

University of Sopron

Faculty of Forestry

Theses of doctoral (PhD) dissertation

Climate change impacts on water resources
in the context of land cover types

Péter Csáki

Sopron

2019

Doctoral school: Roth Gyula Doctoral School of Forestry and
Wildlife Management Sciences

Leader: Prof. Dr. Sándor Faragó

Program: Ecology and Diversity of Forest
Ecosystems

Leader: Prof. Dr. Csaba Mátyás

Supervisor: Prof. Dr. Zoltán Gribovszki

Introduction

In Hungary, on a long-term basis, about 90% of the precipitation evaporates and only 10% goes to streams, soil and groundwater storage. The long-term water balance of a given area can be analyzed by quantifying the evapotranspiration and the runoff.

Due to climate change, increasing average temperature and decreasing summer precipitation are projected for Hungary. This will probably lead to the increase of evapotranspiration and decrease of runoff. As a result, less water will be available for supplying agriculture (irrigation). In the case of surface water resources, a significant decrease is expected, which would then lead to extremely negative impacts on the water supply of Lake Balaton (the largest shallow lake in Central Europe). Furthermore, a part of the groundwater storages may also be endangered.

Gathering information on the local or regional impacts of climate change on the hydrological processes is becoming more important. Modelling and evaluating the expected changes in water resources over different time scales can provide several sectors (e.g. water management agriculture, forestry) with useful information for making long-term plans or developing adaptation strategies.

Objectives

Previously, data only from point measurements were available for the comparison of water balance of different land cover types. The conventional evapotranspiration estimating techniques (eddy covariance, Bowen-ratio, lysimeter methods, catchment water balance equation, etc.) do not provide information about the spatial variability within a region of interest. The only possibility of estimating evapotranspiration over areas with mixed landscape units is remote sensing, which allows to obtain information about spatial and temporal variability.

One objective of the research is to devise a technique which can be used for water balance analysis of different land cover types, by using remote sensing-based CREMAP evapotranspiration maps of 1 km² spatial resolution.

Forest management practice in Hungary cannot effectively use 1 km² spatial resolutions. Thus, another objective is the development of a vegetation index-based evapotranspiration statistical downscaling method.

The third objective is to create a GIS-based, long-term climate-runoff model, as well as model calibration and validation for selected study areas. When applying the model with regional climate model data (temperature, precipitation), spatially distributed hydrological projections could be performed.

Theses of the dissertation

1. I devised a technique for water balance analysis of different land cover types in a spatially distributed way [1, 2].

The CORINE Land Cover 2006 vector database was used for detailed analysis of the spatially distributed (1 km² resolution) evapotranspiration and runoff maps. I separated five land cover types for the analysis: “Artificial surfaces”, “Agricultural areas”, “Forest and semi natural areas”, “Wetlands”, “Water bodies”. The hydrological maps have a 1 km² resolution while the land cover map has a higher resolution, so a number of evapotranspiration and runoff pixels would be calculated into more than one land cover types, causing errors in the analysis. Thus, only pixels with at least 90% (0.9 km²) covered by the same land cover type (“homogeneous pixels”) were taken into account.

2. I developed a process for downscaling spatially distributed evapotranspiration maps using remote sensing-based vegetation indices [3, 4].

To increase the resolution of the CREMAP ET from 1 km² to 250*250 m, the MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) was selected for determining the regression. (The method can also be used with other vegetation indices, e.g. leaf area index, enhanced vegetation index.) I employed and presented the downscaling process during a drier and warmer period (May-Oct. 2003) and a wetter and colder period (May-Oct.

2005). Using the downscaled data (250*250 m resolution) I compared the evapotranspiration of different forest stand types. Only the pixels consisting of one forest stand type in the total area (250*250 m = 6.25 ha) were included in the analysis (“homogeneous pixels”).

3. I created a GIS-based climate-runoff model which can be used to perform long-term hydrological projections [5, 6].

I also examined the climate sensitivity of the model, and validated it, using measured data [7, 8].

The model is a further development of the Nováky-type climate-runoff calculation method. It employs two parameter maps, aggregating all of the factors affecting the water balance, the most dominant being land cover. For the preparation of the parameter maps evapotranspiration, temperature and precipitation maps are required in the same spatial resolution. For areas without surplus water a Budyko-type parameter (α) was calculated. For the surplus-water-affected areas, a new parameter (the ratio of actual evapotranspiration to pan-evaporation) was introduced (β). The parameter maps can be used for evaluating long-term evapotranspiration and runoff in a spatially distributed manner, for which only temperature and precipitation are required.

I also examined the climate sensitivity of the α parameter and validated the model for the Zala watershed (four sub-basins), using historical temperature, precipitation and streamflow measurements. According to the results the α parameter is not sensitive to climatic factors. The β parameter

was calculated only for a few pixels, so the sensitivity of this parameter could not be examined on a sub-basin level. During validation the evapotranspiration values were calculated from the simplified water balance equation (with the measured data) and also were estimated by the model (with the α and β parameter maps). Then, I determined the difference (bias) between the calculated and the modelled values. For the total examined area the average of the differences was only 1.2%.

4. Using the validated long-term climate-runoff model I performed hydrological projections for the 21st century. I analyzed the projections for Hungary, for land cover types and for selected study areas [9, 10].

For estimating future evapotranspiration and runoff, besides the prepared Budyko-type α and β parameter maps, temperature and precipitation data were required. These were obtained from 12 regional climate model (RCM) simulations employing the SRES A1B emission scenario. I made estimates for three future time periods (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) and determined the expected changes relative to a reference period (1981–2010).

I used the projections to compare the water balance of different land cover types in Hungary. I also analyzed the expected changes for selected study areas: Zala watershed, Bácsbokodi-Kígyós watershed, Inner-Somogy, Sandridge of the Danube-Tisza Interfluve and Nyírség.

The developed methods (water balance analysis of different land cover types, evapotranspiration downscaling) and the climate-runoff model obviously have uncertainties and limits (e.g. the model ignores the land cover change in the future and it is not able to make seasonal projections). Despite this, the methods provide a good basis for spatially distributed hydrological examinations. In the future, more reliable remote sensing-based data with higher spatial resolution may be available, which could help in further improvement of the methods resulted in more accurate analyses and projections.

Publications related to the topic of the dissertation

Articles in reviewed journals

Csáki, P., Szinetár, M.M., Herceg, A., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2018. Climate change impacts on the water balance - case studies in Hungarian watersheds. *Időjárás* 122 (1), pp. 81–99. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2018.1.6> [10]

Szinetár, M.M., Csáki, P., Keve, G., Gribovszki, Z., 2018. Változó klimatikus viszonyok hatásai a vízháztartási mérlegre - Esettanulmány a Bácsbokodi-Kígyós vízgyűjtőjén. *Hidrologiai Közlöny* 98 (1), pp. 50-59.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Csóka, G., Czimmer, K., Gribovszki, Z., 2014. Hydrological impacts of various land cover types in the context of climate change for Zala County. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 10 (2), pp. 117–131. <https://doi.org/10.2478/aslh-2014-0009> [5]

Csáki, P., Kalicz, P., Csóka, G., Brolly, G.B., Czimber, K., Gribovszki, Z., 2014. Különböző felszínborítások hidrológiai hatásai a klímaváltozás tükrében Zala megye példáján. Erdészettudományi Közlemények 4 (2), pp. 65-76. [6]

Book chapters

Gribovszki, Z., Csáki, P., Szinetár, M., 2019. Hydrological impacts of climate change on forests, in: Palocz-Andresen, M., Szalay, D., Gosztom, A., Sípos, L., Taligás, T. (Eds.): International Climate Protection. Springer, Cham, Switzerland. pp. 119-127.

Gribovszki, Z., Brolly, G.B., Czimber, K., Csáki, P., Csáfordi, P., Herceg, A., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Kucsara, M., Zagyvainé Kiss, K.A., 2014. A hidrológiai viszonyok jellemzése és megváltozása, in: Bidló, A., Király, A., Mátyás, Cs. (Eds.): Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. pp. 17-31.

Gribovszki, Z., Csáki, P., Herceg, A., 2014. Földhasználat változás visszacsatolás a klímára, hidrológiára, in: Bidló, A., Király, A., Mátyás, Cs. (Eds.): Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. pp. 175-179.

Articles in conference proceedings

Csáki, P., Czimber, K., Király, G., Kalicz, P., Zagyvainé Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2019. A CREMAP párolgástérkép leskálázása erdőállományok vízháztartásának vizsgálatához, in: Király, G., Facskó, F. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia, konferencia kiadvány. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 6 p. Megjelenés alatt. [4]

Csáki, P., Czimber, K., Király, G., Kalicz, P., Zagyvainé Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2019. Különböző erdőállományok vízfelhasználása az Alföldön, értékelés párolgástérképek alapján, in: Csiha, I., Csiha, S., Nagy, A. (Eds.): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét, Magyarország. 8 p.

Csáki, P., Kalicz, P., Peixoto Neto, A.M.L., Czimer, K., Gribovszki, Z., 2017. Water balance of different land cover types in Hungary, in: Kalicz, P., Hlavcova, K., Zagvyai-Kiss, K., Kochnova, S., Slezia, P., Széles, B., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: experiments, patterns and predictions. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 5 p. **[1]**

Csáki, P., Peixoto Neto, A.M.L., Zakota, T.Z., Czimer, K., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2017. Különböző felszínborítású területek vízháztartása 2000–2008 között, különös tekintettel az erdőkre, in: Bidló, A., Facskó, F. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 5 p. **[2]**

Csáki, P., Gyimóthy, K., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2015. Éghajlat-lefolyás modell kidolgozása a Zala vízgyűjtőjére, in: Bidló, A., Facskó, F. (Eds.): Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar V. Kari Tudományos Konferencia, konferencia kiadvány. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 5 p. **[7]**

Csáki, P., Gyimóthy, K., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2015. Development and validation of a climate-runoff model for the Zala River Basin, in: Gribovszki, Z., Hlavčová, K., Kalicz, P., Kohnová, S., Carr, G. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 7 p. **[8]**

Kisfaludi, B., Csáki, P., Primusz, P., Péterfalvi, J., Gribovszki, Z., 2015. Comparison of CREMAP and MODIS MOD16 evapotranspiration, in: Gribovszki, Z., Hlavčová, K., Kalicz, P., Kohnová, S., Carr, G. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: linking experiments and modelling in Carpathian drainage basins. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 6 p.

Csáki, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Kisfaludi, B., 2014. Spatially distributed analysis of the climatic water balance for Zala County (west-southwest Hungary), in: Kalicz, P., Hlavcova, K., Kohnova, S., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: confronting experiments and modeling in Carpathian drainage basins. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 9 p.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Gribovszki, Z., 2014. Aktuális párolgás térképek felhasználása térben osztott éghajlat lefolyás modellek készítésére Zala megye példáján, in: Bidló, A., Horváth, A., Szűcs, P. (Eds.): Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar IV. Kari Tudományos Konferencia, konferencia kiadvány. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 5 p.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2014. How is water balance affected by climate change? An example based on spatial data of Zala County (west-southwest Hungary), in: Polgár, A., Bazsó, T., Nagy, G., Gálos, B. (Eds.): Local and regional challenges of climate change adaptation and green technologies / A klímaváltozás helyi és regionális kihívásai, zöld technológiák. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, Magyarország. 7 p.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Gribovszki, Z., 2013. Various land cover types impact on water balance in Zala County, in: Kalicz, P., Gribovszki, Z., Hlavcová, K., Kohnová, S. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: experiments, modeling and predictions in Carpathian drainage basins. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. 12 p.

Conference abstracts

Csáki, P., Czimer K., Király, G., Kalicz, P., Zagyvai-Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2019. Vegetation index-based evapotranspiration downscaling for Hungary, in: Kalicz, P., Hlavcová, K., Kohnová, S, Rattayová, V., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: coupling field experiments and data assimilation into process understanding and modeling in carpathian basins. Abstracts of the conference. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Czimer, K., Király, G., Kalicz, P., Zagyvainé Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2019. A CREMAP párolgástérkép leskálázása erdőállományok vízháztartásának vizsgálatához, in: Facskó, F., Király, G. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia, a konferencia előadásainak és posztereinek kivonatai. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Gálos, B., Csáki, P., Gribovszki, Z., Kalicz, P., Zagyvai, G., Tiborc, V., Bartha, D., Hofmann, T., Visiné Rajczi, E., Balázs, P., 2019. Multidiszciplináris adatbázis és oktatási segédanyag fejlesztés komplex erdészeti klímahatás elemzések végzéséhez, in: Facskó, F., Király, G. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VII. Kari Tudományos Konferencia, a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonatai. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Czímber K., Király, G., Gálos, B., Kalicz, P., Zagyvai-Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2018. Spatially distributed evapotranspiration maps for forest management applications, in: Kalicz, P., Hlavcová, K., Kohnová, S., Rattayová, V., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: Field experiments and modelling in Carpathian basins. Abstracts of the conference. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Czímber K., Király, G., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2018. Downscaling of the CREMAP actual evapotranspiration map using MODIS NDVI data. In: 17th Biennial Conference, Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins, Innovative monitoring techniques and modelling approaches for analysing hydrological processes in small basins, Abstracts of the conference, Darmstadt, Germany. [3]

Csáki, P., Király, G., Czímber, K., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2018. Downscaling of the CREMAP actual evapotranspiration map for forest management applications. Geophysical Research Abstracts 20, Paper: EGU2018-13532, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Zagyvai, G., Horváth, A., Csáki, P., Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A., Tiborc, V., Bartha, D., Hofmann, T., Visi-Rajczi, E., Balázs, P., Bidló, A., Gálos, B., 2018. Estimating changes of potential natural forest community composition using multidisciplinary approach in Hungary. Geophysical Research Abstracts 20, Paper: EGU2018-6828-2, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Csáki, P., 2017. Water balance of forest and semi natural areas in Hungary (2000-2008). Geophysical Research Abstracts 19, Paper: EGU2017-885-1, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Csáki, P., Kalicz, P., Peixoto Neto, A.M.L., Czímber, K., Gribovszki, Z., 2017. Water balance of different land cover types in Hungary, in: Kalicz, P., Hlavcova, K., Zagyvai-Kiss, K.A., Kochnova,

S., Slezia, P., Széles, B., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: experiments, patterns and predictions. Abstracts of the conference. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Peixoto Neto, A.M.L., Bárdos, Zs., Czímber, K., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2017. Különböző felszínborítású területek vízháztartása 2000–2008 között, különös tekintettel az erdőkre, in: Bidló, A., Facskó, F. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia, a konferencia előadásainak és posztereinek kivonatai. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Szinetár, M.M., Herceg, A., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2017. Climate change impacts on the water balance – case studies in Hungarian watersheds, in: Kalicz, P. (Ed.): Water balance of small catchments in a changing climate, Abstracts of the Workshop, Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins and University of Sopron. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Gálos, B., Csáki, P., Gribovszki, Z., Kalicz, P., Tiborcz, V., Zagyvai, G., Bartha, D., Hofmann, T., Visi-Rajczi, E., Balázs, P., 2017. Multidisciplinary aspects for adaptation to climate extremes in forestry, in: Kalicz, P., Hlavcova, K., Zagyvai-Kiss, K.A., Kochnova, S., Slezia, P., Széles, B., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: experiments, patterns and predictions. Abstracts of the conference. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Gálos, B., Somogyi, Z., Csáki, P., Führer, E., Berki, I., Bidló, A., Czímber, K., 2017. Assessment of the robustness and uncertainty of climate projections applied for impact analysis and adaptation support in forestry, in: Wingfield, M.J. (Ed.): International Union of Forest Research Organisations - IUFRO, Interconnecting Forests, Science and People. Paper: IUFRO17-3888.

Gribovszki, Z., Csáki, P., Herceg, A., Kisfaludi, B., Kalicz, P., 2017. Hidrológiai viszonyok a változó klímában, fókuszban az erdők, in: Bidló, A., Facskó, F. (Eds.): Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia, a konferencia előadásainak és posztereinek kivonatai. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Kisfaludi, B., Csáki, P., Péterfalvi, J., Primusz, P., 2017. Comparison of two spatially distributed evapotranspiration mapping methods by months, in: Kalicz, P. (Ed.): Water balance of small catchments in a changing climate, Abstracts of the Workshop, Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins and University of Sopron. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Kisfaludi, B., Csáki, P., Péterfalvi, J., Primusz, P., 2017. Seasonal comparison of two spatially distributed evapotranspiration mapping methods. Geophysical Research Abstracts 19, Paper: EGU2017-13497, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Csáki, P., Herceg, A., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2016. A klímaváltozás hatása a vízmérlegre, esettanulmányok magyarországi vízgyűjtőkön, in: Szalai, S. (Ed.): 42. Meteorológiai Tudományos Napok: A vízgazdálkodás meteorológiai vonatkozásai. MTA Földtudományok Osztálya, Budapest, Magyarország.

Csáki, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2016. Water balance projections for Hungarian sand regions, in: Kalicz, P., Hlavcová, K., Kohnová, S., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: from plot to regional scales - monitoring catchment processes and hydrological modelling. Abstracts of the conference. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2016. Spatially distributed evapotranspiration and recharge estimation for sand regions of Hungary in the context of climate change. Geophysical Research Abstracts 18, Paper: EGU2016-17957, EGU General Assembly, Vienna, Austria. **[9]**

Gálos, B., Ostler, W.U., Csáki, P., Bidló, A., Panferov, O., 2016. Is “the perfect model” really needed? - Analysis of the quality level of climate information necessary for supporting adaptation in agriculture and forestry. Geophysical Research Abstracts 18, Paper: EGU2016-5075, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Kisfaludi, B., Csáki, P., Primusz, P., Péterfalvi, J., Gribovszki, Z., 2016. Seasonal comparison of two MODIS-data based evapotranspiration estimation methods, in: Kalicz, P., Hlavcová, K., Kohnová, S., Gribovszki, Z. (Eds.): HydroCarpath International Conference, Catchment processes in regional hydrology: from plot to regional scales - monitoring catchment processes

and hydrological modelling. Abstracts of the conference. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Gyimóthy, K., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2015. Éghajlat-lefolyás modell kidolgozása a Zala vízgyűjtőjére, in: Bidló, A., Facskó, F. (Eds.): Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar V. Kari Tudományos Konferencia, a konferencia előadásainak és posztereinek kivonatai. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Csáki, P., Gyimóthy, K., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2015. Development of a climate-runoff model for the catchment of Zala River. Geophysical Research Abstracts 17, Paper: EGU2015-11107, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Gálos, B. Czimer, K., Gribovszki, Z., Bidló, A., Csáki, P., Kalicz, P., Hänsler, A., Jacob, D., Mátyás, Cs., 2015. Climate change information supporting adaptation in forestry and agriculture – results and challenges. Geophysical Research Abstracts 17, Paper: EGU2015-11681, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Csáki, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Kalicz, P., Kisfaludi, B., Gribovszki, Z., 2014. Climate change impact on various land cover types water balance in South Western Hungary. Geophysical Research Abstracts 16, Paper: EGU2014-14993, EGU General Assembly, Vienna, Austria.

Csáki, P., Kalicz, P., Brolly, G.B., Czimer, K., Gribovszki, Z., 2013. Aktuális párolgás térképek felhasználása térben osztott éghajlat lefolyás modellek készítésére Zala megye példáján, in: Bidló, A., Szabó, Z. (Eds.): Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar IV. Kari Tudományos Konferencia, konferencia előadásainak és posztereinek kivonatai. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország.

Oral presentations without proceedings

Csáki, P., Czimer, K., Király, G., Kalicz, P., Zagyvai-Kiss, K.A., Gribovszki, Z., 2019. NDVI-based downscaling of the CREMAP actual evapotranspiration maps. International Conference on Sustainable Economy and Agriculture. Kaposvári Egyetem, Kaposvár, Hungary. 2019.11.13-14.

Csáki, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2018. Water balance of agroforestry systems using remote sensing-based applications. International Workshop on modeling and simulation based analysis

and decision support of agro-forestry processes, as a complex example system within Water - Food - Energy - Ecosystem Nexus. Kaposvári Egyetem, Kaposvár, Magyarország, 2018.06.07-08.

Csáki P., Herceg, A., Szinetár, M.M., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2018. Climate change impacts on the water balance – comparing two hydrological models with different time steps in Hungarian watersheds. Remote Sensing and Hydrology Symposium (ICRS-IAHS). Córdoba, Spain, 2018.05.08-10.

Csáki, P., Kalicz, P., Gribovszki, Z., 2015. A felszín alatti vizek utánpótlódásának térben osztott becslése a klímaváltozás tükrében. Magyar Tudományos Akadémia Hidrogeológiai Albizottság ülése. Budapest, 2015.12.14.

Csáki, P., 2015. Különböző felszínborítások vízforgalomra gyakorolt hatása Zala megye példáján. XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Óbudai Egyetem, Budapest, 2015.03.25-27.

Csáki, P., Gálos, B., 2014. Éghajlati tendenciák hidrológiai hatásai Zala megyében. Magyar Hidrológiai Társaság Soproni Területi Szervezetének rendezvénye. Sopron, 2014.11.18.

Csáki, P., 2014. Az erdő és más felszínborítású területek vízháztartási elemeinek vizsgálata térinformatikai módszerekkel. Országos Erdészeti Egyesület Erdészeti Vizgazdálkodási Szakosztálya és a Soproni Helyi Csoport közös rendezvénye. Sopron, 2014.09.02.

Csáki, P., 2014. Különböző felszínborítások vízforgalomra gyakorolt hatása Zala megye példáján. XIV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Pécsi Tudományegyetem, Pécs, 2014.05.23-25.

Main publications not related to the topic of the dissertation

Szita, R., Horváth, A., Winkler, D., Kalicz, P., Gribovszki, Z., Csáki, P., 2019. A complex urban ecological investigation in a mid-sized Hungarian city–SITE assessment and monitoring of a liveable urban area, PART 1: Water quality measurement. *Journal of Environmental Management*, 247. pp. 78-87.

Horváth, A., Csáki, P., Kalicz, P., Szita, R., Winkler, D., Bidló, A., 2018. Komplex városökológia vizsgálatok Székesfehérváron, in: Czupy, I., Horváth, A. (Eds.): *Kutatások a 210 éves Erdőmérnöki Karon*. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. pp. 51-56.

Zagyvainé Kiss, K.A., Csáki, P., Kalicz, P., Szőke, E., Gribovszki, Z., 2018. A fák hidrológiai szerepe az agrárerdészeti rendszerekben, in: Czupy, I., Horváth, A. (Eds.): *Kutatások a 210 éves Erdőmérnöki Karon*. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. pp. 41-45.

Gribovszki, Z., Kalicz, P., Csáfordi, P., Csáki, P., Gyimóthy, K., Szegedi, B., Szita, R., Gerencsér, N., Szinetár, M.M., Ambrus, A., 2012. A városiasodás hatásai a vizekre, in: Albert, L., Bidló, A., Jancsó, T., Gribovszki, Z. (Eds.): *Városok öko-környezetének komplex vizsgálata a nyugat dunán-túli régióban*. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország. pp. 169-224.