptations by 2050 (Holkämper et al., 2015).

However, results of our study were influenced by different rotations provided on the experimental fields in comparison to real production and field conditions. The results should not be shown as predictions, but only for trendsetting purposes.

се разликује у односу на стварну производњу у реалним условима. Добијени резултати, према томе, не треба да буду схваћени као чврста предвиђања, него је њихов циљ превасходно уочавање трендова.

ЗАКЉУЧАК

Проведено истраживање показало је да повећање концентрације CO_2 у атмосфери није имало позитиван учинак на приносе кукуруза. Усјеви попут кукуруза угрожени су климатским промјенама и екстремним временским приликама. Трендови приноса показују пад у свим анализираним периодима како на подручју Нитра–Долна Маланте, тако и у Милхостову. Симулација Daisy модела за подручје Нитре показала је смањење производње за 8 % у периоду 2021–2050. године у односу на период 1961–1990. године, док је у периоду 2071–2100. године то смањење износило 35 %. Слично је утврђено и за Милхостов – приноси су били мањи за 3.5 % између периода 1961–1990. и 2021–2050. године, односно за 26 % у поређењу са периодом 2071–2100. године. Без спровођења мјера адаптације као што су наводњавање и циљано ђубрење, климатске промјене ће имати погубан утицај на производњу кукуруза.

Захвалница: Овај рад је настао уз подршку гранта у оквиру пројекта VEGA 1/0767/17: Регионални утицаји климатских промјена на екосистемске услуге у земљама узгајивачима грожђа – промјена функција у адаптивном потенцијалу.

CONCLUSION

We showed that the increasing concentration of CO_2 in the atmosphere did not have a positive effect on the maize yields in simulations. The crops such as maize were threatened by climate change and severe weather. The yield trends were decreasing in each period in Nitra–Dolna Malanta and Milhostov. Model Daisy simulated the production output lower by 8 % between 1961–1990 and 2021–2050 and by 35 % compared to 2071–2100 in Nitra–Dolna Malanta. Similarly, the production output was lower by 3.5 % between 1961–1990 and 2021–2050 and by 26 % compared to 2071–2100 in Milhostov. Without adaptations such as irrigation and targeted fertilizing for the most productive regions with topsoil, the climate changes are expected to have an adverse impact on the maize production.

Acknowledgement: This paper was made with a support of grant project VEGA 1/0767/17: Response of ecosystem services of grape growing country to climate change regional impact – change of functions to adaptation potential.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Abrahamsen, P. (2011). *Daisy Tutorial*. Distributed with Daisy.
- Halenka, T. (2006). Project CECILIA. Retrieved July 1, 2018 from http://www.cecilia-eu.org/Y3_SUM.pdf
- Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E. & Svendsen, E. (1990). *Daisy – Soil Plant Atmosphere System Model*. Kobenhavn: Miljøministeriet Miljøstyrelsen.
- Holkämper, A., Calanca, P., Honti, M. & Fuhrer, J. (2015). Projecting Climate Change Impacts on Grain Maize Based on Three Different Crop Model Approaches. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214–215, 219–230.
- Ministry of Environment of the Slovak Republic (2017). *The Seventh National Communication of the Slovak Republic on Climate Change*. Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Republic.
- Pooster, H. (1993). Interspecific Variations in the Growth Response of Plants to an Elevated Ambient CO₂ Concentrations. *Vegetatio*, 104/105, 77–97.
- Takac, J. & Siska, B. (2011). *Kalibrácia a validácia modelu DAISY pre podmienky Slovenska*. Bratislava: Vedecké práce VUPOP.
- Trnka, M. (2015). *Změna klimatu*. Brno: Mendelova univerzita v Brně.
- Yang, C. H., Fraga, H., Van Ieperen, W. & Santos, J. A. (2017). Assessment of Irrigated Maize Yield Response to Climate Change Scenarios in Portugal. *Agricultural Water Management*, 184, 178–190.
- Zuzulova, V., Vavrovic, J. & Siska, B. (2015). Use of PDSI for the Identification of Drought in the Region of Slovakia. In J. Rožnovský & T. Litschmann (eds.), *Závlahy a jejich perspektiva*. Praha: Česká bioklimatologická společnost.