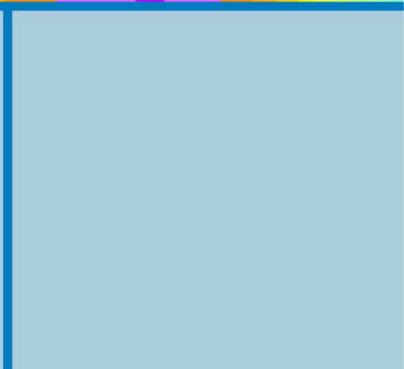
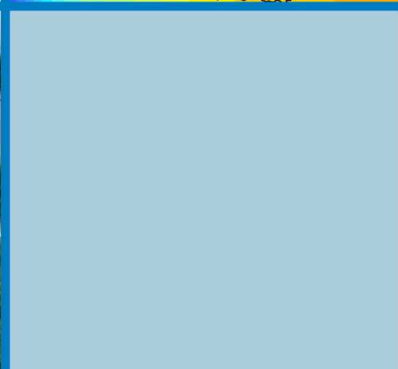
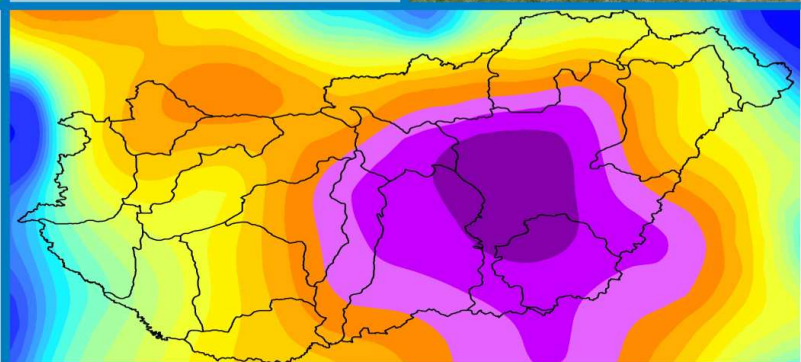
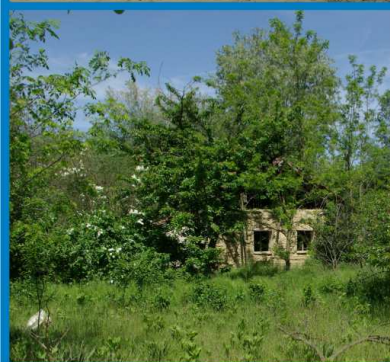
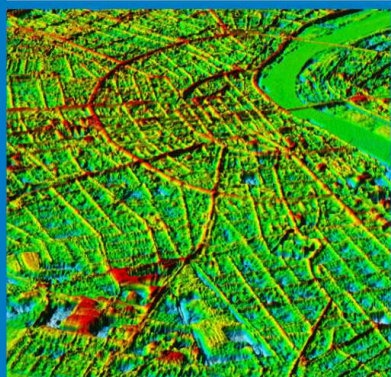


# Review of climate change research program at the University of Szeged (2010-2012)

## A klímaváltozás kutatás válogatott eredményei a Szegedi Tudományegyetemen (2010-2012)

Edited by  
János Rakonczai  
Zsuzsanna Ladányi



**REVIEW OF CLIMATE CHANGE RESEARCH PROGRAM AT THE  
UNIVERSITY OF SZEGED (2010–2012)**

**A klímaváltozás kutatás válogatott eredményei  
a Szegedi Tudományegyetemen (2010–2012)**



**SZEGED  
2012**

**Edited by**  
János Rakonczai  
Zsuzsanna Ladányi

ISBN 978–963–306–161–9

**Published by**  
Institute of Geography and Geology

**Printed by**  
Innovariant Nyomdaipari Kft.

**Cover and design**  
Zsuzsanna Ladányi

The research was funded by the Project „TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 –  
Creating the Center of Excellence at the University of Szeged”,  
supported by the EU and co-financed by the European Regional Fund.



## CONTENTS

|   |     |
|---|-----|
| Foreword.....   | 5   |
| <i>Pál Sümegei – Sándor Gulyás – Gergő Persaits – Zoltán Szelepcsényi</i><br>Long environment change in the forest steppe habitat of the Great Hungarian Plain<br>based on paleoecological data .....   | 7   |
| <i>Viktória Blanka – Gábor Mezősi – Wolfgang Loibl – Gabriella Szépszó –<br/>Péter Csorba – Burghard Meyer – Teodóra Bata – Richárd Nagy – Róbert Vass</i><br>Meso-region scale change of climate in the 21 <sup>th</sup> century and its potential impacts<br>on the environment in the Carpathian Basin ..... | 25  |
| <i>János Rakonczai – Zsuzsanna Ladányi – Áron József Deák – Zsolt Fehér</i><br>Indicators of climate change in the landscape: investigation of the soil –<br>groundwater – vegetation connection system in the Great Hungarian Plain .....  | 41  |
| <i>Márta Zalatnai – László Körmöczi</i><br>Vegetation boundary zone in sandy grasslands and the affecting edaphic factors .....   | 59  |
| <i>Irén Puskás –Norbert Gál –Andrea Farsang</i><br>Impact of weather extremities (excess water, drought) caused by climate change on<br>soils in Hungarian Great Plain (SE Hungary) .....   | 73  |
| <i>Lilla Égerházi – Ágnes Gulyás – Noémi Kántor – Ilona Kevei-Bárány –<br/>Márton Kiss – László Makra – Andrea Samu – Eszter Tanács – János Unger</i><br>Investigations at the Department of Climatology and Landscape Ecology<br>in the frame of the project ‘TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005’ .....         | 89  |
| <i>Péter Bajmócy – Lajos Boros – Bálint Csatári – Renáta Dudás – Jenő Zsolt Farkas –<br/>Tünde Juray– Zoltán Kovács – Viktor Pál</i><br>Managing the socio-economic consequences of the climate change .....  | 105 |
| List of publications supported by TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005.....  | 121 |

## TARTALOMJEGYZÉK

|   |     |
|---|-----|
| Előszó .....  | 6   |
| <i>Sümegei Pál – Gulyás Sándor – Persaits Gergő – Szelepcsényi Zoltán</i><br>Az erdőssztyepp hosszú távú fejlődése az Alföldön paleoökológiai adatok alapján.....   | 7   |
| <i>Blanka Viktória – Mezősi Gábor – Loibl Wolfgang – Szépszó Gabriella –<br/>Csorba Péter – Meyer Burghard – Bata Teodóra – Nagy Richárd – Vass Róbert</i><br>Az éghajlatváltozás területileg részletesebb felbontású előre vetítése és néhány<br>következménye a Kárpát-medencében ..... | 25  |
| <i>Rakonczai János – Ladányi Zsuzsanna – Deák József Áron – Fehér Zsolt</i><br>A klímaváltozás táji indikátorai: a talaj – talajvíz – vegetáció kapcsolatrendszer<br>vizsgálata Alföldi mintaterületeken.....   | 41  |
| <i>Zalatnai Márta – Körmöczy László</i><br>Homoki gyepközösségek határzónájának mintázata és az azt befolyásoló<br>edafikus tényezők .....  | 59  |
| <i>Puskás Irén – Gál Norbert – Farsang Andrea</i><br>A klímaváltozás okozta időjárási szélsőségek (aszály, belvíz) hatása<br>a Nagyalföld talajaira .....   | 73  |
| <i>Égerházi Lilla – Gulyás Ágnes – Kántor Noémi – Keveiné Bárány Ilona –<br/>Kiss Márton – Makra László – Samu Andrea – Tanács Eszter – Unger János</i><br>Az Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék vizsgálatai a<br>‘TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005’ projekt keretében .....           | 89  |
| <i>Bajmócy Péter – Boros Lajos – Csatári Bálint – Dudás Renáta –<br/>Farkas Jenő Zsolt – Juray Tünde – Kovács Zoltán – Pál Viktor</i><br>A globális klímaváltozás társadalmi-gazdasági következményei és azok kezelése ...  | 105 |
| A TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 program támogatásával készült<br>publikációk .....  | 121 |

## FOREWORD

Earth sciences have already had a great success at the start up of the project TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 (Creating the Center of Excellence at the University of Szeged). In the last decades there were only a few possibilities in professional ratings that geosciences were taken equal to highly appreciated sciences like biology or chemistry. In 2010 based on the submitted research plans the decision makers of the Faculty of Science and Informatics at the University of Szeged admitted this equality in the allocation of research funds. Many thanks for that!

In my opinion, the success was based on two pillars, among many other important factors. On one hand, all fields of geosciences, completed by ecology, could be integrated in one research topic. On the other hand, climate change is a current field of research and the ongoing investigations at the University of Szeged represent leading edge research in national and international aspects as well.

Our research program, implemented between 2010 and 2012 (labelled as 4.1 subtopic by the University of Szeged), was separated into 7 research units and three of them had further subtopics. Thus, the following research fields were investigated:

- Climate history research (research leader: Pál Sümegi)
- Long-term effects in the landscape (research leader: Gábor Mezósi)
- Effects of recent climate change on the landscape (research leader: János Rakonczai)
- Ecological research, landscape patterns (research leader: László Körmöczi)
- Pedological consequences of climate change (research leader: Andrea Farsang)
  - a) *Alterations caused by aridity*
  - b) *Alterations caused by the abundance of water*
- Recent climatic consequences of climate change (research leader: János Unger)
  - a) *Assessment of thermal comfort conditions in urban public places*
  - b) *Investigation of pollen and particulate matter concentrations*
  - c) *Investigation of water quality of lakes and species composition of forests in karst areas*
- Social and economic consequences of global climate change and their management (research leader: Viktor Pál)
  - a) *Connections between residential mobility, migration and global climate change*
  - b) *Protection strategies against the effects of global climate change in different urban quarters*
  - c) *Human well-being and global climate change*
  - d) *Transformation of recreational customs due to climate change*
  - e) *Effect of climate change on farming and land use*
  - f) *Losers of climate change induced difficulties, climate justice*

The main results of these research are presented in this volume. (Furthermore, the researchers of the Institute of Geography and Geology were also involved in the program of the '4.4. Research of Alternative Energy' subtopic).

In the research program nearly 54 million worth of equipment was purchased, 11 researchers were employed for more than one year, 6 predoctoral scholarships were funded for 53 months and students were employed for more than a hundred months. All of these offered a great opportunity to widen the previous research and improve their quality that is attested by the list of publications at the end of this volume.

## ELŐSZÓ

A „kutatóegyetemi pályázat” (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005) a földtudományok komoly sikerét hozta már az indulásakor. Az elmúlt évtizedekben szakmai megméretésekkor kevésszer adódott olyan, hogy a többnyire inkább lenézett geotudomány egyenrangú tudott lenni a természettudományok között olyan siker tudományokkal mint a biológia, vagy a kémia. A Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kara döntéshozói a benyújtott kutatási tervek alapján 2010-ben fel merték vállalni, hogy ezt az egyenrangúságot a kutatási források felosztásánál is elismerjék. Köszönet érte!

Véleményem szerint a sikernek – több fontos tényező mellett – két fontos alappillére volt: egyrészt sikerült az egész földtudományi szakmát (az ökológiával kiegészülve) egy kutatási témába szervezni, másrészt ez a téma (klímaváltozás kutatás) jelenleg világviszonylatban kurrens, ráadásul az SZTE-n folyó kutatások hazai viszonylatban is az élvonalban vannak, valamint nemzetközileg is jelentős érdeklődés kíséri.

Az elmúlt két évben megvalósított kutatási program (az SZTE tagolása szerinti 4.1. altéma) 7 kutatási egységre tagozódott, s közülük három további résztémából épült fel. Ennek megfelelően az kutatási programunk tagolása az alábbi volt:

- Klímátörténeti kutatások (vezető: Sümegi Pál)
- Hosszú időtávú hatások a tájban (vezető: Mezösi Gábor)
- A klímaváltozás hatásai a tájra napjainkban (vezető: Rakonczai János)
- Ökológiai kutatások, tájmintázatok (vezető: Körmöczi László)
- A klímaváltozás talajtani hatásai (vezető: Farsang Andrea)
  - c) Szárazodás okozta talajtani változások
  - d) Vízbőség okozta talajtani változások
- A klímaváltozás recens éghajlati következményei (vezető: Unger János)
  - a) Városi terek termikus komfortviszonyainak értékelése
  - b) Pollen és részecske koncentrációk vizsgálata
  - c) Tavak vízminősége, erdők fajösszetételének vizsgálata karszton
- A globális klímaváltozás társadalmi-gazdasági következményei és azok kezelése (vezető: Pál Viktor)
  - a) A lakóhelyi mobilitás, migráció és a globális klímaváltozás kapcsolata
  - b) A globális klímaváltozás hatásaival szembeni védekezési stratégiák különböző városrészekben
  - c) Globális klímaváltozás és az egészségi állapot
  - d) A rekreációs szokások átalakulása a klímaváltozás tükrében
  - e) A klímaváltozás hatásai a gazdálkodásra és a területhasználatra
  - f) A globális klímaváltozás okozta nehézségek vesztesei, környezeti igazságosság

Ezen kutatások főbb eredményeit mutatjuk be kötetünkben. (Megjegyezzük, hogy a Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport kutatói a fentiekén túl bekapcsolódtak a 4.4. Megújuló energiák kutatása c. altéma programjába is.)

A kutatási program során beszerzésre került közel 54 millió Ft értékű műszer, egy évnél hosszabb időre foglalkoztatásra került 11 fő, 6 doktorjelölt 53 hónapra kapott ösztöndíjat, több mint száz hónapig foglalkoztattunk hallgatókat. Mindezek nagy lehetőséget kínáltak a korábbi kutatások kiszélesítésére és minőségének javítására, amint azt a kötet végén levő publikációs jegyzék is tanúsít.

# **LONG ENVIRONMENT CHANGE IN THE FOREST STEPPE HABITAT OF THE GREAT HUNGARIAN PLAIN BASED ON PALEOECOLOGICAL DATA**

*Pál Sümegei – Sándor Gulyás – Gergő Persaits – Zoltán Szelepcsényi*

University of Szeged, Department of Geology and Palaeontology

## **Introduction**

A treeline is a boundary used for marking the edge of the habitat at which trees are capable of growing. In ecology an upper and lower treeline is generally highlighted with an additional transitional zone (ecotone) found between the referred boundary and the adjacent open vegetation areas. The emergence of transitional zones between woodlands and grasslands (ecotone) is generally controlled by the availability of water/humidity as a limiting factor. This boundary is mostly referred to as lower or dry treeline in contrast to the alpine and arctic treelines. The area of the Carpathian Basin is highly unique from the point that both treeline zones are present. Within the belt of the Alps, Dinarides and the Carpathians, embracing the basin itself, an ecotone related to the upper or alpine treeline developed roughly at an elevation of 1700–2300 meter due to mainly temperature constraints. Conversely, climatic and geomorphological endowments within the heart of the basin favored the emergence of a forest-steppe ecotone along a dry or lower treeline. The area of the Great Hungarian Plains hosts a lower or dry treeline with an unusually wide ecotone, where the actual steppe zone is not uniform (MOLNÁR et al., 2007) but rather constitutes a mosaic of more or less isolated grassland patches (SÜMEGI, 2011). Nevertheless, it must be kept in mind that the modern landscape is highly transformed due to intensive human activities present during the past 8000 years. So the original vegetation must have been only partially preserved. One must turn to various environmental historical archives including pollen, charcoal, phytolith and plant macrofossil data, as well as terrestrial mollusks if he or she wants to reconstruct shifts in the lower and upper treeline for the late ice age and the Holocene.

## **Modern woodland-grassland ecotone in the Carpathian Basin and controversies around definitions**

In general three prevailing theories are available in the literature for the development of the so-called Pannonian forest-steppe. According to the first, the forest-steppe found in the heart of the Carpathian Basin is an interim continuation of the Eastern European forest-steppe belt, which emerged as a result of the extreme drought literally exterminating arboreal elements in the area (KERNER, 1863). This concept, held for over 150 years with only slight modifications (SOÓ, 1926; BORHIDI, 1961), considers the modern Pannonian forest-steppe as an independent westernmost island-like fragment of the European continental oak forest-steppe, which emerged at the transitional climatic zone of closed woodlands and grasslands separated from the main belt by the ranges of the Carpathian Mts (LAVRENKO, 1980; LAVRENKO –



KARAMYSEVA, 1991). This concept regards the woodland-grassland ecotone in the basin as local manifestation of the climate-zonal vegetation belt stretching roughly 8000 kms from the heart of Europe to the Far East (VARGA et al., 2000). One of the most significant pitfalls of this theory is that macro-climate conditions generally characteristic of the steppe belt (LAVRENKO – KARAMYSEVA, 1991: p. 254) have never fully developed and stabilized in the Carpathian Basin during the Quaternary. Winters are not cold and summers are not dry enough in the referred study area to enable the long-term macro-climatic sustainment of such vegetation, as it is clearly seen in the map of the western, European margin of the Eurasian steppe belt as well. Thus proving the macroclimatic nature of the ecotone in the area of the Carpathian Basin between the belt of European woodland and Eurasian steppe is quite ambiguous.

Conversely, in order to better highlight the climatic background of the woodland-grassland ecotone system, which is present in the heart of the Carpathian Basin, the vegetation classification system of Holdridge (HOLDRIDGE, 1947) is better suited than the climate classification system of Köppen (SZELEPCSÉNYI et al., 2009). According to the Holdridge classification (Fig.1a,b), the major part of the basin is put to the transitional category found between those of cold, temperate grasslands, cold, temperate humid woodlands and warm, temperate dry woodlands, where the first (steppe) and the last categories (dry woodland) also turn up climatically in the form of scattered patches. This grassy area forming an ecotone between the actual grasslands and dry and humid woodlands corresponds to the Pannonian forest-steppe vegetation of the Great Hungarian Plains (SZELEPCSÉNYI, 2012).

The second one considers so-called edaphic factors (soil, geomorphology) being responsible primarily for the emergence of forest-steppe ecotone in the basin (ZÓLYOMI, 1958, 1987). According to this concept, the heart of the Carpathian Basin is considered to be a part of the woodland belt from the point of climate zonal classification. Thus the opening of closed woodland and the appearance of parkland and grassland patches must be attributed to local abiotic ecological factors. Some of these factors might have direct influence on vegetation development, such as the interaction of soils and groundwater in relation to local geomorphology (shallow soils, alkaline and calcareous sandy soils and low groundwater table). Edaphic forest-steppes generally emerge along the northern margin of the steppe belt, where favorable soil, morphology and hydrological conditions enable the emergence of woodlands patches. The opposite may also be true when unfavorable local hydrology, soil, and morphology brings about the opening up of closed woodland creating isolated grassland patches. Unfortunately, these edaphic factors cannot explain the collective presence of phytogeographically, climatically exclusive Continental and Sub-mediterranean forest-steppe elements in the Carpathian Basin (ZÓLYOMI, 1957; BORHIDI, 1956).

The third explanation claims human activities being responsible for the opening of the original woodland vegetation and the emergence of a Pannonian forest-steppe (BERNÁTSKY, 1914; RAPAICS, 1918). The first such disturbances are linked to the first farming cultures settling in the basin. Initial clearings gradually expanded as human activities intensified parallel with cyclical population growth. These activities thus contributed to the sustainment of a highly variegated, mosaic-like forest-steppe vegetation in the Great Hungarian Plains as early as prehistoric times. This concept is still widely acknowledged despite the contrasting results of recent paleoecological investigations which pointed to the emergence of natural steppe-forest-steppe

communities here, covering several hundred square kms, as early as the terminal part of the last ice age and the opening of the Holocene (SÜMEGI, 2005). Similarly, the application of paleoecological methods including archeobotany and archeozoology was also negligible. The lack of reliable, quantitative data regarding the number of sites, the size of the population further hampered the correct answering of such hypothetical questions. Nevertheless, it is important to note, that it was this period when the first major war (WW1) restricted wide-scale scientific studies on the one hand. On the other hand, the first negative outcomes of the 19<sup>th</sup> century river regulations also began to turn up during this period fueling notions of devastating human activities on local ecosystems. The general lack of archeological data on local cultures hampered the deduction of correct postulations regarding the influence of humans on the environment. Thus often the findings of similar scope studies related to distant high cultures of Egypt, Mesopotamia and the Near East were erroneously adapted to the area of the Carpathian Basin as well. These initial postulations were so influential that they still influence the acknowledgement of the results of new archeological, paleobotanical and archeozoological studies using correctly obtained hard data in Hungarian environmental historical research.

### **The environmental history of the Great Hungarian Plains**

The original ecosystem of the Great Hungarian Plains hosting the Pannonian forest-steppes was fundamentally altered during the middle of the 19<sup>th</sup> century as a result of human intervention into probably the most important ecological component of the landscape: the fluvial system of the Tisza and its watershed. As a result of the extensive river regulation and flood protection measures, a 4000 km-long dike system and a canal system of 22.000 km was established. As a result of these activities in addition to the artificial cut of selected meanders the complete hydrological system of the Great Hungarian Plain was transformed seriously affecting not only the landscape and the vegetation but the trajectory of regional and local climate as well. The active floodplain originally covering an area of ca 30.000 km<sup>2</sup> was reduced to a mere 3000 km<sup>2</sup>. The dried up floodplain areas were transformed into arable and pasturelands. The major part of the gallery forests fringing the riverbed was logged down to reduce costs of the regulation measures. Not only the majority of the original floodplain vegetation was destroyed, but by modifying the natural hydrological link between the river and the floodplain the hydrological system transporting the excess waters of the surrounding mountains coming from the precipitation was fundamentally altered as well during the past 160 years. As only a single cartographic map sequence, prepared on a non-geometric basis, is available for the landscape of the Great Hungarian Plains preceding the 19<sup>th</sup> century river regulations (Map of the 1<sup>st</sup> Austrian Military Survey, 1782), the only way to track the vegetation history including those of forest-steppes is to turn to environmental historical and paleoecological records. In order to highlight the vegetation history of the Carpathian Basin for the period from the terminal part of the last ice age, results of extensive paleoecological investigations implemented on 20 selected loess/paleosol sequences, including charcoal analysis, mollusk analysis (SÜMEGI, 2005; SÜMEGI – KROLOPP, 2002; HUPUCZI – SÜMEGI, 2010), and phytolith analysis (PERSAITS – SÜMEGI, 2011) has been adopted. In addition, findings of similar type of studies (palynology, mollusk and plant macrofossil analyses) deriving from radiocarbon-dated, undisturbed core

sequences of 20 catchment basins have been utilized. These data have been complemented by records of mollusk, pollen and phytolith analysis implemented on nearby archeological sites. A combination of data enabled us to track not only temporal but spatial differences in the trajectory of vegetation evolution.

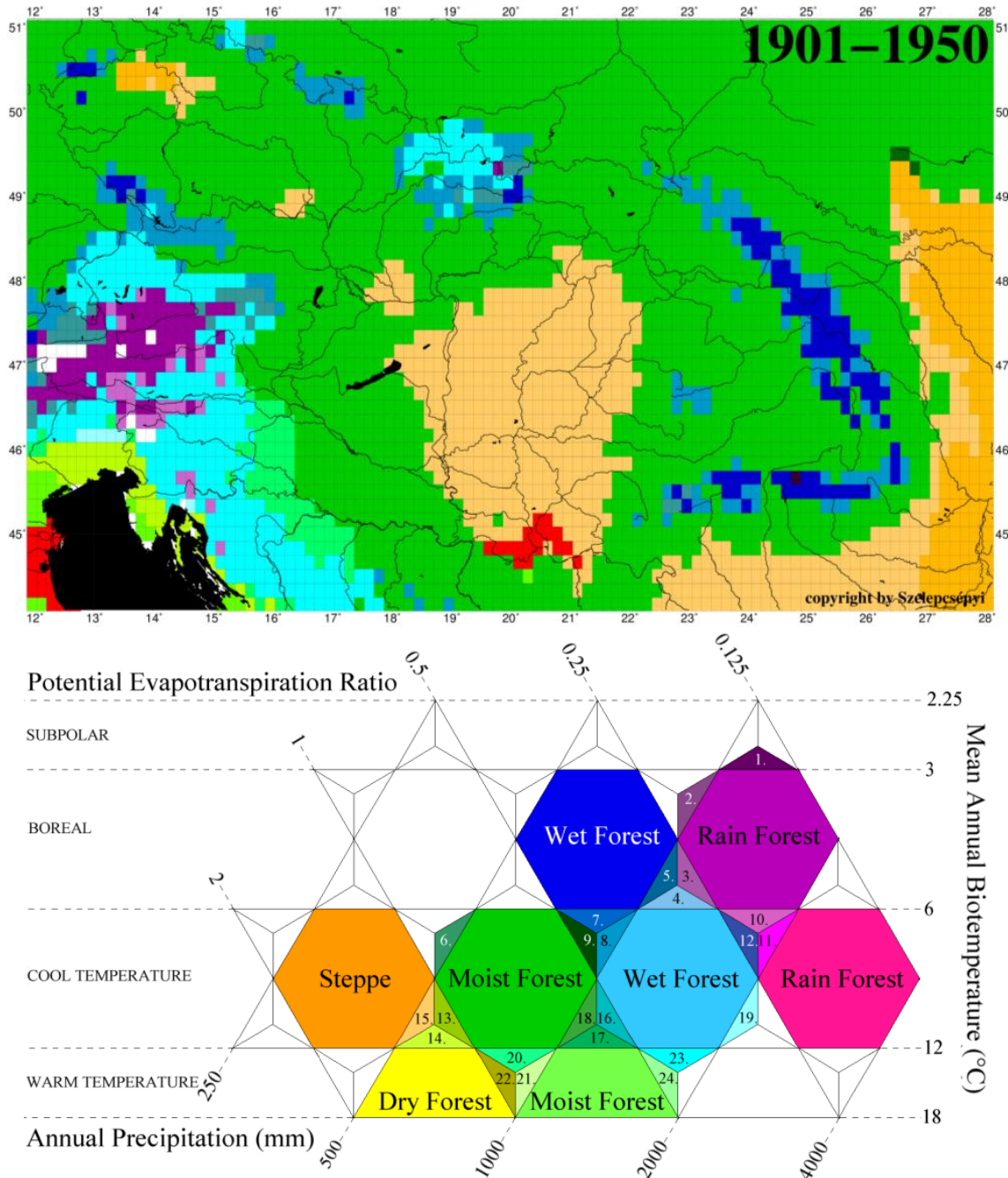


Fig.1. Possible climato-vegetation zones of the Carpathian Basin based on Holdridge type bioclimatic classification method (SZELEPCSÉNYI, 2012)

1. ábra. A Kárpát – medence éghajlatilag lehetséges növényzeti övezetei Holdridge bioklimatikus módszere alapján (SZELEPCSÉNYI, 2012)

### Paleoenvironmental development during last ice age

Based on our findings, two major paleoenvironmental regions could have been identified within the area of the Carpathian Basin, which were characterized by fundamentally different endowments and developmental histories during the course of

cyclical coolings characterized by loess formation and intervening warm-ups resulting in the temporary cessation of dust accumulation (SÜMEGI, 2005). The resolution of our records enabled us to capture the environmental history of the northern region for the past 70 kys (Fig. 2a). The warm-up periods were all characterized by the general spread of spruce. Within the emerging open parkland type spruce woodland ecosystems (WILLIS et al., 2000), sheltered spots hosted stands of Scots pine, and hornbeam (RUDNER – SÜMEGI, 2001), while the higher areas were populated by stands of Swiss pine and larch. Water bank areas hosted populations of willow, hairy birch and green alder. Moving towards the centre of the Great Hungarian Plains arboreal elements become less frequent components of the vegetation yielding a special tree-steppe ecosystem characterized by the dominance of non-arboreal elements even during the warm-ups as well. At the same time, the inner, drier areas, characterized by a prevalence of grassland type vegetation also hosted scattered stands of Scots pine, juniper, alder, birch and willow (SÜMEGI et al., 2005), restricted mainly to the banks of watercourses. One of the driest areas of the Great Hungarian Plains, the Hortobágy, which is extensive alkaline grassland today, was hosting some alkaline elements (*Artemisia maritima*, *Sueda*) even during this early period as well. However, the banks of minor watercourses also hosted a loose canopy gallery forest composed of Scots pine, alder and birch here as well.

The same warm-up period was characterized by similar tree steppe vegetation in the region south of the centre of the Great Hungarian Plain (Fig. 2b). However, this similarity was true for the structure of the vegetation alone. The taxonomic composition of the flora and the fauna was fundamentally different. The dry loess plateaus of the southern part of the Carpathian Basin hosted a mix of arboreal elements (Scots pine, birch and fir) during the referred warm-ups (RUDNER – SÜMEGI, 2001; SÜMEGI, 2005). However, as shown by data from charcoal and phytolith analysis the presence of arboreal elements was spatially highly dissected and highly subordinate compared to that of non-arboreal forms. Conversely, areas with an ideal hydrology and higher groundwater table, like along the banks of rivers and watercourses, lush mixed gallery forests emerged characterized by a 70–80% closed canopy. Thus the dry tree steppe vegetation of the Great Hungarian Plains studded by scattered stands of trees was highly dissected at the regional or meso level by closed-canopy gallery forests along the riverbanks during the ice age. Furthermore, in accordance with the local morphological, geological and hydrological endowments the emergence of full hydro series from the riverbed up to the elevated dry plateaus of the floodplain could have been attested.

An increase in dry grassland areas was accompanied by the spread of xerophylous, grassland mollusk taxa. It was this zone, where the representatives of the character species of modern Pannonian steppe/forest-steppe areas *Granaria frumentum* first turn up in the southern parts of the basin. The accessory fauna is very similar in composition to that of the modern Pannonian forest-steppe areas. Accordingly, the warmer periods of the terminal Pleistocene must have created ideal conditions for the spread of this type of mollusk fauna in the southern parts of the Carpathian Basin. On the basis of the paleodistribution of the mollusk species *Granaria frumentum*, the area of the Pannonian steppe/forest-steppe belt must have expanded as far north as the heart of the basin during the interstadials (SÜMEGI – KROLOPP, 2002). However, this zone managed to conquer the foothills of the Carpathian Mts. during the last interglacial (SÜMEGI – KROLOPP, 2002).

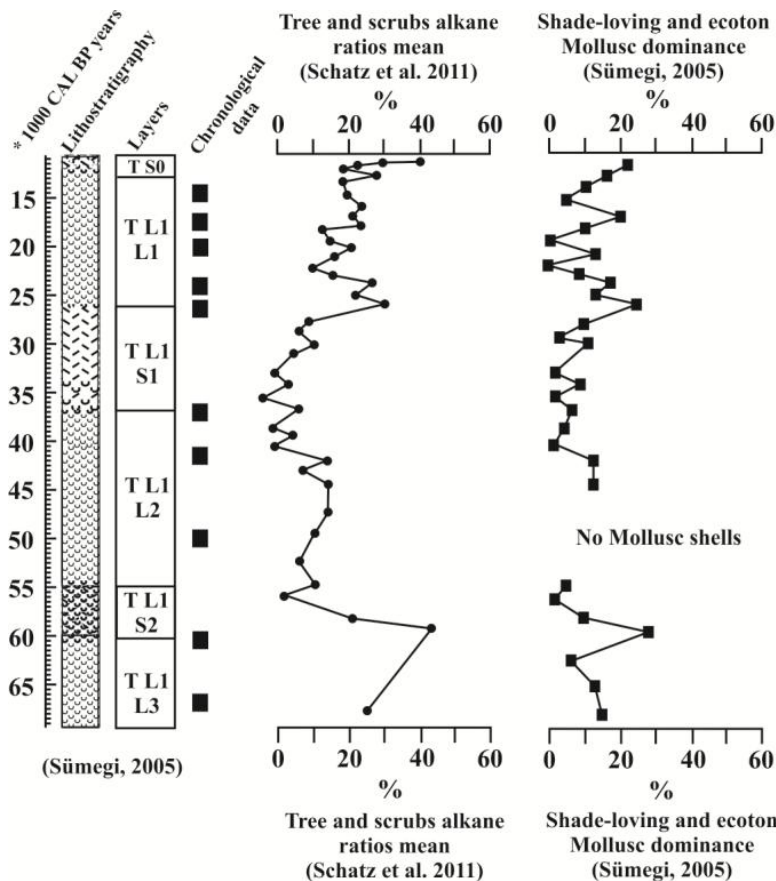


Fig.2a. Changes observed in the composition of plant alkanes and the terrestrial mollusk fauna in the area of the Northern Great Hungarian Plains for the past 70 kys

2a. ábra. A növényi alkánok és a Mollusca fauna összetételének változása az elmúlt 70 ezer évben az Észak-Alföldön)

T S0 = Tokaj, modern soil, T L1L1 = Late Pleniglacial Loess layer, T L1S1 = Middle Pleniglacial Paleosol layer, T L1L2 = Middle Pleniglacial Loess layer, T L1S2 = Early Pleniglacial Paleosol layer, T L1L3 = Early Pleniglacial Loess layer

T S0 = Tokaj, recens talaj, T L1L1 = késő-pleniglaciális lösz, T L1S1 = középső-pleniglaciális paleotalaj, T L1L2 = középső-pleniglaciális lösz, T L1S2 = korai-pleniglaciális paleotalaj, T L1L3 = kora-pleniglaciális lösz

vegetation of the Carpathian Basin (SÜMEGI, 1996, 2005; SÜMEGI et al., 1999).

The temporal resolution of our records enabled us to continuously capture vegetation changes in the southern parts of the Carpathian Basin for the past 140 kys; i.e. from ca. the last interglacial (ZECH et al., 2010). The presence of a steppe/forest-steppe vegetation hosting the marker taxon *Granaria frumentum* could have been attested in the area of the Great Hungarian Plains and the marginal part of the Carpathians as early as 110–130 kys. In contrast the foothills hosted a closed woodland

During the LGM, vegetation development in the northern part of the Carpathian Basin followed a clear and characteristic path. Namely, the prevalence of a treeless steppe was interrupted by rapid phases of forest expansion lasting for several centuries twice. This is seen in the trajectories of open parkland boreal pine forest expansion and the accompanying woodland element of the Carpathian spindle snail (*Vestiga turgida*). These forest expansion periods were first identified on the basis of shifts observable in the composition of the mollusk fauna (SÜMEGI – KROLOPP, 2002; SÜMEGI, 2005), and later corroborated by pollen (WILLIS et al., 2000), charcoal (RUDNER – SÜMEGI, 2001) and plant alkane data (SCHATZ et al., 2010). The inferred LGM mosaic of cold steppe studded by spots of tundra and woodland patches could have been correlated with the modern landscape of the alai Mts and its foothill areas on the basis of the composition of the accessory mollusk fauna (SÜMEGI, 2005; HORSÁK et al., 2010, MENG – HOFFMANN, 2009). Thus the modern alpine boreal forest-steppe areas of Southern Siberia serve as an ideal analogy for the ice age



vegetation. Nevertheless, besides the warm-ups during the terminal part of the ice age referred earlier, significant coolings could have also inferred cause a drastic reduction in the temperature of the summer months, the length of the growth season resulting in a transformation of the flora and the fauna of the basin as well. Taxa characteristic of alpine cold steppes and the tundra turn up and become dominant in the northern part of the basin bringing about a retreat of open parklands hosting spruce, Scots pine and scattered deciduous elements locally and regionally.

The dominant taxa of the arboreal vegetation are Swiss pine (*Pinus cembra*), juniper (*Juniperus*) and larch (*Larix*). However, the proportion of arboreal elements and woodlands was highly reduced surviving only in sheltered refuges of the basin (WILLIS et al., 2000). The dominant elements of the flora during these times were heliophyllic non-arboreal plants including artemisia (*Artemisia*), grasses (*Gramineae*) and members of the orpine family (*Crassulaceae*). At the same time several cold-loving tundra elements like stone-breakers (*Saxifraga*) and other perennial elements (*Androsace*) also turn up. A dominance of a treeless steppe vegetation could be postulated mixed with perennial elements and scattered trees. Thus despite the emergence of a dominantly loess steppe environment in the northern areas of the Carpathian Basin, the mosaic development of environmental parameters enabled the sporadic survival of a forest-steppe vegetation with an extremely low proportion of arboreal elements as well.

During the most prominent coolings, the cold-resistant and cold-loving elements turned up in the

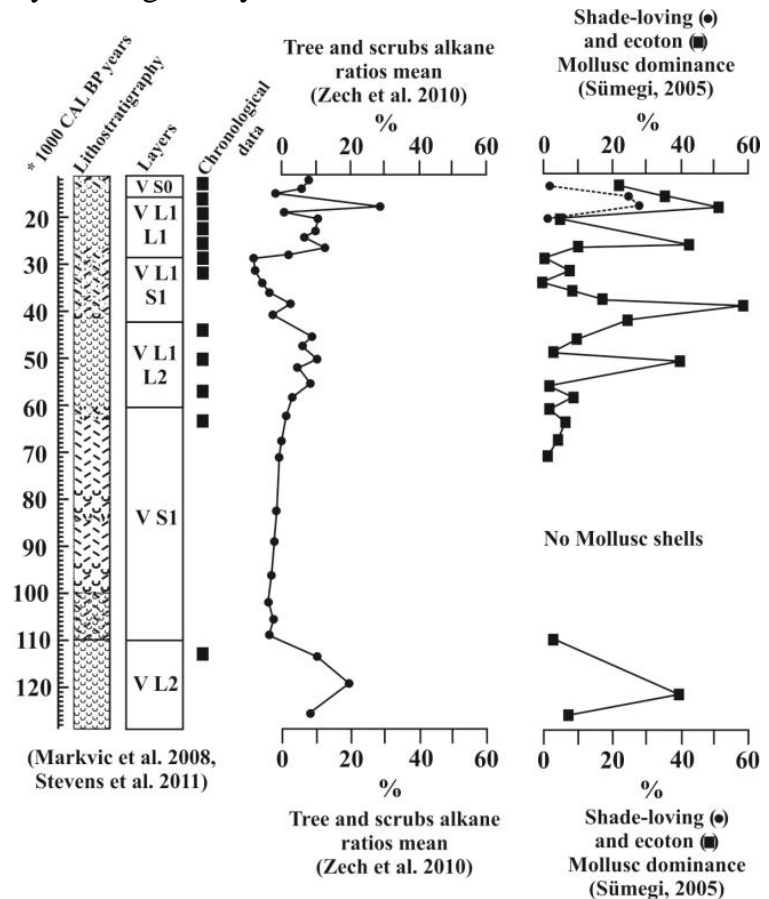


Fig. 2b. Changes observed in the composition of plant alkanes and the terrestrial mollusk fauna in the area of the Southern Great Hungarian Plains for the past 130 kys

2b. ábra. A növényi alkánok és a Mollusca fauna összetételének változása az elmúlt 130 ezer évben a Dél-Alföldön

V S0 = Vojvodina, modern soil, V L1L1 = Late Pleniglacial Loess layer, V L1S1 = Middle Pleniglacial Paleosol layer, V L1L2 = Early Pleniglacial Paleosol layer, V S1 = Last Interglacial and Early Weichselian Paleosol layers, V L2 = Saalian Loess layer

V S0 = Vajdaság, recens talaj, V L1L1 = késő-pleniglaciális lösz, V L1S1 = középső-pleniglaciális paleotalaj, V L1L2 = kora-pleniglaciális paleotalaj, V S1 = utolsó interglaciális talajréteg, V L2 = Riss löszréteg

southern parts of the Carpathian Basin parallel with a gradual retreat of warmth-loving Southeastern European mollusk elements, including the character elements of the Pannonian forest-steppe. The analysis of mollusk faunas dated to the LGM in profiles from the Southern Great Hungarian Plains yielded surprising results. Here the expansion of cold-loving tundraic elements (*Columella columella*, *Vallonia tenuilabris*) was accompanied by the spread of Central European woodland elements (*Clausilia dubia*, *Clausilia pumila*, *Cochlodina laminata*, *Macrogastra ventricosa*, *Aegopinella ressmanni*, *Discus ruderratus*, *Orcula dolium*) (SÜMEGI, 2005; HUPUCZI – SÜMEGI, 2010). On the basis of these findings we may postulate only a slight decrease in the temperature for areas located at lower latitudes during the LGM. At the same time this decrease in the temperature resulted in a significant rise in relative humidity favoring the spread of arboreal elements (trees, bushes). The general composition of the mollusk fauna indicates the emergence of a forest steppe vegetation in the southern parts of the Carpathian Basin during the LGM, extremely rich in species and with a dominance of cold-resistant and eurytopic species.

Based on our results a relatively stable woodland-grassland ecotone with fluctuating proportion of arboreal elements and taxa was the dominant vegetation type of the Carpathian Basin between ca. 140 and 16 kys. This ecotone, as shown by the paleoecological record was by no means uniform, but a multiple mosaic patterning is presumed observable on local, regional and basin wide scale as well. The emergence of macro or basin-scale mosaic patterning was attributable to the interplay of climatic influences, including the rainshadow effect of the basin and the actual distance from the continental and alpine ice cover. As a result the presence of two distinct paleoenvironmental, paleobiogeographical units covering an area of ca. 50–100 thousand km<sup>2</sup> could be postulated for the ice age of the Carpathian Basin. One of these entailed the northern areas, while the other the southern areas of the basin. Regional and local differences in the bedrock geology, soils, geomorphology and hydrology further dissected these two major units to smaller mosaic components at a scale of some hundred or some km<sup>2</sup>. This multiple mosaic patterning of the paleoenvironment attributable to climatic, orographical, geological and hydrological endowments was the most important of features of the Carpathian Basin enabling the collective presence and survival of floral and faunal elements sometimes with contrasting ecological needs. It was this mosaic patterning of the paleoenvironment which enabled the long-term sustainment of a woodland-grassland ecotone in the basin within the course of fluctuating climatic evolution of the ice age. Furthermore, the presence of multiple ecological habitats also ensured the survival of cold-resistant taxa during the warmings and warmth-loving taxa during the coolings in specially sheltered habitats. This phenomenon is known as the dual refugee effect in the literature (WILLIS et al., 1995). The general structure of a woodland-grassland ecotone was preserved even during the largest coolings, during phases of a treeless steppe. However, locally there must have been some homogenization of the vegetation in the northern parts and plant mosaics must have been preserved in shelters of favorable microclimate, along the watercourses or on slopes, walls, valleys with a southern exposure (WILLIS et al., 2000).

### **Paleoenvironmental development during the Pleistocene/Holocene transition**

The first emergence of the Pannonian forest steppe, corresponding to the westernmost isolated part of the Eastern European forest-steppe belt, is generally dated to the opening of the Holocene (bw. ca. 10–8.5 kys cal BP); i.e. the Boreal in the literature (JÁRAINÉ-KOMLÓDI, 2000; ZÓLYOMI – FEKETE, 1994). According to this concept, the

emergence of an extremely dry climate during the referred period must have triggered the opening of the mixed taiga hosted by the area of the Great Hungarian Plains due to specific edaphic factors enhancing the invasion of heliophyl steppe and Pontic elements into the initial clearings and the retreat of pine to the higher, cooler areas and cold-spots of the basin. This hypothesis considers the opening of a mixed taiga as the main trigger in the formation of a temperate forest steppe during the initial part of the Holocene. Conversely, as it was stated in the previous chapter, the emergence of a stable forest steppe could have been attested even during the ice age as well on the basis of paleoecological data. Furthermore, representatives of the Southeast European warmth-loving mollusk *Granaria frumentum*, which is also a character element of the modern Pannonian forest-steppe were present during this period in the southern parts of the basin and managed to survive even the largest coolings (SÜMEGI – KROLOPP, 2002). So on the basis of our findings, the most important elements of the forest-steppe within a mosaic setting were present preceding the Holocene as well. The appearance of warm steppe, forest-steppe elements in the pollen spectrum could have been correlated with the intrusion of warmth-loving, steppe/forest-steppe dweller mollusks in the loess profiles of the Southern Great Hungarian Plains dated between 16–15 kys cal BP and including the character species of the Pannonian forest-steppe *Granaria frumentum*. Based on the paleorecords, a woodland-grassland ecotone emerged in areas of higher and lower groundwater table of the plains. The dominant elements were those of temperate steppe in areas of lower groundwater table with a subordinate presence of trees. Conversely, areas with more favorable hydrologies hosted a mixed taiga studded by grassland spots of *Artemisia* steppe. So according to these records, the immigration of warmth-loving floral and faunal elements responsible for the creation and sustainment of a modern temperate forest-steppe in the basin must have initiated as early as 16/15 kys cal BP in the southern parts of the Carpathian Basin. However, the local and regional climate, morphology, hydrology and geology have significantly influenced the trajectory of evolution. Nevertheless, one must also bear in mind the potential influences of ice age megaherbivores of the so-called mammoth steppes in the sustainment of a woodland-grassland ecotone (GUTHRIE, 2001; ZAZULA et al., 2002, 2003, 2007). The presence of mammoth, wild horses, reindeer, moose and buffalos could have been univocally attested in the study area for the referred period (KRETZOI, 1977; JÁNOSSY, 1979; VÖRÖS, 1987; KORDOS, 1987; PAZONYI 2004). The general composition of this Upper Würmian mammal fauna also indicates a species-rich forest-steppe vegetation in the area of the Carpathian Basin (SÜMEGI, 2005) as numerous woodland elements (moose, reindeer) were collectively present with typical steppe dwellers (GUTHRIE, 2001). Furthermore, these herds of megaherbivores must have significantly contributed to the reduction of arboreal vegetation in the area. The notion of a forest-steppe is corroborated by data on rodents (KORDOS, 1987) and birds, where typical steppe or tundra elements like the great bustard (*Otis tarda*), or ptarmigan (*Lagopus lagopus*, *Lagopus mutus*) are complemented by typical woodland elements like various taxa of woodpeckers (*Caprimulgus europaeus*, *Dendrocopos major*, *D. medius*, *D. leucotos*, *Picus canus*, *Jynx torquilla*) in sites dated to the terminal part of the last ice age (JÁNOSSY, 1979). Thus besides the referred edaphic and climatic factors, the new steppe/forest-steppe grazers and rodents must have contributed to the sustainment of a Subcontinental- Submediterranean oak forest-steppe of the Early Holocene of the Carpathian Basin (SÜMEGI, 2005).



## Paleoenvironmental development during the Early Holocene

There is a marked transformation between 11,5 and 9,5 kys cal. BP.. The proportion of pine pollen grains goes below 10% here giving way to the advent of thermomesophilous trees and bushes including oak, lime, elm, hornbeam and alder. The high concentration of flue ash within this horizon marks the outbreak of natural fires in elevated temperatures. No wonder the ratio of AP:NAP was reduced to 50% in this horizon. Thus according to the paleorecord, the environmental changes dated to the Pleistocene/Holocene transition favored the spread of woodlands (mixed taiga exchanged by deciduous woodlands) in the marginal foothills of the Carpathians as well as the hilly and mid-mountain regions of the basin. At the same time the heart of the basin witnessed the emergence of a temperate forest-steppe. According to the data available, the intrusion of thermo-mesophilous trees and steppe elements occurred within a mesophilous mixed forest-steppe vegetation after the LGM between 16–15 kys cal BP. Then increasing temperatures and a rise in natural fires contributed to the disappearance of cold-resistant elements and the emergence of a Subcontinental-Submediterranean oak forest steppe. Based on investigation results a marked local and regional decrease in relative humidity could have been inferred during the opening of the Holocene parallel with increasing temperatures. This might have favored the general reduction of woodlands, expansion of grasslands and thus the sustainment of temperate forest-steppes during the Holocene in the area of the Great Hungarian Plains. All in all, paleoenvironmental changes preceding the Holocene transition must have favored the intrusion and expansion of thermo-mesophilous elements from their refuges found in the southern parts of the Carpathian Basin into a mosaic of boreal type forest-steppe, which had emerged in the terminal ice age. By ousting the previously dominant cold-resistant and mesophilous taxa, they must have contributed to the gradual emergence of a temperate oak forest steppe in the Carpathian Basin even preceding the actual boundary of Pleistocene/Holocene. Natural fires set in a woodland of easily flammable pines must have significantly accelerated the development of forest-steppes. A very similar vegetation change leading to the emergence of a Subcontinental-Submediterranean oak forest-steppe was modeled for the area of the Eastern European Plains based on paleobotanical records (NOVENKO et al., 2011). However, as shown by the chronology, this type of transformation must have occurred much earlier in the area of the Carpathian Basin, probably as a result of heightened drop of humidity attributable to the basin effect related to increasing temperatures, plus the relative vicinity of refuges of the warmth-loving, steppe elements aiding quick colonization (WILLIS et al., 1995, 2000). A characteristic feature of the Carpathian Basin is that the extant megaherbivores of the ice age were replaced woodland elements like roe-deer, deer, auroch, wild boar. At the same time in sites of the Great Hungarian Plains remains of typical steppe elements like wild horse (*Equus ferus*) and onager (*Equus hemionus*) turn up in large numbers (VÖRÖS, 1987). The presence of wild horse could have been attested from 62, while that of onager from 21 Holocene sites in Hungary (VÖRÖS, 1987). Remains of steppe dweller wild ass (*Asinus hydruntinus*) have also been retrieved from various archeological sites of the Great Hungarian Plains dated between 7000–11000 years (BÖKÖNYI, 1992). This latter taxon went extinct ca. 6–7 kys ago, but the presence of wild horse and onager could have been traced as far as the Bronze Age (3000–3500 BC). Domesticates replacing these wild forms and other grazers (caprines, cattle, horses, pigs) have also ensured the sustainment of a forest-steppe, steppe environment in the basin. The collective presence of new woodland elements and

steppe/forest-steppe elements of the wild fauna is another independent proof of the mosaic patterning of the Holocene forest-steppe vegetation of the Great Hungarian Plains well before the emergence of first agricultural groups. A similar duality is seen in the record of early Holocene rodent remains. Woodland elements are complemented by typical steppe/forest-steppe elements like birch mouse (*Sicista*), mole rat (*Spalax*), gopher (*Citellus citellus*), hamster (*Cricetus cricetus*). The early Holocene avifauna of the Great Hungarian Plains is likewise dominated by steppe/forest-steppe elements including the Great bastard (*Otis tarda*), the Blacktail Godwilt (*Limosa limosa*) in same proportions as other woodland elements. Thus besides the referred edaphic and climatic factors, the new steppe/forest-steppe grazers and rodents must have contributed to the sustainment of a Subcontinental-Submediterranean oak forest-steppe of the Early Holocene of the Carpathian Basin.

### **Paleoenvironmental development from the settlement of the first farmers**

The first farming groups, connected to the early Neolithic Körös culture turn up in the Holocene Subcontinental-Submediterranean oak forest-steppe of the Great Hungarian Plains roughly 8000 years ago. Many researchers blamed these first farming groups for the initial human-induced vegetation changes. However, recent paleoecological and paleoenvironmental studies of Mesolithic and Neolithic cultures of the Carpathian Basin and the Great Hungarian Plains yielded surprising results. In the horizon of woodland profiles dated to the Late Mesolithic a clear, iterative signal of vegetation changes could have been identified seen in periodic increases in flue ash, the appearance of open area taxa and the cyclical reduction of elm and hazelnut pollen concentrations. These changes were interpreted as the side-effects of human activities related to the creation of seasonal hunting camps and paths, intensive foraging and the use of twigs and leaves as fodder favoring the expansion of open areas in closed woodlands and the spread of heliophyl marginal vegetation. Conversely, no such changes could have been identified in the horizons of catchments of small lacustrine basins and marshlands from the heart of the basin (Great Hungarian Plains) found next to Early Neolithic sites and dated to the Late Mesolithic and Early Neolithic. Furthermore, besides an obvious increase in cereal pollen grains, no other signs of vegetation disturbance related to agricultural activities could have been attested. Despite their extensive settlement of more than 3000 sites identified, no clear sign of fire-induced deforestation by members of the Early Neolithic Körös culture could have been proven in the heart of the basin. Conversely, results of phytolith and mollusk analysis implemented on material from the Early Neolithic sites themselves have corroborated the presence of extensive grassy spots and arable lands in the direct vicinity of the sites. Representatives of the Körös culture chose to settle on the floodplain of the Tisza River and its tributaries. These settlements however were not confined to the actual riverbed but were placed on top of the flood-free, loess-covered island like lag-surfaces at an interface of multiple ecotones as shown by the findings of detailed geoarcheological investigations implemented in the vicinity of Körös sites in Hungary. These island-like lag surfaces were covered by chernozem soils, which developed on the loessy bedrock, hosting a steppe/forest-steppe vegetation. The sites thus were located at the interface of the higher floodplain hosting a steppe/forest-steppe and the adjacent low floodplain hosting a hardwood gallery forest. This mosaic of multiple ecotones ensured the engagement of multifocal subsistence on the one hand.

On the other hand, thanks to the relative openness of the natural highs hosting the settlement there was no need of deforestation for the creation of living space and arable/or pasturelands. This is a highly intriguing example of how the mosaic-like multiple ecotone of woodland-grassland areas influenced settlement and subsistence strategies of first farming groups of the Great Hungarian Plains. It is interesting to note though that numerous even more extensive steppe-forest steppe areas are found several kms away from the rivers like those of the Hortobágy and the Hajdúság (SÜMEGI, 2005) yet they were colonized during the second half of the Neolithic only. All in all based on our data, the continuous presence of a forest-steppe nestled in the heart of the Carpathian Basin made human disturbances obsolete for ensuring economic activities of the first farming groups. Signs of human disturbances could have been attested in the marginal areas of the basin, where the natural development of the landscape favored the sustainment of closed woodland and did not result in the emergence of forest-steppe areas. Vegetation changes related to conscious human intervention in the landscape like burning, the expansion of weeds and the reduction of the arboreal vegetation in a forest-steppe environment are traceable from the Late Neolithic and Early Copper Age. Five such stages were differentiated from the Late Neolithic, Early Copper Age. Stage one is hallmarked by the settlement of the Late Copper Age Badenian and the Pit Grave Cultures. Settlement was so extensive that human influences were attested in alkaline areas of the Great Hungarian Plains as well. Stage two is put to the Middle Bronze Age and the emergence of multilayered (tell) settlements hallmarking the height of preurban societal evolution in the area. The vicinity of these tell settlements were intensively exploited hallmarked by such activities as the establishment of floodplain orchards (walnut production), a complete transformation of hardwood gallery forests. The extremely focused exploitation of the landscape during the establishment of the tell settlements brought about a complete disappearance of the boundaries between closed woodlands and adjacent forest-steppe areas contributing to the expansion of the ecotonal elements to the former areas of gallery forests and the closed woodlands of the hills and foothills as well as mid-mountains of the basin. Signs of deforestation are most pronounced in fortified tell sites, where the creation of palisades required large amounts of timber.

The continuation of human disturbances characteristic of the Middle Bronze Age is postulated for the Late Bronze Age and the Early Iron Age as well. However, the focus of human activities was displaced from the area of the original, natural forest-steppes to those of natural woodlands in Transdanubia and the Subcarpathian region. Around the newly established fortified military centers, located in a woodland setting a full transformation of the landscape and the vegetation is discernible yielding the emergence of wide open areas. These transformations favored the intrusion of non-arboreal elements indigenous of adjacent natural forest-steppes as well as that of weeds. The resulting woodland-grassland ecotone in a natural woodland setting was the clear outcome of human activities here dated to the Late Bronze and Early Iron Ages. Signs of extensive deforestation during the referred periods are recorded in the catchment basins, hallmarking intensive soil erosion and inwash and contributing to the paludification and silting up of minor creek beds, ponds under the Early Iron Age rainfall maximum. The littoral region of larger lakes and the banks of larger rivers were silted up to such an extent, that a clear advent of reed, bulrush and sedge was traceable there.

The next stage is connected to the invasion of Celtic tribes conquering the entire basin and in possession of high-tech iron tools. Human-induced forest-steppe development could have been attested along numerous settlement points. Based on the analysis of plant remains retrieved from Celtic features a clear transformation of the agricultural activities can be postulated. A drastic drop in the areas under woodland cover is likewise discernible parallel with the expansion of arable lands, orchards and pasturelands becoming the focus of economic activities during the Late Iron and the Imperial Ages. Thus these Celtic tribes were engaged in extensive plant cultivation, high-class gardening and animal husbandry. The strong presence of wine grapes and chestnut in the array of plants cultivated by the Celts is outstanding in our understanding of the emergence of Submediterranean agriculture of the Imperial Age as it clearly shows the local roots of such activities. The highly intertwined agricultural activities of the Late Iron Age and Imperial Age reach such heights in the area of the Carpathian Basin, that they are even recorded in the diaries of imperial travelers as well dated to the 3<sup>rd</sup> 4<sup>th</sup> centuries AD. Other hallmarks of intensive human activities include the well-constructed and maintained network of roads and the defense line of the limes. The transformation of the floodplain of the Danube valley during the reign of the Roman emperors reached such heights that it brought about a complete disappearance of the natural woodlands on the side of Pannonia province. When counter-fortresses were constructed on the other side of the Danube, it also resulted in the disappearance of the natural woodland there as well. The creation of artificial steppes accompanying the construction of roads and defense systems favored the colonization of the species to these areas as well.

It must be noted here that although human-induced transformations of the landscape are largely recorded in the Transdanubian side of the Pannonia province for the referred period, changes were likewise large-scale on the other side of the basin populated by barbarian herds. Sarmatian tribes characterized by extensive animal husbandry and high population numbers and later adopting Roman type economic activities had similarly large impact on the landscape of the Great Hungarian Plains. Incipient wind-blown sand movements in areas under an original forest-steppe cover are perhaps the best markers of intensified landscape exploitation (KISS et al., 2006). Overgrazing of sandy steppes, forest-steppes by members of a group characterized by nomadic pastoralism was an important trigger of anthropogenic sand movement. These changes however by no means were unique. Similar negative outcome could have been attested to tribes settling the area during the Migration Age, including the nomadic Avars and the Hungarians as well. Cumanians settling the area before and after the Mongolian invasion caused similar landscape changes in the wind-blown sandy areas of the Great Hungarian Plains (SÜMEGI, 2001; KISS et al., 2006). The pastoral practices of these nomadic tribes, when complemented by dry spells of the climate resulted in the creation of semi-desert environment in certain parts. These were counterbalanced by periods of higher rainfall and the transformation of agricultural practices to avoid the full degradation of the landscape yielding a forest-steppe again in the long run. Nevertheless, these highly degraded landscapes have also pointed to the high vulnerability of this unique ecosystem. Although these transformations clearly highlighted periods, when the limit of sustainability was reached no truly irreversible transformations can be inferred in the landscape until the 19th century. The period of the Middle Ages, although characterized by intensive human activities, favored the

preservation of mosaic-patterning present in the vegetation thanks to the array of productive techniques adopted ensuring the collective presence of meadows, pasturelands, cultivated arable lands, fallows, remnant natural and artificial woodlands. Thus the original structure of the forest-steppe ecotone and the most important composing taxa was more or less preserved. The appearance of Turkish rule and the desertification of certain urban areas of the Great Hungarian Plains further enhanced the natural regeneration of the Pannonian forest-steppe and these conditions prevailed up to the second half of the 17<sup>th</sup> century. It was the time when maize (Turkish wheat in original name) was first introduced via Turkish means to the area of the Great Hungarian Plains. This crop altered the way people thought about animal husbandry and resulted in the introduction of intensive stall-feeding where corn gave the main fodder. The introduction of this new line of thinking fundamentally transformed the way landscape was treated. The traditional system of meadows-pasturelands and arable lands was abandoned and there was a huge hunger for the exploitation of new lands to provide higher yields. This could have been achieved by the drainage of waterlogged areas, peatlands and the plowing of meadows and pasturelands alone. The lack of male labor force as an outcome of the Napoleon wars resulting in extremely high wheat prices was a further push factor to achieve these goals in hope of a greater profit putting the owners of the agrarian system to the side of river regulations and the acquisition of new land for production. The complete destruction of the original structure and composition of the Pannonian forest-steppe is attributable to the 19<sup>th</sup> century flood protection and river regulation measures seen in the creation of vast dike and canal systems and the drainage of the landscape to acquire new land suitable for intensive cereal production. It was this time when the ecological foundation of the area was overthrown: the hydrology. As the natural supply of climate-induced loss of water of the landscape via floods ceased, the ecological systems whose functioning is based on the availability of water collapsed. Industrial agricultural production resulted a complete homogenization of the vegetation creating a so-called cultural landscape or better to say “cultural desert”. This process is still active and the extreme droughts and increasing temperatures of the past 50 years favored the emergence of a steppe-like environment in the heart of the basin (PÁLFAI, 1989). A major deal is whether or not this process will halt at a certain point or will result in a complete degradation of the landscape. It's quite clear though that the natural system of multiple ecotones was seriously damaged and could be restored by special measures of experts working collectively for the restoration and conservation of the landscape.

## References

- Bernátsky, J. 1914: A magyar Alföld fás növényzete. *Erdészeti Kísérletek*, 16, 129–180.
- Borhidi, A. 1956: Die Steppen und Wiesen im Sandgebiet der Kleinen Ungarischen Tiefebene. *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 2, 241–274.
- Borhidi, A. 1961: Klimadiagramme und Klimazonale Karte Ungarns. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Lorando Eötvös Nominatae, Sectio Biologica*, 4, 21–50.
- Bökönyi S. (ed.) 1992: Cultural and landscape changes in South-east Hungary. I. Reports on the Gyomaendrőd Project. Budapest.
- Guthrie, R. D. 2001: Origin and causes of the mammoth steppe: a story of cloud cover, woolly mammal tooth pits, bucklets, and and inside-out Beringia. *Quaternary Science Reviews*, 20, 549–574.

- Holdridge, L. R. 1947: Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367–368.
- Horsák, M. – Chytrý, M. – Pokryszko B.M. – Danihelka, J. – Ermakov, N. – Hájek, M. – Hájková, P. – Kintrová, K. – Kocí, M. – Kubesová, S. – Lustyk, P. – Otýpková, Z. – Pelánková, B. – Valachovic, M. 2010: Habitats of relict terrestrial snails in southern Siberia: lessons for the reconstruction of palaeoenvironments of full-glacial Europe. *Journal of Biogeography*, 37, 1450–1462.
- Hupuczi, J. – Sümegei, P. 2010: The Late Pleistocene paleoenvironment and paleoclimate of the Madaras section (South Hungary), based on preliminary records from mollusks. *Central European Journal of Geoscience*, 2, 64–70.
- Jakab, G. – Sümegei, P. 2011: Negyedidőszaki makrobotanika. Geolitera Kiadó, Szeged.
- Jánossy, D. 1979: A magyarországi pleisztocén tagolása gerinces faunák alapján. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Járai-Komlódi, M. 1987: Postglacial climate and vegetation history in Hungary. In: Pécsi, M. – Kordos, L. (eds.) *Holocene environment in Hungary*. Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 37–48.
- Járai-Komlódi, M. 2000: A Kárpát-medence növényzetének kialakulása. *Tilia*, 9, 5–59.
- Kretzoi, M. 1977: Ecological conditions of the „loess period” in Hungary as revealed by vertebrate fauna. *Földrajzi Közlemények*, 25, 75–89.
- Kiss, T. – Nyári, D. – Sipos, Gy. 2006: Homokmozgások vizsgálata a történelmi időkben Csengele területén. In: Kiss A. – Mezősi G. – Sümegei Z. (eds). *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére*, 373–383.
- Kordos, L. 1987: Climatostratigraphy of Upper Pleistocene Vertebrates and the condition of loess formation in Hungary. *GeoJournal*, 15, 163–166.
- Lavrenko, E. M. – Karamyseva, Z.V. 1991: Steppes of the Former Soviet Union and Mongolia. In: Coupland, R.T. ed. *Natural Grassland: Eastern Hemisphere and Résumé. Ecosystems of the World*, 8b, Elsevier, London, 3–60.
- Meng, S. – Hoffmann, M. 2009: *Pupilla loessica* LOŽEK 1954 (Gastropoda: Pulmonata: Pupillidae) – „A Living Fossil” in Central Asia? *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal*, 58, 55–69.
- Marković, S.B. – Bokhorst, M. P. – Vandenberghe, J. – McCoy, W.D. – Oches, E.A. – Hambach, U. – Gaudenyi, T. – Jovanović, M. – Zöller, L. – Stevens, T. – Machalett, B. 2007: Late Pleistocene loess-palaeosol sequences in the Vojvodina region, north Serbia. *J. Quaternary Sciences*, 23, 73–84.
- Molnár, Cs – Bölöni, J. – Pál, R. – Türke, J.I. – Jakab, G. – Kállayné Szerényi, J. 2007: Növényföldrajz és flóra. Ilyés, E. – Bölöni, J. (eds.) *Löszszipteppek, lejtősszipteppek és erdősszipteppek rétege Magyarországon*. Magánkiadás, Budapest, 170–177.
- Pazoni, P. 2004: Mammalian ecosystem dynamics in the Carpathian Basin during the last 27,000 years. *Palaeogeography-Palaeoclimatology-Palaeoecology*, 212, 295–314.
- Pálfai, I. 1989: Az Alföld aszályossága. *Alföldi Tanulmányok*, 13, 7–25.
- Pelánková, B. – Chytrý, M. 2009: Surface pollen-vegetation relationships in the forest-steppe, taiga and tundra landscapes of the Russian Altai Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 157, 253–265.
- Persaits, G. – Sümegei, P. 2011: A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. In: Unger, J. – Pál-Molnár, E. (eds.) *Geoszférák 2010*. Geolitera, Szeged, 307–354.
- Rapaics, R. 1918: Az Alföld növényföldrajzi jelleme I-II. *Erdészeti Kísérletek*, 20(1-2), 1-97., 20(3-4), 183–247.
- Rudner, E. – Sümegei, P. 2001: Recurring taiga forest steppe habitats in the Carpathian Basin in the Upper Weichselian. *Quaternary International*, 76/77, 177–189.

- Schatz, A.K. – Zech, M. – Buggle, B. – Gulyás, S. – Hambach, U. – Sümegei, P. – Marković, S. – Scholten, T. 2011: The late Quaternary loess record of Tokaj, Hungary – reconstructing palaeoenvironment, -vegetation and -climate using stable C and N isotopes and biomarkers. *Quaternary International*, 240, 52–61.
- Stevens, T. – Markovic, S.B. – Zech, M. – Hambach, U. – Sümegei, P. 2011: Dust deposition and climate in the Carpathian basin over an independently dated last glacial/interglacial cycle. *Quaternary Science Reviews*, 30, 662–681.
- Sümegei, P. 2001: A Kiskunság a középkorban – geológus szemmel. In: Horváth, F. A Csengelei kunok ura és népe. *Archaeolingua Kiadó, Budapest*, 313–317.
- Sümegei, P. 2005: Loess and Upper Paleolithic environment in Hungary. *Aurea Kiadó, Nagykovácsi*.
- Sümegei, P. – Krolopp, E. 2002: Quatermalacological analyses for modeling of the Upper Weichselian palaeoenvironmental changes in the Carpathian Basin. *Quaternary International*, 91, 53–63.
- Szelepcsényi, Z. – Breuer, H. – Ács, F. – Kozma, I. 2009: Biofizikai klímaklasszifikációk (1. rész: a módszerek bemutatása). *Léggör*, 54, 21–26.
- Szelepcsényi, Z. 2012: A Kárpát-medence éghajlata a XX. században Holdridge életforma rendszere alapján. OFKD dolgozat. XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Veszprém, 33 p.
- Varga, Z. – Borhidi, A. – Fekete, G. – Debreczy, Zs. – Bartha, D. – Bölöni, J. – Molnár, A. – Kun, A. – Molnár, Zs. – Lendvei, G. – Szodfrid, I. – Rédei, T. – Facsar, G. – Sümegei, P. – Kósa, G. – Király, G. 2000: Az erdőssztyepp fogalma, típusai és jellemzésük. In: Molnár Zs. – Kun A. (eds.): *Alföld erdőssztyepp maradványok Magyarországon*. WWF Kiadvány, Budapest, 7–19.
- Vörös, I. 1987: Large mammalian faunal changes during the Late Upper Pleistocene and Early Holocene times in the Carpathian Basin. In: Pécsi, M. (ed.): *Pleistocene environment in Hungary*. Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 81–101.
- Willis, K.J. – Sümegei, P. – Braun, M. – Tóth A. 1995: The Late Quaternary environmental history of Bátorliget, N.E. Hungary. *Palaeogeography-Palaeoclimatology-Palaeoecology*, 118, 25–47.
- Willis, K.J. – Rudner, E. – Sümegei, P. 2000: The full-glacial forests of central and southeastern Europe: Evidence from Hungarian palaeoecological records. *Quaternary Research*, 53, 203–213.
- Zazula, G. D. – Froese, D. G. – Schweger, C. E. – Mathewes, R. W. – Beaudoin, A. B. – Telka, A. M. – Harington C. R. – Westgate, J. A. 2003: Ice-age steppe vegetation in east Beringia. *Nature* 423, 603.
- Zazula, G. D. – Froese, D. G. – Elias, S. A. – Kuzmina, S. – Mathewes, R. W. 2007: Arctic ground squirrels of the mammoth-steppe: paleoecology of Late Pleistocene middens (24 000–29 450 14C yr BP), Yukon Territory, Canada. *Quaternary Science Reviews*, 26, 979–1003.
- Zech, M. – Buggle, B. – Leiber, K. – Marković, S. – Glaser, B. – Hambach, U. – Huwe, B. – Stevens, T. – Sümegei, P. – Wiesenberg, G. – Zöller, L. 2010: Reconstructing Quaternary vegetation history in the Carpathian Basin, SE Europe, using n-alkane biomarkers as molecular fossils: problems and possible solutions, potential and limitations. *Eiszeitalter und Gegenwart. Quaternary Science Journal*, 85, 150–157.
- Zólyomi, B. 1957: Der Tatarenahorn-Eichen-Lösswald der zonalen Waldsteppe. *Acta Botanica Hungarica*, 3, 401–424
- Zólyomi, B. 1958: Budapest és környékének természetes növénytakarója. In: Pécsi, M. – Marosi, S. – Szilárd, J. (eds.) *Budapest Természeti Képe*. Akadémiai Kiadó, Bp., 509–642.
- Zólyomi, B. 1987: Coenotone, ecotone and their role in preserving relic species. *Acta Botanica Hungarica*, 33, 3–18.
- Zólyomi, B. – Fekete, G. 1994: The Pannonian loess steppe: differentiation in space and time. *Abstracta Botanica*, 18, 29–41.

## AZ ERDŐSSZTYEPP HOSSZÚ TÁVÚ FEJLŐDÉSE AZ ALFÖLDÖN PALEOÖKOLÓGIAI ADATOK ALAPJÁN

A Kárpát-medence centrumában egy a jégkor végi hidegmaximumot követően kialakult boreális erdőssztyepp szerkezetbe termomezofil fajok telepedtek meg 16 ezer cal BP évet követően. Ez a fajgazdag, túlevelű erdőelemekkel jellemezhető boreális erdőssztyepp a jégkor végén, a holocén kezdetére átalakult és egy kontinentális-szubmediterrán elemeket tartalmazó erdőssztyepp alakult ki a medence centrumában. Ezek a változások rendkívüli mértékben hasonlítanak a kelet-európai síkságon kifejlődött erdőssztyepp területeken kimutatható változásokhoz, de a Kárpát-medencében ezek a folyamatok korábban játszódtak le. Ugyanakkor a medencében, a terület geográfiai pozíciója következtében erőteljesebb óceáni és szubmediterrán, sőt a hegykoszorú következtében szubkárpati éghajlati hatás is kifejlődött, szemben a Kelet-Európai Síksággal. Az éghajlati hatások, az éghajlati határfelületi helyzet nyomán a pontusi, balkáni, atlanti, valamint hegyvidéki elemek jelentkeznek a kontinentális erdőssztyepp elemek mellett a medencében. Vagyis az éghajlati határfelület mellett a vegetáció határfelülete is kialakult. Az erdőssztyepp környezetet kialakító éghajlati hatások közül a legjelentősebb a nyári félév hőmérséklete, csapadékösszeg és a nyári félévnek a párolgási tényezői és ezekkel összefüggésben lévő relatív nedvesség emelhető ki, mert ezek a tényezők teljes mértékben átfednek az alföldi erdőssztyepp határával. A medence centrumában kialakult erdőssztyeppet a hegységi, dombsági és magasabb térszíni, jelentősebb csapadékbevitellel jellemezhető területeken zárt lomboserdő vette körül. A Holdridge féle bioklimatológiai osztályozás alapján az alföldi erdőssztyepp a hidegmérsékelt füves puszta – a hidegmérsékelt üde erdő és a melegmérsékelt száraz erdő közötti átmeneti (ökoton) zónában alakult ki, ahol az átmeneti régióban a melegmérséklet szárazerdő – a hidegmérsékelt füves puszta és a hidegmérsékelt üde erdőfoltok és sávok egyaránt megtalálhatók egy mozaikos szerkezetet alkotva.

Az éghajlati hatások mellett a Kárpát-medencében a holocén kezdetére kialakult erdőssztyepp fejlődésére az edafikus (domborzati, geológiai, hidrológiai és talajtani) adottságok is hatással voltak. Ezek a folyamatok legjobban a már a jégkor végétől kifejlődött speciális talajvízforgalomhoz, kőzet – talajvíz – talaj – növényzet kapcsolatokhoz köthető szikes területeken követhetők nyomon. A holocén kezdetére kialakult mérsékeltövi erdőssztyepp kifejlődésében, stabilizációjában a természetes tüzek, döntően lágyszárúakat fogyasztó nagytestű növényevők csordái, a tömegesen jelentkező, sztyeppeti környezetet igénylő rágcsálók is jelentős szerepet játszottak. A kora holocén halász – vadász – gyűjtögető mezolitik kultúrák és a neolitik közösségek ebben a mozaikos szerkezetű, erdőfoltokból, sztyeppfoltokból és átmeneti (ökoton) sávokból álló fajgazdag környezetben éltek. Mivel megtelepedési pontjaik ezeknek a kultúráknak elsősorban a nyitottabb növényzeti foltokhoz kötődött ezeknek a közösségeknek számottevő módon nem alakították át az erdőssztyepp szerkezetét, bár a neolitik közösségek növénytermesztésük révén új fajokkal, köztük gyomokkal gazdagították az erdőssztyepp növényzetét és fenntartották az erdőssztyepp mozaikos, ökoton jellegét. Ugyanakkor ezek a közösségek az erdőssztyepp zóna peremén lévő, illetve a zónán belül hidegmérsékelt üde erdőkre már jelentősebb hatással voltak és tevékenységük nyomán a heliofil szegélyvegetáció terjedt ki ezeken a területeken. Az adatok alapján a jégkor végén kifejlődött mozaikos szerkezetű, ökoton jellegű erdőssztyepp makro-



klimatikus, edafikus okok és a mezolitikumtól kezdődően az emberi hatások egyaránt szerepet játszottak a holocén kori stabilizációjában és fejlődésében. A késő neolitikumtól, rézkortól a háziasított legelő állatok jelentős állomány-növekedésének vagyunk tanúi, a gyomok terjedése szintén az emberi hatások kiterjedését jelzi, és a dombvidéki szántók is a középső újkőkor végén, valószínűleg jelentős népességnövekedés hatására terjedtek ki. Ezt követően a bronzkor közepétől, megközelítőleg az Kr.e. 1500 évtől történt egy újabb jelentős változás, a nagy testű növényevő fajok vad alakjai, talán a túlzott vadászat és domesztikáció nyomán, szinte nyomtalanul eltűntek a vizsgált térségből. Viszont a tenyésztett állatok csordái pótolták a vad alakok mozaikos növényzeti struktúrát fenntartó hatásait (rágás, taposás).

A jelentős népességszám-növekedés, a fejlettebb társadalmi berendezkedés, a több száz éven keresztül folyamatosan lakott stabil településeket kialakító bronzkori preurbánus fejlődés, a lakott térségeket, legelő- és szántóterületeket étetéssel kialakító, egyre jelentősebb tenyésztett állatállománnyal rendelkező közösségek hatására igen sok helyen a természetes fejlődés megszakadt, kultúrsztyeppék és kezelt erdők alakultak ki. Az emberi hatással zavart növényzeti foltok aránya a fémkultúrák kialakulásával, terjedésével fokozatosan növekedett és a bronzkor végére, a vaskor kezdetére az eredetileg teljesen erdőszült területekre is kiterjedt olyan mértékben, hogy ezeken a területeken is növényzeti ökotonok, emberi hatás alatt álló erdőssztyeppék alakultak ki. Ezek a hatások a késő-vaskorban és a császárkorban még tovább erősödtek és szinte az egész medence antropogén hatású erdőssztyeppé alakult át. Az ókori, a népvándorlás kori és a középkori emberi hatások közül kiemelkedik a Kelet-Európai Síkságról a medencébe vándorolt nagyállattartó közösségek szerepe, mert a szárazabb éghajlati szakaszokban a megnövekedett állatállomány következtében helyenként túllegeltetés és ennek nyomán antropogén sztyeppéi – félsivatagi környezet és futóhomokmozgás alakult ki. A mezőgazdasági szerkezeti váltások és a csapadékosabb szakaszok hatására ezek a növényzeti sebhelyek viszonylag gyorsan regenerálódtak és középkor végén, az újkor kezdetén a tradicionális, mozaikos környezetet fenntartó agrárközösségek révén a pannon erdőssztyepp szerkezete és fajkészlete szinte változatlanul fennmaradt. Sajnos az újkorban megjelent istállózó állattartás, a kukoricán hizlalásra áttérés és az ártéri legelők, rétek feltörése, majd a folyószabályozás nyomán kialakult kiterjedt nagytáblás szántóföldi művelés nyomán a pannon ökoton növényzet szerkezete és szinte minden eleme végveszélybe került. Csak a XX. században, szinte az utolsó pillanatban létrehozott szigorú természetvédelmi intézkedések és a természetvédelmi szakemberek önfeláldozó munkája révén sikerült megőrizni és a túlfejlesztett mezőgazdasági területek revitalizálásával, erdőssztyepp növények és a természetes átmeneti ökoszisztémát stabilizáló állatok (vadlovak) újratelepítésével helyenként visszaállítani ezt a vegetációt. A pannon erdőssztyepp ökoton jellegű növényzet fennmaradásának ellenére kétséges a medencében, mert egyrészt a globális felmelegedés nyomán kialakuló szárazság okozta vegetációs változások, másrészt az összességében igen kis területre vonatkozó védelem, a fragmentáció, és a kiterjedt emberi tevékenység következtében rendkívül sérülékeny, megszűnés határán lévő állapotban van jelenleg.

# MESO-REGION SCALE CHANGE OF CLIMATE IN THE 21TH CENTURY AND ITS POTENTIAL IMPACTS ON THE ENVIRONMENT IN THE CARPATHIAN BASIN

*Viktória Blanka<sup>1</sup> – Gábor Mezősi<sup>1</sup> – Wolfgang Loibl<sup>2</sup> – Gabriella Szépszó<sup>3</sup> – Péter Csorba<sup>4</sup> – Burghard Meyer<sup>5</sup> – Teodóra Bata<sup>1</sup> – Richárd Nagy<sup>4</sup> – Róbert Vass<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>University of Szeged, Department of Physical Geography and Geoinformatics

<sup>2</sup>Austrian Institute of Technology

<sup>3</sup>Hungarian Meteorological Institute

<sup>4</sup>University of Debrecen, Department of Landscape Protection and Environmental Geography

<sup>5</sup>Universität Leipzig, Institut für Geographie

## Introduction

In the twentieth and twenty-first centuries, the warming of the global climate system global is becoming increasingly obvious and further warming is expected. This warming is accompanied with changing precipitation conditions, causing more frequent and more serious natural disasters, which lead to financial and environmental losses (IPCC 2007). This climate change has significant effects on the natural environment. Large number of investigations have demonstrated, that the actual changes of the temperature and precipitation take significant effects on all factors of the environment, thus they can alter the rate of the geomorphologic processes (DIKAU – SCHROTT, 1999), soil erosion (MUNKA et al., 2007), living condition of the vegetation (RITCHIE, 1986; FLANNIGAN et al., 2000) etc. Therefore, a comprehensive knowledge of these effects is essential to mitigate their unwanted consequences. At present the most suitable method to analyse the future climate change is probably the application of regional climate models. There are several different regional climate models available and four of them (ALADIN, REMO, PRECIS, RegCM) are already tested and applied for the Carpathian Basin. The extremity of the climate became more and more pronounced also in the Carpathian Basin in the last decades and it is expected that in the future decades this tendency will persist. The models predicted a continuous, inconstant temperature increase, with the most intense increase occurring in the summer months (the rate of change is similar to that experienced between 1980 and 2010). The change in yearly precipitation in the models was not significant; however, the distribution of precipitation within a year is expected to be more heterogeneous, with decreasing summer and increasing winter precipitation (BARTHOLY et al., 2008; SZABÓ et al., 2011; CSORBA et al., 2012). Climate simulations show that extreme climate events may occur more frequently in the Carpathian Basin over the next century and that more prolonged and severe hot and dry periods are expected (SZÉPSZÓ, 2008).

This research therefore investigates the effects of changing weather extremes on meso-regional-scale landscape vulnerability. Climatic-exposure parameter analysis was performed on a predicted climate change scenario. Soil erosion caused by water, drought, soil erosion caused by wind, mass movement and flash floods were analysed for the time periods of 1961–1990, 2021–2050 and 2071–2100.

## Methods

### *Determination of the landscape units*

The traditional landscape micro-regions (PÉCSI – SOMOGYI, 1967) were defined by using the geomorphologic characteristics of the landforms for the regional and local typifications. However the regional climatic models used in this study did not include enough data for a micro-region scale analysis. Therefore, it was practical to analyse at the aggregated hierarchical level of meso-scalic landscape units.

In the analysis 18 landscape units were defined, because the analysis of the 230 traditional, environmentally homogeneous micro-regions of Hungary was not possible due to the resolution of the climate data (Fig. 1). The areas of the defined units are better suited not just to the resolution of the climate data, but the demands of spatial planning. The determination of the landscape units was based on the spatial diversity of landscape shaping factors (relief, soil, geology, vegetation, land use and climate). In some cases the borders of the units were also fitted to the border of larger natural landscape units (e.g., micro-regions along the middle and lower sections of the Tisza River) and economic regions (e.g., central Hungary), where the border was justified by the climate dependence of the land use. Thus the physical parameters are relatively homogeneous in the units; therefore, any climate change affects the entire unit in more or less the same way. An analysis on this scale can be important for the recognition of probable future climate effects and in the preparation of strategic spatial plans.

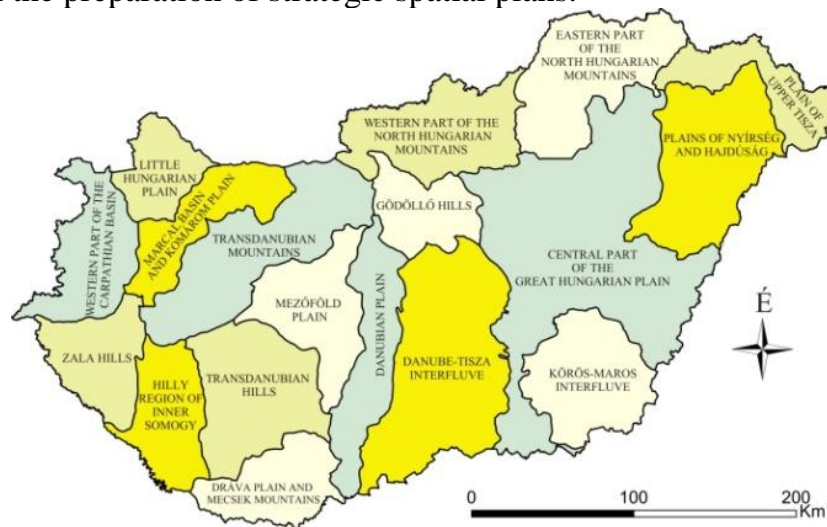


Fig. 1. *The examined landscape units*  
1. ábra. *A vizsgált tájegységek*

### *Calculation of the climate data*

It is difficult to sketch a valid picture of climate change for the entire area of Hungary. Scaling down tendencies is hindered by several factors. One initial basic problem was the choice of the climate change scenario to be considered (IPCC, 2007; BARTHOLY – PONGRÁCZ, 2010). Another essential aspect is the selection of the regional climate change model. The available models are different in the resolution of the data and also in the basic model assumptions. In Hungary four regional models (ALADIN, REMO, PRECIS, RegCM) were run and tested, and REMO and ALADIN models seemed the most reliable for Central Europe. Therefore the expected future changes of the climate

parameters were analysed using two regional climate models, REMO and ALADIN. The models utilise the A1B scenario, which represents the average changes of greenhouse gas emissions, to model anthropogenic climate forcing. The A1B scenario describes an integrated world with rapid economic growth, slowing population increases, a quick spread of new and efficient technologies and a balanced emphasis on all energy sources. The resolution of the climate data was 0.22° (approximately 25 km). The climate projections were generated by the Numerical Modelling and Climate Dynamics Division of the Hungarian Meteorological Service.

For the calculations daily temperature and precipitation data for the periods from 2021–2050 and 2071–2100 were used. The temperature and precipitation changes are expressed in °C and mm, respectively, with respect to the reference period of 1961–1990. The following changes in the extreme climate indices were also generated from the two models: frost days in days/year; summer days ( $T_{\max} > 25$  °C) in days/year; heat waves ( $T_{\text{mean}} > 25$  °C) in days; extremely heavy precipitation days ( $R_{\text{day}} \geq 20$  mm and  $R_{\text{day}} \geq 30$  mm), in days/year; and the simple daily intensity index (SDII), which is a measure of the precipitation amount per rainy day,  $R_{\text{day}} \geq 1$  mm, in mm/day. From all of these data, average yearly data were calculated and average monthly data from precipitation and temperature data were calculated and evaluated for the two study periods for each grid point. Regional average values were calculated for the landscape units based on the climate parameters at each grid point.

## Results

### *Meso scale change of climate on the basis of REMO and ALADIN models*

The yearly mean temperature is expected to increase on every landscape units by 1.2–2 °C for the period of 2021–2050 and by 3.4–3.7 °C for the period of 2071–2100 compared to the reference period of 1961–1990. Because of the small area of the country, there are only slight spatial differences in the future changes of the temperature, based on the models. However a characteristic trend like increase can be observed from north-west to south-east (Fig 2).

On the basis of the separate analysis of the winter and summer half years, it can be observed that the spatial pattern of the changes in the mean temperature is the same as in the case of the yearly mean, however the increase in the summer half year (1.6–2.1 °C in the period of 2021–2050 and 3.8–4.2 °C in the period of 2071–2100) is expected to be higher than in the winter half year (1.2–1.4 °C in the period of 2021–2050 and 2.9–3.1 °C in the period of 2071–2100) on all landscape units.

In case of the changes of temperature extremes, it can be seen that the number of summer days and heat waves are expected to increase, while the number of frost days is expected to decrease on all landscape units. The spatial differences in the country are higher than in case of mean temperature. Particularly this spatial difference is distinctive in case of the heat waves. The average of the two models shows that the changes of the number of heat waves and the number of frost days is expected to increase from north to south in the period of 2071–2100. The increase of the number of summer days however will be more and more higher from south to north (Fig. 4).

There are more distinct spatial differences in the changes of the yearly precipitation sum. The difference between the minimum and maximum value on the landscape

units is approximately 90 mm in the modelled periods. Moreover, on some landscape units, the direction of the changes is also different. The spatial pattern of the precipitation change is similar to the changes of the mean temperature; as it will slightly increase on the north-western part of the country and the highest precipitation decrease can be observed on the south-eastern part of the country (Fig. 3).

On the basis of the separate analysis of the winter and summer half years, significant difference can be detected between the two half year. In the summer half year slight increase is expected on the north-western part while on the south-eastern part slight decrease is predicted for the period of 2021–2050. For the period of 2071–2100 precipitation decrease is expected on all landscape units, but with different rate ((-59) – (-20) mm). However in the winter half year the precipitation change will be negligible (less than 10 mm) on all landscape units for the period of 2021–2050. For the period of 2071–2100 the winter precipitation will increase by 25–46 mm on the units.

The number of days with extremely high precipitation is expected to increase in the whole country; however the rate is significantly diverse on the landscape units. On the basis of the average of the two models the rate of changes in case of the days with more than 20 mm precipitation is varied between 0.2 and 1.4 days for the period of 2021–2050 and between 0.7 and 2.7 for the period of 2071–2100. In case of the days with more than 30 mm precipitation the increase is varied between 0.6 and 1.1 days for the period of 2021–2050 and between 0.9 and 1.5 for the period of 2071–2100. Typical spatial pattern can also be detected, as rate of change is predicted to be the highest on the western part and it decrease toward east and the smallest values are expected on the Great Hungarian Plain. The value of precipitation intensity index is expected to increase slightly on all landscape units in both modelled periods (Fig. 5).

### *Differences in the model predictions*

Between the projections of the two applied models significant differences can be detected. The most uncertain part of the climate prediction is the precipitation change projection, thus the highest differences between the two models can be identified in case of this parameter. On several landscape units the tendency of the changes are also different. For the period of 2021–2050 the differences are slighter. Different direction of the changes is occurred only on the central and north-eastern part of the country. For the period of 2071–2100 the differences between the models are more significant. For this period the ALADIN model indicate decreasing precipitation for all landscape units, while REMO projects precipitation decrease only for 3 landscape units (Nyírség és Hajdúság, Alföld központi része, Körös–Maros köz) on the south-east part of the country (Fig. 6). The rate of precipitation change is also different in the models. The maximum difference was occurred on the western part, while the minimum difference was experienced on the on the south-east part of the country in both periods. The prediction of temperature change is more similar in the models, the spatial pattern of the changes are similar, just the rate of the changes are somewhat higher on the basis of ALADIN model for the period of 2021–2050. For period of 2071–2100 the rate of changes are also similar.

The projection of climate extremities is also different. In projection of changes of summer days more significant differences can be observed for the period of 2021–2050

than for the 2071–2100 period. In the first period REMO indicate significantly smaller changes on the northern part of the country, but these differences is diminished until the end of the 21<sup>th</sup> century (Fig. 7).

### ***Distinguishing Climate-Region Types for Hungary***

The REMO and ALADIN simulations have provided results that show differences in certain regions (particularly in the east and south), depicting the uncertainty range by applying different climate models. Multivariate statistical analysis and classification have been performed considering the climate change trends in the Hungarian climate regions and including the uncertainty range of the model simulations. The objective was to distinguish the region types with similar climate change characteristics. The landscape diversity in Hungary is relatively narrow, distinguishing the climate regions was a somewhat challenging task that was performed by applying factor and cluster analyses (LOIBL – AUBRECHT, 2011). Factor analysis was used for reducing the number of variables and generating a few distinct and integrated “super indicators” out of (via factor loadings) weighted input variables – the factor coefficients. Cluster analysis was used to group the Hungarian regions by the climate characteristics of the current and future climate by applying multivariate statistics. To conduct the clustering task, climate and climate-change indicators were extracted from raster sets of precipitation, temperature and extreme-event indicators by averaging the indicators for the 18 Hungarian meso-regions. Finally, the factor analysis results were obtained for the temperature and precipitation data subsets individually. The temperature subsets contain absolute numbers for the current and future temperature (the regional average and range within the region) and the averages of frost days ( $\leq 0^{\circ}\text{C}$  Tmin) and summer days ( $>25^{\circ}\text{C}$  Tmax) by scenario version. The precipitation subsets contain current and future rainfall absolutes (totals and range within the regions), the numbers of extreme rainfall days ( $>20$  mm and  $>30$  mm per day), and the average daily rainfall sum on precipitation days ( $>1$  mm) by scenario. The factor analyses deliver the factor coefficients for the meso-regions as “super-indicators”. The coefficients of those factors whose eigenvalues explain more than 10% of all variables’ variance (usually 2 factors per analysis) were selected. These factor coefficients of the few important factors describe the current and future climates from the ALADIN and REMO scenario results.

Using those factor coefficients, cluster analyses were performed with alternative linkage approaches and metrics to identify the regions of similar characteristics by detecting the natural groupings in the data. Hierarchical clustering, which records the tightness of linkages between the factor coefficients by observing the similarity or “distance” between the values by (region) case, is typically applied. Several distance metrics and linking methods are available with hierarchical clustering. Ward’s linkage method was applied, which averages all the distances between pairs of objects in different clusters, with adjustments for the covariance, to determine how far apart the clusters are. As a distance metric, the normalised Euclidean distance (root-mean-squared distance) was used.

The cluster analysis results that are ultimately selected to delineate the climate regions are based on the factor coefficients of the 2 highest factors of the 4 different factor analyses for the temperature and the precipitation considering the scenario results for 2021–2050 and 2071–2100 and integrating the temperature and precipitation ranges of the meso-regions. The overall cluster analysis produced 4 climate regions in the country:

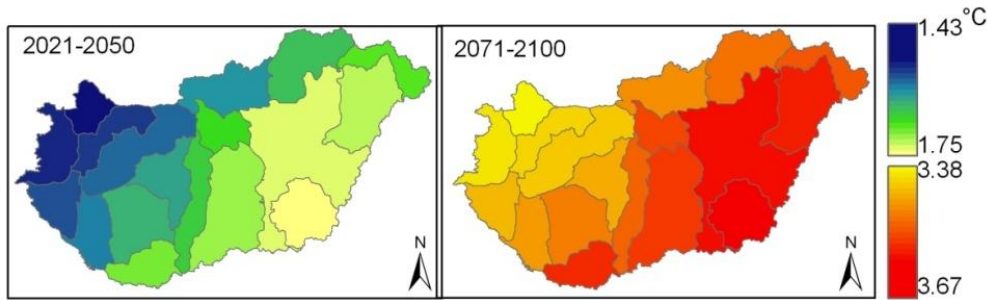


Fig. 2. Changes of mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in 2021–2050 and 2071–2100 periods, based on the average value of REMO and ALADIN models

2. ábra. Az évi átlaghőmérséklet változása a két modell átlaga alapján 2021–2050 és 2071–2100 időszakokban

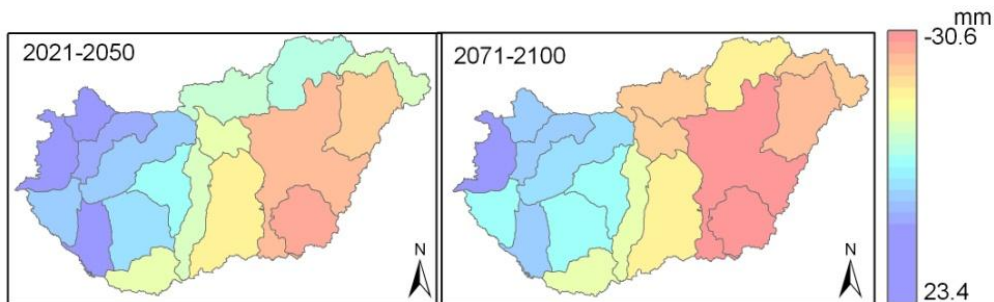


Fig. 3. Changes of mean precipitation ( $^{\circ}\text{C}$ ) in 2021–2050 and 2071–2100 periods, based on the average value of REMO and ALADIN models

3. ábra. Az évi átlagos csapadék változása a két modell átlaga alapján 2021–2050 és 2071–2100 időszakokban

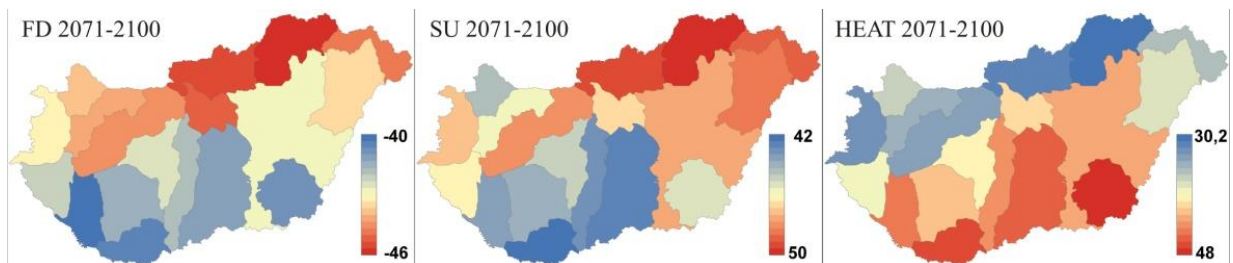


Fig. 4. Changes of extreme temperature indices (day/year) in 2071–2100 period, based on the average value of the REMO and ALADIN models

4. ábra. Hőmérsékleti extrém napok számának változása a két modell átlaga alapján 2071–2100-ig

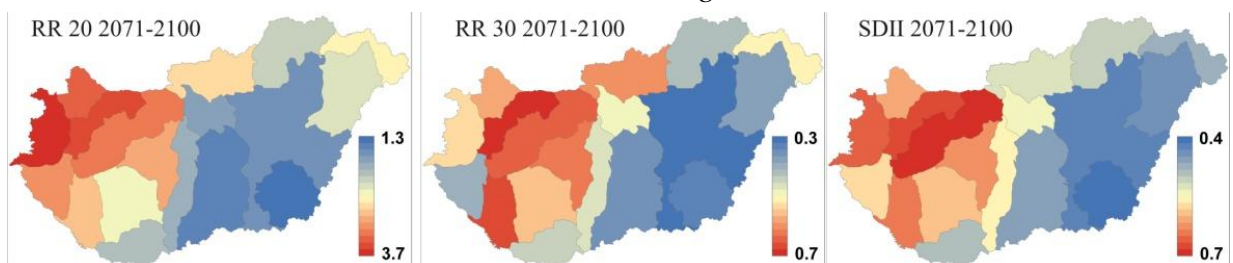


Fig. 5. Changes of extreme precipitation indices (day/year) in 2071–2100 period, based on the average value of the REMO and ALADIN models

5. ábra. Csapadék extrém napok számának változása a két modell átlaga alapján 2071–2100-ig



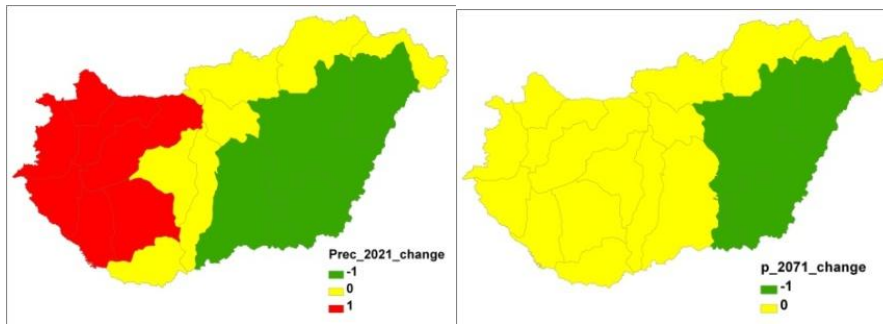


Fig. 6. The tendency of precipitation change on the landscape units: -1 both models indicate decreasing precipitation; 0 models show different direction of the changes; 1 both models indicate increasing precipitation

6. ábra. A csapadékváltozás iránya a tájegységeken: -1: mindkét modell szerint csökken a csapadék; 0: a két modell ellentétes változást jelez; 1: mindkét modell szerint nő a csapadék

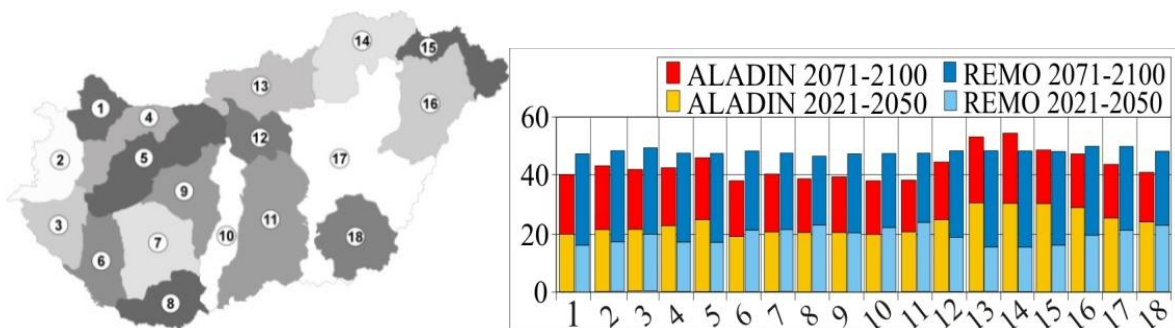


Fig. 7. Increase of the number of summer days on the landscape units, based on REMO and ALADIN models

7. ábra. Nyári napok számának növekedése az Aladin és REMO szerint

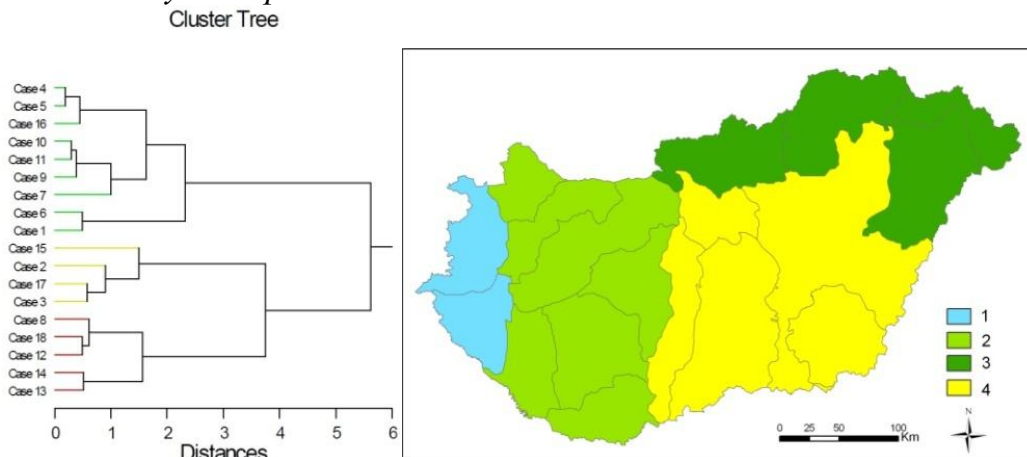


Fig. 8. Regions of similar characteristics of the all climate parameters  
8. ábra. Eltérő klímaváltozási típusú régiók

The first region type is located along a west central corridor ranging from north to south. Moderate temperature increase and more distinct changes in temperature extreme events are characteristic. The precipitation totals are moderate; the future precipitation increase is expected at higher rates but with moderate changes in extreme rainfall events. The second region type covers the northeastern regions along the Slovakian border. This region has the lowest annual mean temperatures and the highest intraregional temperature variation. Moderate recent precipitation totals and moderate



future increase is typical with moderate increase of the extreme event days. *The third region type* is more or less *the Hungarian Great Plain*, without the Nyírség region. This region is characterised by a flat topography and it has the highest temperatures and the lowest annual precipitation totals. The highest temperature increase and greatest changes in extreme temperature events (increase of summer days and decline of frost days) with the highest precipitation decline ratios (or at least lowest precipitation increase ratios) and an increase of heavy rainfall days is predicted.

*The fourth region type* covers only 2 regions in the *western hilly area*. This type is characterized by lower temperatures, less temperature increase and less change in temperature extremes. The type is expected to be more humid, with higher precipitation totals but smaller precipitation change ratios and smaller change rates regarding heavy rain events (Fig. 8).

### ***Investigations of the landscape sensitivity in Hungary due to climate change assessments of landscape hazards***

In order of their actual importance in Hungary, the following natural processes were considered during the analysis: soil erosion by water, droughts, soil erosion by wind, flash floods and mass movements. These processes represent the most important environmental hazards for land use in Hungary (SZABÓ et al., 2008). Following these processes, a number of landscape function-based sensitivities have been spatially assessed using predictive models and diverse geo-data from multiple sources. The main aims were (1) the examination of the current situation of the indicators on the regional scale for Hungary and (2) the assessment of the changes of climate parameters predicted by REMO and ALADIN models and typified by cluster analysis in the sensitivity assessments.

*Soil erosion by water* considers the physical soil degradation processes at today's largest spatial extent in Hungary. The erosion sensitivity was calculated on a micro-regional scale following the Universal Soil Loss Equation (USLE) of WISHMEIER – SMITH (1978) adapted for Hungary by PATAKI (2000) and KERTÉSZ – CENTERI (2006). The parameters determining the soil sensitivity (K), length of slope (L), and steepness (S) are relatively stable; the rainfall erosivity factor (R) has the closest link to climate change. The vegetation and crop factor (C) and the measures against erosion (P) have a high degree of unpredictability because of changing land-use systems and also due to potential protective adaptive measures in the future. In our modelling example, the average RR30 value in the winter half-years was used for the calculations of extreme rainfall events (the RR30 values were calculated from REMO and ALADIN model).

*Drought* is a severe natural hazard that causes extensive damage in the Carpathian Basin. In this study the current probability of drought occurrence in the landscape units was analysed by using the PaDI. The present-day conditions were compared with the tendencies due to climate change. The sensitivity map was developed using the Pálfaí Drought Index (PaDI). The PaDI<sub>0</sub> index uses monthly temperature and precipitation data (PÁLFAI – HERCEG, 2011). The drought hazard changes induced by climate change was estimated by the regional types of climate change resulted from the cluster analysis.

*Wind erosion* in the Carpathian Basin has also an effect on the degradation of arable soils. The wind erosion sensitivity is primarily determined by the texture of the soil. The characteristic yearly average wind velocities close to the surface are 3 m/s in Hungary, though the values are 15–20% higher in the NW and central parts of the basin.

Wind erosion sensitivity map of the country was produced after the potential wind erosion hazard map, created by LÓKI (2011), and the future climate was linked to the regional types of climate changes, resulted from the cluster analysis.

*Flash flooding* is also one of the most frequent hazards in Hungary (CZIGÁNY et al., 2010; ESTRELA et al., 2001). During the analysis a flash flood sensitivity map was created. This map was produced by overlapping analysis using the relief, texture of the surface sediment and the proportion forest covering on the more than 800 minor watersheds, which are most likely affected by flash floods. The climatic parameter that was taken as the climatic-exposure climate change for the flash-flood prediction is the frequency of the extreme precipitation events higher than 30 mm (SZÉPSZÓ, 2008).

*Mass movement sensitivity map* was produced according to their present-day activity by using the recorded information about recent significant landslide events (JUHÁSZ, 2004; FODORNÉ – KLEB, 1986). The endangered areas are in the mountainous and hilly regions where the natural conditions, geology, the granulometric type of the sediment, relief and the actual precipitation are able to mobilise the sediment, Hilly regions with only ancient quaternary mass movement have not been considered. The future changes of mass movement hazard was estimated by this present day conditions and the climate change The relevant climatic parameter in this case is the sum of the precipitation in the winter season.

### **Summarized sensitivity assessment**

The sensitivity was assessed by using the threshold values for the classification of the hazard for each of the indicators in the sensitivity classes of the regional landscape in qualitative terms of low/tolerable (class 1), increased (class 2) and high (class 3). The usage of qualitative classes is a standard procedure for an equal-weighted integration of different factors in impact assessment. The applied method is simple because the uncertainty of the models (climatic and hydrological) and the limited amount of verification does not enable highly precise calculations. Practically, a matrix-based assessment was made to link the climatic exposure of the region to its sensitivity to the problematic processes. An integrative analysis of the five sensitivity assessments of the landscape functional hazards in Hungary due to climate change is summarised in the Figures 9 and 10. The figures show the expected climate change impact on two levels of interpretation: (1) by the number of indicators changed for the scenarios for Hungary for the periods of 2021–2050 and 2071–2100 compared to the 1961–1990 period (out of the maximal 5 investigated in this study); and (2) the summarised value of the hazard on the meso-regions, which shows the increasing sensitivity on a scale from 5 (very low) to 15 (very high). The highest problematic values in the processes are found in the Marcal Basin and Komárom plain in the northwest of Hungary for the first (and second) period when summarising all the sensitivity indicators. In this region, the actual processes are very active (MEZŐSI et al., 2012).

These changes in the hazard are probably not imply severe, human life-threatening risks (TOBIN – MONTZ, 1997), however the slow, but long-lasting changes of the environmental processes can increase the vulnerability and can generate serious environmental problems (e.g. drought). These results somewhat contradict the findings of SZABÓ et al., (2008), because they found that the environmental hazard is the highest in the southeast region of the country, while it is lower in the northwestern part of the country.

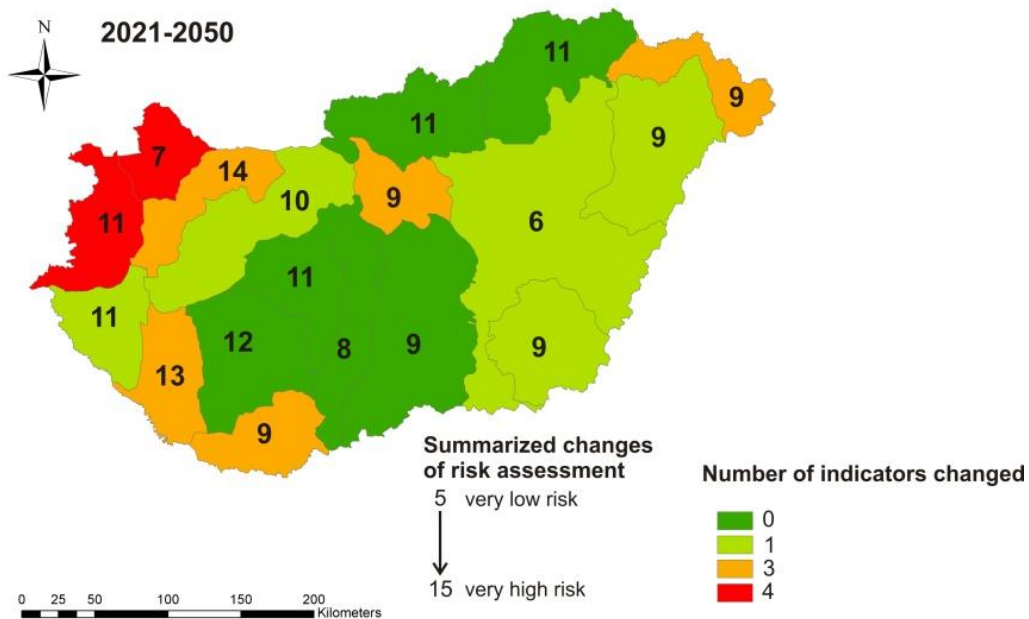


Fig. 9. The number of hazard class changes in the indicators and the additive sensitivity assessment of the meso-regional hazard for 2021–2050 scenarios compared to period 1961–1990 for Hungary

9. ábra. A veszélyességi értékek változása a 2021–2050 es éghajlati adatok alapján, középtáji egységenként (az 1961–1990-es adatokhoz képest)

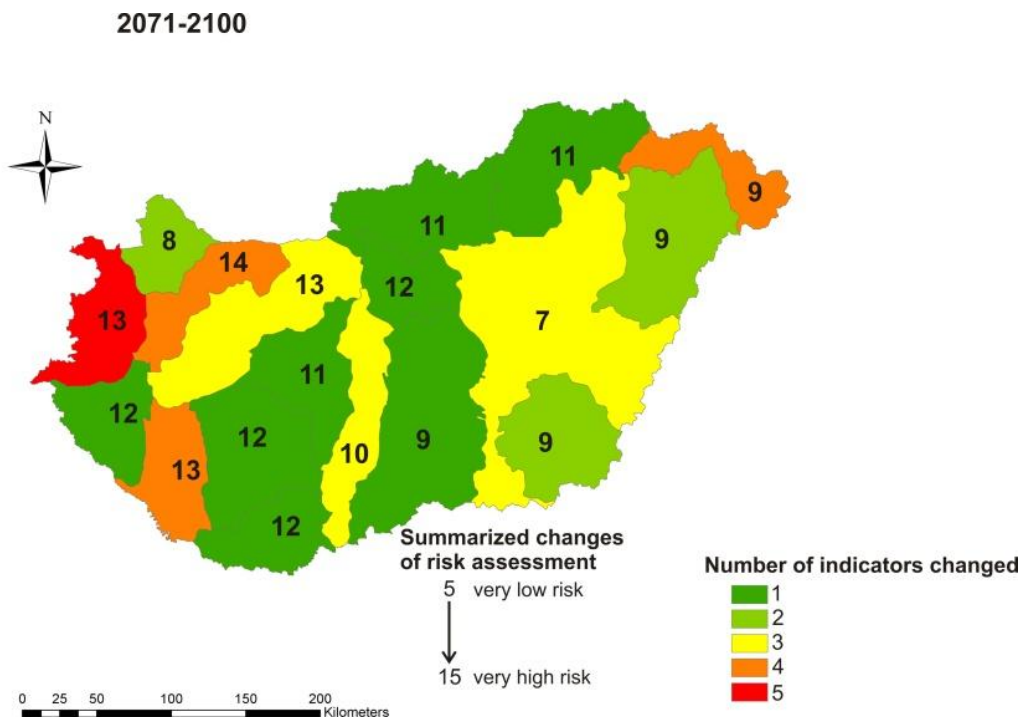


Fig. 10. The number of hazard class changes in the indicators and the additive sensitivity assessment of the meso-regional hazard for 2071–2100 scenarios compared to period 1961–1990 for Hungary

10. ábra. A veszélyességi értékek változása a 2021–2050 és 2071–2100-es éghajlati adatok alapján, középtáji egységenként (az 1961–1990-es adatokhoz képest)

This is mainly caused by that in contrast with SZABÓ et al. (2008) the flood problem was not included into our analysis because the increase in this process is not primarily a consequence of the climate impacts (influencing factors are the capacity of water-deduction of the floodplain, the land use of the catchment, and the construction of dams in the upper section), and the floods are difficult to predict in Carpathian Basin at a regional scale without an enclosure of the surrounding mountains.

## Conclusion

The foreknowledge of expected changes in the future climate and in the associated environmental system can be more and more important for creating future planning strategies. Therefore the aim of this research was to describe the potential consequences of the expected climate change on the landscapes. Using the data of REMO and ALADIN models connection was built up between the relevant climate parameters and the changing occurrence and intensity of the important environmental processes. On the basis of the climate models, despite the small area and the relatively low topographic diversity of the country, the two climate simulations showed spatial differences in the parameters. Four regions in Hungary with different climate change tendencies were defined by a cluster analysis based on the temperature, precipitation and extreme indices. In these regions, the climate change tendencies indicated diverse alterations of the social and ecological systems.

As a result of the sensitivity assessment the most vulnerable regions of the country could be defined. This information can promote the development of optimal spatial planning strategies to create more optimal land and water management, which can mitigate the consequences of climate change at the national, regional and local levels.

This hazard projection has several uncertainties. The most important uncertainties are the lack of verification and an accurate definition of the error. Further uncertainty is associated with the A1B scenario, as the projected data are only valid for a definite socio-economic development path. Despite these limitations, the present data set and analysis of the smaller units can provide valuable data for several sectors of society, including the economy, as the analysis can highlight the critical areas.

## References

- Bartholy, J. – Pongrácz, R. – Gelybó, G. – Szabó, P. 2008: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. *Időjárás*, 112, 249–264.
- Bartholy, J. – Pongrácz, R. 2010: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for the 21st century. *Physics and Chemistry of Earth*, 35, 43–51.
- Czigány, Sz. – Pirkhoffer, E. – Balassa, B. – Bugya, T. – Bötkös, T. – Gyenizse, P. – Nagyvárad, L. – Lóczy, D. – Geresdi, I. 2010: Villámárvíz mint természeti veszélyforrás a Dél-Dunántúlon. *Földrajzi Közlemények*, 134/ 3, 281–298.
- Csorba, P. – Blanka, V. – Vass, R. – Nagy, R. – Mezősi, G. – Meyer, B. 2012: A hazai tájak működésének veszélyeztetettsége új klímaváltozási előrejelzés alapján (Sensitivity of the Hungarian mesolandscapes according to the modelled climate change). *Földrajzi Közlemények*, 2012/3.
- Dikau, R. – Schrott, L. 1999: The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results. *Geomorphology*, 30, 1–12.

- Estrela, T. – Menéndez, M. – Dimas, M. – Marcuello, C. – Rees, G. – Cole, G. – Weber, K. – Grath, J. – Leonard, J., Ovesen, N.B. – Fehér, J. 2001: EEA Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts. 84.
- Flannigan, M.D. – Stocks, B.J. – Wotton, B.M. 2000: Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment*, 262, 221–229.
- Fodor, T-né – Kleb, B. 1986: Magyarország mérnökgeológiai áttekintése. MÁFI, Bp. p. 199
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge University Press, New York, NY. 996p. (<http://www.ipcc.ch>)
- Juhász, Á. 2004: Településeket, létesítményeket veszélyeztető tömegmozgások a balatoni magasparkok mentén. *Földrajzi Közlemények*, 52 (1-4), 19–30.
- Kertész, Á. – Centeri, Cs. 2006: Hungary. In: Boardman, J., Poesen, J. (eds) *Soil erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Ltd, London (p. 839) 139–153.
- Loibl, W. – Aubrecht, Ch. 2011: Hungary Climate Regions: Regional statistical analysis of selected Climate Change related indicators and classification of physiogeographic Meso-Regions to Climate Change region types. AIT – Austrian Institute of Technology Vienna, 52 p.
- Lóki, J. 2011: Research of the land forming activity of wind and protection against wind erosion in Hungary. *Riscuri Si Catastrofe* 10:1–13
- Mezősi, G., Meyer, B. C., Loibl, W., Aubrecht, C., Csorba, P., Bata, T. 2012: Assessment of regional climate change impacts on Hungarian landscapes. *Regional Environmental Change* 17/4
- Mezősi, G. – Meyer, B. C. – Loibl, W. – Aubrecht, C. – Csorba, P. – Bata, T. 2012: Assessment of regional climate change impacts on Hungarian landscapes. *Regional Environmental Change* 17/4
- Munka, C. – Cruz, G. – Cafferla, R.M. 2007: Long term variation in rainfall erosivity in Uruguay: a preliminary Fournier approach. *GeoJournal*, 70, 257–262.
- Pálfai, I. – Herceg, Á. 2011: Droughtness of Hungary and Balkan Peninsula. *Riscuri si Catastrofe*, An X 9/2, 145–154.
- Pataki, R. 2000: Talajerózió modellezése térinformatikai módszerekkel. Diploma. SzIE, KTI, Gödöllő
- Pécsi, M. – Somogyi, S (1967) Magyarország természeti földrajzi tájai és geomorfológiai körzetei. *Földrajzi. Közlemények*, 15, 285–304.
- Szabó, J. – Lóki, J. – Tóth, Cs. – Szabó, G. 2008: Natural hazards in Hungary, In: Kertész, Á. – Kovács, Z. (eds): *Dimensions and Trends in Hungarian Geography*. MTA FKI, Budapest, 55–68.
- Szabó, P. – Horányi, A. – Krüzselyi, I. – Szépszó, G. 2011: Az Országos Meteorológiai Szolgálat regionális klímamodellezési tevékenysége: ALADINClimate és REMO. 36. Meteorológiai Tudományos Napok OMSZ, Budapest, 87–101
- Szépszó, G. 2008: Regional change of extreme characteristics over Hungary based on different regional climate models of the PRUDENCE project. *Időjárás*, 112 (3–4), 265–284.
- Tobin, G.A. – Montz B.E. 1997: *Natural Hazards: Explanation and Integration*. Guilford Publishing: New York, New York. p. 388
- Wischmeier, W.H. – Smith, D.E. 1978: Predicting rainfall erosion losses. United States Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* 537, p. 58

# **AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TERÜLETILEG RÉSZLETESEBB FELBONTÁSÚ ELŐRE VETÍTÉSE ÉS NÉHÁNY KÖVETKEZMÉNYE A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN**

## **Bevezetés**

Az éghajlati rendszer melegedésének ténye napjainkra elfogadottá vált, s a jövőben jelentős mértékű felmelegedés alakulhat ki, ami együtt jár a csapadékviszonyok megváltozásával és gyakoribb, súlyosabb károkat okozó szélsőséges éghajlati jelenségekkel, melyeknek jelentős természeti, társadalmi-gazdasági következményei lehetnek (IPCC 2007).

A regionális éghajlati változások sok természeti rendszerre vannak hatással, ezért a klíma várható jövőbeni alakulásának ismerete számos területen jelent segítséget. Erre jelenleg a legalkalmasabb módszer a klíma modellek alkalmazása.

A kutatás célja, hogy a Kárpát-medencében a modellek alapján egy évszázadra előre vetíthető éghajlati változásokat olyan környezetileg egységesebb felbontási alapról vonatközöan mutassuk be, amely területegységek aztán – figyelemmel az időintervallumokra is – lehetővé teszik a környezeti szempontból kritikus felszínalakulásokra, ill. az ott ható folyamatokra a figyelem felhívását. További célunk, hogy megállapítsuk, mely időjárási elemek milyen földfelszíni folyamatokat, jelenségeket fognak olyan mértékben befolyásolni, amely az adott tájegység működésében várhatóan lényeges változásokkal fog járni. Az elemzésbe öt tájműködési indikátort vontunk be: a talajeróziót, a deflációt, az aszályt, a villámárvizeket és a lejtős tömegmozgásokat.

## **Módszerek**

A részletes klimatikus adatok területi sűrűsége, valamint azok tervezési, környezeti használata miatt kézenfekvőnek tűnt a középtájaknál kisebb, de a kistájaknál nagyobb egységekre megadni ezen adatokat. A 230 természeti és környezeti menedzsmint szempontból is hasonló kistáj jellemzését az adatsűrűség nem tette lehetővé. Így 18 területi egységet, egyfajta, nem egymásra épülő mezei régiót határoztunk meg. Ezek kialakítása a domborzati, talaj, klíma és felszínborítási tulajdonságok hasonlósága alapján történt.

Az elemzés során a klimatikus paraméterek változását a REMO és az ALADIN modellek alapján számítottuk. A klíma adatok előállítását az OMSZ-nál történt. Az adatok felbontása 0.22°. A két modellből számított, 25 km-es felbontású rácsponti adatokból [napi hőmérséklet (T): °C, napi csapadék (P): mm, nyári napok szám (SU): nap/év, fagyos napok száma (FD): nap/év, extrém csapadékú napok száma (20 mm feletti csapadék – RR20): nap/év, 0 mm feletti csapadék (RR30): nap/év, csapadékin-tenzitási index (SDII): mm/nap] a két modellezett időszakra (2021–2050 és 2071–2100) évi átlagos értékeket számítottunk. Emellett a napi hőmérséklet és csapadékadatokhoz féléves átlagokat is számítottunk, mivel így az éven belüli változások jobban elemezhetőek. A hőmérséklet eltérése az 1961–1990-es bázis adatoktól °C-os eltérésben, a csapadékadatok mm-es eltérésben mérve. A rácsháló pontjaira kiszámított átlag-adatokból a lehatárolt tájegységekre területi átlagot képeztünk.

## Eredmények

### *Mezo léptékű klímaváltozás az ALADIN és REMO modellek alapján*

Az évi középhőmérséklet valamennyi tájegységen növekszik az 1961-1990 időszakhoz viszonyítva a két modell alapján 2021–2050-ig 1,2–2 °C-kal, míg 2071–2100-ig 3,4–3,7 °C-kal. Az ország kis területéből adódóan a hőmérsékletváltozásban nagy regionális különbségeket nem jeleznek a modellek, *ennek ellenére megfigyelhető egy fokozatos északnyugat–délkeleti irányú növekedés.*

A hőmérsékleti szélsőségekre jellemző, hogy a nyári napok és száma növekszik, a fagyos napok száma viszont csökken. Itt az évi középhőmérsékletnél valamelyest nagyobb eltérések vannak az országon belül, a leginkább a hóhullámok számának növekedésében lévő különbségek számottevők. A két modell átlaga alapján 2071–2100-ig északról dél felé haladva növekvő mértékben növekszik a hőség napok és csökken a fagyos napok száma. A nyári napok esetében észak felé haladva egyre nagyobb a növekedés mértéke.

A csapadékmennyiség változásnál az országon belül térben sokkal jelentősebb különbségek vannak. A tájegységek közötti különbség mértéke eléri az évi 90 mm körüli értéket a modellezett időszakokban, sőt az ország különböző tájegységein a változás iránya sem azonos. Az évi csapadékváltozásra a hőmérséklet-változáshoz hasonló térbeli mintázat jellemző, de ellentétes előjellel, ugyanis megfigyelhető egy fokozatos északnyugat–délkeleti irányú csökkenés.

Az extrém csapadékú napok számok száma az országban mindenütt növekszik, mértéke azonban a tájegységek között jelentősen különbözik. A változásnál a jellegzetes térbeli mintázat itt is megfigyelhető, az extrém csapadékú napok számának növekedése nyugaton a legnagyobb és kelet felé csökken, a legkisebb növekedés az alföldi tájegységeken várható

### *Klímaváltozási típusok a tájegységekre*

Az modellezés eredményeképpen nagy mennyiségű – a 2. pontban bemutatott – napi és havi adat állt elő. Az egyveretű környezeti feltételek és kis terület miatt nem kaptunk olyan nagy eltéréseket tartalmazó adatsort, amellyel a klímaváltozást részletesebb – mezoléptékben – jellemezhetjük volna. Az alkalmazott modellek számos esetben eltérő mértékű és irányú változást prognosztizáltak. A változási trend kiszűrésére ezért alkalmaztunk klaszter-elemzést, amellyel változás regionálisan eltérő irányát kíséreltük meg azonosítani.

A klaszter-analízis eredményeképpen 4 eltérő klímaváltozási típusú régiót lehetett elkülöníteni. Az első régió a legnyugatabbi 2 tájegységet foglalja magába. Itt várható a legalacsonyabb átlaghőmérséklet és hőmérsékleti extrém nap növekedés. A csapadékváltozás és az extrém csapadékok változása is itt a legkevésbé jelentős. A következő régió a Dunántúl fennmaradó részeiből alakul ki. Mérsékelt átlaghőmérséklet növekedés, az előző régiónál jelentősebb hőmérsékleti extrém változás jellemző. A csapadékmennyiség változása is mérsékelt, a extrém csapadékos napok száma növekszik. A harmadik régió az ország északi része. Itt a legnagyobb a régióon belüli hőmérséklet változékonyság, a legalacsonyabb évi középhőmérséklet és a hőmérséklet növekedése kevésbé jelentős. A csapadékmennyiség változása mérsékelt. A negyedik régió az Alföld tájegységeit foglalja magába. Itt jellemző jelenleg a legmaga-

sabb átlaghőmérséklet és a legkisebb csapadékmennyiség. A jövőben is itt várható legnagyobb mértékű átlagos hőmérséklet és hőmérsékleti extrém nap növekedés, valamint itt a legvalószínűbb a csapadékmennyiség csökkenése. A csapadékintenzitási index azonban növekszik, ami alapján a csökkenő csapadékmennyiség a mainál koncentráltabban fog esni.

### ***A klímaváltozás hatása a vizsgált környezeti veszélyekre***

A villámárvíz veszélyeztetettség meghatározásánál a domborzat, a talaj és az erdőborítottság területi jellemzőit vettük figyelembe. A klímparaméterek közül a szélsőségesen intenzív, 30 mm-t meghaladó csapadékeseteket vettük számításba. A villámárvíz veszélyeztetettség a klímaváltozás következményeként 2021–2050-ig még leginkább az ország nyugati részén, 2071–2100-ig viszont már a Dunántúl egész területén, valamint az Északi-középhegység területén növekszik.

Az aszályveszély változásának becsléshez a modell-szimulációkkal nyert klímadatokból a magyarországi viszonyokat leginkább figyelembe vevő Pálfai-féle aszályindex (PaDI) alkalmazását ítéltük legmegfelelőbbnek. A klímadatokra támaszkodó aszályveszély becslés kimutatta, hogy 2100-ig az aszályveszély mértéke az ország egész területén növekszik, sőt a jelenleg is legaszályosabb alföldi tájegységeken lesz a legnagyobb, különösen a Körös–Maros köz és a Gödöllői-dombság egységeken.

A széleróziót befolyásoló legfontosabb paraméterek a talaj mechanikai összetétele, a szélesebbesség és a növényborítottság. A klímaváltozás hatásainak elemzéséhez a csapadék és hőmérséklet adatokat egyaránt figyelembe vevő DeMartonne-féle aszályindexet alkalmaztuk. A leginkább érintett térségek a Duna–Tisza köze, Duna-menti sík, Gödöllői-dombság, valamint Belső-Somogy. A szárazodás fokozódásával a 2071–2100 közötti időszakra a szélerózió-veszélyeztetettség tovább fokozódik, amely során a Mezőföld, valamint a Marcal-medence és a Komárom-Esztergomi-síkság területe is erősen veszélyeztetetté válhat.

A tömegmozgásos folyamatok értékelésnél a tömegmozgások által jelenleg érintett területek lehatárolásához az 1960 óta regisztrált eseteket vettük alapul. A klimatikus indikátorok közül a téli félév csapadékösszegét vettük figyelembe a prognóziskészítés számára. A vizsgálatok alapján a lejtős tömegmozgások gyakoriságának és az általuk érintett területek nagyságának növekedésére számíthatunk a Dunántúli-Középhegység területén, a Mecsek–Drávamente, valamint a Gödöllői-dombság környezetében.

A talajerózió érzékenység meghatározását a WISCHMEIER ÉS SMITH (1978) formula alapján PATAKI (2000) és KERTÉSZ – CENTERI (2006) által országos léptékben szerkesztett térképet vettük figyelembe. A REMO és ALADIN modellekben szereplő klímaváltozás-indikátorok közül az extrém csapadékhullási eseteket és a téli összes csapadékmennyiséget volt érdemes számításba venni. A számítások alapján dombsági területeken a talajerózió növekedésével kell számolni mindkét vizsgált periódusban, főként a Dunántúl nyugati felén.

### ***Összesített klimatikus tájérzékenység***

Az öt bemutatott természeti veszély esetére a táji egységek potenciális integratív veszély értékét mutatja be a 8. ábra. A számértékek a várható éghajlatváltozásoknak az elemzett folyamatokra történő hatását két szinten értelmezik: (1) az elemezett 5 muta-



tóból a megváltozott érzékenységek száma (az 1961–1990-es alapértékekhez viszonyítva) és (2) az változások pontértékelése a mezoléptékű egységek 5 paraméterének 1-3 közötti összegzett értékére vonatkozóan az adott időszakban. Az alacsonyabb értékekkel (min. 5) szemben az egyre nagyobb érzékenységek (max.15-öt) érhetnek el. A legnagyobb értékekkel a Marcal-medencében, a Komáromi-síkság és Ny-Magyarország területén találkozunk mindkét időszakban (az elemezett folyamatok többsége a maximális veszélyértéket vetíti előre).

Az eredmények alapján a változások nem jelentenek komolyabb, az emberi életet érintő veszélyt, de számos környezeti folyamat jelentős mértékű, folyamatos, de lassú változása azonban igen jelentős veszélyt jelez előre (pl. aszály).

## Összegzés

A klíma és az ezzel összefüggő környezeti rendszerek várható alakulásának megismerése fontos kérdés a jövőbeli tervezési stratégiák kidolgozásánál. Munkánk egyik fő célja éppen ezért annak bemutatása, hogy a várható klímaváltozás milyen következményekkel fog járni a területhasználat, a környezetpolitika számára.

Az elemzés alapján a REMO és ALADIN modellek szerint az országon belül, a kis terület és az alacsony domborzati változékonyság ellenére is megfigyelhetők térbeli különbségek a klímaparaméterek változásában. A hőmérséklet, csapadék és extrém indexek alapján 4 eltérő klímaváltozási tendenciájú régió különíthető el, amelyeken a klímaparaméterek együttes változása a természeti és társadalmi rendszereket eltérő módon befolyásolhatja.

A klímaadatokra támaszkodó elemzések megmutatták a klímaelemek változása az egyes tájegységeken, milyen természeti folyamatok változását, intenzitásának növekedését okozhatják. Kijelölhető, hogy az mely területein kell a tervezésnek különös figyelmet fordítani a változások káros következményeinek elkerülése érdekében. Az idomulás ugyan lassú lehet, de a területi tervezésben mindenképpen figyelembe kell venni, mivel elősegítheti a felkészülést környezeti kockázatra.

Mint minden előrejelzés, ez is sok gyengéséget kordoz magával, az egyik a verifikáció lehetőségének hiánya, a másik pedig (az e körben igen nehezen értelmezhető) hiba megadása. További bizonytalanságot jelent, hogy a következtetések egy adott pályát leíró társadalmi-gazdasági változás mellett (A1B scenárió) születtek, így csak ez az átlagosnak tekinthető társadalmi-gazdasági fejlődési pálya mellett érvényesek. Mindezen szakmai korlátok mellett is komoly előrelépés, bemutatott kisebb régiókra előállított adatsor, illetve az arra támaszkodó elemzés, ugyanis a predikció számos gondja ellenére az elemzés a társadalom és a gazdaság számos ágazata számára olyan információkat nyújthatnak, amelyek segíthetik tervezési stratégiák kialakítását, amelyek a kedvezőtlen hatásokat mérsékelhetik.

# **INDICATORS OF CLIMATE CHANGE IN THE LANDSCAPE: INVESTIGATION OF THE SOIL – GROUNDWATER – VEGETATION CONNECTION SYSTEM IN THE GREAT HUNGARIAN PLAIN**

*János Rakonczai – Zsuzsanna Ladányi – Áron József Deák – Zsolt Fehér*

University of Szeged, Department of Physical Geography and Geoinformatics

## **Introduction**

The consequences of global climate change are quite variable on Earth and are investigated by more and more foreign (IPCC, 2007, BLANCO – KERADMAND, 2011) and Hungarian (LÁNG et al., 2007, MIKA, 2011, SOMLYÓDY et al., 2010) researchers. However, these investigations focus on mainly the climatic and economic aspects. Regarding the former one, the rise of the surface temperature is more or less general, but its degree differs in space. Significant differences can be observed in the distribution of precipitation, which means water surplus in certain regions and water shortage elsewhere compared to the multiyear averages. Temperature and precipitation values show huge standard deviations, thus the trend character of the changes can be hardly confirmed.

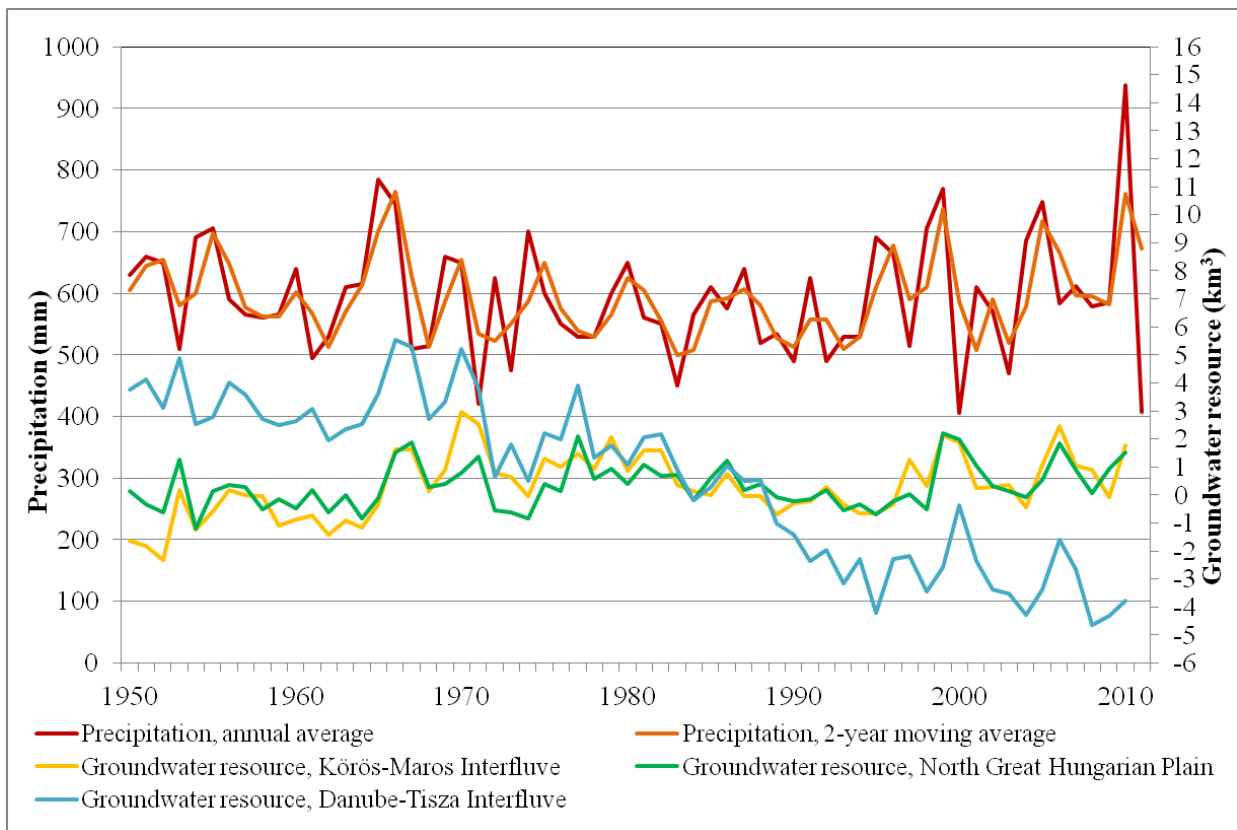
The analysis of such environmental indicators is needed that are suitable for the revealing of the trend-like processes in the complex consequence system of the changes. In many cases anthropogenic causes also play an important role in these complex processes (or even strengthen it) and can not be (or hardly) separated from climate induced changes, thus long-term investigations are needed. The increasing number of methodologies in geography and landscape ecology contributes to the better understanding of complex landscape processes. Therefore, our investigation aimed to reveal the alterations of such landscape factors that do not reflect the variability of climate elements but show the tendencies and directions of landscape changes. Such indicators were the groundwater, the soil and the vegetation that were investigated on local, regional and landscape levels.

## **Changes of the groundwater table in the Great Hungarian Plain**

Our investigations in the last decade confirmed that precipitation shortage influences the landscape through the decreasing groundwater-table, contributing to significant environmental alterations in the Danube–Tisza Interfluve from the 1980s (RAKONCZAI – LADÁNYI, 2010). Therefore, the connection between precipitation (annual and 2-year moving average) and groundwater resource was evaluated (Fig. 1) in some regions of the Great Hungarian Plain, well-separable in the point of water recharge.

The effect of the extremely fluctuating precipitation appears reduced and delayed in the alterations of groundwater resource. A year with higher amount of precipitation, determined by permanent inland excess water inundations in many cases, results in a rapid rise of the groundwater level, while the effect of arid years is gradual. That is why an arid year after a humid one causes less damage for agriculture than more arid years following each other. Until the beginning of the 1970s the annual average precipitation was around 600 mm for the whole country and the alterations of the groundwater resources in the

different regions was similar (the quantitative differences were caused by the size of the investigated units). In the arid period until the mid-1990s, significant difference developed in the groundwater resources of the investigated regions due to their diverse geomorphological and hydrological conditions. The areas, where groundwater resource can be recharged not only from precipitation (but from groundwater flow coming from higher elevated territories), are less sensitive to the decreasing amount of precipitation. In the Danube–Tisza Interfluve, forming a ridge without surface or underground water influx from the surroundings, a continuous (5–6 km<sup>3</sup>) and significant decrease of the groundwater resource could be observed. This water shortage can be less in humid years, but the region is steadily in the lack of water. Thus, the climate change influences those territories where the groundwater resources can only be recharged from precipitation.



*Fig. 1. Annual and 2-year moving average precipitation in Hungary (1950–2011) and the alterations of the groundwater resources compared to the average between 1950 and 2010*  
*1. ábra. Az országos évi csapadék és a kétéves csúsztatott átlag (1950–2011), valamint a talajvízkészlet eltérése az 1950–2010 évek átlagához képest*

### **Landscape changes and sensitivity analysis in the Great Hungarian Plain**

In the research project alteration of soil (attributes), strongly related to the groundwater-table sinking process (LADÁNYI – RAKONCZAI, 2011; LADÁNYI et al., 2009; BARNA et al., 2011), furthermore the sensitivity of vegetation and its relation with climate elements were investigated by the detailed evaluation of habitats and coenological investigations (DEÁK, 2011; RAKONCZAI et al., 2012), green biomass production (LADÁNYI et al., 2011) and annual growth by tree ring width (LADÁNYI – BLANKA, 2011) in different sample areas of the Great Hungarian Plain. Regarding page limits

some results of 3 subtopics will be demonstrated. The applied varied methods (soil investigations, habitat mapping, coenological surveys, GIS methods and dendrochronology) reflect the complex approach of landscape ecological investigations.

**Alteration of habitats and soils**

Wetlands and saline habitats, strongly related to hydromorph soils, are highly affected by the former mentioned hydrological problem, thus their alteration and relation were investigated in a drying ex lege alkaline sodic lake (Lake Kancsal) in the southeastern edge of the Danube–Tisza Interfluve. Due to the draining effect of the channel, built in the 1970s, and the groundwater-table sinking process, water can not stagnate in the lake bed even in springtime, which resulted in the alteration of soils and habitats. Habitat maps from 2002, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011 were made (LADÁNYI – RAKONCZAI, 2011) based on ortophotos and field works using the categories of the General National Habitat Classification System (BÖLÖNI, 2007). Furthermore, soil sampling was also executed along a regular network of 199 points in 30 m intervals in 2009. The aim was to identify the on-going processes of soil and vegetation considering the draining effect of the crossing channel and the consequences of climate change, and the spatial extent of the changes.

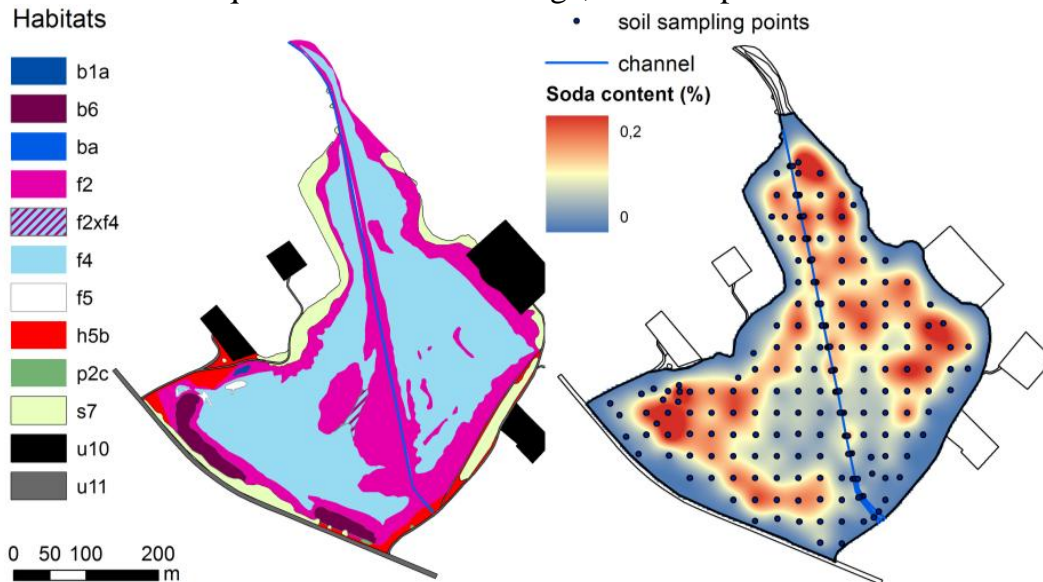


Fig.2. Habitat map of Lake Kancsal in 2009 and the interpolated map of soda content of upper soil in 2009

2. ábra. A Kancsal-tó élőhelytérképe és feltalajának 199 pontban mért szódatartalmából készült interpolált térképe 2009-ben

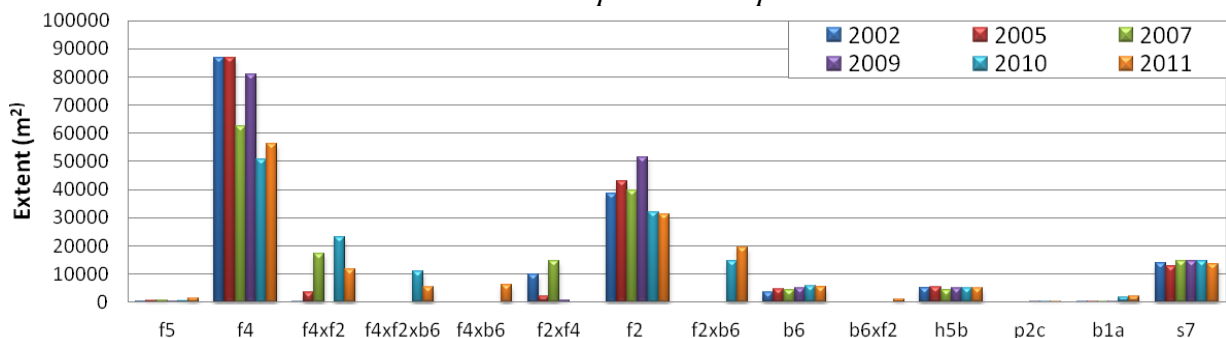


Fig. 3. Altering extensions of habitats in the investigated period

3. ábra. Az élőhelyek térbeli kiterjedésének változása a vizsgált időszakban

Annual salt pioneer swards, dominated by *Lepidium crassifolium* previously covering almost the whole lake bed, occur just in small extensions (Fig. 2). Another natural habitat indicating surface salt accumulation is Puccinellia sward which has large extension in the lake bed nowadays (*Puccinellia limosa*, *Lepidium crassifolium*, *Aster tripolium* ssp. *pannonicus*). Uncharacteristic species-poor salt meadows dominated by *Poa angustifolia* and *Agropyron repens* indicate the drying and leaching out of the area at the edge of Puccinellia swards and along the channel crossing the lake bed. The deepest parts of the lake bed are dominated by salt marshes (Bolboschoenetum maritimi, Bolboschoeno-Phragmitetum associations). Sand steppe grasslands at the edges of the deflation hollow mostly became cultivated.

Solonchak and solonchak-solonetz soils are characteristic in the lakebed due to the accumulation of Na salts. Surface salt accumulation occurs in the transition zone between the edge and the deeper central parts of the lake bed. They are dominated by annual salt pioneer sward and the upper soil has the highest salt content (EC~2000 $\mu$ S/cm, soda content~0,3%). A decreasing salt- and soda content can be observed towards the edges and the depression from this zone. The upper soil of Puccinellia swards is also characterised by significant salt and soda content, however it varies in a wider interval (EC2.5=600–1200  $\mu$ S/cm, soda content= 0.08–0.2%). Along the channel a zone with decreased soda- and salt content can be observed that confirms the leaching and draining effect of the channel contributing to the observed alteration in habitat types and species composition: Puccinellia sward is replaced by saline meadow. At these plots the soil samples show only an average 0.04–0.06 % soda content.

Comparing the interpolated map of soda content of upper soil samples to the habitat map in Figure 1. it can be revealed that soil attributes indicate an advanced leaching process compared to the vegetation-composition and habitat-shifts. The highest salt and soda content can be observed in the western, eastern and northern arch of the bed. Where the channel leaves the lake bed, the zone with higher salt and soda content has been disconnected. The habitat map confirms that Puccinellia swards still try to survive in the lake bed even in areas with suboptimal conditions. It can be the result of the tolerance of the association and the variability of salt and soda content of the upper soil depending on the changing weather conditions.

The inundated and dried-out periods, the surface water column and the groundwater table determine the soil salinity, thus the dynamics of vegetation. The dominant plant species adapt quite well to the year-by-year changing conditions leading to the appearance of transitional habitats (Fig. 3). Furthermore, certain habitats can turn into another one, the boundaries of the patches move dynamically. Due to the beginning of summer lasting water coverage, the species of saline meadows (*Agrostis stolonifera*) can occur in Puccinellia swards, forming transitional stands between these habitats. Steadier and higher water inundation induces the presence of the species of salt marshes (*Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*) in saline meadows and Puccinellia swards too. Thus, in humid years transitional stands containing dominant species of these three habitats could be more often developed.

The effect of the draining channel also contributes to the altering spatial pattern of salt relations, supporting the drying-out and leaching of saline habitats, resulting in their degradation and alteration by the spread of non-salt tolerant – many times weed species.

Due to the continuously opened channel, water inundations in springtime are less permanent and the drying-out of the habitats is accelerated. Due to the leaching of saline blow-outs in the Danube–Tisza Interfluve, annual salt pioneer swards, that once dominated the surface of the alkaline lakes, have significantly decreased in extent. They mainly occur in areas treaded by grazing animals and vehicles on saline silts, mainly incorporated in and developed from *Puccinellia* swards. The leaching and drying out promote the transformation of *Puccinellia* swards into saline meadows. The soil's humus content of the drying and leaching saline meadows is increasing due to the lack of mowing and grazing, the expansion of less salty habitats with higher biomass production and the cultivation of the surrounding arable lands of higher elevated sand ridges. Thus, steppifying saline meadows form, and due to the accelerated processes, they can turn into degraded sand steppe grasslands (*Festuca pseudovina*, *Agropyron repens*).

### ***Landscape sensitivity and biomass production***

The water shortage and the significant groundwater table decrease assume increased sensitivity in the highest parts of the Interfluve. To confirm it, the biomass production of the main forest types (*Pinus sylvestris* and *Robinia pseudoacacia*) of Illancs microregion was analysed based on MODIS NDVI and EVI vegetation indices (2000–2009) (LADÁNYI et al., 2011). Biomass production was calculated by the area under the curve of vegetation index data in the vegetation period. Sequential periods were defined for the precipitation sums in all possible combinations from September in the previous year until all months of the vegetation period in the next year, and their relation with the calculated biomass was analysed. To confirm the sensitivity of the sample area, control sites were selected where vegetation is not only dependent on the variability of precipitation distribution, but can use other sources of water as well (forests in Ásotthalom, and Gemenc forest).

In case of forests in Illancs microregion, the connection between precipitation and biomass could be identified based on both vegetation indices ( $0.76 < r < 0.95$ ) (LADÁNYI et al., 2011). The EVI based biomass values show a bit stronger relation with precipitation in case of locust than in case of pine. The precipitation between March and June proved to be the most determining regarding green biomass production. In 65% of the examined forest patches, precipitation during the period between April–June (IV–VI) has the highest correlation with the annual biomass production, while March–June (III–VI) (35%) and February–June (II–VI) (5%) also show high correlations. Further precipitation during July, August and September and also in winter do not appear to have a significant correlation with seasonal biomass.

The results of the analysis are consistent with the soils of the region, which are predominantly sandy soils characterized by small water storing capacity. The groundwater table is so deep that its refill in the spring period can not contribute to a better water supply to the vegetation. The reason for the extreme soil moisture dynamics and increased drought sensitivity of sandy soils is firstly the lack of mineral and organic colloids that support the formation of a stable soil structure capable for storing water and having a pore system making capillary rise possible; furthermore due to their small usable water content the water supply for the plants can be ensured for a short period of time (VÁRALLYAY, 1984; CSERNI – FÜLEKY, 2008).

In the last decades several years with extreme water conditions followed each other (2000, 2003, 2007 were arid years and 2010 was the most humid year of the century). Green biomass production in 2010 was an extreme outlier (Fig. 4) and the above mentioned arid years showed decreased biomass production. The connection between biomass production and the influential precipitation sum in the examined microregion, described better by a fitted polynomial trend line, reflects the limits of the green biomass production.

In case of Gemenc forest as the first 'control site', where the regular river floodings and the continuous connection of groundwater with the river through the sandy, pebbly silt ensure stable water supply for local tree species, biomass did not show correlation with any periods of precipitation) (LADÁNYI et al., 2011). The correlation coefficients varied between  $-0.2 < r < +0.2$  in case of NDVI and  $-0.5 < r < +0.2$  in case of EVI. Therefore, this control site does not appear to be sensitive to environmental changes from the precipitation point of view. In case of the forests in Ásotthalom, where the decrease of the groundwater table is not so significant (1–2 m) and the effect of the rivers are not dominant, the analysis of vegetation indices also showed strong relations with the precipitation. However, the dominance of spring and early-summer months was not so significant, stronger relationships were found with precipitation during the winter periods ( $0.76 < r < 0.8$ ). Thus, this control site cannot be considered as a sensitive area from the precipitation point of view neither, because the precipitation is important in a longer period (from December until June). The soil can store water which can be used later by the vegetation.

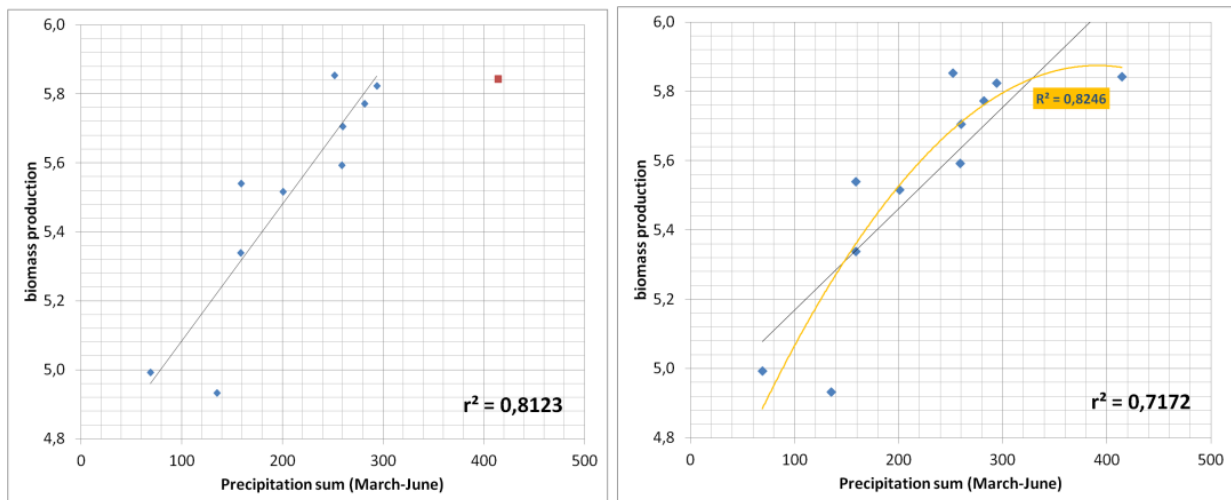


Fig. 4. The connection between biomass production and precipitation in the forests of *Illancs* microregion

4. ábra. A csapadék és a biomassza közötti kapcsolat *Illancs* kistáj erdeiben

### **Biomass and tree ring sensitivity**

Besides the green biomass production of trees, annual growth (tree ring width) also reflects the water supply of certain years and the sensitivity of species. Thus, the connection of tree ring width and precipitation, furthermore sensitivity were also analysed on samples from coniferous forests (*Pinus sylvestris*) from Illancs region (LADÁNYI – BLANKA, 2011). Tree-ring indexes were counted from the measured ring-widths and their relation to the Pálfa



Drought Index (PAI) (PÁLFAI, 2000) was investigated. Furthermore tree ring sensitivity was calculated that expresses the variability of tree ring widths year-by-year reflecting the fluctuations of environmental factors (HORVÁTH, 2003). The effect of years on the following ones was also evaluated by autocorrelation (FRITTS, 1976).

Annual tree ring width depends on many factors; it is affected by environmental factors being almost steady in decades (e.g. soil, relief), and are also influenced by the highly fluctuating meteorological and hydrological factors. Figure 5. shows that arid years are determined by small index values and represented by negative outliers (1962, 1968, 1971, 1992, 1993, 2000, 2003). In all these years precipitation did not exceed the average of the century. The biggest deviations occurred in 1993, 2000 and 2003, and the effect of these years with drought could be experienced on the decreased growth of the following years. The highest values occurred in 1966, 1969, 1975, 1978, 1997, 1998, 1999 and 2006.

PAI index values show increasing number of years with extreme water supply in the last two decades. Similarly, mean tree-ring indexes for *Pinus sylvestris* in Illancs region also show significant extremities year-by-year in this period. There is no outlier in the 1980s, and the second half of the 1990s is represented with continuously higher annual growths that can be explained by humid years between 1995-1999. The parallel running of the tree-ring index and PAI drought index values is between 64–87.5 % of the years. This significant value is caused by the complexity of the PAI aridity index that involves the depth of groundwater and the number of heat days, describing the environmental conditions quite well in the microregion. These correction factors play important role in this landscape, since the level of the groundwater-table decrease was the highest here in the Danube–Tisza Interfluve and due to the small water storing capacity of sandy soils, durable heat periods can be limiting factors for vegetation.

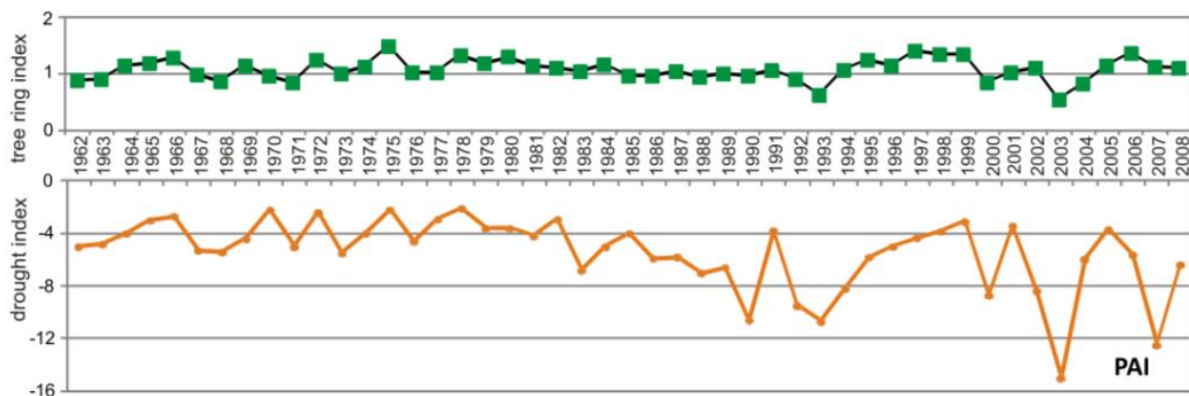


Fig. 5. Mean tree-ring indices of *Pinus sylvestris* samples in Illancs microregion and the Pálfaí Drought Index values

5. ábra. Az erdei fenyő minták átlagos évgyűrűindexei valamint a PAI aszályindexek értékei

The correlation between tree-ring index and drought index values were significant mainly at the 0.01 level and the correlation coefficients varied between 0.32–0.61. First-order autocorrelation was detected ( $r=0.20-0.57$ , but mainly between 0.4–0.55) on the samples meaning that the growth of each year is determined by the conditions of the previous one at 16–30 % ( $r^2$ ). The effect of more years can not be observed. It means that these species react sensitively to the external circumstances. That is why tree-ring sensitivity is also evaluated describing the water-supply of the area. Small values ( $S<0.2$ )

show relatively permanent available water resources, and the increase of the values reflect the limitation and fluctuation of water supply. Based on the sensitivity categories of Horváth (2003) the sensitivity values can be found in the medium and high sensitivity class (0.22–0.39), that can be confirmed by the high permeability of sandy soils, the decreased groundwater-table and the drought-sensitivity of the region.

### **Climate sensitivity of habitats in the Great Hungarian Plain**

Vegetation can alter the fastest due to annual weather conditions and water supply influenced by this latter factor beside landscape use in landscapes of the Great Hungarian Plain. Vegetation tries to adapt to the changes which is ensured by the dynamical and successional connections between the nearby situated habitats of the zonation typical for each landscape types. Alteration of abiotic factors results transitional habitats, but significant changes can cause the shift of zonation. The transformation of floodplain habitats is the fastest, but the vegetation dynamics of salt vegetation is also intensive. Natural habitats of Hungary have been adapted well to the continental climate at time characterized by extreme weather events too. This adaptation lies in the *habitat diversity*, which will be upgraded in the future in nature conservation due to the awaited climate changes (Fig. 6).

3 category-systems were introduced to the ÁNÉR habitats of the South Great Hungarian Plain together with the Institute of Ecology and Botany of the Hungarian Academy of Science in order to evaluate the response of vegetation to the awaited effects of future climate change based on collected multi-year extended field experience. The term of *risk due to climate change* refers to the survival potential of a habitat patch on its present place considering its abiotic features. The more permanent and equalized annual water supply (from floods or groundwater) and the more near-to-surface sodium-accumulation a habitat requires, it is the more endangered.

The majority of reed-grass communities are *endangered in its existence* due to the dry-out of wetlands. Among floodplain swamps the water-fringing helophyte beds with *Butomus*, *Eleocharis* and *Alisma* requiring permanent but shallow spring inundation are the most endangered. Moor habitats (floating fens, oligotrophic reed beds, tussock sedge communities, rich fens, *Molinia* meadows, tall-herb vegetation of fens, willow carrs, swamp forests, wet and mesic pioneer shrubs of fens) can be considered endangered too which are dependent from the precipitation fed groundwater-flows. Mesotrophic wet meadows characterized by groundwater-upwelling or short, shallow, temporary spring inundation are also endangered due to climate change, which can turn into salt meadows in crescentic flats or to *Achillea* steppes or meadow steppes in case of extreme lack of water in floodplains. Mesotrophic wet meadows are endangered in moor environment in the Danube–Tisza Interfluvium due to the decrease of the groundwater-level. Among salt habitats the tall herb salt meadow steppes and *Puccinellia* swards are considered to be the most endangered (e.g. in case of Lake Kancsal, Fig. 7). Previous ones are sensitive to the alteration of the equilibrium between humus-accumulation, effect of groundwater and salt-accumulation. *Puccinellia* swards require springtime shallow inundation (with dry-out to the beginning of summer) and the significant surface salt-accumulation together. The lack of springtime inundation results the turn into salt meadows in case of *Puccinellia* swards. Semi-dry forest steppe meadows situated near to the edge of the South Great Hungarian Plain towards the hill land-

scape are actually endangered as a result of the disappearance of forests that once surrounded them causing the change of microclimatic conditions. Their turn into loess steppe grasslands is awaited. The closed pendunculate oak forests influenced by groundwater-level (lowland oak-hornbeam forests, oak-elm-ash forests, closed lowland steppe oak forests) are among the most endangered lowland forest habitats. The open of their crown, their turn into forest steppe with mosaics of scattered grasslands and forest patches is awaited due to climate change. Among the more open forest types the open steppe oak forests on sand are the most endangered as their growth and renewal has been already detained by the present degree of the decrease of groundwater-table. However some habitats are not endangered by the climate change significantly in their existence in the Great Hungarian Plain. The *least endangered habitats* due to climate change are the open sand grasslands of dunes, the sand steppe grasslands of sand-sheets and residual-ridges and the loess steppe grasslands and Artemisia steppes on loess cliffs of loess landscapes. These latter two communities have often remained just on steep slopes (e.g. kurgans, dykes), verges or incorporated into saline grasslands. Among saline habitats the Achillea steppes are the least endangered due to climate change, as their soil contains Na-salt in low concentration, its accumulation level is deep being the most independent saline habitat-type from the groundwater-level. The poplar-juniper sand dune forests, open steppe oak forests on loess, the continental deciduous steppe thickets and the dry pioneer shrubs are also not endangered due to climate change in their existence because of their dry habitats. The other habitats – like euhydrophyte vegetation of eutrophic and mesotrophic still waters, eu- and mesotrophic reed and Typha beds, Glyceria, Sparganium beds, tall-sedge beds, floodplain tall-herb vegetation, riverine willow shrub and willow-poplar forests typical for floodplains and the majority of saline habitats (salt marshes, salt meadows, Artemisia salt steppes, annual salt pioneer swards, open salt steppe oak forests) – are considered to be moderately endangered in their existence due to climate change.

Category-systems were introduced to evaluate the expansion potential of habitats in the landscape. *Dry expansion (expansion potential due to climate change)* groups the spatial increase of habitats in dry years. In case of *positive expansion* the awaited climate changes help the expansion of habitats in the landscape, while in case of *negative expansion* area decrease is forecasted. Habitats endangered according to risk due to climate change can face with significant area decrease (except in case of oak-elm-ash forests and wet pioneer shrubs), as well as the euhydrophyte vegetation of eutrophic and mesotrophic still waters and floodplain tall-herb vegetation. Moderate area decrease is awaited in case of Glyceria, Sparganium beds, non-tussock tall-sedge beds, mesotrophic wet meadows, willow-poplar forests, salt marshes, Artemisia salt steppes, tall herb salt meadow steppes, annual salt pioneer swards, open salt steppe oak forests, open steppe oak forests on loess.

*Positive expansion* is awaited in case of habitats least endangered according to risk due to climate change. Significant area increase for open sand grasslands (on the new moving sand dune, on the place of burnt down planted forests (see Pinus forests)), sand steppe grasslands (appearance in blowouts) and dry pioneer shrubs (lack of management), and moderate area increase for Achillea steppes and loess steppe grasslands is possible. In case of poplar-juniper sand dune forests, continental deciduous steppe thickets and riverine willow shrubs no significant changes are awaited but local spatial alteration can happen. In dry years moderate area increase is possible for eu- and mesotrophic reed and Typha beds, Achillea steppes, salt meadows, loess steppe grasslands.

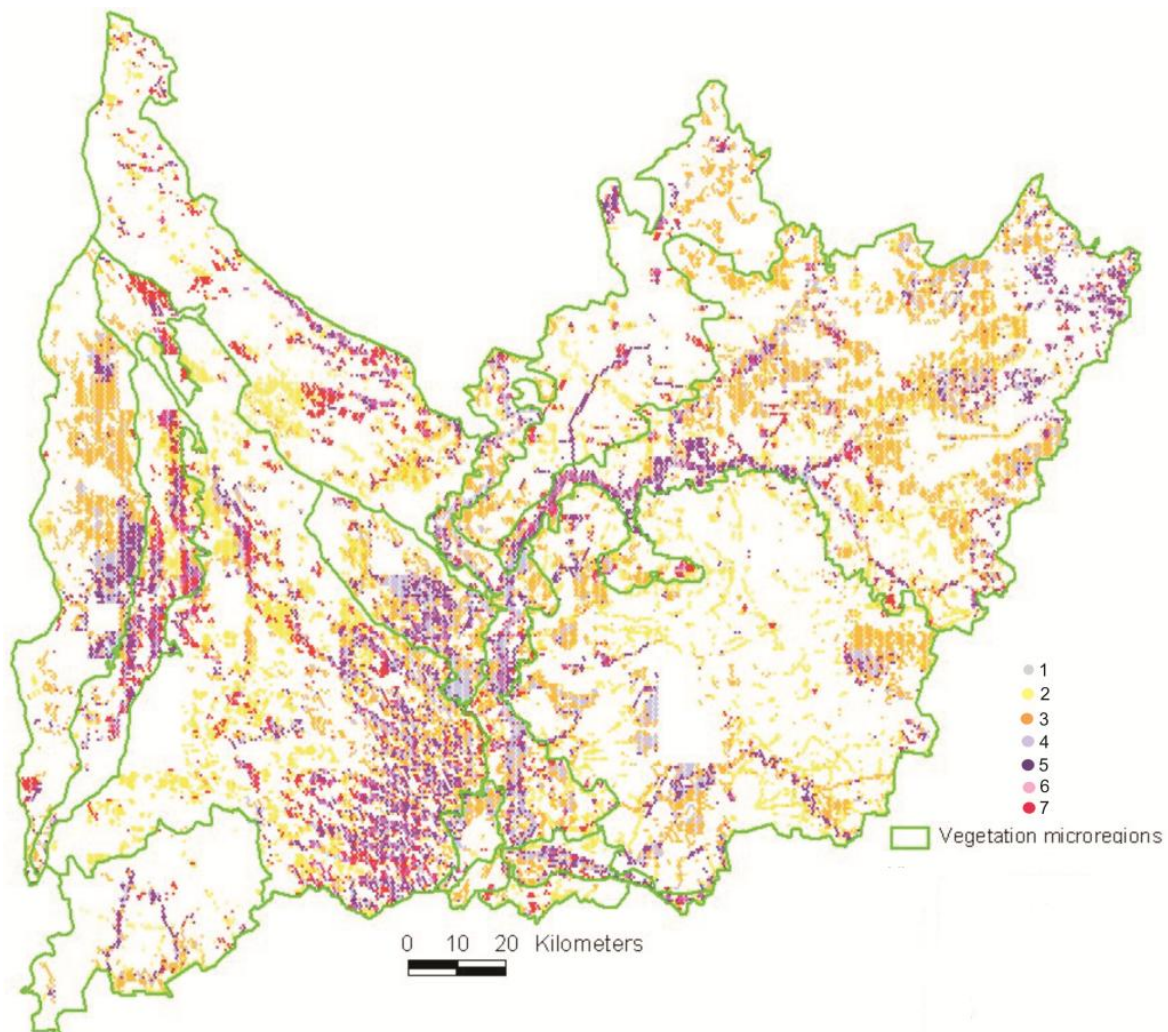


Fig. 6. Habitat's risk due to climate change considering their appearance

6. ábra. Természetes élőhelyek klímaérzékenysége az Alföldön

1: no data; 2: not endangered; 3: moderately endangered; 4: more moderately endangered than endangered; 5: endangered and moderately endangered in similar ratio; 6: more endangered than moderately endangered; 7: endangered

1: nincs adat; 2: nem veszélyeztetett; 3: mérsékelten veszélyeztetett;

4: inkább mérsékelten veszélyeztetett, mint veszélyeztetett;

5: veszélyeztetett és mérsékelten veszélyeztetett ugyanabban az arányban;

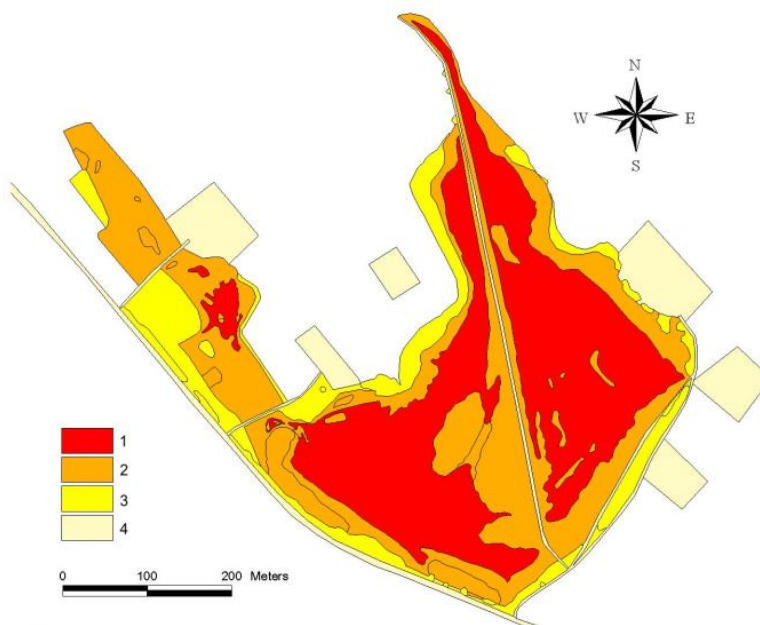
6: inkább veszélyeztetett, mint mérsékelten veszélyeztetett; 7: veszélyeztetett

*Wet expansion (expansion potential in wet years)* characterizes the response of vegetation to the individual weather events with high precipitation, namely it refers to the changes in vegetation resulted by temporary short term trend back-shots in the awaited drying trend. Significant area increase can happen especially in case of wetland habitats favoring the short time, sudden and large water income (e.g. euhydrophyte vegetation of eutrophic and mesotrophic still waters, eu- and mesotrophic reed and *Typha* beds, non-tussock tall-sedge beds) and saline habitats with lower salt accumulation (salt meadows, salt marshes, tall herb salt meadow steppes). Most meadows, marshes, reed-grass communities can expand just moderately after short time precipitation excess. In case of riverine willow shrubs, willow-poplar forests



and wet pioneer shrubs just moderate area decrease is awaited. At dry habitats (e.g. open sand grasslands, sand steppe grasslands, loess steppe grasslands, semi-dry forest steppe meadows, *Artemisia* steppes on loess cliffs, *Artemisia* salt steppes, *Achillea* steppes, continental deciduous steppe thickets) wet years don't result area increase. In case of certain moor habitats the area decrease in a drying period can't be compensated during the extreme humid years (e.g. floating fens, oligotrophic reed beds, willow carrs, swamp forests). The expansion of most forest-types (lowland oak forests, poplar-juniper sand dune forests) is not influenced by the individual years with high because of their long growth period.

The distribution of the habitats with different climate sensitivity in the landscape outlines the different climate sensitivity of microchors. The mosaic landscape pattern of the South Great Hungarian Plain and the role of geomorphological features and groundwater is shown in the enclosed landscape-level climate sensitivity map too in which areas dominated by habitats endangered and not-endangered due to climate change are situated close to each other making possible the adaptation to the changing circumstances for the members of the natural species-pool. The vegetation of the sand dunes of the Danube–Tisza Interfluve (Bugacian, Kiskunságian, Pilis–Alpárian Sandlands, Illancs) and the vegetation of the loess-ridges of the Körös–Maros Interfluve and Bácska loess-ridge is the least endangered due to climate change, but patches dominated by endangered habitats also enclave into these landscapes. The dominance of moderately endangered habitats is typical for the saved-side floodplains (e.g. Danube-side Plain, Körös-land) and for the salt grasslands of Körös–Maros Interfluve and Bácska loess-ridge. The dominance of endangered and moderately endangered habitats with different spatial ratio characterizes the Turján-land, Örjeg, Dorozsma–Majsaian Sandlands, moors alongside the Gerje, eastern part of Kiskunságian Loesslands and the active floodplain of riverside microchors.



*Fig. 7. Sensitivity of habitats due to climate change in case of Lake Kancsal*

*7. ábra. A Kancsal-tó élőhelyeinek klímaváltozás általi veszélyeztetettsége*

1: endangered; 2: moderately endangered; 3: not endangered; 4: not defined

1: veszélyeztetett; 2: mérsékelten veszélyeztetett; 3: nem veszélyeztetett; 4: nincs értelmezve

## Responses of vegetation to climatic changes

Vegetation has been influenced by the changing climatic conditions in former periods of geohistory, for example the shift of forest zones in the last ten thousand years. An important difference compared to the past conditions is the numerous anthropogenic facilities, the landscape fragmentation (CSORBA, 2008) and the ecological barriers. The adaptation of vegetation to the changing circumstances is limited by not only the higher rate of alteration, revealed by many research, but physical obstacles in the landscape. Thus, if any refugees remained in the landscape, living organism can reach them less, making the rescue effect of species and communities more difficult.

Based on our research using remotely sensed data, statistical databases and fieldworks (completed by the experiences of other researchers from Hungary), the steps of vegetation response to climate change, especially to the alteration of precipitation, were outlined.

a) Alterations of vegetation can be induced by climatic variability (e.g. an extreme humid year); the response of the vegetation is mostly internal. The species composition of habitats and plant associations could transform towards drought-tolerant or hydrophil species according to the precipitation conditions. It means simply good or bad harvest in case of cultivated plants and higher/smaller biomass in case of forests.

b) The second step of the alterations due to the effect of climate change is an increased sensitivity of vegetation. Due to the groundwater table decreasing process, affected by the permanent precipitation shortage, the biomass production of the habitats is in strong correlation with the precipitation fallen in the vegetation period (except of groundwater recharge period). In this case, precipitation is the only water source of vegetation, since their root system does not reach the groundwater (e.g. Illancs microregion, LADÁNYI et al., 2011). The vegetation stands have no direct spectacular damages; however the alterations of biomass production can be detected by remote sensing. Such phenomena can be observed in the case of the drying, steppification of *Molinia* fens of the deflation hollows, where sand steppe grassland species have already been more competitive. The soluble salts get deeper with the decreasing groundwater table in the soil, thus characteristic species of the most salt tolerant habitats (annual salt pioneer swards, *Puccinellia* swards and *Artemisia* salt steppes) face to altering soil conditions, because their root system do not reach deeper horizons.

c) In case of significant, tendentious decrease of precipitation, not only the biomass production, but the diversity of vegetation is also declining; the number and cover of dominant species also decrease (BARNA et al., 2011). The characteristic (and sometimes dominant) species of the habitats disappear and are replaced by other associations, capable to adapt to the new circumstances (KOTROCZÓ et al., 2007; DEÁK, 2011).

d) The further response of vegetation to the changing circumstances is the forced shift of the associations (LADÁNYI et al., 2009, DEÁK, 2011) – if the communities of the vegetation zonation along a humidity gradient, characteristic for the landscape, exist. It is similar to the shift of the vegetation zones more ten thousand years ago, however in micro scale, since the associations shift spatially compared to their previous arrangement (neighbouring habitats at the expense of each other). The

higher is the diversity of the habitats in the zonation, the higher possibility for the replacement is ensured.

e) There are cases when climatic extremities vary so rapidly that the general conditions are appropriate in vain, the species are not able to adapt. For example after 1999, which was a humid year with huge territories of inland excess water inundations, we observed the foliage of fruit trees to partially dried, and during the serious drought in 2000, the remained branches also died. In the floodplain of River Maros, many orchards were destroyed by the flood in 1977 and the remained ones perished in the following arid years.

f) If the climate conditions alter for a species or a plant association so much that they are not able to adapt to the changing circumstances (e.g. in case of beech trees in the middle of the first decade of the 21<sup>st</sup> century in Hungary, BERKI et al., 2007; MÁTYÁS et al., 2010). In this case the living circumstances of the given species became unavailable, and they finally die out and disappear from the given area. In the landscapes of the Great Hungarian Plain the drought-tolerant species and vegetation types move towards not the higher elevations in contrast with the mountains, but the deeper locations (it means only some centimetres or decimetres) in micro-scale. The forced shift can make more climate sensitive, highly hydrophil or even salt-tolerant habitats disappear (DEÁK, 2011).

g) The changing circumstances can be favourable to invasive species that take up the territories of the former natural vegetation, or due to their intensive spreading they push out them. Land use changes often contribute to these processes. The spread of *Asclepias syriaca* in opened sand steppes, drying fens, swamps, *Solidago gigantea* in leaching saline meadows, or instead of renewing willow-poplar woodlands the spread of *Amorpha fruticosa* and *Acer negundo* in the floodplains reflect the changed water supply of habitats besides the land use changes.

## References

- Barna, Gy. – Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Deák, J.Á. 2011: Változó alföldi táj: a talaj-víz-növényzet kapcsolatrendszer vizsgálata különböző mintaterületeken. In: Farsang, A. – Ladányi, Zs. (Eds.): Talajaink a változó természeti és társadalmi hatások között. Talajvédelem különszám, 117–126.
- Berki, I. – Móricz, N. – Rasztovits, E. – Víg, P. 2007: A bükk szárazságtolerancia határának meghatározása. In: Mátyás, Cs., Víg, P. (Eds.): Erdő és klíma V, Sopron, 213–228.
- Blanco, J. – Kheradmand, H. (Eds.) 2011: Climate Change – Geophysical Foundations and Ecological Effects. InTech, Rijeka.
- Bölöni, J. – Molnár, Zs. – Kun, A. – Biró, M. 2007: Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (Á-NÉR) (Hungarian National Habitat Classification System). Institute of Ecology and Botany, Hungarian Academy of Sciences, Vácrátót, 184 p.
- Cserni, I. – Füleky, G. 2008: A Duna–Tisza közti homokhátság talajainak vízgazdálkodása. Talajvédelem, 53–63.
- Csorba 2008: Landscape ecological fragmentation of the small landscape units (Microregions) of Hungary based on the settlement network and traffic infrastructure. Ekológia, 27/1, 99–116.
- Deák, J.Á. 2011: A növényzet tájléptékű változásai a Kiskunság délkeleti részén. In: Rakonczai, J. (Ed.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 327–338.
- Fritts, H. C. 1976: Tree Rings and Climate. The Blackburn Press, 567 p. (ISBN: 1-930665-39-3)



- Horváth, E. 2003: Dendrokronológiai vizsgálatok Magyarországi fafajokon. *Vízügyi Közlemények*, 85 (2), 294–332.
- IPCC, 2007: *Climate Change. Fourth Assessment Report I-II-III*. Cambridge University Press.
- Ladányi, Zs. – Blanka, V. 2011: Dendrokronológiai vizsgálatok *Pinus sylvestris* fafajon, esettanulmány a Duna–Tisza közén. In: Galbács, Z. (Ed.) *Proceedings of the 17th Int. Symp. on Analytical and Environmental Problems*, 134–137.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. 2011: Habitat changes of an alkaline lake, south Hungary. In: Galbács, Z. (Ed.) *Proceedings of the 17th Int. Symp. on Analytical and Environmental Problems*, 138–141.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Kovács F. – Geiger, J. – Deák, J. Á. 2009: The effect of recent climatic change on the Great Hungarian Plain. *Cereal Research Communications*, 37 (suppl.), 477–480.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – van Leeuwen, B. 2011: Evaluation of precipitation-vegetation interaction on a climate-sensitive landscape using vegetation indices. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5, 053519.
- Láng, I. – Csete, L. – Jolánkai, M. (Eds.) 2007: *A globális klímaváltozás: Hazai hatások és válaszok. A VAHAVA-jelentés*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 220 p.
- Mátyás, Cs. – Berki, I. – Czúcz, B. – Gálos, B. – Móricz, N. – Rasztovits, E. 2010: Future Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology, *Acta Sylvatica&Lignaria Hungarica*. Vol 6. 91–110. Sopron, Hungary
- Mika, J. 2011: Regionális éghajlati forgatókönyvek előkészítése statikus módszerekkel. In: Rakonczai, J. (Ed.): *Környezeti változások és az Alföld*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, 63–74.
- Pálfai, I. 2000: Az Alföld belvízi veszélyeztetettsége és aszályérzékenysége. In: Pálfai, I. (ed.): *A Nagyalföld Alapítvány kötetei 6. A víz szerepe és jelentősége az Alföldön*, 85–96.
- Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. 2010: A sejthető klímaváltozás és a Duna–Tisza közti Homokhátság. *Forrás*, 7–8, 140–152.
- Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. – Deák, J. Á. – Kovács, F. 2012: A földrajz és a tájökológia szerepe a klímaváltozás következményeinek értékelésében. In: Farsang, A. – Mucsi, L. – Keveiné Bárány, I. (Eds.) *Táj- érték, lépték, változás*. SZTE TTIK FFT, 137–144.
- Somlyódy, L. – Nováky, B. – Simonffy, Z. 2010: Éghajlatváltozás, szélsőségek és vízgazdálkodás. „Klíma-21” Füzetek, 61, 15–32.
- Várallyay, Gy. 1984: Magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémái. *Agrokémia és Talajtan*, 33, 159–169.

# **A KLÍMAVÁLTOZÁS TÁJI INDIKÁTORAI: A TALAJ – TALAJVÍZ – VEGETÁCIÓ KAPCSOLATRENDSZER VIZSGÁLATA ALFÖLDI MINTATERÜLETEKEN**

## **Bevezetés**

Hazánkban a globális klímaváltozás hatása leginkább a világátlag körüli hőmérséklet- növekedésben, és – nagy ingadozások mellett – némi csapadécsökkenésben tapasztalható. Ezek a klimatikus adatok azonban igen nagy szórást mutatnak, így a változások trendjelleget nehezebb bizonyítani. Ezért olyan környezeti indikátorok vizsgálatára van szükség, melyek alkalmasak a változások komplex következményrendszerében a trend jellegű folyamatok feltárására. Kutatásaink bizonyítják, hogy a földrajz és a tájökológia bővülő módszertani és eszközkészlete nagyban hozzájárul a tájban zajló komplex folyamatok megértéséhez. Éppen ezért olyan tájalkotók változásának kutatását tűztük ki célul, melyek főként nem az éghajlati elemek változékonyságát tükrözik, hanem a tájban zajló környezeti változások irányát és tendenciáit mutatják. Ilyen indikátoroknak bizonyultak: a talajvíz, a talaj és a vegetáció változásai. Ezeket lokális, regionális és nagytáji léptékekben is vizsgáltuk, és felhasználásukkal kísérletet teszünk egyes tájak klímaérzékenységének meghatározására.

## **Talajvízszint-változások az Alföldön**

Az elmúlt évtizedben végzett kutatásaink azt bizonyították, hogy a csapadékhiány a talajvízszint-csökkenésen keresztül gyakorol leginkább trendszerű változásokat a tájra, és ez a Duna–Tisza közén már az 1980-as évektől jelentős környezeti változásokat indított el. Éppen ezért az Alföld (talajvíz pótlódása szempontjából jól elkülöníthető) tájegységein külön is értékeltük a csapadék és a talajvízkészlet kapcsolatát (1. ábra). Jól látható, hogy a szélsőségesen ingadozó csapadék hatása a talajvízkészlet változásában letompítva és némi késéssel jelentkezik. Egy-egy csapadékosabb év hatása gyorsabban jelentkezik a talajvízszintek emelkedésében, míg a szárazabb évek hatása fokozatosan érvényesül. (Ezért is van az, hogy egy csapadékosabb évet követő aszályos év kisebb károkat okoz a mezőgazdaság számára, mintha több aszályos év követi egymást.)

Ha a változások területi különbségeit vizsgáljuk nagytájunkon, megfigyelhető, hogy addig (1970-es évek eleje) amíg az éves csapadékátlag – a jelentős ingadozások ellenére – 600 mm körül alakul, az egyes tájegységek talajvízkészletének változása nagyjából hasonlóan alakul. Az 1990-es évek közepéig tartó számottevően szárazabb időszak során azonban – az eltérő geomorfológiai, hidrogeológiai körülmények miatt – lényeges különbségek alakultak ki a talajvízkészletekben. Azok a területek, ahol a talajvízkészlet nemcsak a csapadékból tud pótlódni, kevésbé érzékenyek a csapadécsökkenésre, míg a környezetéből kiemelkedő Duna–Tisza közén folyamatos és összességében igen jelentős (5–6 km<sup>3</sup>) vízkészlet-csökkenés tapasztalható. Ez a jelentős vízhiány egy-egy nedvesebb évben némileg csökkenhet ugyan, de tartósan jelentős mennyiségű talajvíz hiányzik a tájegységről. A klímaváltozás hatása tehát leginkább ott érvényesül, ahol a talajvízkészlet csak csapadékból tud pótlódni.

## **Tájváltozás és táji érzékenység vizsgálata alföldi mintaterületeken**

Kutatásaink során számos mintaterületen vizsgáltuk a táj biotikus és abiotikus elemeinek változását a klímaváltozás és az antropogén hatások következtében. Tanulmányoztuk a talaj(tulajdonság)ok regionális léptékű talajvízszint-süllyedéshez szorosan kap-

csolódó változásait, valamint a vegetáció érzékenységét és kapcsolatát a klímaelemekkel, az élőhelyek és a fajösszetétel, zöld biomassza produkció és a faévgyűrűk segítségével meghatározott éves növekmény részletes vizsgálata által. Az alkalmazott sokszínű vizsgálati módszerek (talajvizsgálat, élőhelyterképezés és cönológiai felvételezés, térinformatika, dendrokronológia) a tájökológiai vizsgálatok komplex szemléletét tükrözik. A kutatási eredmények alapján a következő főbb megállapítások tehetőek:

– A hidromorf talajok, és a hozzájuk szorosan kötődő vizes és szikes élőhelyek különösen érintettek a Duna–Tisza köze vízháztartási problémájával. A vizsgált szikes élőhelyeken a szikes talajok kilúgozódását és sztyeppesedését, valamint a szikes élőhelyek csökkenő kiterjedését lehetett megfigyelni. Az évről évre változó klimatikus körülményekhez a domináns növényfajok igen jól alkalmazkodnak, ami átmeneti állományok megjelenéséhez vezet, de az egyes élőhelyfoltok át is alakulnak egymásba, a folt-határ dinamikusan mozog. A belvízelvezető-csatornák hatása szintén hozzájárul a sóeloszlás térbeli mintázatának megváltozásához. Elősegíti a szikes élőhelyek kiszáradását, kilúgozódását, s így – a sót nem tűrő gyomfajok elszaporodása által – a szikes élőhelyek eljellegtelenedését, átalakulását. A vizsgált szikes tómederben 2009-ben a vizsgált talajtulajdonságok már a növényzet további átalakulását/degradációját vetítették elő, melyet a 2010-es év vízvisszatartás hiányában csak fokozott.

– A biomassza-vizsgálatok a növényzet fokozottabb érzékenységét állapították meg a Duna–Tisza közti homokhátság legmagasabban fekvő kistáján, az Illancson, ahol a talajvízszint-süllyedés mértéke a legjelentősebb az 1970-es évekhez viszonyítva. Vegetációs index alapján kimutatható szoros kapcsolat van a csapadék és az erdők biomassza produkciója között, és csak egy szűk intervallum, a tavaszi-nyár elejei időszak csapadéka bizonyult a legmeghatározóbbnak a fák biomassza produkciója szempontjából. Az eredményeket a régió talajadottságai is alátámasztják, hiszen a jellemző homoktalajok víztároló kapacitása kicsi, és a talajvízszint is olyan mélyen van, hogy annak tavaszi utánpótlódása sem tud jelentősen hozzájárulni a terület növényzetének jobb vízellátásához. Ártéri mintaterületen nem volt kimutatható kapcsolat a csapadékkal, viszont a hátság alacsonyabb térszínein igen, ahol a tavaszi-nyári időszak csapadéka mellett a téli is befolyásolónak bizonyult. A fák éves növedékének vizsgálata (évgyűrű) is jól tükrözi az egyes évek vízellátottságát és a fajok érzékenységét az Illancson. Az évgyűrű- és a Pál-fai-féle aszályindex együttfutása a vizsgált erdei fenyő fakorongokon igen jelentősnek bizonyult, a közöttük lévő kapcsolat az 1%-os szinten szignifikáns. A minták évgyűrű-érzékenysége a közepes és a magas kategóriában mozog, utalva a vízellátottság korlátozottságára, melynek háttérében a térség jó vízáteresztő-képességű homoktalaja, a jelentősen lecsökkent talajvízszint, valamint a régió aszályérzékenysége áll.

### **Az Alföld növényzetének klímaérzékenysége**

A növényzet leggyorsabban a tájhasználat mellett az időjárási elemek és az általa befolyásolt vízellátottság miatt változik az alföldi tájakban. Az alkalmazkodást az egyes tájtípusokra jellemző zonációk szomszédos és/vagy egymáshoz közel elhelyezkedő élőhelyei közti dinamikai és szukcessziós kapcsolatok teszik lehetővé. A változások hatására átmeneti élőhelyek jöhetnek létre, de ha a változás jelentősebb, akkor az egész zonáció eltolódhat. Az ártéri élőhelyek átalakulása a legdinamikusabb, de a szikesek vegetációdinamikája is intenzív. Hazánk természetes élőhelykészlete jól alkalmazkodott az olykor szélsőséges időjárási eseményekkel is jellemezhető kontinentális klímához. Ez az alkalmazkodás az *élőhely-*

*diverzitásban* rejlik, amelynek megőrzése a hazai természetvédelemben várhatóan még inkább fel fog értékelődni. A növényzet klímaérzékenységevel kapcsolatban, a klímaváltozás várható hatásaira adott válaszok vizsgálatára 3 kategóriarendszer került kidolgozásra az MTA ÖBKI-vel közösen a dél-alföldi természetes ÁNÉR-élőhelyeire a meglévő több éves nagy területre kiterjedő terepi tapasztalatok alapján.

A *klímaváltozás általi veszélyeztetettség* az adott élőhelytípusok jelenlegi meglévő foltjainak helyben való fennmaradási esélyét vizsgálja az élőhelytípus abiotikus tulajdonságait figyelembe véve. Minél állandóbb, kiegyenlített éves vízellátottságot (árvízi vagy talajvíz utánpótlás) és minél inkább felszín közeli nátrium-sófelhalmozódást igényel egy-egy élőhely annál veszélyeztetettebb. A hínárközösségek, a virágkákás mocsarak, a különböző lápi jellegű élőhelyek, a mocsárrétek, a sziki magaskórósok, a mészpázsitos szikfokok, az erdőspusztarétek, valamint a természetesebb alföldi erdőtípusokból a talajvízhatás alatt álló zárt kocsányos tölgyesek a legveszélyeztetettebbek a klímaváltozás által. A nyílt homokpusztagyepek, a homoki nyarasok, a homoki sztyepprétek, a löszsztyepprétek, a löszszakadópart-növényzet és a cickóróspuszták a legkevésbé veszélyeztetettek a klímaváltozás által. Emellett az egyes élőhelyek tájban való terjeszkedési potenciáljára is egy-egy kategóriarendszer került kidolgozásra.

A *száraz kiterjedés* (más néven *klímaváltozás általi terjeszkedési potenciál*) az élőhelyek száraz években való területi növekedését kategorizálja. Pozitív száraz kiterjedésnél a klímaváltozás várhatóan segíti az élőhely tájban való területi növekedését, még negatív értékek esetén nem.

A *nedves kiterjedés* (más néven *területi növekedés extrém nedves években*) a növényzet egyedi nagy csapadékú időjárási eseményekre adott válaszát vizsgálja, azaz a várható trendekben lévő ideiglenes, rövididejű trendvisszacsapásokra adott növényzeti változásokat. Első sorban a nedvességkedvelő, rövid idejű, hirtelen, nagy mennyiségű vízbevetelt kedvelő ártéri élőhelyek és a szikesek kevésbé sós élőhelyei (szikes rétek, szikes mocsarak, sziki magaskórósok) esetén várhatunk jelentős areanövekedést.

A különböző klímaérzékenységu élőhelytípusok tájban való elrendeződése az egyes kistájak eltérő klímaérzékenységet is kirajzolja. A dél-alföldi táj mikromozaikosságát, a domborzat és a talajvízhatását jól jelzi az, hogy egymáshoz térben közel klímaváltozás által veszélyeztetett és nem veszélyeztetett élőhelyek dominálta területek is elhelyezkednek. A Duna–Tisza-közi Homokhátság homokbuckásainak (Bugaci-, Kiskunsági-, Pilis–Alpári-homokhát, Illancs), illetve a Körös–Maros köze löszhátjainak növényzete a legkevésbé veszélyeztetettek a klímaváltozás által, de e tájakra is ékelődnek veszélyeztetett növényzet uralta foltok. A mentett oldali árterek (lásd Dunamenti-síkság, Körös-vidék) és a lösztájak szikeseire inkább a mérsékelt veszélyeztetett kategóriába sorolt élőhelyek nagyobb aránya jellemző. A Turján-vidék, az Örjeg, a Dorozsma–Majsai-homokhát, a Gerje menti lápvidék, a Kiskunsági-löszöshát keleti része valamint a folyóvölgyek hullámterein a klímaváltozás által veszélyeztetett és közepesen veszélyeztetett élőhelyek túlsúlya jellemző különböző, térben változó arányban.

## **A vegetáció válaszreakciói a klimatikus hatásokra**

A klímaváltozás legjobb indikátora a vegetáció, ami a „saját bőrén” tapasztalja annak következményeit. A változó klimatikus feltételekkel a növényvilág már a földtörténeke korábbi szakaszaiban is találkozott, amiről például az erdőzónák egykori vándorlásai tanúskodnak. Egy lényeges különbség azonban mindenképpen van a múltbeli viszonyokhoz képest:

az emberi létesítmények sokasága, a táj antropogén felszabdaltsága, a mesterségesen kialakított „ökológiai gátak” rendszere. Így a növényvilág megváltozó körülményekhez való alkalmazkodását nem csak a nagyobb változási sebesség, hanem a tájban kialakított fizikai akadályok is korlátozzák. Ezért, ha a tájban vannak is refúgiumok, azt az élőlények egyre kevésbé tudják elérni, ami az egyes fajok és közösségek megmenekülését erősen nehezíti.

A kutatások alapján felállítottunk egy „reakciósor” arra, hogy a vegetáció milyen változásait figyelhetjük meg a fokozódó éghajlati változásra.

a) A legkisebb klimatikus változás (ami még talán nem is klímaváltozás, csak változékonyság) esetén a vegetáció csak kisebb belső változásokkal reagál. Ennek során az adott élőhelyek, növénytársulások belső fajkészlete rendeződhet át a szárazságtűrőbb vagy épp a nedvességkedvelőbb fajok irányába a csapadéktól függően. Ez a kultúrnövényeknél egyszerűen a jó vagy a rossz termés, vagy az erdőknél a vegetációs indexekből meghatározott biomassa változása.

b) A klímahatás következő fokozata, amikor a tartós csapadékcsökkenés nyomán bekövetkező talajvízcsökkenés miatt az élőhelyek biomassa-termésköze már főként a csapadékkal mutat korrelációt (már nem a felszín alatti vízkészletből táplálkozik). A növényállományokon ilyenkor még nem láthatók látványosan a klímaváltozás hatásai, hiszen nincs közvetlen károsodása, de a biomasszaprodukció-változás távérzékelési módszerekkel már kimutatható. Valójában ilyenkor a víz még elvileg a növény rendelkezésére áll, de a talajvizet a gyökérzet nem éri el. Hasonlók figyelhetők meg a semlyékek kiszáradó, sztyeppesedő képerjés rétegeinél is, ahol a homoki sztyeppréti fajok már versenyképesebbek. A talajvízzel a sók is a mélybe vándorolnak, így a legsótűrőbb élőhelyek karakterfajai már nem érzékelik sósnak a talajt, mert gyökérzetük nem nyúlik le a mélyebb rétegekbe.

c) A csapadékcsökkenés idővel olyan számottevő lehet, hogy ennek nyomán nemcsak a vegetáció biomassa-termésköze, hanem diverzitása is csökken, az uralkodó fajok egyedszáma, borítása egyre kisebb lesz. Az adott élőhely karakterfajai, sőt gyakran domináns fajai is lassan eltűnnek majd helyüket fokozatosan más, az új körülményhez alkalmazkodó asszociációk veszik át.

d) Továbbberősödő klímahatásra (ha a táji adottságok lehetővé teszik) a vegetáció-együttesek kényszermigrációja következhet be. Ez mikroléptékben hasonlít a vegetációs zónák több ezer éve lejajlott elmozdulásához, az asszociációk korábbi elrendeződésükhöz képest térben áthelyeződnek. Ilyenkor a szomszédos élőhelyek egymás rovására eltolódnak.

e) Előfordulnak olyan helyzetek, amikor a klimatikus szélsőségek olyan gyorsan változnak, hogy hiába megfelelőek az általános feltételek, az egyedek nem képesek ehhez alkalmazkodni, és elpusztulnak. (A pusztulás oka ilyenkor nem a trendszerű változás, hanem a szélsőségek.)

f) Ha egy faj vagy növény-együttes számára úgy megváltoznak a klímaadottságok, hogy már nem képes alkalmazkodni a megváltozó körülményekhez (nincs már hova „menekülnie”), az adott faj vagy közösség életfeltételei kimerülnek, s eltűnnek az adott területről. (Az alföldi tájokban a szárazodás hatására a szárazságtűrő fajok és vegetációtípusok mikroléptékben a hegyvidékekkel ellentétben nem felfelé, hanem az alacsonyabb térszínre felé mozdulnak el.) Ilyenkor a kényszermigráció maga alá gyűrheti a klímaérzékenyebb erősen nedvességkedvelő vagy éppen sótűrő élőhelyeket.

g) A megváltozó környezeti feltételeknek nyertesek is vannak, ezek az invazív fajok, amelyek elfoglalják a korábban természetes vegetáció „feladott” helyeit, netán erőszakos terjeszkedésükkel kiszorítják azokat. Ehhez gyakran a tájhasználati változások is hozzájárulnak.

# VEGETATION BOUNDARY ZONE IN SANDY GRASSLANDS AND THE AFFECTING EDAPHIC FACTORS

*Márta Zalatnai – László Körmöczi*

University of Szeged, Department of Ecology

## Introduction

In the plant ecological texts there are plenty of theoretical and review papers about the description of the vegetation pattern of the boundaries and ecotones between the plant association patches (VAN DER MAAREL, 1990; RISSER, 1995; CADENASSO et al., 2003) but the detailed description of the phenomenon can only be found in very few papers (KENT et al., 1997). However, the study of the structure of boundary zones, including the study of the spatial variation of species composition and the responsible abiotic and biotic constraints, can be important because the boundary zone is the place of floristic and ecological changes. Consequently the study of boundary zones is important for nature and environmental protection issues (KENT et al., 1997). In protected areas the monitoring of vegetation, performed by vegetation mapping, is an important step towards the compilation of management plans at both regional and association scale too (KUN – MOLNÁR, 1991). On the other hand, during vegetation mapping, it is important to know the location and size of boundary lines or zones between the patches, but the determination of these is not easy (BAGI, 1991). The knowledge of the location and size of boundary zones is especially important in those areas which are affected by climate change, because past experience showed that the size and location of boundary zones may change due to environmental changes (RISSER, 1995).

The sandy grass associations of the southern region of the Great Hungarian Plain are much affected by climate change, and there are data available on these changes from the last twenty years (MOLNÁR et al., 2003). In the last two decades the drought and the continuously dropping level of the groundwater caused great changes in the Kiskunság sandy grass associations (KÖRMÖCZI, 1996). Significant changes have been shown in the size, shape and species composition of vegetation patches, and also transitional stands have appeared. Since the vegetation patches also change, the location and width of boundaries and boundary zones between them might also change (RISSER, 1995). Due to further climatic changes, it can be expected that the width and the location of the boundary zones change, but so far there were no detailed studies (KÖRMÖCZI – BALOGH 1990) on the vegetation boundaries in the sandy grass vegetation, and their changes have not yet been described.

From a vegetation ecologist's point of view it is important to follow the seasonal changes in the vegetation boundaries and to reveal the strength of the relationships of the boundaries with edaphic parameters.

The objective of the study is to reveal the location and extension of the boundary zone in sandy grass associations with moving split window technique and to determine

which edaphic background variables are responsible for the formation of the boundary zone.

The answers were sought to the following questions:

1. What is the width of the boundary zone between stands, which belong to different association types, but have similar physiognomy along an elevation gradient?
2. What is the role of the abiotic parameters in the statistical significance of the detection of boundaries and their width?
3. Is the location and width of boundary or boundary zone stable between the vegetation patches of sandy grassland of Bugac?

## Materials and methods

### *Study site*

Sampling was carried out on a sandy grassland area of the Kiskunság National Park, in the Danube-Tisza interfluvium, Great Hungarian Plain. The sampling site was in a 2.4 ha fenced part of the “Upper-Bugac” pasture (N46° 41' 49" E19° 36' 05") where grazing was ceased in 1976. This is a sand dune area, relief conditions and the former grazing regime resulted in a mosaic-like complex (Fig. 1) of various sandy grassland communities (open perennial sand grassland — *Festucetum vaginatae* RAPAICS ex SOÓ 1929 em. BORHIDI 1996, sandy pasture — *Potentillo arenariae-Festucetum pseudovinae* SOÓ (1940), dry *Molinia* sward — *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae* MAGYAR ex SOÓ 1933) which have similar physiognomy (KÖRMÖCZI, 1983). The soil type under the grassland is wind-blown sand (*Festucetum vaginatae*) and slightly humous sand (*Potentillo arenariae-Festucetum pseudovinae*, *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae*) (KÖRMÖCZI, 1983).

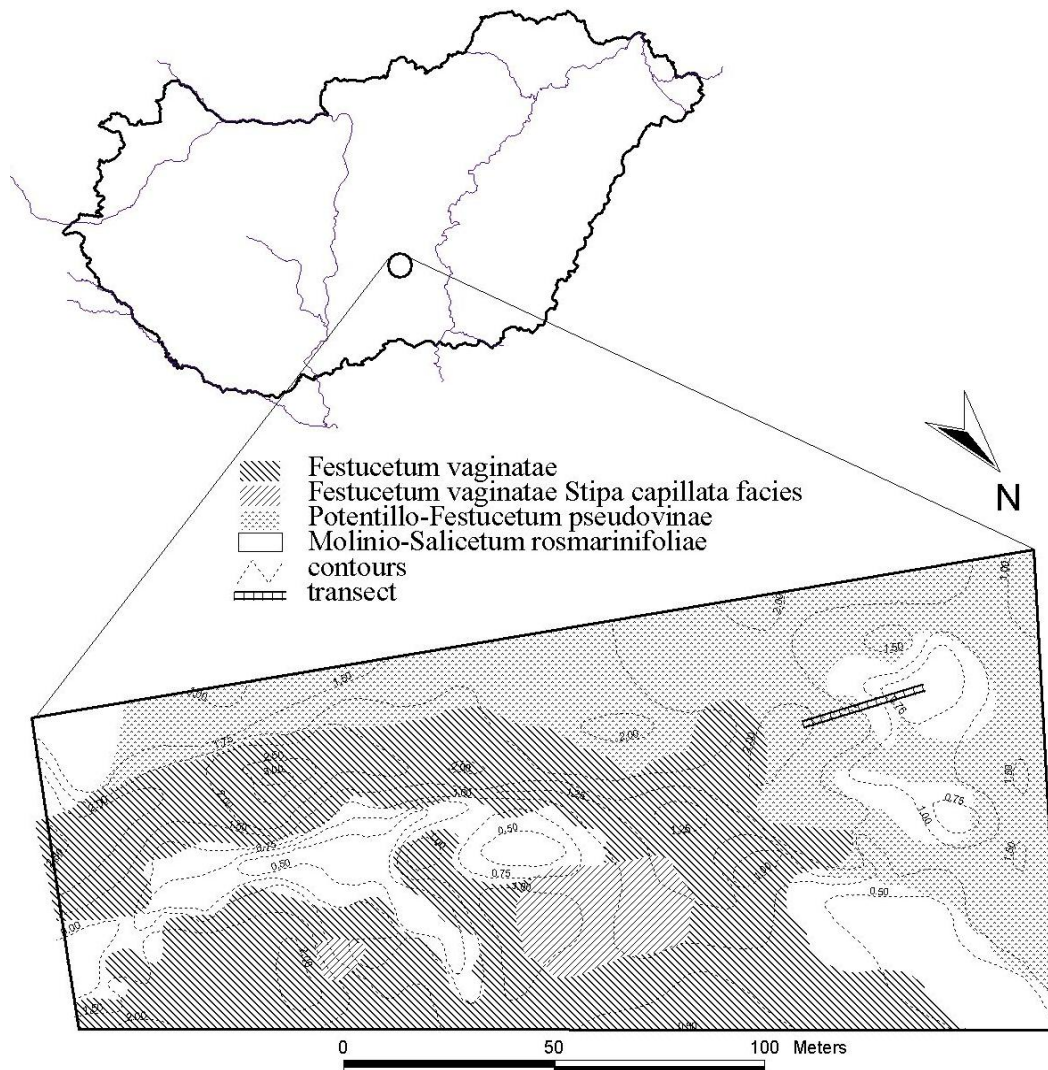
Due to the drought of the last two decades and the drop of the level of water table, the structure of the communities has changed. Several vegetation patches with transitional coenological state have appeared and the incidence rate of boundary zones between the communities has increased (KÖRMÖCZI, 1988, 1996; MOLNÁR, 2003). Due to the lack of grazing, the sandy pasture (*Potentillo arenariae-Festucetum pseudovinae*) is now in a transitional state towards the open perennial sandy grassland (*Festucetum vaginatae*) in some places of the sampling area. These two xerophilous grasslands have similar species composition, their environmental parameters are similar (KÖRMÖCZI – BALOGH, 1990). As a consequence of the drop in the level of groundwater at the interdune depressions, the vegetation of dry *Molinia* sward (*Molinio-Salicetum rosmarinifoliae*) became drier. The characteristic species *Molinia coerulea* was not observable in the community and was substituted by the xerophilous *Festuca pseudovina*. Although some characteristic mesophilous species (*Salix rosmarinifolia*, *Schoenus nigricans*, *Scirpus holoschoenus*) of the *Molinia* sward still occur, the mesophilous species are mostly replaced by the xerophilous ones (KÖRMÖCZI, 1996) like *Potentilla arenaria*, *Carex stenophylla*, *Carex liparocarpos*, *Poa angustifolia*.

### *Vegetation sampling*

A 30 m transect was established along elevation gradient in such a manner that the transect crossed two vegetation patches perpendicular to the hypothesized border. The transect was 1 m wide, and consisted of 25×25 cm micro-quadrats. Vegetation sampling was



performed in micro-quadrats by recording presence/absence data of each species populations. The site was characterized by seasonal samplings during five years performed at the same calendar times in order to assess the seasonal dynamics of boundary transitions. Data records were taken in late May and late September each year.



*Fig. 1. The vegetation map of the sampling area. Double line at the right side indicates the studied transect*

*1. ábra. A mintaterület vegetációtérképe. A vizsgált szelvényt a jobb oldali kettős vonal jelzi*

### **Soil sampling and laboratory analysis**

Each micro-quadrat of the external row of one transect was sampled for soil (0-10 cm cores were taken from the centre of the quadrates). Soil sampling was performed parallel with vegetation sampling in one spring period.

The laboratory analysis of the soil samples was carried out according to Hungarian standard methods (BUZÁS, 1988). Soil moisture content was determined gravimetrically after drying at 105 centigrade. Soil pH was measured in 1:2.5 aqueous suspension with a glass electrode after 12 hour equilibrium time. Soil organic matter content was measured with a spectrophotometer after wet oxidation by potassium dichromate and sulphuric acid. Total nitrogen content was determined according to the Kjeldahl method.

### *Statistical analysis*

First the presence values were summed for each species in the four microquadrats perpendicular to the main axis of the transect at each 25 cm interval, resulting in frequency values ranging from 0 to 4 for each species. We used these frequency values in moving split window and multivariate analyses (Fig. 2).

### *Moving split window analysis*

For the analysis of the vegetation boundaries the moving split window technique was applied (WEBSTER, 1973, 1978; LUDWIG – CORNELIUS 1987; JOHNSTON et al., 1992; LEGENDRE – LEGENDRE 1998). Squared Euclidean Distance function (SED) was computed for each neighbourhoods in the range of 1 to 20 half-window sizes. (For the detailed description of the methods see ZALATNAI – KÖRMÖCZI, 2004; KÖRMÖCZI, 2005). Plotting the average Z-transformed values of the SED function vs. the window midpoint position results in a profile diagram where a significant peak is identified as a vegetation boundary. In our case the half window size 1 means a 25 cm segment of the transect.

The significance of the peaks was tested with the Z-score transformation of the distance function (CORNELIUS – REYNOLDS, 1991, HENNENBERG et al., 2005) in order to solve the problem caused by the significance levels differing at the separate window widths. After Z-transformation the values computed at particular window widths can be averaged and the significant peaks can be observed based on the averages.

Z-score transformation is given as:

$$Z = \frac{d_{i,k} - \bar{d}_{exp.,k}}{SD_{exp.,k}}$$

where  $d_{i,k}$  is the SED value for the  $i^{\text{th}}$  window midpoint position for  $k$  half-window size,  $\bar{d}_{exp.,k}$  is the overall mean SED value from randomized data for  $k$  half-window size (expected mean), and  $SD_{exp.,k}$  is standard deviation of SED values from randomized data for  $k$  half-window size.

For the significance test, random reference was made with Monte Carlo method: the population patterns were randomly shifted compared to each other, thus the distributions of the single populations remained unchanged. SED values were then computed for each window midpoint position. Overall mean and standard deviation of distances were calculated after 1000 randomization, these are considered as expected values. Expected means and standard deviations were computed for each window sizes. The differential profiles were then drawn from Z-scores averaged over 1 to 20 half-window sizes. On the basis of several hundred simulations, Z-scores greater than 1.85 are considered significant at 5% probability level.

Prior to the computation of the boundary zone from the joint change of the measured abiotic parameters (relative elevation, pH, organic matter, moisture content, total nitrogen content), the raw data were standardized by the range, then analysed by MSW with the application of SED function. For the average Z-score profile diagram of abiotic parameters the same significance test was used as for the vegetation data.

### *Multivariate analyses (CCA)*

Direct gradient analysis was performed on the vegetation and soil data in order to reveal the relationship between the vegetation and soil variables to distinguish between the possible boundary zone and the adjacent vegetation patches. Canonical Correspondence Analysis (CCA) of frequency values of the plant species and the values of soil parameters was performed by the SYN-TAX 5.0 program package (PODANI, 1993). We used symmetric weighting; 99 % of the variance was explained by the first axis and 1% of the variance was explained by the second axis.

### **Results and discussion**

On the basis of the studied nine seasonal data series we found that the vegetation is divided into two markedly different large patches of plant communities (*Potentillo arenariae-Festucetum pseudovinae* at the top of the dune, and *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae* in the depression) and turns into a wide (about 5 m) boundary zone on the slope in between. Both MSW and ordination show (Fig. 3, Fig. 4) that the patches of the communities have considerable inhomogeneity.

The width of the boundary zone can be considered large compared to the size of the community patches (15–30 m in diameter in the studied sandy area). The background gradient seems to be steep and on the basis of the elevation difference a sharper boundary is expected (BEGON et al., 1986). But in this case at least five abiotic factors (albeit some being interdependent) and many species interact in the given section of the gradient (KENT et al., 1997), and this makes the boundary zone wider and more diffuse.

The differences among the two community patches and the boundary zone can be explained principally by the relief differences and consequently by the change in soil moisture along the transect. However, soil moisture is influenced not only by the relief but also by the particle size of the soil (ROSENTHAL et al., 2005). At the top of the dune the larger sand grains are dominant, while below these are mixed with fine grains. Thus the water-retention capacity and the resulting soil organic matter content are larger in the depression than at the top of the dune (MOLNÁR et al., 2003). The boundary zone of vegetation indicates the gradient-like increase of soil moisture. The vegetation pattern which is influenced by the relief, soil moisture and soil organic matter affects also some soil parameters (HUTCHINGS et al., 2003). Closing of the vegetation cover depends on the above mentioned two background factors, and the decomposed dead plant material affects the nitrogen and organic matter content of the soil (STEFANOVITS, 1999). Under the more open vegetation of the top of the dune, the organic matter content is lower; it increases gradually downslope as a consequence of the closing vegetation, and in the interdune depression it reaches its maximum. Here, in the depression the soil remains moister, thus the vegetation is denser, and therefore the organic matter and nitrogen content will be the highest in the upper 10 cm of soil of the depression. The pH of the soil is influenced by the acidity of root exudates and organic matter content (STEFANOVITS, 1999), therefore pH value decreases where organic matter shows maximum value.

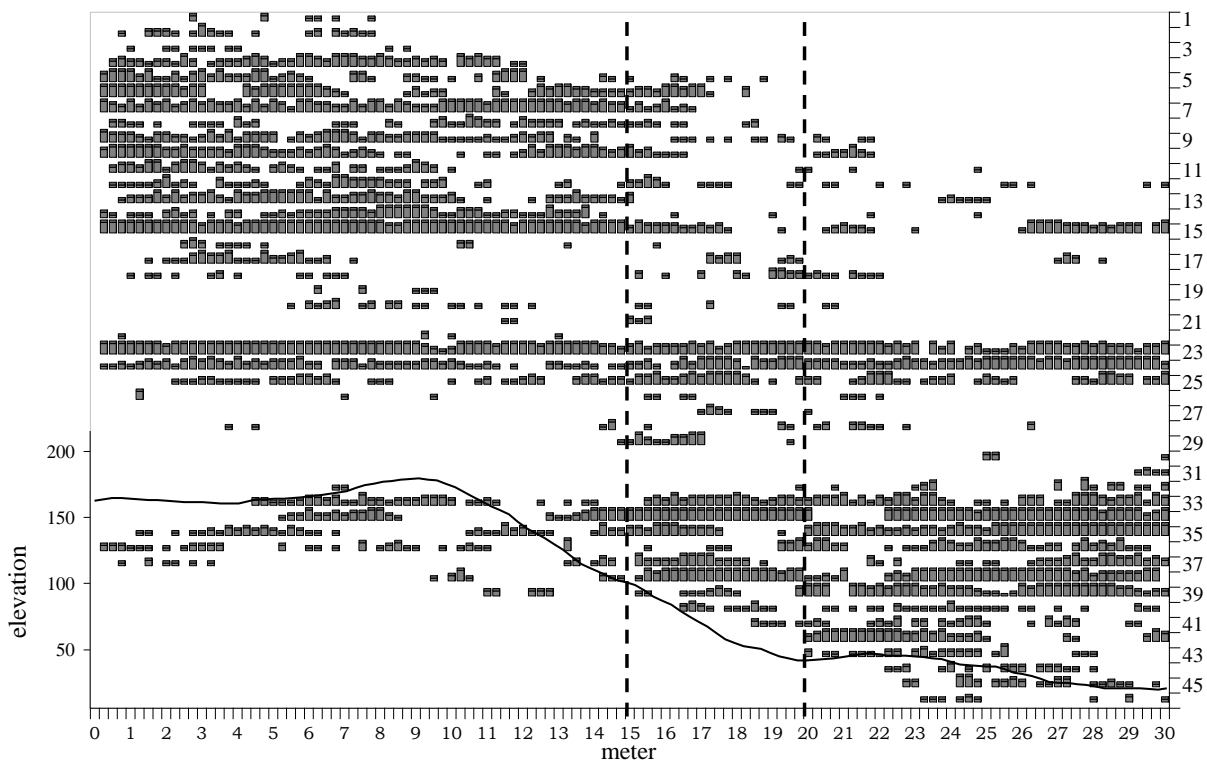
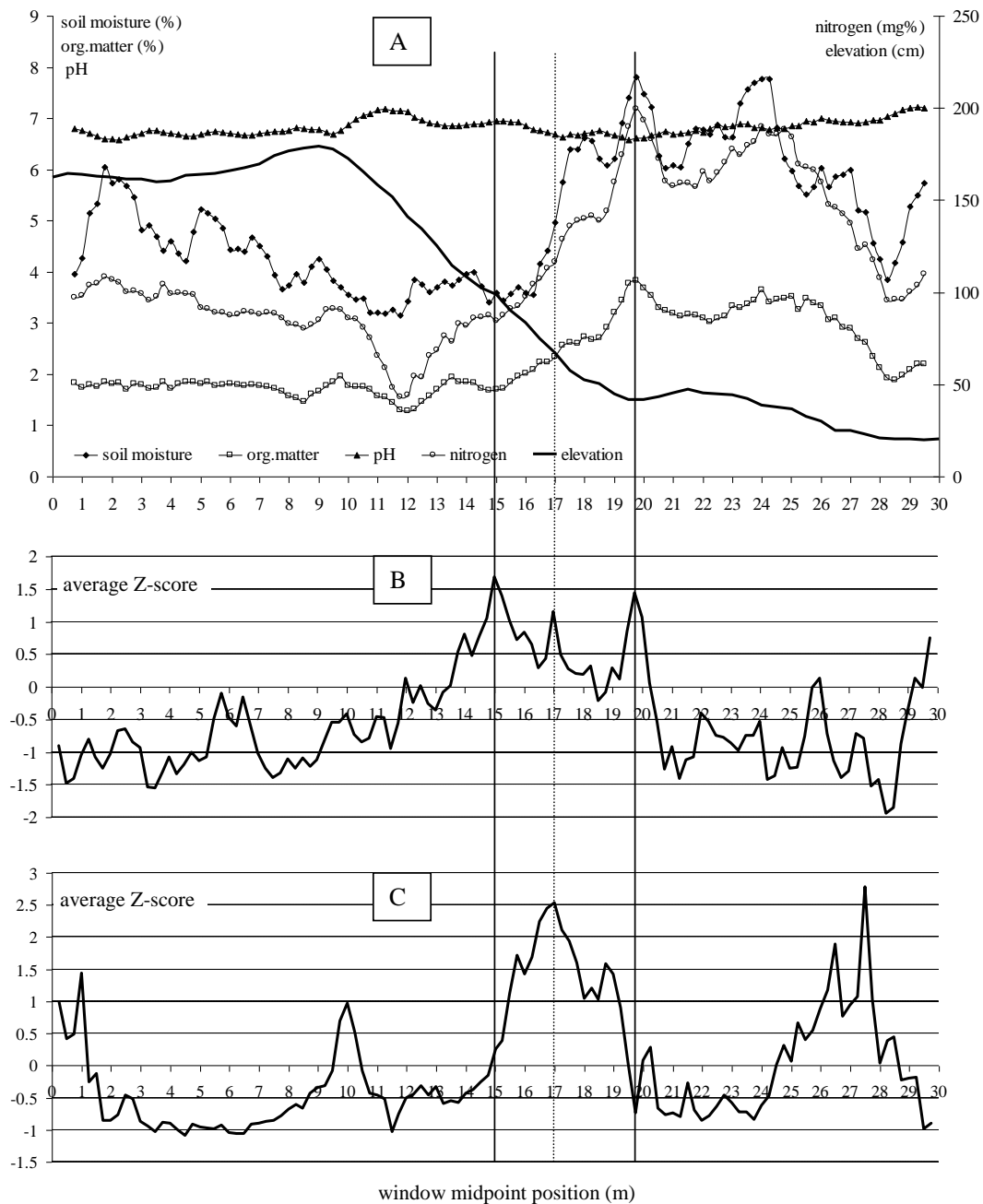


Fig. 2. Spatial distribution of local frequency of the plant populations along the transect. The broken lines at 15 and 19.75 meters sign the boundary zone revealed by MSW analysis, relief profile is also indicated. The plant species are marked by numbers:  
 2. ábra. A növénypopulációk lokális frekvenciájának térbeli elrendeződése a szelvény mentén. A szaggatott vonalak 15 és 19.75 m-nél a mozgó ablakos elemzéssel kimutatott határzónát jelzik. A folytonos vonal a domborzati profilt mutatja. A jobb oldali skálán feltüntetett számok a növénypopulációkat jelzik az alábbi sorrendben:

1. *Secale sylvestre* Host, 2. *Silene conica* L., 3. *Poa bulbosa* L., 4. *Bromus squarrosus* L., 5. *Tortula ruralis* (Hedw.) Gaertn., Meyer, and Scherb., 6. *Cladonia furcata* (Huds.) Schrad. ssp.furcata, 7. *Cynodon dactylon* (L.) Pers., 8. *Cladonia foliacea* (Huds.) Willd., 9. *Colchicum arenarium* Waldst. and Kit. , 10. *Falcaria vulgaris* Bernh. 11. *Myosotis stricta* Link ex Roem. and Schult., 12. *Arenaria serpyllifolia* L., 13. *Cerastium semidecandrum* L., 14. *Medicago minima* (L.) Bartal., 15. *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., 16. *Kochia laniflora* (S.G.Gmel.) Borbás, 17. *Veronica arvensis* L., 18. *Stipa capillata* L., 19. *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér., 20. *Eryngium campestre* L., 21. *Festuca vaginata* Waldst. and Kit. ex Willd., 22. *Cladonia magyarica* Vain, 23. *Carex stenophylla* Wahlenb., 24. *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, 25. *Potentilla arenaria* Borkh., 26. *Equisetum ramosissimum* Desf., 27. *Elymus repens* (L.) Gould, 28. *Silene otites* (L.) Wibel, 29. *Veronica prostrata* L., 30. *Ononis spinosa* L., 31. *Schoenus nigricans* L., 32. *Verbascum lychnitis* L., 33. *Carex liparocarpos* Gaudin, 34. *Galium verum* L., 35. *Euphorbia cyparissias* L., 36. *Poa angustifolia* L. 37. *Koeleria glauca* (Schrad.) DC., 38. *Achillea pannonica* Scheele, 39. *Thymus pannonicus* All., 40. *Saxifraga tridactylites* L., 41. *Trifolium montanum* L., 42. *Teucrium chamaedrys* L., 43. *Trinia ramosissima* (Fisch. ex Trevir.) W. D. J. Koch, 44. *Melandrium album* (Mill.) Garcke, 45. *Scirpus holoschoenus* L., 46. *Scabiosa ochroleuca* L.



*Fig.3. A: Changes of the soil parameters – soil moisture, organic matter, pH, total nitrogen – along the transect. Moving average of fifth order of the soil data was applied because of the considerable fluctuation of the raw data. B: The Z-score profile diagram of vegetation data of May 2004 along the transect. C: the Z-score profile diagram of the soil data along the transect. Vertical lines sign the boundary zone; dotted vertical line belongs to the peak of the profile C.*

*3. ábra. A: A talajparaméter értékek – talajnedvesség, szervesanyag tartalom, pH, teljes nitrogéntartalom – változása a szelvény mentén. Az adatok ötödrendű mozgóátlagát ábrázoltuk a jelentős ingadozások miatt. B: A növényzet Z-profil diagramja 2004 májusi adatok alapján. C: A talajtulajdonságok Z-profil diagramja. A függőleges vonalak a határzónát jelölik. A szaggatott függőleges vonal a C ábra profiljának csúcsához tartozik.*

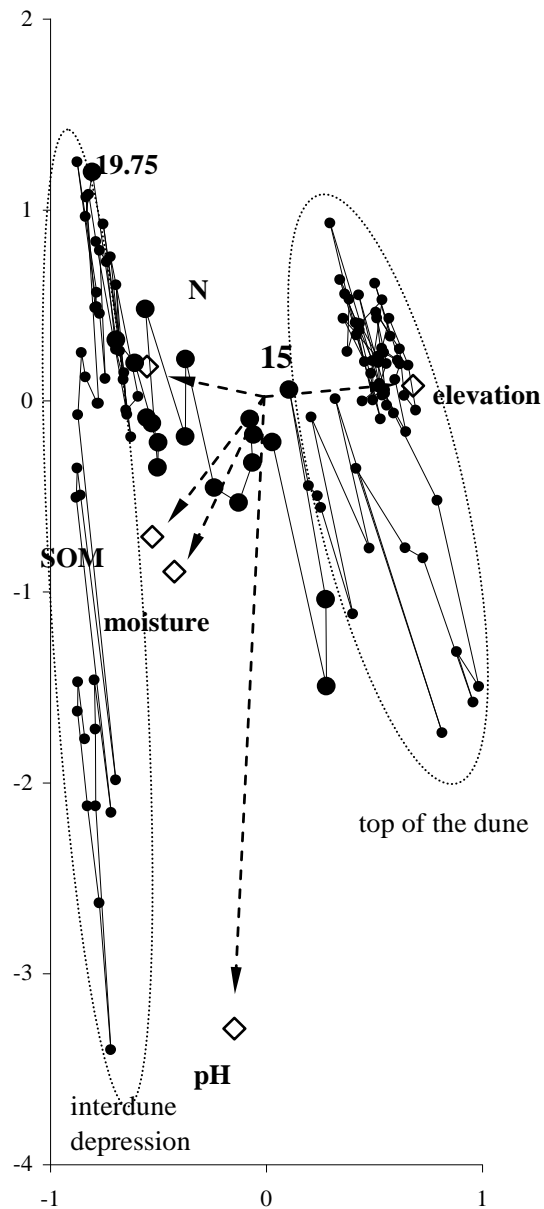


Fig. 4. CCA biplot of the vegetation data (●) and soil parameters in the 25×25 cm quadrats of the transect. Subsequent points along the transect are linked on the scatterplot from 0 to 30m. Larger dots indicate the locations belonging to the boundary zone determined by MSW. Background factors are marked with diamonds (SOM = soil organic matter, N= total nitrogen content).

4. ábra. A növényzeti adatok (●) és a talajparaméterek (◊) CCA kettős diagramja a szelvény 25×25 cm-es kvadrátjai alapján. A szelvény szomszédos pontjai vannak összekötve. Nagyobb méretű pontok a határzónához tartozó helyeket jelölik, melyeket az MSW mutatott ki. (SOM=talaj szervesanyag tartalom; N=teljes nitrogén tartalom)

Edaphic properties influenced more the development of the vegetation boundary zone than that of the patches of the plant communities (TÓTH et al., 1995). The boundary zone is found where the changes of the soil parameters are the strongest. It is noticeable that this sharp change does not appear in the middle of the slope of the dune as expected but at the foot of the dune. The soil properties start already to change at the

top of the dune, but the changes become larger at the foot of the dune. In the boundary zone the soil parameters have intermediate values between those of the top of the dune and the interdune depression, thus they ensure environmental conditions in which the species composition of the two community patches can co-occur therefore the type of this boundary zone can be considered ecocline (VAN DER MAAREL, 1990). In this zone the characteristic species of the two vegetation patches occur together and few species occur only here (Fig. 3).

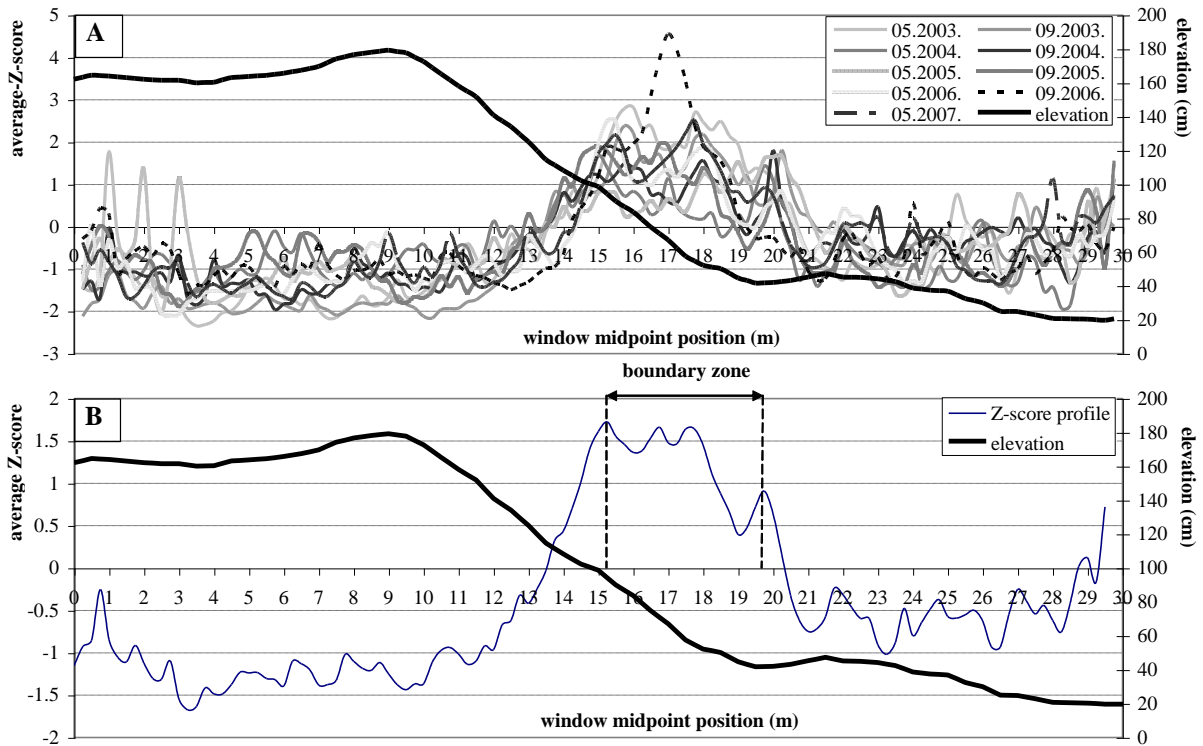


Fig. 5. A: Average Z-score profile diagrams resulted from the 9 seasonal samples of the vegetation. B: The average of the 9 average Z-score profile diagrams. Bold lines indicate in both figures the elevation profile of the sand dune. Vertical lines in figure B sign the boundary zone

5. ábra. A: A 9 mintavételi időszak átlagos Z-profil diagramjai. B: A 9 időszak profil diagramjainak átlaga. A vastag vonal mindkét ábrarészen a domborzati profilt mutatja

In a previous study KÖRMÖCZI and BALOGH (1990) found that the boundary zone between the patches of *Potentillo-Festucetum pseudovinae* and *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae* was 2–3 m wide and between the patches of the two dry grasslands (*Festucetum vaginatae* and *Potentillo-Festucetum pseudovinae*) it was wider. According to our results 17 years later, the boundary zone has become wider between the patches of the same two communities (*Potentillo-Festucetum pseudovinae* and *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae*) although not in the same transect. Now it is about 5 m and in the course of five study years the width fluctuated between 3–5 m. It is possible that this small difference in the width of the boundary zone may be explained by the changes in the annual precipitation of the given area (KUN, 2001) and the drought (MOLNÁR et al., 2003) during the past 17 years. The species composition of *Molinio-Salicetum rosmarinifoliae* stands has changed during the last 20 years as a



consequence of the drought, in such a way that xerophilous species have appeared and its species composition became similar to that of *Potentillo-Festucetum pseudovinae* (KÖRMÖCZI, 1996). The boundary zone is narrower between communities with different species composition and steeper elevation gradient than between communities with similar species composition and less steep gradient (BEGON et al., 1986; HOBBS, 1986; KÖRMÖCZI – BALOGH, 1990). This supports our assumption that the wider boundary zone is the result of the changes of the vegetation during the last decades. Since the steepness of the elevation gradient of our study site has not changed, only the soil moisture available for the plants decreased (MOLNÁR et al., 2003) and in consequence the changes of the species composition could cause the widening of the boundary zone (NIELSON 1993, RISSER 1992, ROSENTHAL et al. 2005.).

In the nine seasonal data series (Fig. 5) the number and location of the double and triple peaks are somewhat variable and this shows that the width, sharpness and spatial pattern of the boundary zone vary from season to season. During the five years we detected double or triple peaks between the positions 15 and 19.75 m in every season although they were not significant in every season.

In the case of the spatial pattern of the boundary zone, we found neither trend nor cyclic change between the data of spring and autumn. The variation appears in every year different, presumably influenced mainly by the seasonal distribution of precipitation of the given period (RISSER, 1995). The causes of the variation of the spatial pattern of the boundary zone are currently being analysed.

Our results may be used for planning the monitoring of the sandy vegetation and for the detection of vegetation changes in consequence of the climate change.

## References

- Bagi, I. 1991: Limitations and possibilities of the methodology of the Zürich-Montpellier phytosociology school in vegetation mapping. *Phytocoenosis* 3, Supplementum Cartographiae Geobotanicae, 2, 131–134
- Begon, M. – Harper, J.L. – Townsend, C.L. 1986: *Ecology. Individuals, population and communities*. Blackwell, Oxford, UK.
- Borhidi, A. 2003: *Magyarország növénytársulásai*. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Buzás, I. 1988: *Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1-2*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Cadenasso, M.L. – Pickett, S.T.A. – Weathers, K.C. – Bell, S.S. – Benning, T.L. – Carreiro, M.M. – Dawson, T.E. 2003: An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries. *BioScience*, 53, 717–722.
- Cornelius, J.M. – Reynolds, J.F. 1991: On determining the statistical significance of discontinuities within ordered ecological data. *Ecology* 72: 2057–2070.
- Delcourt, P.A. – Delcourt, H.R. 1992: Ecotone dynamic in space and time In: Hansen, A.J. – di Castri, F. (eds.) 1992. *Landscape boundaries – consequences for biotic diversity and ecological flow*, 19–55.
- Hennenberg, K.J. – Goetze, D. – Kouamé L. – Orthmann, B. – Porembski, S. 2005: Border and ecotone detection by vegetation composition along forest-savanna transects in Ivory Coast. *J. Veg. Sci.*, 16, 301–310.
- Hobbs, E.R. 1986: Characterizing the boundary between California annual grassland and coastal sage scrub with differential profiles. *Plant Ecology*, 65, 115–126.
- Horváth, A. 1998: INFOTHEM program: new possibilities of spatial series analysis based on information theory methods. *Tiscia*, 31, 71–84.

- Hutchings, M.J. – E.A. John – D.K. Wijesinghe. 2003: Toward understanding the consequences of soil heterogeneity for plant populations and communities. *Ecology*, 84, 2322–2334.
- Johnston, C.A. – Pastor, J. – Pinay, G. 1992: Quantitative methods for studying landscape boundaries. - In: A.J. Hansen and F. di Castri (eds) 1992. *Landscape boundaries: consequences for biotic diversity and ecological flow*. Springer, New York, 107–125.
- Kent, M. – Gill, W. J. – Weaver, R. E. – Armitage, R. P. 1997: Landscape and plant community boundaries in biogeography. *Progress in Physical Geography*, 21 (3), 315–353.
- Körmöczi, L. 1983: Correlations between the zonation of sandy grasslands and the physico-chemical condition of their soil in Bugac. *Acta Biol. Szeged.*, 29(1-4), 117–1270.
- Körmöczi, L. 1996: Spatio-temporal patterns and pattern transformations in sand grassland communities. *Acta Biol. Szeged.*, 41, 103–108.
- Körmöczi, L. 2005. On the sensitivity and significance test of vegetation boundary detection. *Community Ecology*, 6(1), 75–81.
- Körmöczi, L. – Balogh, A. 1990: The analysis of pattern change in a Hungarian sandy grassland. In: Krahulec, F. – Agnew, A.D.Q. – Agnew, S. – Willems, H.J. (eds.) 1990: *Spatial processes in plant communities*. Academia, Prague, 49–58.
- Kun, A. 2001: Analysis of precipitation year and their regional frequency distributions in the Danube–Tisza mid-region, Hungary. *Acta botanica Hungarica*, 43 (1-2), 175–187.
- Kun, A. – Molnár, Zs. 1991: *Nemzeti Biodiverzitás Monitorozó Rendszer IX. Élőhely-térképezés* Scientia Kiadó, Budapest
- Legendre, L. – Legendre, P. 1998: *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam, 693–696.
- Ludwig, J.A. – Cornelius, J.M.. 1987: Locating discontinuities along ecological gradients. *Ecology*, 68, 448–450.
- Molnár, Zs. – Sipos F. – Vidéki, R. – Iványosi Szabó, A. – Biró, M. 2003: *A Kiskunság száraz homoki növényzete*. Természetbúvár Kiadó, Budapest
- Nielson, R. P. 1993: Transient Ecotone Response to Climatic Change: Some Conceptual and Modelling Approaches. *Ecological Applications*, 3(3), 385–395.
- Podani, J. 1993: SYN-TAX 5.0: Computer programs for multivariate data analysis in ecology and systematics. *Abstr. Bot.*, 17, 289–302.
- Risser, P.G. 1995. The status of the science examining ecotones. *Bioscience*, 45 (5), 318–326,
- Rosenthal, D.M. – Ludwig, F. – Donovan, L.A. 2005: Plant responses to an edaphic gradient across an active sand dune/desert boundary in the Great Basin desert. *Int. J. Plant Sci.*, 166(2), 247–255.
- Stefanovics, P. – Filep, Gy. – Füleky, Gy. 1999: *Talajtan. (Soil Science)*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Tóth, T., – Matsumoto, S. – Mao, R. – Yin, Y.. 1995: Precision of predicting soil salinity based on vegetation categories of abandoned lands. *Soil Science*. 160. 218–231.
- van der Maarel, E. 1990: Ecotones and ecoclines are different. *J. Veg. Sci.*, 1, 135–138.
- Webster, R. 1973: Automatic soil-boundary location from transect data. *J. Internatl. Ass. Math. Geol.*, 5, 27–37.
- Webster, R. 1978: Optimally partitioning soil transects. *J. Soil Sci.*, 29, 388–402.
- Wenger, M.J.A. – Louppen, J.M.W. – Eppink, J.H.M. 1983: Species performances and vegetation boundaries along an environmental gradient. *Vegetatio*, 52, 141–150.
- Zalatnai, M. – Körmöczi, L. 2004: Fine-scale pattern of the boundary zones in alkaline grasslands communities. *Community Ecol.*, 5, 235–246.

# HOMOKI GYEPKÖZÖSSÉGEK HATÁRZÓNÁJÁNAK MINTÁZATA ÉS AZ AZT BEFOLYÁSOLÓ EDAFIKUS TÉNYEZŐK

## Bevezetés

A növénytársulások állományfoltjai közötti határok és határzónák vegetációs mintázatának finom léptékű és részletes leírása hiányzik a növényökológiai kutatásokból. Míg sok elméleti és összefoglaló cikk születik a határzónák és ökotonok témakörében, addig a jelenség részletes vizsgálatával nagyon kevés tanulmányban találkozhatunk. Pedig a szomszédos növénytársulások közötti határzóna vizsgálata – a fajkompozíció térbeli variációja és az azt kialakító abiotikus és biotikus kényszerek tanulmányozása – fontos lehet, mert gyakran kapcsolatban áll természetvédelmi és környezetvédelmi kezelési problémákkal is, hiszen a határzóna a florisztikai és ökológiai változások helye. A természetvédelmi területeken fontos feladat a vegetáció táj- és társulásszintű monitorozása a természetvédelmi kezelések kialakításához, amit jelenleg vegetációtérképezéssel végeznek. A térképezés folyamán azonban a folthatárok megrajzolásakor fontos ismerni a határvonal vagy határzóna helyét és méretét a foltok között, melyek meghatározása többször gondot okoz. Különösen fontos ismerni a határzónák helyét és méretét olyan területeken, melyek fokozottan érintettek a klímaváltozás hatásaitól, hiszen irodalmi adatok támasztják alá, hogy a környezeti változások hatására az átmeneti zónák mérete és helye is megváltozhat.

A dél-alföldi homoki és szikes gyepközösségek a klímaváltozásnak különösen kitettek, az őket érintő bizonyos változásokról már az elmúlt húsz évből is van tudomásunk. A kiskunsági homoki gyepközösségeket leginkább az elmúlt két évtized aszályai és a talajvízszint folyamatos csökkenése befolyásolta, melynek következtében már mérhető változások történtek eddig is a vegetációfoltok méretében, alakjában és fajkészletében, valamint átmeneti cönológiai státuszú állományok is megjelentek. Mivel a vegetációfoltok is változnak, a köztük lévő határok és határzónák helye és szélessége is változhat. További változások hatására várható hogy a határzónák szélessége és helye is változni fog, de a homoki gyepvegetációban a vegetációs határokat még kevesen vizsgálták, változásukat pedig eddig még nem írták le. A szikes gyepközösségek felé is nagyobb figyelem irányult az utóbbi években, mert főként a Kiskunságban a talaj sótartalma folyamatosan csökken, és ezzel összefüggésben a szikes vegetáció is folyamatosan változik. Távérzékeléssel és légifotók elemzésével geográfusok már vizsgálták a szikpadkák erózióját és határvonalainak elmozdulását, de vegetációökológiai szempontból is fontos lenne követni a vegetációs határok szezonális változását és felfedni a kapcsolatok erősségét a határok és az edafikus paraméterek között.

## Célkitűzések

A vizsgált társulások időben gyorsan változnak, érzékenyek az élőhelyi változásra, és finom léptékben is intenzív térbeli változások zajlanak le bennük. Cönológiai viszonyaik jól ismertek és nem bonyolultak, valamint fajkészletük sem túl nagy. Állományfoltjaik hasonló megjelenésűek, viszonylag kicsik és sokszor mozaikos elrendezésűek. Ezáltal modellközösségekként alkalmasak növényzeti átmenetek tanulmányozására.

A vizsgálat célja, hogy homoki gyeptársulásokban mozgóablakos elemzéssel vizsgálja a határzóna helyét és kiterjedését, valamint azt, hogy a határhatárzóna kialakításában milyen edafikus háttérváltozók játszhatnak szerepet.

A következő kérdésekre kerestük a választ a vizsgálat során:

1. Térszíni gradiens mentén kialakult, eltérő társulástípusba sorolt, de hasonló fizionómiájú állományok között milyen szerveződésű határzóna jön létre?
2. Az élőhelyi fizikai tényezők gradiensének meredeksége milyen mértékben határozza meg a határok erősségét és kiterjedését?
3. Állandó-e a határ és határzóna helye és szélessége a homoki legelő és buckaközi láprét között?

## **Mintavétel**

A vizsgálatot a Kiskunsági Nemzeti Park egy homokbuckás vidékén, a Felső-Bugaci legelőn végeztük, élőlő nyílt homoki gyepek és sztyeppesedett buckaközi láprétek állományainak mozaik komplexén.

A vegetáció mintavételezése szabályos mintaelem elrendezésben történt, egy szelvényt jelöltünk ki egy magasság gradiens mentén, mely egy buckatetőt és egy buckaközt érintett, két vegetációfolt határzónájára merőlegesen. A 30 méteres szelvény mentén 25×25 cm-es mikrokvadrátokban történt a felvételezés, a fajpopulációk jelenlét/hiány értékeit rögzítettük. A határátmenetek dinamikájának vizsgálatához szezonális felvételeket készítettünk 5 éven keresztül ugyanazokban az időpontokban, május végén és szeptember végén.

A szelvény egy külső sorából talajmintát vettünk 0–10 cm-es talajmélységből minden mikrokvadrátból. A talajmintavétel egy tavaszi vegetációs felvételezés időpontjában készült.

A talajminták kémiai analízise a „Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv” (Buzás 1988) ajánlott módszerei alapján készült. A talajmintákból szelvényben a következő paramétereket határoztuk meg: nedvességtartalom (w%), pH, humusztartalom, összes nitrogén-tartalom.

## **Statisztikai elemzések**

A vegetációs határok elemzését mozgó ablakos eljárással végeztük, melyben a szomszédságok különbözőségét négyzetes euklideszi távolság függvényvel (squared euclidean distance: SED) fejeztük ki. A módszer alkalmas ad másodlagos mintavételre az alapadatainkból, a mozgó ablak méretét növelésével térsorozati adatsorhoz jutunk. Így több térskálán is ki tudjuk számolni az ablakfelek közti függvényértékeket a szelvény mentén. A számított függvényértékeket ábrázolva az ablakok középpontjának függvényében egy profildiagramot kapunk, ahol a szignifikáns csúcs azonosítható vegetációs határként. A csúcsok véletlenszerűtől való szignifikáns eltérését a távolság (SED) értékek Z-transzformációjával számítottuk ki, hogy a minden ablakméretnél különböző szignifikancia szintek problémáját kiküszöböljük. A szelvényben mért talajparamétereket szintén mozgóablakos elemzésnek vetettük alá, az elemzés előtt az adatokat a kiterjedésre standardizáltuk. Az elemzéshez szintén a SED függvényt használtuk. A mozgó ablakos elemzés szignifikancia tesztjét Monte Carlo módszerrel készített random referenciával végeztük. 1000 randomizációból számított távolság érté-

kek átlagát és szórását alkalmaztuk mint várható értéket. A profildiagramot az 1 és 20 félablak méret közé eső Z-értékek átlagolásával adtuk meg. Előzetes vizsgálatok alapján az 1.85-nál nagyobb értékeket tekintettük 5% hibavalószínűségi szinten szignifikáns csúcsnak.

A vegetációs és talajadatokon együtt kanonikus korrespondencia analízist végeztünk a SYN-TAX 5.0 programcsomag segítségével, hogy felfedjük a kapcsolatot a vegetáció és a talajparaméterek között, valamint a különbséget a lehetséges határzóna és a szomszédos vegetációfoltok között.

## Eredmények és értékelésük

A vizsgált szelvény mentén a mozgóablakos elemzés egy széles határzónát (kb. 5 m széles) jelez a homoki legelő (*Potentillo arenariae-Festucetum pseudoviane* SOÓ (1940) és buckaközi láprét (*Molinio-Salicetum rosmarinifoliae* MAGYAR ex SOÓ 1933) között. Ez a határzóna mind az egyedi felvételek esetén, mind a kilenc szezonális adatsor együttes vizsgálata során megjelenik. A határzóna eléggé széles a vizsgálati területen kialakult, mintegy 15–30 m átmérőjű vegetációfoltokhoz viszonyítva. A határzóna ökoklin tulajdonságokat mutat, mert a határzónában az abiotikus tulajdonságok közti térbeli átmenet folyamatos, és a határzóna vegetációja heterogén, komplex struktúrájú és fajgazdag.

A határzóna szélességét, a mozgóablakos csúcsok szignifikanciáját és a növénypopulációk térbeli eloszlását a ható és mért talajparaméterek meredeksége is befolyásolja a határzónában. Ha a lejtő meredek, de a paraméterek meredeksége viszonylag kicsi, ez a határzóna kialakulását eredményezheti, és a szignifikancia erősségét csökkenti, hiszen ez a körülmény támogatja a fajok szinte folyamatos cseréjét az adott szakaszon, ami kialakítja a vegetáció mintázatában a határzónát. A kapott eredmények nem mondanak ellent az irodalomban eddig leírtaknak, inkább pontosítják azokat. Az abiotikus környezetnek a határok szélességére gyakorolt hatását a legtöbben általánosan fogalmazták meg, mely szerint az abiotikus környezetben bekövetkező éles váltások éles és keskeny határokat, míg a folyamatos változások az abiotikus környezetben szélesebb és diffúzabb határzónát eredményeznek a vegetációban.

Eredményeink azt mutatják, hogy – hasonlóan a biomok közti határzónák helyének és szélességének időbeli változásaihoz – a növénytársulások közti határzóna szélessége is mutat időbeli változást. A szelvényben az ötéves adatsorban minden tavaszi és őszi felvételen megjelenik egy több csúcsból összeolvadó csúcs, mely a határzónát jelzi. A határzónát jelző kettős vagy hármas mozgó-ablakos csúcsok száma és helye szezonálisan kismértékben változik, még ha a csúcsok nem is mindig érik el a szignifikancia szintet. A kialakuló határzóna szélessége és élessége a szezonális adatsorokban változó, szélessége 3–5 méter között változik. A határ szélességének szezonális változásában nagyobb szerepe volt a fajok tömegességében bekövetkezett változásoknak, mint a fajösszetételbeli változásnak. A határzóna szerkezetének változásában trend vagy ciklikusság nem látszik sem évszakosan (tavasz és ősz között), sem az évek között, évről-évre máshogy változik a határ szélessége és a csúcsok szignifikanciája. Mivel a homoki gyepek szerkezetét befolyásoló legfontosabb limitáló tényező a talajból a növények számára felvehető víz, feltételezhetően az aktuális időszak csapadék eloszlása befolyásolja nagymértékben a határzóna változásait, de az ezt kiváltó okok elemzése jelenleg is folyik.

# IMPACT OF WEATHER EXTREMITIES (EXCESS WATER, DROUGHT) CAUSED BY CLIMATE CHANGE ON SOILS IN HUNGARIAN GREAT PLAIN (SE HUNGARY)

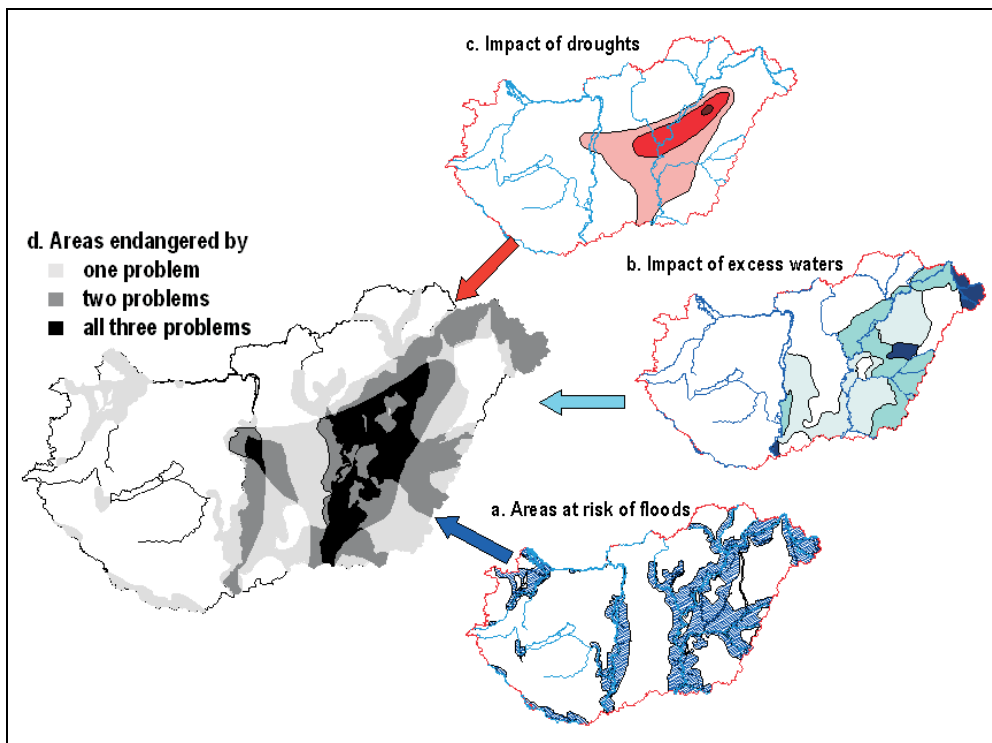
*Irén Puskás – Norbert Gál – Andrea Farsang*

University of Szeged, Department of Physical Geography and Geoinformatics

## Introduction

The generally complex and difficult task of water resource management can be considered even more problematic in the case of Hungary owing to its peculiar geographic location regarding the possible impacts of any sort of climatic changes. Due to this fact and historical river regulation works, Hungary has to face a unique combination of extreme hydrologic symptoms: the spatially extensive, regular appearance of flood, excess water and drought (Fig. 1) (SOMLYÓDY, 2002, JOLÁNKAI et al., 2004).

These negative processes are very disadvantageous from the economic viewpoints, too. In Hungary harmful impacts and financial expenditure of hazard management due to unfavourable meteorological extremities range between 150–180 billion HUF in accordance with government estimates which is almost 1% of the national GDP (JOLÁNKAI et al., 2004). DUNAY – CZAKÓ (1987) note that 36% of the overall agricultural loss originates from drought, followed by hail, floods, and frosts, in order



*Fig. 1. Areas affected by floods, excess water and draughts in Hungary (SOMLYÓDY, 2002)*

*1. ábra. Árvízzel, belvízzel és aszályal súlytott területek Magyarországon*

of importance. In 2003, due to low precipitation the number of heat-days, when the maximum temperature exceeds 30°C, was 45 in national average and this was breaking earlier records. Damage in the agriculture by drought in 2003 and inland excess water in 2010 was estimated to amount to 50–55 and 15 billion HUF, respectively (FARAGÓ et al., 2010). These alarming signs had been necessitated launching of researches regarding to the nature of climate change and its possible impacts on the Hungarian economy, society and environment (HARNOS et al., 2004).

Drought is a natural phenomenon defined as sustained and extensive occurrence of below average water availability. Drought should not be confused with aridity, which is a long-term average feature of a dry climate. It is also distinct from water scarcity, which constitutes an imbalance between water availability and demand. Contrary to other extreme meteorological events, droughts are the most slowly developing ones and often have the longest duration. The beginning, end and intensity of a drought are hard to estimate (PÁLFAI, 1994; GÁLOS et al., 2007). Three general types of drought may be recognized (EISENREICH, 2005): meteorological droughts (defined on the basis of rainfall deficiency); hydrological droughts (accumulated shortfalls in river flows or groundwater replenishment are of primary importance); agricultural droughts: the availability of water in soil through the growing season is the critical factor. During lengthy droughts, all three categories may combine to increase water stress.

Excess water is a Hungarian “specialty” of ponding water in flood-protected lowland areas. It appears mainly (61%) on arable croplands, typically in locations which used to be wetlands before the river regulations (KONCSOS et al., 2011). PÁLFAI (2001) collected over 50 different definitions for inland excess water (“belvíz” in Hungarian). This large amount of definition reflects the different scientific fields that deal with inland excess water (KOZÁK, 2011; VÁMOSI, 2002). According to PÁLFAI (2001) most of the definitions have a common part, namely, that excess water is a kind of temporary water inundation that occurs in flat lands. Many of the definitions emphasize that in addition to precipitation and snow melting the other substantial source is the groundwater, which emerges on the surface (so called underflooding) (RAKONCZAI et al., 2003). More recently the over-moistening of the soil of arable land is also considered excess water, as it also causes damages (BOZÁN et al., 2009). The development of excess water has two main reasons: On the one hand the constant factors (i.e. geological structure, soil conditions, relief, dead river beds), which create the conditions of development of excess water, and on the other hand the variable factors (i.e. weather and groundwater conditions) and human factors (land use, water management, agricultural techniques, land degradation, over-irrigation and so on), which generate this phenomenon (KÖRÖSPARTI et al., 2009; VÁRALLYAY, 2003). Pedological parameters influence on the formation of excess water besides hydrometeorological, geological or relief factors. But not only the soil parameters can take effect on the formation of excess water, but also excess water can modify the soil parameters - causing appearance of hydromorfical characteristics or physical degradation (RAKONCZAI et al., 2011). Furthermore, the soil parameters can be modified in different way over the drought and excess water (GÁL – FARSANG, 2012).

The main natural resource of Hungary is soil therefore its protection is a fundamental obligation for the state and the farmers, too. The frequency of the above mentioned weather extremities have increased due to the global climate change which takes effect also on the soil properties.



In the light of all this information, the major aims of the present study can be summed up as follows:

- to define some good markers of drought influenced on soils and evaluate their applicability;
- in order to trace changes in the soil conditions and detect influence of drought on the soils by qualitative and quantitative comparison of the reference and our data;
- to determine the way and strength of the indications of soil properties reflecting the modification;
- to identify the soil properties which influence on the formation of inland excess water;
- to estimate the effects of excess water on the soil structure of Chernozems of the best quality in Hungary;
- to determine penetration resistance and relative moisture of soil in definite points of a grid in the study field in order to create a multilayer map from soil compaction data.

## **Material and methods**

### ***Investigation of drought***

After survey of the available data and maps of several parameters (annual average precipitation, aridity indices by Pálfai, temporal and spatial changes in the groundwater level, monitoring wells, water balance, vegetation modification etc.) and former studies as well as reference data (Kreybig map 1933–1951, TIM points in 1992, 1999), the pilot areas optimal from the viewpoint of the drought influence on soils could be delineated: in Danube–Tisza Interfluve, within Bács-Kiskun county, Bugaci Sand Ringe and Bácskai Loess Plain. The climate is warm and dry with an annual mean temperature ranging between 10.3 and 10.5 °C. Aridity index is 1 in the case of both pilot areas. Average annual solar radiation is between 2040 and 2060 h per annum with a mean annual precipitation of 520 mm (DÖVÉNYI, 2010). Pilot sites in Danube–Tisza Interfluve are depicted in Fig. 2 where significant sinking in the groundwater level can be noticed. Two most typical soil types (Arenosol, Chernozem) of the region were sampled (FAO et al., 2007).

For the physical and chemical analysis of soils, 62 samples were taken from the horizons of four profiles in summer, 2011. After drying and separation of coarse components, further analyses were carried out: The pH (H<sub>2</sub>O) was recorded using a digital pH measuring device of Radelkis type. The carbonate, total salt content were determined via Scheibler type calcimetry and recording the electric conductivity of fully saturated soil samples, respectively. The humus content was measured after H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> digestion in the presence of 0.33 M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> by Helios Gamma UV-VIS spectrophotometer. The mechanical composition was determined by the yarn test of Arany (BUZÁS et al., 1988).

### ***Investigation of excess water***

With a multitemporal analysis of Landsat TM–ETM images (04/2000, 06/2006 and 07/2010), the study area covered temporarily by inland excess water was defined (on the South Hungarian Great Plain). In the process of appointing the study field,

agrotopographic (scale: 1:100 000, 1982) and Kreybig soil maps (scale:1:25000, 1933–1951), regional hydraulic regimes by Almási and inland excess water frequency maps by Pálfai were considered (Fig. 4).

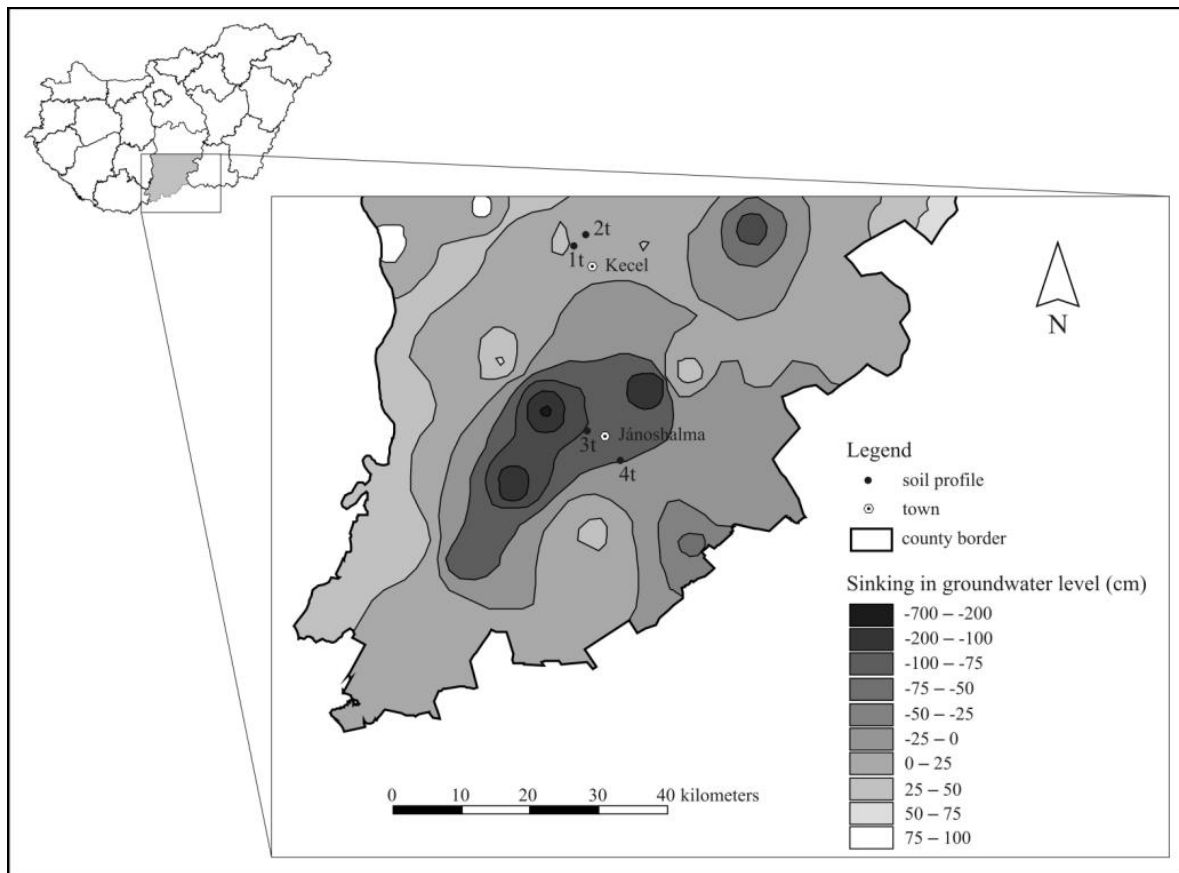


Fig. 2. Location of sampling points and sinking in groundwater in our pilot area  
 2. ábra. A mintavételi pontok elhelyezkedése és a talajvízszintcsökkenés mértéke a mintaterületen

In July, 2011 soil samples were collected along a 700 meters long catena at each 50 meters from the depth of 0–5 cm, 10–15 cm and 20–25 cm on the 45 hectares of study field with calcic chernozem soil type.

Particle size distribution was measured by MSZ-08-0205:1978 2. Hungarian Standard and agronomic structure was identified with dry sieving – 9 classes of structural aggregates were separated (>20, 20–10, 10–5, 5–3.15, 3.15–2, 2–1, 1–0.5, 0.5–0.25 and <0.25 mm); mean weight diameter (MWD) was calculated from the mean size of aggregate-fractions according to rate of weight of aggregate-fractions. Penetration resistance and relative moisture of soil were determined at the depth of 60 cm in definite points (n=117) of a 25x25 m grid on the 45 hectares of study field using 3T System hand penetrometer in order to create a multilayer-map from the soil compaction data (Fig. 3). Figures, maps were created with Microsoft Excel, Surfer 8, ArcView 3.2 and ERDAS 8.4.



Fig. 3. Hand penetrometer  
 3. ábra. Kézi penetrométer

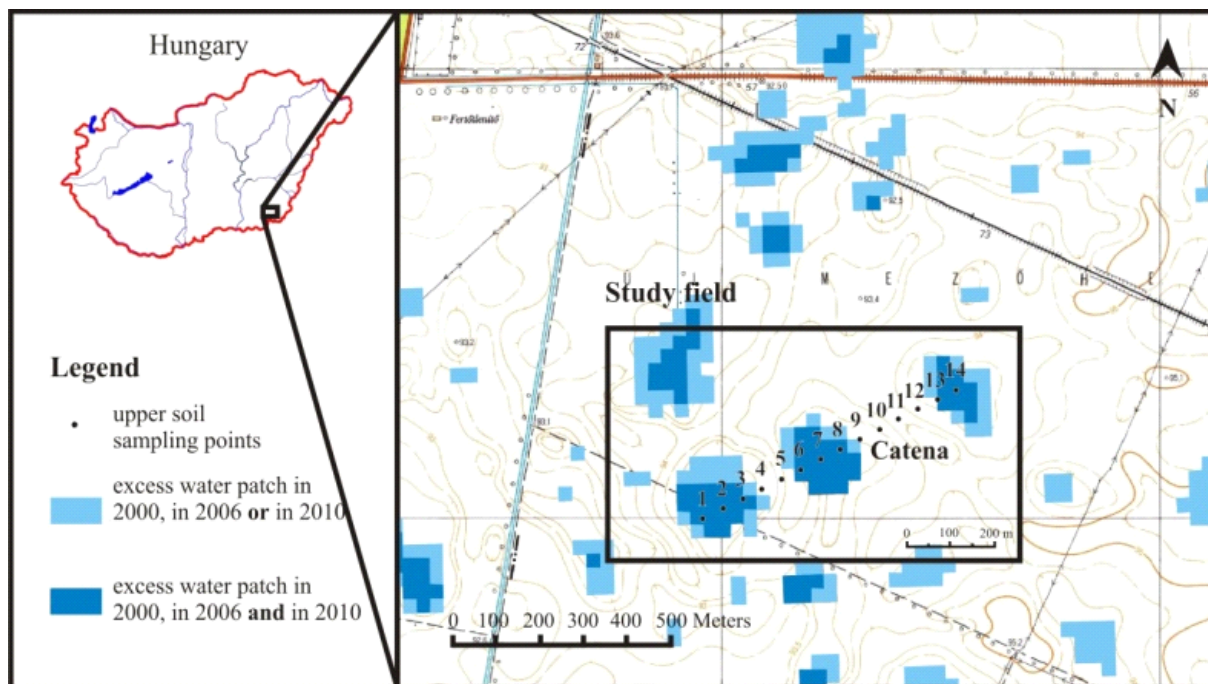


Fig. 4. Study field with inland excess water patches and the appointed catena  
 4. ábra. A belvízzel borított területek és a felállított katéna elhelyezkedése

## Results and discussion

### *Evaluation of results considering drought*

First of all, it is very relevant to investigate other influencing factors beside the climatic ones (for exp. land use, genetic soil types, vegetation cover, relief etc.). All the pilot sites used to be under agricultural cultivation in the 1950's according to the map by Kreybig. The rye, wheat, maize and alfalfa, carrot were produced in Arenosol of sites No. 1, 2 with enough good productivity and in Chernozem of sites No. 3, 4, respectively. In 1992, 1999 and at present, sites 3, 4 are also under intense cultivation, whereas sites No. 1, 2 are utilized as meadow and fallow, respectively. Thickness of humus horizon strongly depending on the cultivation period and methods can provide very useful information about the humification conditions. Based on these values, Arenosols as arable land can be supposed to have been provided with more fertilizers in the 1950's than nowadays as meadow and fallow. Consequently, it can be established that land use of sites 1, 2 was altered the most with time passing. Besides, it is important to stress significance of the soil genetic type since different genetic types can buffer variously: the Chernozems have better buffering capacity than the Arenosols. Furthermore, the groundwater sinking (which fact is unambiguous according to the data of groundwater wells typical of our studied area) exerted the most considerable effect on soils as in the last 60 years this phenomenon was general in our pilot areas.

As far as the soil properties are concerned, 3 categories can be differentiated: The *weak indicators* of the drought belong to the first category. The *mechanical type* of profiles corresponds to the given genetic soil type (Table 1). As a matter of fact, the coarse sand, sand, sandy loam are dominated in the horizons of Arenosols (Profile No. 1, 2). Distribution of this property along the profiles has not shown considerable

alteration compared to reference data since appreciably texture change needs very long period or continuously monotonous, same effect. The minimum and maximum *humus contents* range between 0.3 and 4.6 % (Table 1). In accordance with the averages, profile 2 can be classified as having extremely poor humus content (<1%), while the majority (No. 1, 3, 4) has poor humus content (1–2%) (SPONAGEL et al., 2005). In Chernozem topsoils, humus has been increasing since 1950's due to the constantly cultivation. All these prove that this property is mostly dependent on the type of the land use and cultivation.

The *moderate indicators* of the drought can be classified into second category. The *carbonate* content minimum and maximum values of profile 1, 2, 3, 4 range 15–23%; 2.9–33%; 10–35%; 4.6–31%, respectively (Table 1). Considering average profile values, one (No. 3) can be placed in the category extremely calcareous (>25%) (FAO, 2006). This outlier is mostly the result of prevailing loess bedrock as a significant source of high carbonate content. More three profiles can be classified as highly calcareous (10–25%) due to the mainly sandy loam, loam texture. In the Chernozems there is a gradual increase in carbonate content both in time and space (towards the bedrock from topsoils downward). The reason for this is the leaching of carbonate phases from the upper soil horizons (Fig. 5, Profile No. 3a). The minimum and maximum  $pH(H_2O)$  of the profile 1, 2, 3, 4 are between 8–9; 8.2–8.5; 7.7–9.1; 7.7–8.5, respectively (Table 1). Based on the average values of  $pH(H_2O)$ , all the profiles can be classified as strongly alkaliescent soils. The correlation between recorded pH values and carbonate content is obvious: the high carbonate content results in large pH values (Fig. 5, Profile No. 3b).

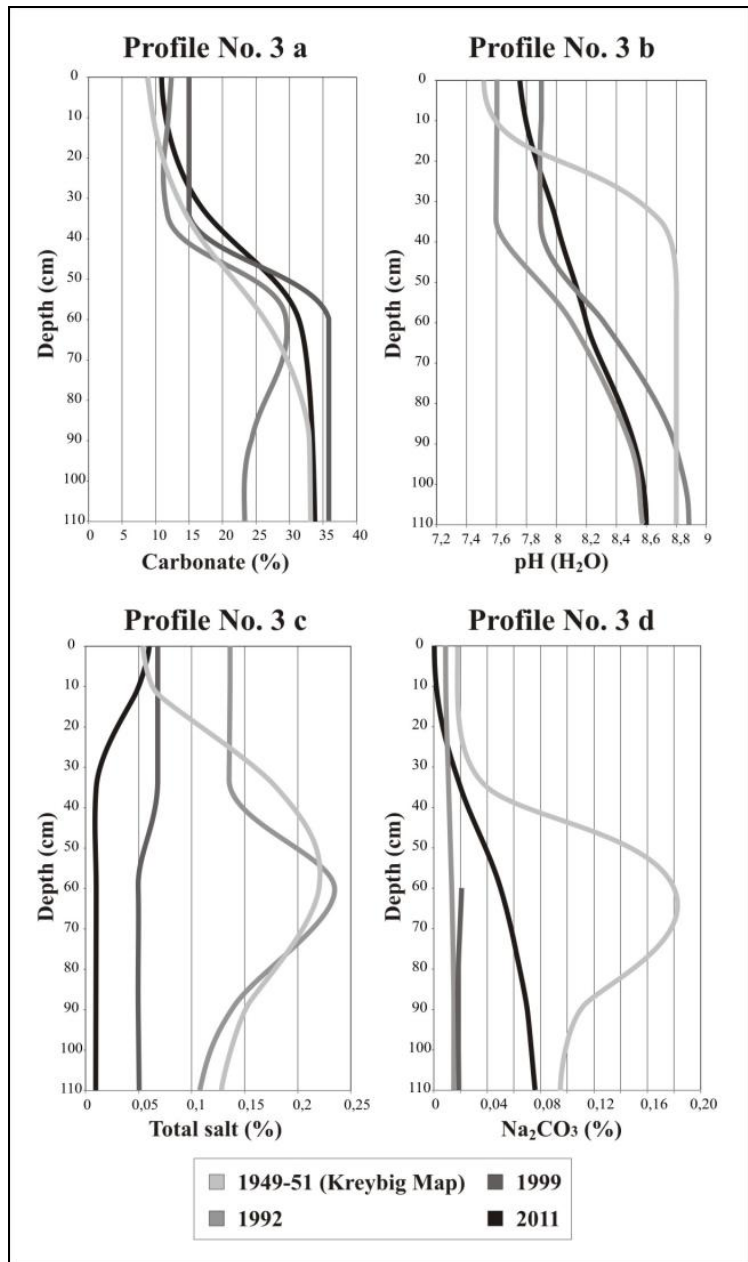


Fig. 5. Some studied properties as indicators of drought on the example profile 3

5. ábra. Néhány vizsgált paraméter a 3. szelvény esetében

Table 1. Mechanical soil type, humus content, carbonate, pH (H<sub>2</sub>O), total salt and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> of the studied profiles

1. táblázat. A vizsgált talajminták fizikai féleség, humusz- karbonáttartalom, pH (H<sub>2</sub>O), összesó és Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> értékei

| <b>Mechanical soil type</b>             | Profile 1 | Profile 2 | Profile 3 | Profile 4 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mean                                    | 20        | 24        | 36        | 22        |
| Minimum                                 | 55        | 29        | 45        | 46        |
| Maximum                                 | 32        | 26        | 42        | 38        |
| Standard deviation                      | 11.2      | 1.7       | 3.5       | 6.1       |
| <b>Humus content (%)</b>                |           |           |           |           |
| Mean                                    | 1.3       | 0.6       | 1.5       | 1.5       |
| Minimum                                 | 0.3       | 0.3       | 0.5       | 0.7       |
| Maximum                                 | 4.6       | 0.9       | 3.4       | 2.7       |
| Standard deviation                      | 1.4       | 0.2       | 1.0       | 0.8       |
| <b>Carbonate (%)</b>                    |           |           |           |           |
| Mean                                    | 19.2      | 10.5      | 25.8      | 19.1      |
| Minimum                                 | 15        | 2.9       | 10        | 4.6       |
| Maximum                                 | 23        | 33        | 35        | 31        |
| Standard deviation                      | 2.5       | 10.5      | 8.9       | 8.8       |
| <b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>              |           |           |           |           |
| Mean                                    | 8.72      | 8.4       | 8.4       | 8.21      |
| Minimum                                 | 8         | 8.2       | 7.7       | 7.7       |
| Maximum                                 | 9         | 8.5       | 9.1       | 8.5       |
| Standard deviation                      | 0.34      | 0.09      | 0.4       | 0.3       |
| <b>Total salt content (%)</b>           |           |           |           |           |
| Mean                                    | 0.01      | 0.007     | 0.02      | 0.02      |
| Minimum                                 | 0.01      | 0.00      | 0.01      | 0.01      |
| Maximum                                 | 0.02      | 0.01      | 0.07      | 0.03      |
| Standard deviation                      | 0.00      | 0.00      | 0.02      | 0.01      |
| <b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (%)</b> |           |           |           |           |
| Mean                                    | 0.05      | 0.04      | 0.05      | 0.04      |
| Minimum                                 | 0.02      | 0.02      | 0.00      | 0.00      |
| Maximum                                 | 0.11      | 0.08      | 0.1       | 0.07      |
| Standard deviation                      | 0.03      | 0.02      | 0.03      | 0.02      |

Two properties can be categorized into the group of *strong indicators*: The minimum and maximum *total salt content* of the profile 1, 2, 3, 4 are between 0.01–0.02; 0.00–0.01; 0.01–0.07; 0.01–0.03 %, respectively (Table 1). The average values of all the profiles fell into the category free of salt (<0.05%). On the contrary, according to the reference data it can be claimed that the salt contents used to be significantly higher in the past than today: they could be categorized into moderately saline category (0.15–0.4%). Based on an example profile (No. 3), this change with passing time can be traced (Fig. 5, Profile No. 3c). The groundwater level is likely to have been higher in the 1950's causing more salt concentration in the soil. However, owing to the



considerable sinking in groundwater level at our sites caused by drought the salt content strongly lowered (Fig. 2).  $Na_2CO_3$  contents are corresponds to the total salt values (Table 1). The profiles used to contain significant amount of  $Na_2CO_3$  as an unambiguously indicator of the sodification in the past. However, nowadays sodification can not be observed in the profiles (Fig. 5, Profile No. 3d).

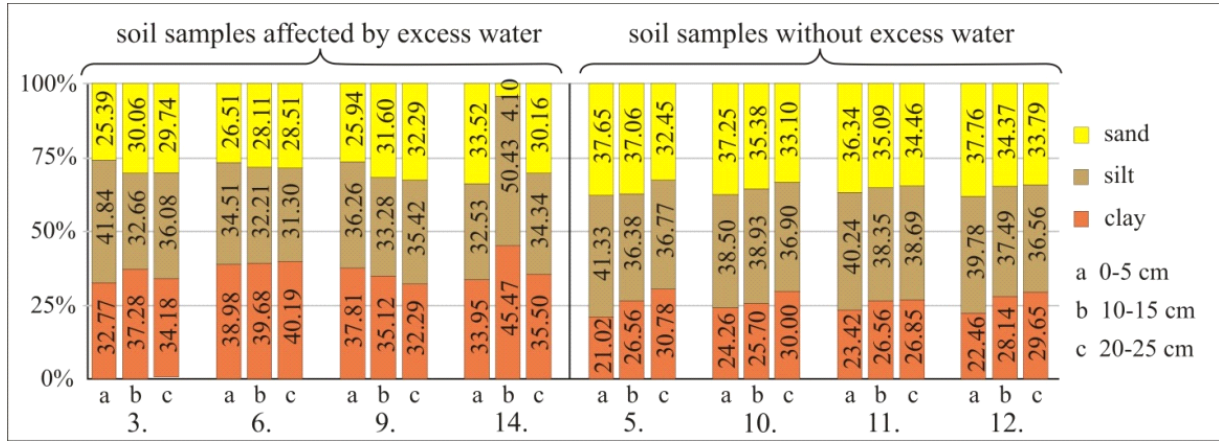


Fig. 6. Particle size distribution of upper soil samples

6. ábra. A feltalajminták szemcseeloszlása

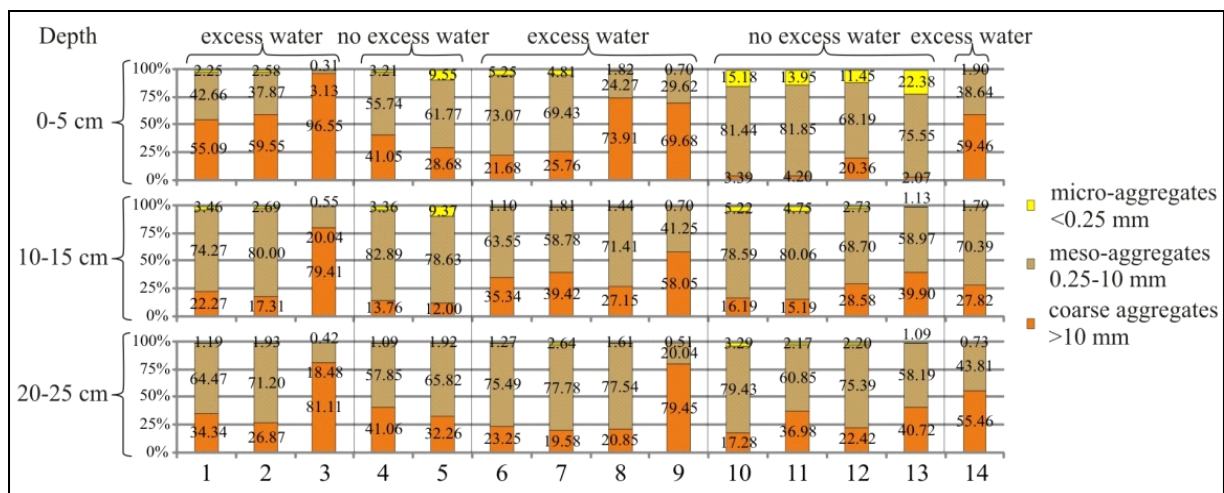


Fig. 7. Aggregate-size distribution by dry sieving (No 1–14: studied profiles in catena)

7. ábra. Agronómiai szerkezet száraz szítással (1–14: a katéna vizsgált szelvényei)

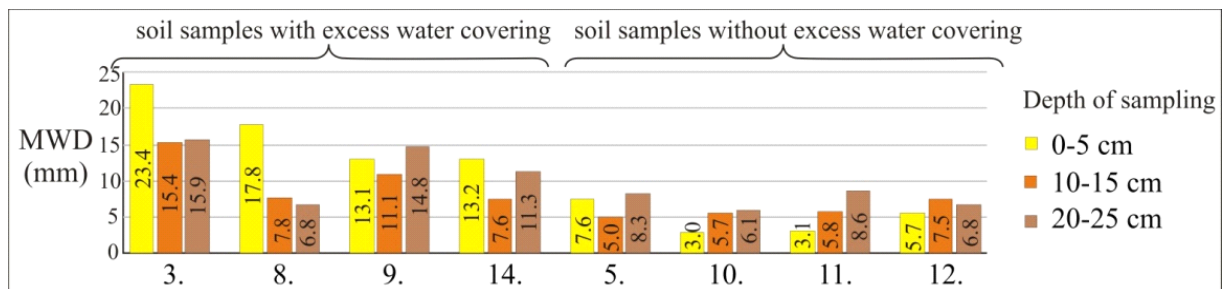


Fig. 8. Mean weight diameter (MWD) of soil aggregates

8. ábra. A feltalajminták agronómiai szerkezetét jelölő KSÁ értékek mélységgel történő változása

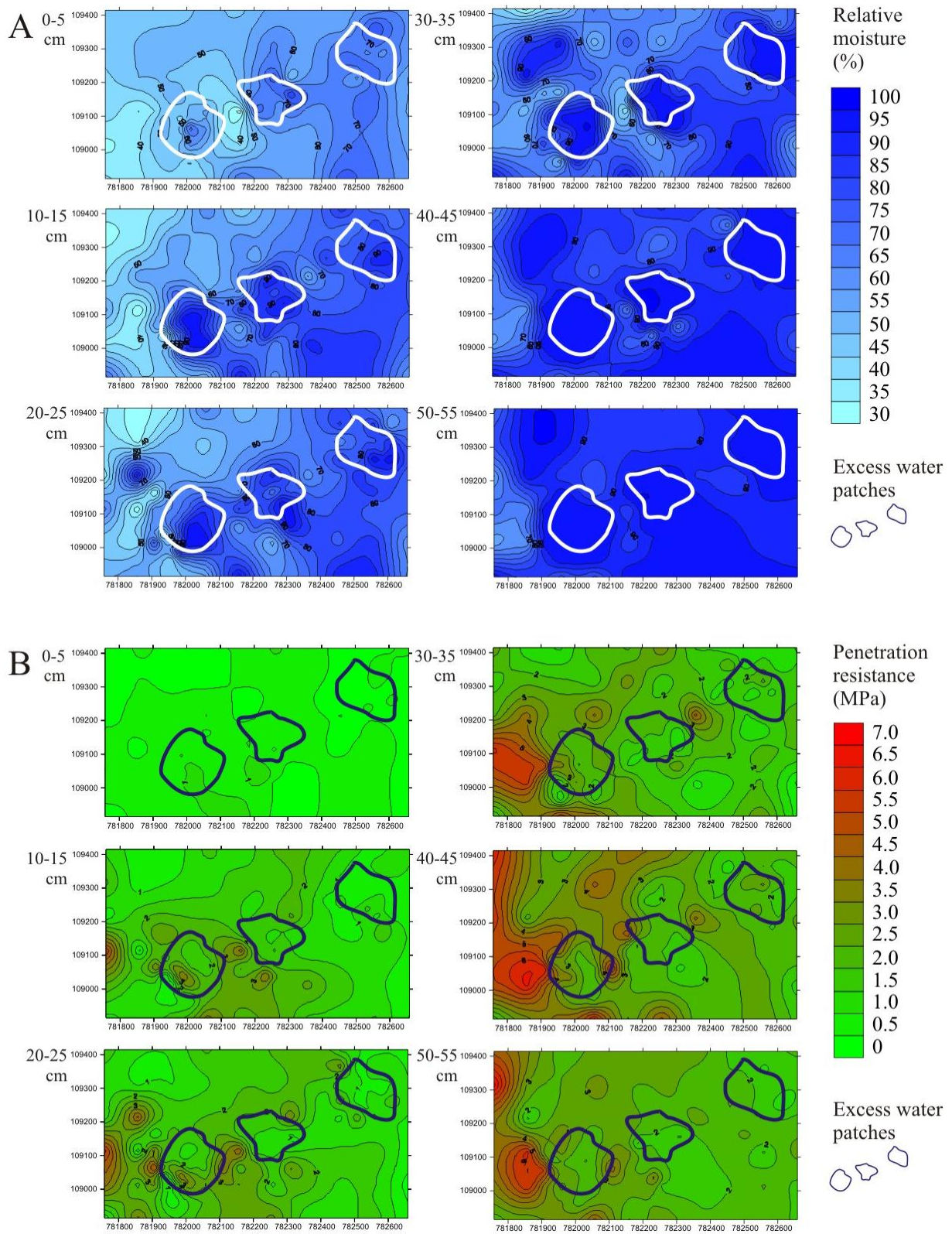


Fig. 9. Relative moisture content (A) and penetration resistance (B) maps measured by penetrometer in different depths

9. ábra. A különböző mélységben mért relatív nedvességtartalom (A) és penetrációs ellenállás (B) értékek interpolációs térképei



It is relevant nowadays to find relation between drought and soils since the drought can pose a serious threat of the soils, resulting in the appearance of new characteristics in soils. The above mentioned parameters were investigated in order to learn more about the different forming effects by the climate on two (Chernozem and Arenosol) soil types. Compared reference data in the 1950's, 1992, 1999 and our data of the pilot area, it can be established that significant change in soil properties can be observed mainly in the case of the total salt and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  contents. (However, carbonate can be considered to be good indicator in the case of only Chernozems). However, it is very crucial to pay attention of the influencing factors like groundwater sinking, land use change, genetic soil type that in many cases basically determine the characteristics and direction of the given processes and resilience, modifying, facilitating or buffering capacities of the studied soils. Consequently, the latters can be applied well as soil indicator of drought since some well reflect the modifications caused by drought.

### ***Evaluation of results considering inland excess water***

The results were evaluated from the smallest particle to largest aggregates. Particle size distribution of soil samples affected by excess water (3., 6., 9., 14.) shows differences comparing the distribution of samples without water effect (5., 10., 11., 12.) – the ratio of clay fraction is higher (34,50–39,62%) in the soil samples covered temporarily by excess water then the ratio of samples without excess water (25,61–31,29%) (Fig. 6).

Thus, texture group of excess water soils is silty clayic loam instead of silty loam. In clayic soils, swelling is caused by wetting period due to excess water, and during drying period crust forms appear. Agronomic structure is degraded by crusts – thus, proportion of coarse aggregates is higher in the case of soil samples temporarily covered by excess water (Fig. 7).

Considering the agronomical structure, it is obvious negative effect of the inland excess water on soil structure. In Fig. 8 mean weight diameters of some soils samples are presented. MWD indices are higher in the cases of excess water soils because their structure was modified by crusting in the wetting-drying cycles, especially in 0–5 cm depth. Soils covered by inland excess water with moderate MWD indices (mean=13.2 can be classified into coarse aggregates, whereas ones without inland excess water indicates excellent crumb structure (MWD index = 3.0–8.6 mm).

The pattern of sampling points is showing the pattern of inland excess water patches. Penetrometer sampling points were categorized into 3 groups. Compaction can be observed above 2.5 MPa penetration resistances. All 3 profile types show compaction especially in 35–45 cm deep zone which shows the depth of plough-sole.

In Fig. 9 relative moisture data of study area are presented in 6 different depths. The inland excess water pattern defined by remote sensing methods coincides with the areas where the highest relative moisture content was measured by 3T System hand penetrometer. Relative moisture data in excess water patches are higher than ones of excess water free areas.

For the first sight, measured penetration resistance and therefore compaction values of excess water affected areas seem to be lower than ones of excess water free areas. This can be explained by the higher relative moisture content caused by excess water. The fact complicates the evaluation, that penetration resistance data of different

areas only can be compared if they are normalized into an equivalent state, level of relative moisture content. Thus, a function between relative moisture and compaction data is needed in the future in relation with bulk density data.

## Conclusion

The drought in the Danube–Tisza Interfluve has resulted in the appearance of new characteristics in the studied soils with passing time. These transformations of different degree in the soils can clearly be observable in the horizontal and vertical modification of the original soil characteristics. However, it is obvious to pay attention to other influencing parameters beside genetic soil type such as land use change, cultivation period and intensity, groundwater level since they together are responsible for changes in soil properties. The studied soil properties indicate in what way and to what extent they can reflect drought effect on soils. Different ways and strength of their indication can be differed. The way can be seen either in a change in their recorded concentration values or the alteration of their vertical distribution in the profiles. According to the strength strong (salt,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), moderate (carbonate) weak (mechanical soil type, humus,  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ) categories could be determined.

The particle size distribution of the examined soil samples affected by excess water can be characterized with high proportion of clay fraction, thus their texture is clayic silty loam. The inland excess water results in a peculiar dynamics of wetting drying which might lead to appearance of crusts changing the agronomic structure of soil. Mostly coarse aggregates ( $>10$  mm) are typical of the aggregate size distribution of samples of excess water patches – the MWD indices are above 13 mm which indicate the degradation of soil structure and hereby the loss of multifunctionality. In our further research, relations and functionality between soil relative moisture content, penetration resistance and bulk density will be carried out to compare the penetration resistance values of areas with different relative moisture content.

## Acknowledgement

Special thanks to Tamás Fábrián (†) for the sampling process.

## References

- Birkás, M. 1995: A hagyományos művelés hatásai a talajra. In: Birkás Márta: Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés, GATE KTI, Egyetemi Jegyzet
- Bozán, Cs. – Bakacsi, Zs. – Szabó, J. – Pásztor, L. – Pálfi, I. – Körösparti, J. – Tamás, J. 2008: A belvív-veszélyeztetettség talajtani összefüggései a Békés–Csanádi-löszháton. – Talajvédelem különszám. Talajtani Vándorgyűlés, 2008. május 28–29. Nyíregyháza, 43–52
- Buzás, I. – Bálint, Sz. – Füleky, Gy. – Győri, D. – Hargitai, L. – Kardos, J. – Lukács, A. – Molnár, E. – Murányi, A. – Osztóics, A. – Pártay, G. – Rédly, L. – Szebeni, Sz. 1988: Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. A talajok fizikai- kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Dövényi, Z. 2010: Magyarország kistájainak katasztere. 77–87.
- Dunay, S. – Czákó, F. 1987: Use of meteorological information in agricultural production. in Reports on Scientific Research of the Hungarian Meteorological Service, Budapest, 193–209 (in Hungarian).

- Eisenreich, 2005: Climate Change and the European Water Dimension. A report to the European Water Directors 2005. EU Report No. 21553.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2006: Guidelines for soil description, Roma, ISBN 92-5-105521-1.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), IUSS (International Union of Soil Sciences), ISRIC (International Soil Reference and Information Centre) 2006: (the first update 2007) World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication, Rome, Italy, 128. ISBN: 92-5-105511-4.
- Faragó, T. – Láng, I. – Csete, L. 2010: Climate Change and Hungary: Mitigating the hazard and preparing for the impacts (The "VAHAVA" report)  
<http://www.vahavahalozat.hu/node/545>
- Gál, N. – Farsang, A. 2012: Interactions between soil structure and excess water formation on chernozem soils, EGU General Assembly 2012
- Gálos, B. – Lorenz, P. – Jacob, D. 2007: Will dry events occur more often in Hungary in the future? Environmental Research Letter, 2(3).
- Jolánkai, M. – Láng, I. – Csete, L. 2004: Hatások és alkalmazkodás. Természet Világa II. Különszám, 16–18.
- Koncsos, L. – Kozma, Zs. – Jolánkai, Zs. – Muzelák, B. 2011: Evaluation of a novel integrated water resources management model on a pilot area heavily affected by excess water. The 3<sup>rd</sup> international multidisciplinary conference on hydrology and ecology, Wien
- Kozák, P. 2011: Belvizi jelenségek az Alsó-Tiszai vízgyűjtőkön az 1955-2010 közötti időszakban. In: Rakonczai, J. (ed.) Környezeti változások és az Alföld. A nagyalföldi Alapítvány kötetei 7, 127-136.
- Körösparti, J. – Bozán, Cs. – Pásztor, L. – Kozák, P. – Kuti, L. – Pálfai, I. 2009: GIS alapú belvív-veszélyeztetettség térképezés a Dél-Alföldön. Magyar Hidrológiai Társaság XXVII. Vándorgyűlése. Konferencia Proceedings CD-ROM (ISBN 978-963-8172-23-5). 2009. július 1–3., Miskolc
- Láng, I. – Harnos, Zs. – Jolánkai, M. 2004: Alkalmazkodási stratégiák klímaváltozás esetére: nemzetközi tapasztalatok - hazai lehetőségek. "AGRO-21" Füzetek, 35, 70–77.
- Pálfai, I. 2001: A belvív definíciói. Vízügyi Közlemények, 83 (3).füzet, 376–392.
- Pálfai, I. 1994: Aszályos évek Vízűkör, 6, 12–3.
- Rakonczai, J. – Csató, Sz. – Mucsi, L. – Kovács, F. – Szatmári, J. 2003: Az 1999. és 2000. évi alföldi belvív-elöntések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. – Vízügyi Közlemények, 1998-2001. évi árvízi külön füzetek. IV. kötet., 317–336. p.
- Rakonczai, J. – Farsang, A. – Mezősi, G. – Gál, N. 2011: A belvízképződés elméleti háttere. Földrajzi Közlemények, 135 (4), 339–349.
- Somlyódy, L. 2002: hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. Budapest: MTA Társadalomkutató Központ. 402. p.
- Sponagel, H. – Grottenthaler, W. – Hartmann, K.J. – Hartwich, R. – Janetzko, P. – Joisten, H. – Kühn, D. – Sabel, K.J. – Traidl, R. 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung, p.112.
- Vámosi 2002: A belvizek hatása az alföldi régiók fejlesztésére. PhD disszertáció, Debreceni Egyetem, 108. p.
- Várallyay, Gy. 2003: A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi Jegyzet, Mezőgazdasági vízgazdálkodási szakirányú továbbképzési szak, Budapest–Gödöllő.

## **A KLÍMAVÁLTOZÁS OKOZTA IDŐJÁRÁSI SZÉLSŐSÉGEK (ASZÁLY, BELVÍZ) HATÁSA A NAGYALFÖLD TALAJAIRA**

A globális klímaváltozás, felmelegedés előrejelzései számos kérdésben lényegesen eltérnek, egy pontban azonban a vélemények megegyeznek, miszerint a szélsőséges időjárási helyzetek valószínűsége, gyakorisága, mértéke, tartama egyaránt növekedni fog. Talajtani szempontból kiemelendő a szárazodás illetve a belvíz jelentősége, hiszen a talaj minőségét, klímaérzékenységét a növénytermesztés jövőbeni esélyeit alapvetően meghatározó tényezők közé sorolhatók (1. ábra) (RAKONCZAI et al., 2011).

Mindezek értelmében a célkitűzéseink az alábbiakban foglalhatók össze:

- a talajok karakterisztikáját befolyásoló, a szárazodást jól indikáló paraméterek megadása, alkalmazhatóságuk értékelése;
- az egyes paraméterek időbeni változásának nyomonkövetése a rendelkezésre álló referenciadatokkal (Kreybig-féle átnézetes talajismereti térkép valamint a TIM adatai) való összehasonlítás révén;
- az indikáció módjának és erősségének meghatározása, értékelése;
- a belvizet kiváltó talajtani tényezők, talajhibák feltárása csernozjom talajú mintaterületen;
- a belvizes területen a belvíz talajszerkezetre gyakorolt hatásának felmérése mechanikai összetétel, mikroaggregátum-stabilitás, agronómiai szerkezet elemzésével;
- a tömörödöttség mértékének meghatározása penetrométeres vizsgálattal.

### **Szárazodás talajokra gyakorolt hatása**

Az optimális mintaterület kiválasztása érdekében a szárazodás folyamatát leginkább alátámasztó tényezőket áttekintetve [évi átlagos csapadék, éghajlati vízhiány évi összege, ariditási index, (korrigált) Pálfai-féle aszályossági index, vegetációváltozás (abundancia-, diverzitás-változás) talajvízszint csökkenésének időbeli változása térképsorozat és rendelkezésre álló monitoring talajvíz kutak adatai, a talajok vízháztartási és vízgazdálkodási tulajdonságai alapján]; valamint a rendelkezésre álló irodalmi előzmények elemzése alapján figyelmünk a szárazodás szempontjából leginkább kutatott magyarországi régióra, a Nagyalföldre irányult. A fenti paraméterekre vonatkozó tematikus térképek fedvényesítésével e nagytájon belül a kutatásunk szempontjából leoptimalisabb területet határoltuk le: Bács-Kiskun megyén belül, Kecel- Jánoshalma térségére esett a választás (2. ábra). A talajállapot változásának kimutatására referenciaadatként a Kreybig-féle átnézetes talajtérképek adatainak (1:25000, 1933–1951), valamint a TIM pontok kiválasztott idősoros referenciaadatait (1992: igen száraz, 1999: igen csapadékos) alkalmaztuk. Lehatároltuk azon talajparaméterek (pl.: humusztartalom és humuszréteg vastagsága, mész- és sóprofil változása stb.) körét, amelyek potenciálisan jó indikátorai lehetnek az azonos típusú, ám heterogén területhasznosítás alatt álló talajokat érő szárazodás hatásainak azonosítására.

A mintavétel során 4 szelvény 62 db talajminta fizikai kémiai tulajdonságainak (szín, elektromos vezetőképesség, összes sótartalom, hidrolitos aciditás, karbonát tartalom, humusz mennyiség, vizes pH, Arany-féle kötöttségi index) laboratórium vizsgálatát végeztük el.

A rendelkezésünkre álló Kreybig és TIM pontok idősoros referenciaadatok saját adatainkkal (1. táblázat) való összevetését követően megállapítható, hogy kapcsolatot tártunk fel az adott talaj genetikai típusa, a művelés időtartalma és intenzitása, a talajvíz süllyedése, vegetáció borítás valamint a vizsgált talajtulajdonságok eredménye között. Valamennyi mintaterület mezőgazdasági művelés alatt állt az 1950-es években a Kreybig-féle adatok alapján (1. szelvény: rozs, 21. szelvény: búza, 3. szelvény: kukorica, 4. szelvény). 1992, 1999 (TIM adatok alapján), illetve jelenleg azonban két szelvény is műveletlen (1., 2.). Így kétségtelen hogy a területhasználat változás ilyen nagy mértéke jelentősen befolyásolja ezen szelvények bizonyos talajtani paramétereit, főként a humusztartalmat, humuszcéteg vastagságát, mely paraméterek erősen függenek művelés módjától és időtartalmától. Kiemelendő a genetikai típus jelentősége is, hiszen az egyes területek talajtípusai más-más módon pufferelek az antropogén hatásokat.

Valamennyi diagnosztikai talajparaméter jelzi, de különböző mértékben (erős, közepes és gyenge indikáció kategóriák) a vizsgált talajok szárazodás hatására bekövetkező módosulását. Az elmúlt 60 évben a klíma hatására bekövetkező változások a keceli és jánoshalmi szelvények esetében az alábbiak szerint összegezhetőek: azon paraméterek (pl.: textúra, humusztartalom, hidrolitos aciditás stb.), amelyek erősen befolyásoltak egyéb járulékos faktorokkal (művelés időtartalma és intenzitása, vegetációborítás) gyenge szárazodást jelző indikátornak minősültek. A karbonáttartalom a mérsékelt kategóriába, míg az összesó- és a szódátartalom „kétarcú” indikációt mutattak a talaj genetikai típusának függvényében. E két utóbbi bizonyult szárazodást leginkább indikáló paraméternek, főként a csernozjom talaj esetében. A sótartalom mind a négy szelvény esetében a „sómentes” (<0,05) kategóriába esett (1. táblázat). Ezzel szemben, ha megnézzük a Kreybig-féle referencia adatokat, akkor jól kirajzolódik, hogy 60 éve sokkal jelentősebb („közepesen sós”) volt a vizsgált talajok sótartalma (5. ábra, 3c szelvény). Az említett változást nagy valószínűséggel az 1950-es évek óta zajló, folyamatos szárazodás okozta talajvíz-csökkenéssel lehet magyarázni (2. ábra). A  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a sótartalomnak megfelelő értékeket mutat, mely következtében e paramétert nem tekinthetjük önálló indikátornak (5. ábra, 3d szelvény).

## **A belvíz talajokra gyakorolt hatása**

A mintaterület kiválasztása az utóbbi évek leginkább belvizes éveiből származó, 2000, 2006, és 2010-es Landsat műholdképek ISODATA osztályozásával történt ArcView 3.2-es szoftverrel, a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettség és az Almási-féle hidraulikus rezsimet ábrázoló térképek figyelembevételével. Mintázásra Békés megyében, Mezöhegyes és Pitvaros települések között elhelyezkedő, 45 hektáros, karbonátos réti csernozjom talajú, mezőgazdasági művelés alatt álló területet jelöltük ki, melyen 3 nagyobb belvízfoltot azonosítottunk, és amelyekre egy 700 m hosszú katénát illesztettünk. A szegmens érint mind rendszeresen belvíz elöntés alatt álló, mind pedig belvízmentes

területeket. A kijelölt 700 m-es katéna mentén 50 méterenként, 14 mintavételi helyen 0–5, 10–15 és 20–25 cm mélységből bolygatott talajmintát gyűjtöttünk (4. ábra).

A feltalajmintákat kéthetes szobahőmérsékleten történő szárítás után 7 tagú (20–10–5–3,15–2–1–0,5–0,25 mm-es) szitasorozattal szitarázógépen frakcionáltuk az agronómiai szerkezetük megállapításhoz, melyet a frakciók közepes átmérőjének tömegszázalékkal súlyozott átlagával (KSÁ) fejeztünk ki. A talajminták mechanikai összetételének vizsgálatát pipettás eljárással végeztük (BUZÁS, 1990). A belvíz talajszervezetre gyakorolt hatásának kimutatása céljából 3T System kézi penetrométer segítségével térképeztük a 45 hektáros mintaterületen az esetleges talajtömörödést. A mintaterületre 25x25 méteres mintavételi hálót illesztettünk, majd a belvízmintázatnak megfelelően a háló által meghatározott pontok közül 117-ben háromszoros ismétléssel 60 cm mélységig mértük centiméteres felbontásban a talaj szabadföldi vízkapacitás (2,5 pF) térfogatszázalékában kifejezett nedvességtartalmát, valamint a penetrométer szondájának behatolási ellenállását.

A mechanikai összetétel csak igen hosszú idő alatt tud megváltozni egy-egy talaj esetében, így a belvízzel borított és a belvízmentes, azaz kontroll terület talajainak szemcseeloszlásában mutatkozó különbségek nem a belvízelöntés következményeiként, hanem a belvízképződést kiváltó okként említendők. A nem belvizes (kontroll) pontok agyagtartalma a legkisebb (25,61–31,29%), míg a legnagyobb agyagtartalom (34,50–39,62%) a belvízelöntéses területről vett talajmintákat jellemzi (pl. 3., 6., 9., 14.). A homok frakció aránya a kontroll pontoknál a legnagyobb (35,31–37,12%), legkisebb pedig a belvizes mintáknál (22,59–33,73%) (6. ábra).

Az agyag (<0,002 mm), iszap (0,002–0,05 mm) és homokfrakció (>0,05 mm) arányát kifejező fizikai féleség tekintetében a belvizes területről származó minták iszapos agyagos vályog textúrájúak, míg a kontrollminták iszapos vályog fizikai féleségűek.

Az agronómiai szerkezetvizsgálat eredményei rávilágítottak a belvíz talajszervezetre gyakorolt kedvezőtlen hatására (7. ábra). A belvizes (3., 8., 9., 14.) és a nem belvizes (5., 10., 11. és 12.) mintavételi pontokból vett 3 különböző mélységből származó talajminták agronómiai szerkezetét a frakciók közepes átmérőjének súlyozott átlagával (KSÁ) fejeztünk ki. A hosszabb vízborítás utáni kérgesedésre, cserepesedésre való hajlam megmutatkozott a belvizes talajminták – elsősorban 0–5 cm-hez tartozó – nagyobb KSÁ értékeiben: 13,2 mm-es közepes átmérőátlaguk a rögfrakcióba tartozik, míg a nem belvizes minták 3,0–8,6 mm közötti KSÁ értékei kedvező, főként morzsás szerkezetet mutattak (8. ábra).

A 117 penetrométeres mérési helyet csoportosítottuk belvizes, belvízperemi, illetve nem belvizes pontkategóriákba. A penetrációs ellenállás maximum értékeit 35–45 cm mélységnél mértük, amelyek mivel meghaladják a 2,5 MPa-t, tömörödést mutatnak (BIRKÁS, 1995). Ez megegyezik az eketalpréteg előfordulásának jellemző mélységével. A 117 mérési pont különböző mélységeiben mért értékeinek interpolációs térképén jól látható a belvíz nedvességtartalmat és penetrációs ellenállást befolyásoló hatása (9. ábra).

A belvízborítás hatására a nagy agyagtartalom kedvezőtlen talajszervezet kialakulását okozhatja, hiszen a kiszáradás és nedvesedés folyamatában a duzzadni, majd zsugorodni képes talajalkotók kérgesedést, cserepesedést okozhatnak a feltalajban, melynek következtében a talaj agronómiai szerkezetében a rögfrakció dominanciája lesz jellemző.

A makroszerkezet állapotát jól indikálja a talaj tömörödése, mely penetrométerrel terepen is vizsgálható. Azonban a belvizes és belvízmentes terület talajainak tömörödöttsége közti különbségek csak úgy vethetők össze, ha azonos nedvességtartalmon vizsgáljuk a behatolási ellenállást. A talaj tömörödése és a belvíz kialakulása közötti ok-okozati rendszer pozitív feedback mechanizmusként működik, melynek további részletes vizsgálatát tervezzük.



## INVESTIGATIONS AT THE DEPARTMENT OF CLIMATOLOGY AND LANDSCAPE ECOLOGY IN THE FRAME OF THE PROJECT ‘TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005’

Lilla Égerházi – Ágnes Gulyás – Noémi Kántor – Ilona Kevei-Bárány – Márton Kiss – László Makra – Andrea Samu – Eszter Tanács – János Unger

University of Szeged, Department of Climatology and Landscape Ecology

### Assessment of thermal comfort conditions in urban public places

The urban bioclimate project of the Department of Climatology and Landscape Ecology aimed to evaluate popular public places of Szeged from the point of view of human thermal comfort (Table 1). Micro-bioclimate conditions were investigated through on-site measurements and bioclimate index calculation. Mobile stations were used to record air temperature –  $T_a$  [°C], relative humidity – RH [%], wind velocity –  $v$  [m/s], as well as short- and long wave radiation fluxes –  $K_i$  és  $L_i$  [ $W/m^2$ ] on the selected areas. Radiation fluxes were converted to the mean radiation temperature –  $T_{mrt}$  [°C] and then physiologically equivalent temperature – PET [°C] were calculated from the measured data. PET is usually used to quantify thermal stress reaching the human body and, according to the recently valid international scale, it indicates no thermal stress and neutral thermal sensation around 20°C (Fig. 1). In order to study the thermal conditions dependent human reactions (subjective assessments, behaviour), structured interviews (questionnaires) were conducted simultaneous to microclimate measurements, and observations were carried out to show the spatio-temporal patterns of attendance. During 2009 autumn and 2010 spring there was only one mobile station, and the measurements were carried out between noon and 3 p.m. on the Ady Square or on the Honvéd Square. Later the measurements covered 8 hours per day (from 10 a.m. to 6 p.m.) and the two mobile stations allowed parallel measurements. During 2011 spring the Széchenyi Square and Dugonics Square were measured simultaneously, then the two mobile stations were placed on the same area in different positions (e.g. sunny – shady points; grass – pavement). Table 1 shows the measurement days on the different study areas.

*Table 1. Conducted measurement days and the \*planned days for the future*

*1. táblázat. A megvalósult, illetve a \*közeljövőben tervezett vizsgálati napok száma*

| Place                      | 2009   | 2010   | 2011   |        |        | 2012   |        |        |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                            | autumn | spring | spring | summer | autumn | spring | summer | autumn |
| Ady (park-square)          | 9      | 7      |        |        |        |        |        |        |
| Honvéd (playground)        | 5      | 8      |        | 2      |        |        | *4     |        |
| Dugonics (square)          |        |        | 12     |        |        |        |        |        |
| Széchenyi (park-square)    |        |        |        |        |        |        | *4     | *12    |
| Szt. István (square)       |        |        |        | 2      |        |        |        |        |
| Kárász (pedestrian street) |        |        |        | 2      | 5      | 5      | *4     |        |
| Retek (playground)         |        |        |        | 2      | 6      | 5      | *4     |        |

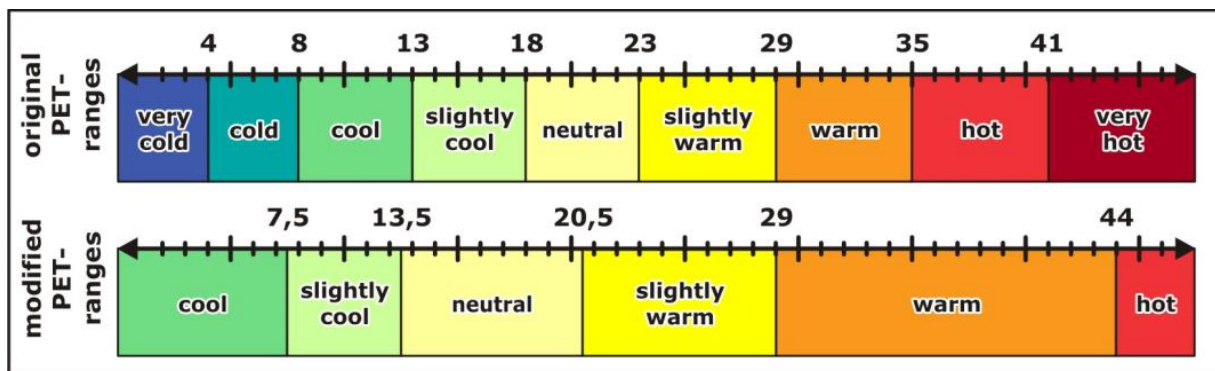


Fig. 1. Original thermal sensation ranges of PET and new domains for Hungarians  
 1. ábra. A PET index eredeti hőérzet tartományai, s a magyarokra jellemző tartományok

Based on the comparison of 1271 questionnaires with the simultaneous micro-climatological conditions (data base: 2009 autumn, 2010 spring, 2011 summer) the original PET boundaries were modified in order to reflect properly the thermal sensation ranges of Hungarians (Fig. 1) (KÁNTOR et al., 2011a). It was revealed that local people perceive well the changes of air temperature and solar radiation, while the subjective assessment of humidity caused difficulties (Fig. 2a-d). Interviewees preferred slightly warmer conditions (PET values around 27°C) to the neutral (Fig. 2e-h) (KÁNTOR et al., 2011b).

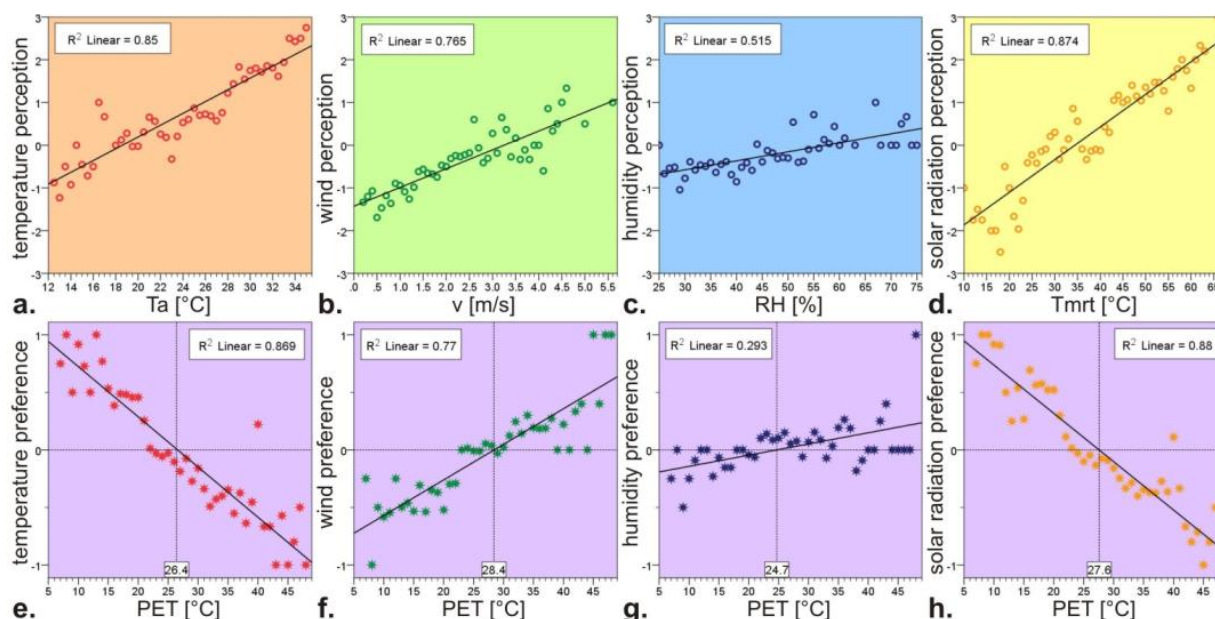


Fig. 2. Mean perception votes of the thermal factors (+3: high, strong – -3: low, weak) against the corresponding objective parameters (a-d.), as well as the mean preference votes (+1: it should be increase – -1: it should be decrease) according to the PET index (e-h.)

2. ábra. Az egyes termikus alapparaméterek átlagos érzékelése (+3: magasnak, erősnek – -3: alacsonynak, gyengének érződik) a megfelelő objektív paraméterek függvényében (a-d.), valamint a termikus alapparaméterekre vonatkozó átlagos preferencia (+1: növekedjen, erősödjön – -1: csökkenjen, gyengüljön) a PET index függvényében (e-h.)

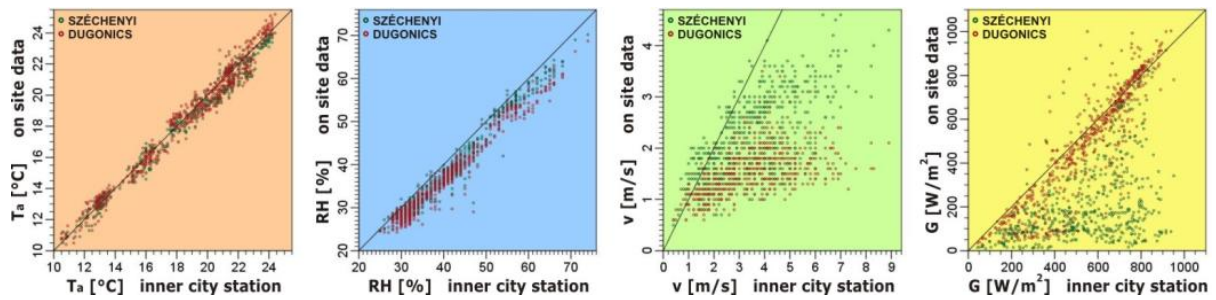


Fig. 3. Modification of thermal factors on the Széchenyi and Dugonics Squares according to the values measured at the inner city meteorological station of Szeged  
 3. ábra. A termikus alapparaméterek módosulása a Széchenyi és a Dugonics téren a Szeged belvárosi állomáson mért értékekhez képest

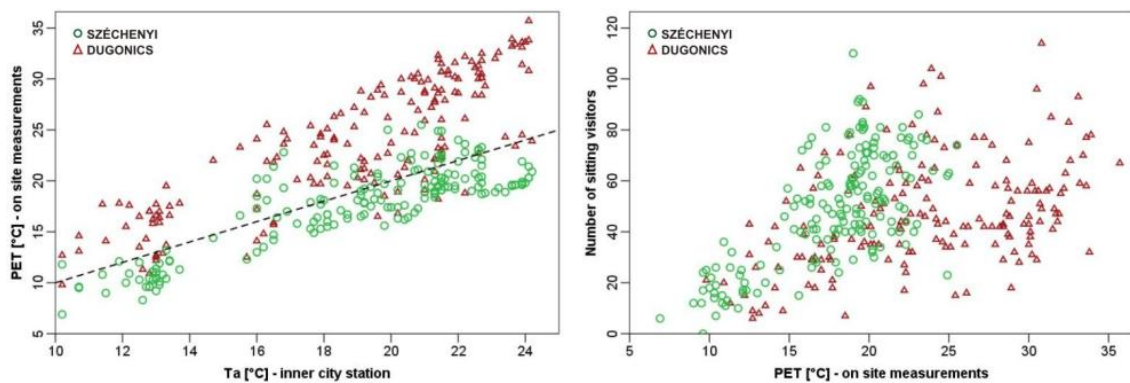


Fig.4. PET values of the Széchenyi and Dugonics squares according to the air temperature measured at the inner city meteorological station, as well as the attendance of the two squares as a function of the on-site PET values.

4. ábra. A Széchenyi és Dugonics téri mérésekből származó PET értékek a belvárosi meteorológiai állomáson mért léghőmérséklet függvényében, valamint a két tér látogatottsága a helyszínr jellemző PET értékek függvényében

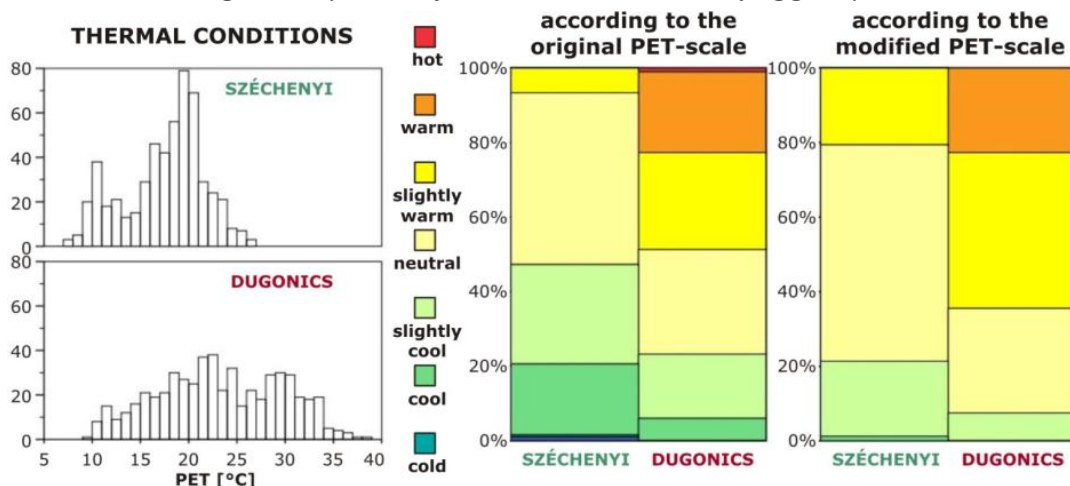


Fig. 5. Thermal conditions of the Széchenyi and Dugonics squares: frequency distribution of PET values as well as the thermal sensation categories according to the original and the new PET scales

5. ábra. A Széchenyi és a Dugonics téri mintaterületek PET indexben kifejezett termikus viszonyai, valamint az egyes hőérzet-kategóriák előfordulási gyakorisága az eredeti és az új PET-skálák szerint

Compared to the Széchenyi Square the Dugonics Square proved to be warmer, less windy, and the thermal radiation was much greater in this place (Fig. 3a,c,d). The air was drier in both places than at the inner city meteorological station (Fig. 3b). As a consequence of the above mentioned, on-site PET values at the Széchenyi Square used to be lower, and at the Dugonics Square definitely higher than the air temperature at the inner city meteorological station (Fig. 4a). Based on the frequency distribution of PET values, the Széchenyi Square can be characterized more often as neutral according to the original and the modified PET-thermal sensation scales too (Fig. 5). However, taking care about the slightly warm preference of local people, it is a reasonable that the attendance showed increasing tendency with the warmer PET values at both squares (Fig. 4b).

## **Modeling and predicting pollen and particulate matter concentrations**

The project performed includes several topics belonging to the above research area. The topics investigated and results of the analyses are as follows.

The purpose of monitoring the long-range transport effects on urban PM<sub>10</sub> levels using 3D clusters of backward trajectories is to identify long-range transport patterns that may have an important influence on PM<sub>10</sub> levels in Szeged. For Szeged, Southern Europe and Mid-eastern Europe are the most important sources of PM<sub>10</sub>. The occasional appearance of North African-origin dust over Hungary is also detected. Local PM<sub>10</sub> levels tend to be diluted when air masses arrive at the Carpathian Basin from North-western Europe, the Mid-Atlantic – Western Europe and Northern Europe. A simple approach is developed in order to separate medium- and long-range PM<sub>10</sub> transport for each city (MAKRA et al., 2011a).

In another work we aimed at identifying atmospheric circulation pathways influencing pollen levels in Szeged. Trajectories were computed using the HYSPLIT model. The 4-day, 6-hourly three-dimensional (3D) backward trajectories arriving at Szeged at 1200 UT are produced for each day over a 5 year period. The delimitation of the clusters performed by the 3D function “convhull” is a novel approach. The key pathway patterns for Ambrosia for Szeged are associated with backtrajectories coming from north-western Europe, north-eastern Europe, and northern Europe. A major pollen source identified is a cluster over Central Europe, i.e. the Carpathian basin with peak values in Hungary (Fig. 6) (MAKRA et al., 2010).

We analysed the joint effect of 2 biological (pollen) and 6 chemical air pollutants, as well as 5 meteorological variables, on the hospital admissions of respiratory diseases for the Szeged region in Southern Hungary, using a nine-year (1999-2007) database. Meteorological elements and air pollutants are clustered in order to define optimum environmental conditions of high patient numbers. ANOVA was then used to determine whether cluster-related mean patient numbers differ significantly. Furthermore, two novel procedures are applied here: factor analysis including a special transformation and a time-varying multivariate linear regression. Both techniques revealed that Ambrosia pollen is an important variable that influences hospital admissions (an increase of 10 pollen grains m<sup>-3</sup> can imply an increase of around 24% in patient numbers). For the pollen season of Ambrosia, a 10 mg·m<sup>-3</sup> increase in O<sub>3</sub> implies a patient number response from -17% to +11%. Wind speed is a surprisingly important variable, where a 1 m·s<sup>-1</sup> rise may result in a hospital admission reduction of up to 42-45% (MATYASOVSKY et al., 2011a).

Objectively defined clusters of meteorological elements and weather types described by weather fronts and precipitation occurrences are produced in order to classify Poaceae pollen levels one day ahead for each categories of days at Szeged and Győr in Hungary. The database describes an 11-year period from 1997 to 2007. For weather-front recognition purposes, the ECMWF ERA-INTERIM database was used. When estimating the Poaceae pollen level, the previous-day pollen concentration, previous-day mean temperature, and previous-day mean global solar flux for Győr were statistically significant, but for Szeged it was only the previous-day pollen concentration. Taking into account the clusters, the objective classification based on original data proved the most effective. For the subjective classification, the best estimates were obtained for days with a warm front and precipitation (MATYASOVSKY et al., 2011b).

We aimed at studying trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in Central Europe based on the example of Szeged, Hungary. We analysed trends of the pollen season with its start and end dates, as well as trends of the annual total pollen count and annual peak pollen concentration for the Szeged agglomeration for the period (1997–2007), including 19 taxa and 7 meteorological variables. After performing Mann-Kendall tests, the annual cycles of daily slopes of pollen concentration trends and annual cycles of daily slopes of climate variable trends as novel approaches are calculated. In order to represent the strength of their relationships an association measure (AM) and a multiple association measure (MAM) are introduced. Based on climate sensitivity, the individual taxa are sorted into three categories. The results obtained for the pollen quantity and phenological parameters are compared with two novel climate change related forces, i.e. risk and expansion potentials due to the climate change for each taxon. The association measure performs well compared to the climate change related forces. Furthermore, remarkable changes in pollen season characteristics are also in accordance with the risk and expansion potentials due to climate change (MAKRA et al., 2011b).

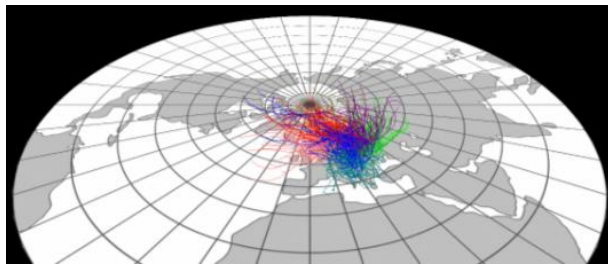
Furthermore, we analysed the associations between extreme high and low temperatures and precipitation totals on one hand and pollen characteristics on the other for Szeged, Southern Hungary. Pollen characteristics include pollen count parameters (total annual pollen amount, i.e. TPA and annual peak pollen concentration, i.e. APC) and pollen season parameters (start, end and duration of the pollen season) for Ambrosia, Poaceae and Populus. Our results suggest that Ambrosia and Populus are reversely related to temperature (negative correlations), while Poaceae exhibits a parallel relationship with precipitation (positive correlations). On the whole, pollen count characteristics (TPA and APC) indicate a decrease for Ambrosia and Poaceae, while for Populus an increase is expected.

A further aim was to analyse how meteorological elements relate to extreme Ambrosia pollen load on one hand and to extreme total pollen load excluding Ambrosia pollen on the other for Szeged. The data set (1999–2007) includes previous-day means of 5 meteorological variables and actual-day values of the two pollen variables. Factor analysis with special transformation was performed on the meteorological and pollen load data in order to find out the strength and direction of the association of the meteorological and pollen variables. Finally, a nearest neighbour (NN) technique was applied to discriminate between extreme and non-extreme pollen events using meteorological elements as explaining variables. Using a nearest neighbour technique,

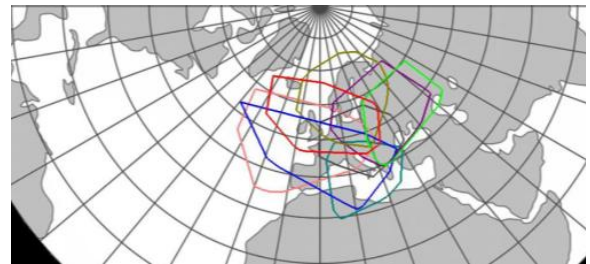


explaining variables in decreasing order of their influence on Ambrosia pollen load are temperature, global solar flux, relative humidity, air pressure and wind speed, while on the load of the remaining pollen are temperature, relative humidity, global solar flux, air pressure and wind speed (MATYASOVSKY – MAKRA, 2012).

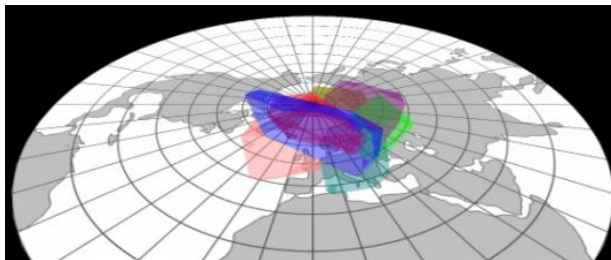
We analysed the connection between meteorological elements and the concentrations of the main air pollutants at Szeged for the extreme seasons using factor analysis. We received that in winter higher NO<sub>2</sub> concentration implies higher ozone concentration and vice versa. While, in summer, changes of O<sub>3</sub> concentrations are mostly controlled by primary pollutants and not by the total amount of irradiance, which varies very little from day to day. It is revealed that temperature is controlled by the irradiance in summer, while this is not the case in winter, when temperature depends mainly on thermal characteristics of air masses affecting the Carpathian Basin (MAKRA et al., 2011c).



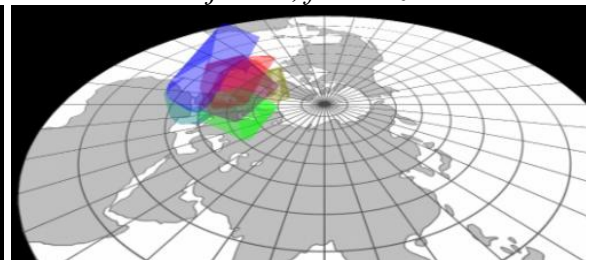
*all trajectories, colours of which indicate their different groups of clusters*  
*összes trajektória, melyek színei azok különböző clustercsoportjait jelölik*



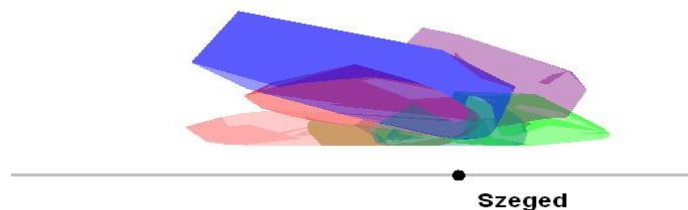
*all clusters (without the backward trajectories) marked with their 3D convex hulls of different colours, top view*  
*összes cluster (a backward trajektóriák nélkül) az eltérő színekkel jelölt 3D konvex testjeikkel, felülnézet*



*all trajectory clusters enclosed by their 3D convex hulls, transparent*  
*összes trajektória cluster, körülhatárolva azok 3D konvex testjeikkel, átlátszó*



*all trajectory clusters enclosed by their 3D convex hulls, 90° rotation, transparent*  
*összes trajektória cluster, körülhatárolva azok 3D konvex testjeikkel, 90°-os elforgatás, átlátszó*



*vertical extension of the trajectory clusters, enclosed by their 3D convex hulls, transparent*  
*a trajektória clusterek vertikális kiterjedése, körülhatárolva azok 3D konvex testjeikkel, átlátszó*

*Fig. 6. 3D clusters of the backward trajectories retained, Ambrosia, Szeged, h = 500 m*  
*6. ábra. A megtartott backward trajektóriák 3D clusterei, Ambrosia, Szeged, h = 500 m*

## Biomass carbon sequestration in a karstic forest reserve

Climate control by carbon sequestration is a good example of regulating ecosystem services. Its quantification and the demand to compensate forest owners have already appeared after the Kyoto Protocol (1992) which provided the basis for international greenhouse gas reduction measures. During the elaboration of the carbon credit trade a number of issues arose and several investigations have been launched to examine the carbon sequestration potential of forests. The results show that management practices favoring lower harvesting frequencies and higher structural retention sequester more C than more intensive practices and that old-growth forests with a natural structure play an important role as carbon sinks. The actual greenhouse-gas emission reductions of Hungary are mainly related to forest management; quantifying the carbon sequestration function of near-natural forests is an important step in correctly evaluating their overall ecosystem services.

The carbon cycle is part of an extremely complicated biogeochemical cycle in natural ecosystems. Several models have been designed to characterize these complex processes. In the present case study we present a short summary of an investigation of the carbon sequestration potential of a forest reserve,

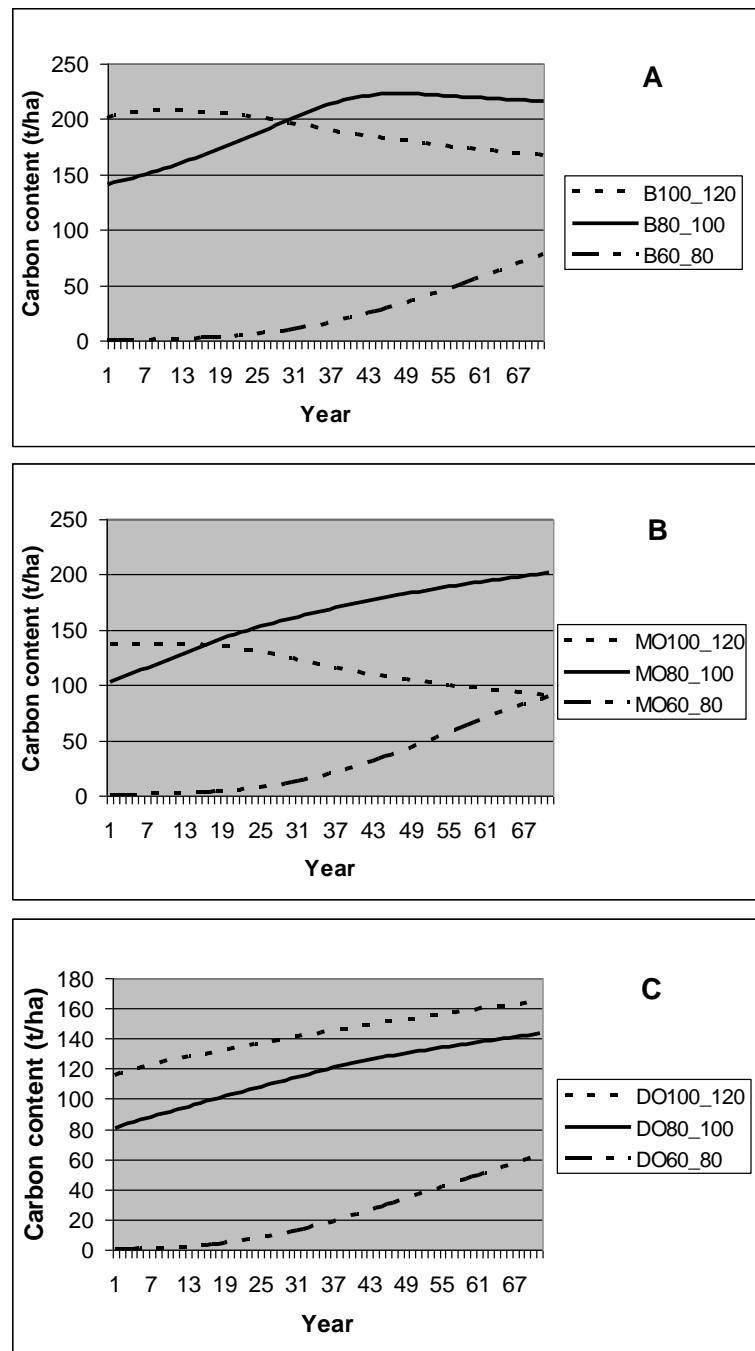


Fig. 7. Carbon content of the woody biomass in the cohorts (A: beech stands, B: mesophilous oak forests, C: dry oak forests)

7. ábra. A fászárú biomassza széntartalma az egyes állományrészekben (A: bükkösök, B: üde tölgyesek, C: száraz tölgyesek)



using the CO2Fix 2.3 model. This software has been successfully applied in other similar studies in Hungary.

Haragistya-Lófej forest reserve (Aggtelek Karst) is situated at 400–600 m asl, on an open karstic plateau, where the variety of the micro-elevation results in a very high spatial variability of vegetation. For the analysis we used data from our earlier forest structure measurements, carried out in 2006–2007 (TANÁCS – KEVEINÉ, 2012).

According to the model, carbon is stored in 3 main containers in the system: in the biomass, the soil and the wood products. In this analysis we only examined the temporal changes of carbon in the biomass (soil carbon content was calculated using the default settings and wood products were omitted since it is a reserve with no management activity). The model was originally created for the assessment of homogeneous production forests; modelling near-natural forests is possible by defining cohorts with similar age and composition and consequently similar growth. The cohorts in this case were defined according to forest type (beech forests, mesophilic oak-hornbeam forests and dry oak forests) with 3 age groups for each (60–80, 80–100 and 100–120 years old stands), thus we received a total of nine cohorts. The model implements an annual cycle simulation for a user-defined time span. In this study, the results of a 70-year simulation launched from 1950 are described briefly.

The results of the carbon stocks simulation are presented for the cohorts (Fig. 7.) and the whole area (Fig. 8).

Our results suggest that the quantity of carbon and biomass varies according to site, the maximum in the beech stands is 215 t C/ha, 200 t C/ha in the mesophilic oak-hornbeam forests and 165 t C/ha in the dry oak stands.

In the case of the beech and mesophilic oak forests there is a perceptible decline at the age of 70 (Fig. 7) which sets the trend for the whole study area (Fig. 8). This is consistent with international findings, and it can be considered the consequence of growth-related self-thinning. Considering the total carbon stocks a virtually uninterrupted growth can be seen, confirming that older

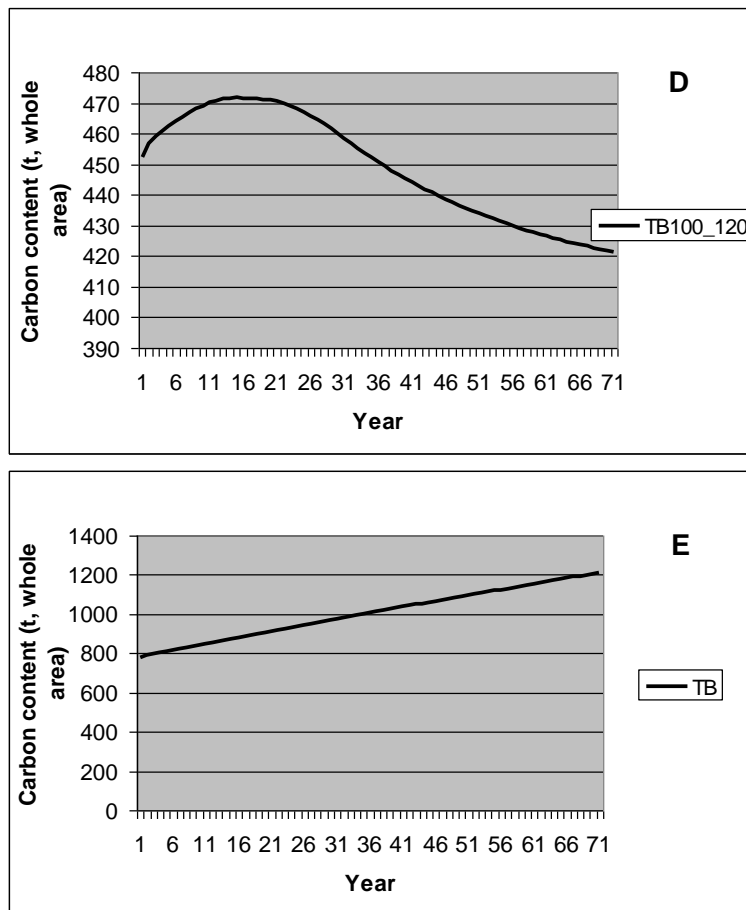


Fig. 8. Carbon content of the woody biomass of the age class of 100–120 years (D) and of the whole stand (E) in the whole study area

8. ábra. A fásszárú biomassza széntartalma a teljes vizsgálati területen a 100–120 éves korosztály (D) és a teljes állomány (E) esetében

mixed forests can still be considered carbon sinks, despite a decline in productivity. The results show temporal shifts in the changes of the carbon content between the different-aged representatives of the same forest types presumably occurring due to slight differences in the species composition. The model was found to be highly sensitive to mortality rates, which need to be further investigated.

### **Investigations on Hungarian karst areas (climate change, water quality)**

Karsts are Hungary's richest areas in natural resources, but also some of the most fragile landscapes. Due to the good drainage, water storage and water supply capacities the karstic rocks (limestone, dolomite) specific surface and subsurface forms are created. The increased geodiversity results in a high abundance of the natural values. The high solubility of rocks and the three-dimensional surface of the processes represent also a major hazard, because adverse effects can trigger rapid changes also in other parts of the system'.

A more thorough knowledge of the complex karst system behaviour, the effects of climate change on the individual elements of the system (water quantity and quality, soil, vegetation, human impact) is very important for those who are dependent on the ecosystem services of the area – 14–16% of the groundwater use of Hungary comes from karst waters. There are very few comprehensive studies about the effects of climate change on karst areas even at the international level.

One aim of the study was to show the effects of weather events on water quality and quantity. The impacts of weather events were analyzed with two approaches, with a whole area-wide large-scale analysis, in which the lake data were merged, and this was compared to the different climatic parameters, to show which parameters and weather events have greater influence on the water quality changes. In the other approach I analyzed the climate extreme indices of each individual lake separately, so that the diversity and influence coming from their unique environment could be emphasized (SAMU et al., 2012).

The amount of precipitation decreased after 1980 compared to the previous years, and according to the SPI drought index the number of drought periods was also higher than the number of wet periods.

A strong, significant correlation was found between the water quality parameters and the different drought indices, which, depending on the lake's state and position, affect them in different ways. Where the inflow is more significant or the catchment area is larger, with more rainfall events the concentration of especially the inorganic components will be higher (eg.  $\text{NO}_3^-$ ), while the organic pollution is going to be diluted (eg.  $\text{COD}_{\text{ps}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), the trophic and saprobity degree is lower (Lakes Aggteleki, Kender, Vörös).

Based on a larger scale perspective, both positive and negative extreme values of water quality parameters can be associated with weak or breaking-up warm fronts passing over the region. On the contrary, the role of anticyclones or anticyclone ridge weather situations is supposed to be irrelevant. According to the average ranks of importance of the meteorological variables in determining the factors temperature and relative humidity are the most significant, while air pressure and global solar flux are the least relevant explanatory variables in determining the five factors overall.

Based on the analysis of the lake sediments, the following results can be concluded: except for Lake Kender, the nickel content exceeded the threshold limit in every lake's sediment. At Lake Vörös the cadmium content was above the limit. There are changes in the heavy metal content in sediments of Lake Aggteleki in comparison with the year 2000: the nickel content of the silt has doubled, the lead and chromium content as well – but these two do not exceed the limit. The cadmium and zinc content decreased, the cobalt had roughly similar values. This may be due to the previously larger nickel, chromium and lead accumulation which dropped in the 1990's, and the layers from which the samples were taken were less loaded with these elements. The dredging, however, could resurface the previously polluted layer. In addition, since the dredging there might have been a greater amount of accumulation as well. A higher heavy metal content can be bound to the carbonates too and in deeper layers there could be higher amount of carbonates but sedimentological tests were not carried out in 2000. The difference can also come from the result of the different measurement methods in 2000 and now.

The tested soils had no heavy metal concentration values above the threshold limit. In contrast, in the case of sediments the concentrations are above the limits; in the case of the Lakes Farárova jama, Vörös, Aggteleki, Jašteričie the Ni concentrations, in the sediment of the Lakes Vörös and Aggteleki the Cr-, and at Lake Vörös, the Cd concentrations exceed the limit.

The mobility of these heavy metals was also measured with sequential extraction. It showed that in most cases the heavy metals are not mobile under natural conditions. The highest rates of mobility were observed at the Lakes Gyökérréti, Kender and Aggteleki, and the most mobile metals are Cd, Co and the Cr. From the mobile fractions of the mentioned three lakes and in the case of Lake Tengersizem the fraction binding to the oxidizable fraction, (thus the organic material) is greater and it is also greater in the case of the exchangeable and carbonate bound fractions. In the case of the other two lakes the mobility of the heavy metals is around 50% and this amount is divided between the three mobile fractions. The Cr can be problematic, since it is relatively mobile and sometimes exceeds the background concentration.

The initial results of both areas are characterized by a greater nitrate load which in the Mecsek mountains and in the Slovakian part of the Gömör–Torna karst is higher – for the latter the buffer zone of the Silica Gombasecká-hydrological system which was designated last year may have a mitigating effect. In the Mecsek Mts. probably the earlier (abandoned cattle site) and current land use (agriculture) play an important role in the constantly higher nitrate content; in order to explore the possible reasons a land use map will be created.

A complex analysis of the Gömör-Torna karstic waters was carried out to assess their state and the influences affecting them (Table 2) (SAMU, 2011). Each of the studied water bodies bears the hallmark of human activity and the shallow lakes with no continuous water supply show the impact of more frequent drought periods in the last few decades. Due to their various geological and geomorphological situation, as well as the human activity characteristic in their surroundings different problems occur in their development; these circumstances should be taken into account when planning the management tasks. In one group of the waters mainly the higher nitrate load leads to the deterioration of the water quality, in the other the higher content of dissolved organic matter. The periodically enriching pollutants (depending on season and weather) also contribute to this. The effects of extreme weather events in a one-year

time period make significant changes in water quality, but in some cases they also occur in a shorter period. This means that unstable and extreme weather conditions (drought and wet periods as well) act in the direction of breaking up the balance that would support good water quality. This process does not benefit stable water use, or the sensitive karst hydrogeological system.

*Table 2. Sources of pollution and possible actions*

*2. táblázat. A kockázatot kiváltó, valószínűsíthető szennyezési okok és a lehetséges intézkedések*

| Water body         | Pollution sources (reason of the risk)                        | Pollution type        | Pollution reflecting parameters  | Suggested action  | Influence of extreme weather events on the water chemistry |
|--------------------|---|-----------------------|--|---|--|
| Lake Farárova jama | Liquid manure<br>Urban runoff<br>Fishing<br>Highway           | point source, diffuse | Oxygen-establishment (O <sub>2</sub> %, COD <sub>ps</sub> )<br>P-N-establishment (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> : summer, TP, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : autumn, spring, rainy periods, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , chlorophyl-a )<br>other (Fe, (pH,G)) | Wastewater treatment<br>Monitoring<br>Regulation of animal husbandry<br>Good fishing practices  | lack or plenty of water: 0,5-1 year, 1,5-2 years           |
| Lake Aggteleki     | Internal and external loads from the sediment<br>Urban runoff | diffuse               | Oxygen-establishment (O <sub>2</sub> %, COD <sub>ps</sub> )<br>P-N-establishment (TP, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , chlorophyl-a))<br>other (pH, G, Fe, Mn)   | Removal of the sediment deposited around the lake<br>Coastal protection zone establishment<br>Handling of the plants<br>Phosphorus inactivation<br>Monitoring | lack or plenty of water: 0,5-1 year                        |

## References

Kántor, N. – Gulyás, Á. – Égerházi, L. – Unger, J. 2011a: Assessment of the Outdoor Thermal Conditions in Szeged, Hungary: Thermal Sensation Ranges for Local Residents. In Gerdes, A. – Kottmeier, C. – Wagner, A. (eds): Climate and Construction (Int. Conf., October 24–25, 2011, Karlsruhe, Germany), 181–190.

- Kántor, N. – Égerházi, L. – Gulyás, Á. 2011b: Assessment of the Outdoor Thermal Conditions in Szeged, Hungary: Perceptions and Preferences of Local Individuals. In Gerdes, A. – Kottmeier, C., – Wagner, A. (eds): *Climate and Construction* (Int. Conf., October 24–25, 2011, Karlsruhe, Germany), 307–314.
- Makra, L. – Sánta, T. – Matyasovszky, I. – Damialis, A. – Karatzas, K. – Bergmann, KC. – Vokou, D. 2010: Airborne pollen in three European cities: Detection of atmospheric circulation pathways by applying three-dimensional clustering of backward trajectories. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115, D24220, doi:10.1029/2010JD014743
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Guba, Z. – Karatzas, K. – Anttila, P. 2011a: Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories. *Atmospheric Environment*, 45(16), 2630–2641.
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Deák, JÁ. 2011b: Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in Central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmospheric Environment*, 45(33), 6010–6018.
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Ionel, I. – Popescu, F. – Sümeghy, Z. 2011c: Connection between meteorological elements and pollutants concentrations at Szeged, Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica. Universitatis Szegediensis*, 44–45, 127–134.
- Matyasovszky, I. – Makra, L. – Bálint, B. – Guba, Z. – Sümeghy, Z. 2011a: Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(25), 4152–4159.
- Matyasovszky, I. – Makra, L. – Guba, Z. – Pátkai, Zs. – Páldy, A. – Sümeghy, Z. 2011b: Estimating the daily Poaceae pollen concentration in Hungary by linear regression conditioning on weather types. *Grana*, 50(3), 208–216.
- Matyasovszky, I. – Makra, L. 2012: Estimating extreme daily pollen loads for Szeged, Hungary using previous-day meteorological variables. *Aerobiologia*, DOI: 10.1007/s10453-011-9238-7
- Samu, A. 2011: A Gömör-Tornai-karszt állóvizeinek vízminőség-értékelése különös tekintettel a tápanyagterhelésre. PhD értekezés. SZTE TTIK FDI, Szeged.
- Samu, A. – Kiss, M. – Tanács, E. – Bárány-Kevei, I. (2012): Multifaceted approach of the state of shallow karstic lakes on the ggtelek and Slovak karst (Hungary–Slovakia). Abstracts of the Forum Carpathicum 2012 From data to knowledge, from knowledge to action. [http://uke.sav.sk/fc/fc\\_2012/Download/FC2012\\_Conference\\_Abstracts.pdf](http://uke.sav.sk/fc/fc_2012/Download/FC2012_Conference_Abstracts.pdf)
- Tanács, E. – Keveiné Bárány, I. 2012: Az erdőszerkezet tér- és időbeli mintázatainak vizsgálata a Haragistya-Lófej erdőrezervátum (Aggteleki-karszt) területén. In: Unger, J. – Pál-Molnár, E. (eds.) *Geoszférák 2011*. GeoLitera, Szeged, 171–202.

# AZ ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK VIZSGÁLATAI A 'TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005' PROJEKT KERETÉBEN

## Városi terek termikus komfortviszonyainak értékelése

Népszerű szegedi közterületeken (1. táblázat) folytattunk vizsgálatokat, melyek célja egyrészt a mikro-bioklimatikus viszonyok kimutatása volt, másrészt az ezekre adott humán reakciók (viselkedési reakciók és szubjektív értékelések) felmérése. Ennek megvalósítása érdekében mobil állomással rögzítettük a termikus komfortérzetet meghatározó ún. termikus alapparamétereket (hőmérséklet –  $T_a$  [°C], relatív nedveség – RH [%], szélesség –  $v$  [m/s], rövid- és hosszuhullámú sugárzási fluxusok –  $K_i$  és  $L_i$  [ $W/m^2$ ]). Ezekből a tényezőkből bioklimatológiai mérőszámokat számítottunk: a sugárzási viszonyokat °C egységben kifejező átlagos sugárzási hőmérsékletet –  $T_{mrt}$  [°C], valamint a szervezetet érő komplett termikus terhelést számszerűsítő fiziológiailag ekvivalens hőmérsékletet – PET [°C]. Utóbbi értékei – a jelenleg érvényben lévő nemzetközi skála szerint – 20°C körül jeleznek stresszmentes, neutrális hőérzethez köthető viszonyokat (1. ábra). A műszeres mérések mellett folyamatosan zajlottak a látogatókkal folytatott interjúk, valamint a területhasználat térbeli és időbeli mintázatának rögzítésére irányuló megfigyelések. 2009 ősze és 2010 tavasza során csupán egy mobil állomással rendelkezünk; ekkor a 12:00–15:00 közti felméréseinket vagy az Ady téren, vagy a Honvéd téren végeztük. 2011 tavaszától a napi vizsgálati idő 8 órára bővült (10:00–18:00), s két mobil állomás lehetővé tette a szimultán méréseket; 2011 tavaszán például két tér párhuzamos felmérését, később pedig ugyanannak a területnek két karakterisztikusan eltérő pontján (pl. napon – árnyékban; fűvön – térkő borításon) kivitelezett méréseket. A különböző mintaterületekhez köthető felmérési napokat az 1. táblázat tekinti át.

Az eddig feldolgozott 1271 kérdőív (adatbázis: 2009 őszi, 2010 tavaszi, 2011 nyári) és a szimultán műszeres mérési adatok összevetése alapján módosítottuk a PET index kategóriahatárait, hogy azok jobban tükrözzék a magyarok termikus viszonyokra adott reakcióit (1. ábra). Rámutattunk továbbá, hogy a helyiek a léghőmérséklet és a sugárzási viszonyok változásait meglehetősen jól, míg a légnedvességét kevésbé érzékelik (2.a-d ábra), s hogy a neutrálisnál melegebb viszonyokat (27°C körüli PET értékeket) preferálják leginkább (2.e,h ábra).

A 2011 tavaszi felmérésekbe bevont terek közül a Dugonics tér némiképp magasabb hőmérséklettel, s gyengébb légmozgással jellemezhető, valamint sokkal erősebb sugárzásnak van kitéve az ott tartózkodók szervezete, mint a Széchenyi téren (3.a,c,d ábra). A belvárosi meteorológiai állomáson mért értékekhez képest mindkét területen szárazabb a levegő (3.b ábra). A helyszíni mikrometeorológiai paraméterek kombinációjaként adódó PET értékek a Széchenyi téren általában némiképp alacsonyabbak, míg a Dugonics téren határozottan magasabbak, mint a belvárosi állomáson mért léghőmérséklet (4.a ábra). Gyakorisági eloszlásukat tekintve a Széchenyi tér PET értékei gyakrabban jeleztek terhelésmentes időszakot, s a módosított PET tartományok alapján is itt fordult elő többször a helyiek számára semlegesnek érződő mikroklíma (5. ábra). Figyelembe véve azonban, hogy a magyar lakosság a neutrálisnál melegebb (enyhén melegnek érződő) termikus viszonyokat preferálja, nem meglepő, hogy mind a két tér látogatottsága megnövekszik a PET értékek emelkedésével (4.b ábra).

## Pollenek és részecske koncentrációk modellezése és előrejelzése

A végrehajtott projekt a fenti kutatási terület számos fejezetét érinti. A vizsgált fejezetekkel kapcsolatos eredmények a következők.

Megvizsgáltuk a nagy távolságú transzport szerepét a városi PM<sub>10</sub> koncentrációk alakulására oly módon, hogy backtrajektóriák 3D clustereinek a segítségével azonosítottuk azon nagy távolságú backtrajektória rendszereket, melyek lényegesen befolyásolhatják a PM<sub>10</sub> koncentrációkat Szegeden. A város számára Dél-Európa és Közép-Kelet-Európa a PM<sub>10</sub> legfontosabb forrásai. Időszakosan észak-afrikai eredetű por is eljut Magyarországra fölé.

A parlagfűpollen transzport szempontjából legfontosabb forrásterületek Szeged térségére a Kárpát-medence, ÉK-Európa, É-Európa és ÉNy-Európa a mért átlagos pollenkoncentrációk csökkenő sorrendjében. Az utóbbi három származási területen igen alacsonyok a parlagfű pollenszámok, mégis, azok a Kárpát-medence fölött áthaladva számottevő mennyiségű Ambrosia pollent vesznek föl, s ily módon jelentős mértékben hozzájárulhatnak Szeged helyi parlagfűpollen koncentrációihoz.

Megállapítottuk, hogy mind a szubjektív, mind pedig az objektív osztályozás esetében az anticiklon peremhelyzetek elősegítik a magas átlagos Poaceae pollenszámok kialakulását. A szubjektív osztályozás esetében a legjobb becslést a „melegfront esővel” kategória napjaira kaptuk, míg a leggyengébb becslés a „hidegfront eső nélkül” kategória napjaira született.

A légúti megbetegedések többváltozós analízise a légúti betegségeket előidéző magyarázó változók (5 meteorológiai, 6 kémiai és 2 biológiai változó) három kategóriáját elemzi. Az Ambrosia pollenszezonjában a faktoranalízis és a speciális transzformáció végrehajtásával feltártuk, hogy a légúti betegségeket előidéző legfontosabb paraméterek csökkenő sorrendben az Ambrosia, PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub> és a szélsébség a felnőtt betegek, továbbá az O<sub>3</sub>, szélsébség, NO<sub>2</sub>, globálsugárzás és PM<sub>10</sub> az idős betegek, valamint az Ambrosia, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO és a szélsébség az összes korcsoportra. Egyrészt a faktoranalízis, másrészt a lépésenkénti regresszió és a regressziós együtthatók eltérő eredményeket adnak a magyarázó változóknak a betegségek előfordulásában játszott fontossági sorrendjére, ami a változók közötti multikollinearitásnak tulajdonítható. Az időfüggő regresszió a faktoranalízis révén nyert átfogó képnek egy finomítását adja. A magyarázó változóknak az összes betegszámhoz való relatív hozzájárulása az év során a következő arányokon belül változik: -1,5% – +1,5% a globálsugárzásra, 0% – +8% az O<sub>3</sub>-ra, -10% – +5% a relatív nedvességre, -9% – +6% az NO<sub>2</sub>-re és -3% – +6% az NO-ra, a fenti változók rendre 10 W·m<sup>-2</sup>, 10 µg·m<sup>-3</sup>, 10% és 10 µg·m<sup>-3</sup> növekedése esetén.

Az allergén pollenek jellemzőinek trendvizsgálatával a regionális pollenflóra egyik legnagyobb spektrumát elemezzük a szakirodalomban, továbbá e kutatás egyedi a tekintetben, hogy a vizsgált taxonok pollenszámainak és 7 éghajlati változónak a napi trendjeit határozza meg. Ez a fajta trendanalízis információt nyújt a trendek napi meredekségeinek évi ciklusairól. Bevezettünk egy kapcsolati mérőszámot (AM), valamint egy többszörös kapcsolati mérőszámot (MAM) egyrészt a pollenkoncentrációk, másrészt az éghajlati változók trendjei napi meredekségeinek évi ciklusai közötti kapcsolat erősségének a jellemzésére, majd az AM értékei alapján az egyes taxonokat a többszörös AM (MAM) értékek segítségével három kategóriába soroltuk. Bevezettünk továbbá



két új fogalmat a klímaváltozással kapcsolatos kényszerekre, nevezetesen a klímaváltozás miatti kockázati potenciált (RP), illetve terjeszkedési potenciált (EP), melyeket összehasonlítottuk a MAM értékekkel minden egyes taxonra.

### **A biomassa szén-megkötésének alakulása egy karsztos erdőrezervátumban**

A szénmegkötés által történő klímaszabályozás jó példája a szabályozó ökoszisztéma szolgáltatásoknak. Kutatásunk során a faállomány szénmegkötésének időbeli alakulását vizsgáltuk a CO2Fix 3.2 modell segítségével egy 70 éves időszakban a Haragistya-Lófej erdőrezervátumban (Aggteleki-karszt). Az elemzéshez a területen 2006–2007-ben folytatott faállomány-szerkezeti felmérésünk adatait használtuk fel. A mintaterületen megtalálható három fő típus (száraz tölgyesek, üde gyertyános-tölgyesek és bükkösök) mindegyikére idősort állítottunk fel (60–80 éves, 80–100 éves és 100–120 éves állományok), így összesen 9 állományrészsel modelleztük az erdőt.

Eredményeink alapján (1. ábra) a bükkösöknél és az üde tölgyeseknél is megfigyelhető egy visszaesés 70 éves kor körül, ami a teljes vizsgálati terület tendenciáját meghatározza (2. ábra). A teljes állomány széntartalmában azonban gyakorlatilag töretlen növekedést láthatunk, ami alátámasztja, hogy az idős és változatos korösszetételű erdők a produktivitás visszaesése ellenére is széndioxid-nyelőnek tekinthetők. Az ugyanolyan típusú állományrészek különböző korú képviselői között időbeni eltolódások tapasztalhatók a széntartalom alakulásában, feltehetően a fajösszetételben jelentkező eltérések miatt. Fontos tapasztalat, hogy a modell rendkívül érzékeny a mortalitás értékeire, amelynek meghatározása természetközeli állományok esetében komoly kihívás.

### **Vízminőség és éghajlatváltozás magyarországi karsztterületek példáján**

A Gömör–Tornai-karszt egyes állóvizeinek állapotfelmérését célzó, több szempontú, komplex elemzést készítettük el (1. táblázat). Ennek során a karszt állóvizeinek, illetve az ezekhez esetlegesen kapcsolódó hidrológiai rendszereknek a vizsgálata valósult meg. Célunk volt a Gömör–Tornai-karszt tavainak, időbeli, történeti változékonyságának áttekintése, az emberi beavatkozás, kezelés, illetve természetes behatások következtében végbement állapotváltozásának értékelése, a tavak és szűkebb környezetük összehasonlítása, illetve a klímának a vízminőség alakításában betöltött szerepének vizsgálata.

A területen található vizsgált víztestek közül mindegyik magán viseli az emberi tevékenység befolyását, illetve sekély mivoltuk és a nem folyamatos vízutánpótlás következtében az utóbbi néhány évtized aszályokban bővelkedő időszakainak klimatikus hatását is. A kis területen is változatos geológiai és geomorfológiai helyzetükből adódóan, valamint a környezetükben jellemző emberi tevékenységtől függően, különböző problémák mutatkoznak fejlődésükben, ezért a megmentésükre irányuló menedzsment feladatokat is ennek megfelelően kell alakítani. A víztestek egyik csoportjában főként a nagyobb nitrát-terheltség, a másikban a magasabb oldott szervesanyag-tartalom okoz vízminőség-romlást. Ehhez időszakosan (évszaktól és időjárástól függően) egyéb szennyezőanyagok feldúsulása is hozzájárul. Az extrém időjárási események hatása egy év időtartamban jelentős vízminőségbeli változásokhoz vezet, de néhány esetben ennél rövidebb idő alatt is jelentkezik a vízkémia alakulásában.

A Papverme-tó (Farárova jama) esetében viszont hathatós intézkedéseket kell tenni, mivel vízminőség romlását főként pontszerű szennyezőforrás okozza. A tó és a hozzátartozó barlangrendszer védelméhez jelentősen hozzájárul a 2011-ben kijelölt védőzóna. A heves csapadékesemények révén bekövetkező nagyobb szennyezőanyag-bemosódásra is fel lehet készülni növény-védősávok kialakításával, a partmenti zóna helyreállításával és a pontszerű szennyezőforrások megszüntetésével. A hosszabb aszályos periódusokra készülve nagyobb területeket lehetne bevonni a vízgyűjtőkbe. A fenti javaslatoknak, a karsztterületek természetessége, az emberi vízfelhasználás, a rekreáció és az ökoszisztémák integritásának megőrzése szempontjából is nagy jelentősége lehet.

# MANAGING THE SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES OF THE CLIMATE CHANGE

*Péter Bajmócy*<sup>1</sup> – *Lajos Boros*<sup>1</sup> – *Bálint Csatári*<sup>1</sup> – *Renáta Dudás*<sup>1</sup> – *Jenő Zsolt Farkas*<sup>2</sup> – *Tünde Juray*<sup>1</sup> – *Zoltán Kovács*<sup>1</sup> – *Viktor Pál*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Szeged, Department of Economic and Social Geography

<sup>2</sup> Kecskemét College, Institute of Technical, Economic and Rural Development

## Introduction

Several sciences consider the climate change as one of the most current field of research; however the most important questions are related to the effects of it on the society, intrinsically the research of phenomena is a social demand. Besides, for social sciences the climate change is only one of the many which impact the people and results shift in the society. It is burdensome to measure and define the actual effect of the phenomena in our everyday life, how important is it to research, however effectively in the last decade it became more and more important in researches. Even more emphasis is put on practical relations. Both in international and national literature numerous publications were released in the topic in the beginning of the millennium, which show that the impact of the climate change on economy and society is various effecting – directly or indirectly – almost every activity (SZIRMAI, 2005; RAKONCZAI, 2008).

This involves that this is not a wide-ranging research, only some cases were selected to represent the diversity of the topic. Thus environmental justice, social effects of the floods, transformation of the land use, state of health, processes of sub- and counter urbanization, defensive strategies against extreme weather event as the use of the air-conditioned shopping centres were researched. Despite the researches seem to be abrupt; there is a common point, the locality as a geographical scale which interlinks these cases. Not only regions, counties but villages, cities and districts are affected by climate change, which manifests locally, hence the solutions also should be researched in a local scale.

## Global climate change and environmental justice

The global climate change increases the incident of environmental injustices. As a fundamental assumption of this theory that different people, different social groups are affected by the natural risks and hazards differently (NEWTON, 2009). This results unjust situation, irrespectively of the fact, that the injustice is evolved from natural or social-economic processes.

Due to the global climate change the extreme weather events are more often and more powerful. An evidence to proof the latter state is the disproportionate precipitation and the growing risk for flooding and inland excess water. These processes affecting the most deprived and sensible social groups (BULLARD, 1990; SOJA, 2010), who are often member of a minority group. In Hungary, Roma are the most threatened, whilst large share of them are multiply disadvantageous, biased and socially excluded.

In our research we examined how the climate change result flood risk, and how environmental injustice occur on the sample area? What social, economic and health consequences figure due to the unjust situation and how the endurers think about their situation?

Whilst it is a complex issue various research methods were needed. A survey was made on the settlements affected by the flood of 2001 in Szabolcs–Szatmár–Bereg County (NUTS3) and the flood of 2010 in Borsod–Abaúj–Zemplén County (n=869). Interviews were made with local mayors, local minority government leaders. Picture Voice Analysis was made to measure the image of the settlements. A village, Boldva was profoundly examined, where all the citizens of the Roma settlement were surveyed (n=63). The climate change, as it has been mentioned before, rises the occurrence of extreme weather events, so the risk of floods. It can be observed, that floods are affecting the least developed areas in Hungary, which causes even more unjust. In these regions the share of the Roma population, the rate of unemployment is higher, whilst the gross domestic income per capita is far less than the average in a country view. According to the literature the growth of the environmental injustices are rooting in human activity and decisions (WILLIAMS, 1999; YOUNG, 1990). In the case of the Roma the former antisegregation programs in the socialist era resulted even more segregated situation wherefore the new so called “CS-houses” (reduced valued houses) were built on the least favourable, most segregated parts of the villages. These Roma settlements were on the lowest point of the villages and the closest to rivers and creeks; hence the risk for inland excess water and flood is higher (HAVAS, 1999).



*Image 1. Flood-ruined home at Boldva*  
*1. kép. Az árvíz miatt összedőlt ház Boldván*

According to our results the ethnicity and income negatively raise the risk for floods. The people of the Roma settlements are in a real-estate trap, they are unable to sell their property, and if they can, the prices are not reasonable. Only governmental aid can change the situation. Most of the Roma are not awake to their deprived position due to low educational level; therefore they cannot see the connections between flood risks and health problems.

Both of our study areas are dependent from social aid, but the assistance is adequate, only temporary; hence it is not a real solution. The picture voice analyses showed that the affected villages for third party seems to be average, nicely constructed and relatively clean. In one hand it is true, but in the other hand all this is owing to the annual renewal of the houses after floods. Thus the houses are renovated the population is still affected almost annually by the flood-borne illnesses caused by faecal and animal carcasses.

The unjust situation of the study areas is rooting in a wider social-economic problem. The region is excluded from the national and international labour market, the settlement network is unfavourable (small villages – less than 500 inhabitants – are dominating), the ethnical and demographical processes result more problems. This shows the complexity of the issue, which is calling for resolution, which should be complex as well.



*Image 2. Traditional modernity in Tákos*

*2. kép. Újjáépített típusház Tákoson*

### **The social effects of the floods in Bereg and Borsod**

The compound effects and consequences of the climate change, the natural disasters are well known from the international literature (CLEMENS–HIETALA, 1999; CLUTTER et al., 2003; WALKER et al., 2003).

In Bereg a flood in 2001, in Borsod a flood in the spring of 2010 damaged several settlements caused expenses of millions of Euros. In Bereg, nine, in Borsod five settlements were partially or totally flooded. As a sum almost 1000 houses were destroyed by the floods, but due to facile rebuilding and renewal the life circumstances improved (*Images 1–2*). Still not everything was well-run. Conflicts evolved, which have been examined during the research. Content analysis was made on the press of the floods in 2001, also statistical analysis was made. 426 citizens of 9 settlements were surveyed, and 4 interviews with the mayors (Tarpa, Tákos, Gulács és Jánd) were made in the autumn of 2011.

In the research area conspicuous population decline can be observed in the time of a decade from 2001 to 2011. The decline is more intensive than the time of 1960–1990. The fastest population decline can be observed on the settlements hardest hit by the flood. The diminution is almost 20% in Jánd, Gulács and Tákos (RAKONCZAI – PRISTYÁK, 2003).

70% of the surveyed subjects gave adequate answer about outmigration destinations. 506 geographical spots (settlements, micro-regions) were labelled, 77% of them are in the Szabolcs–Szatmár–Bereg County (NUTS3). Nyíregyháza (pop. ~118 000), the capital city of the County has illustrious place, such as bigger cities of the County like Vásárosnamény (pop. ~8800) or Fehérgyarmat (pop. ~ 8000). Within the County other neighbouring settlements were marked as sum 8%. Outside the County, Budapest and its region was the most popular (14%) outmigration destination, but Debrecen has also significant value (3%).

Almost 29% of the questioned population thought about moving from the settlement after the flood, mainly from settlements which were hardly hit by the natural disaster. Not only outmigration but immigration was also noticeable. 33% of the settlers were from neighbouring villages. The most significant migration was from Jánd to Gergelyugornya. 58% of the immigrants were arriving from the County, but numerous foreign migrant arrived to these settlements (20%) from Transcarpathia. One group of the immigrants can be featured with higher educational level and relatively young age, counter the out-migrants (moving mainly to Tákos and Csaroda). Another group is the poor and Roma people (Tarpa, Hetefejércse). It is an interesting process that the higher educated people are arriving to Jánd from Gergelyugornya, while the Roma arrive from Jánd to Gergelyugornya.

The outgrowths of the floods appear not only via regional migration processes, but it has effects on the state of the real-estates. In the Vásárosnamény micro region (LAU2) almost the 5% of the houses were destroyed, in 2001 the housing stock was declined by 531. The decline was 11% in the case of Tarpa, 14% in Csaroda, 23% in Gulács and 31% in Jánd. In the mentioned micro region the decline shows significant differences by villages. Thus in the micro region the demolished houses gave 9% of the total, the surveyed 7 settlements suffered from 20% of detriment. In case of Csaroda 38% of the houses were destroyed by the floods (Fig. 1).

Transformation can be observed within the state of the settlements' housing stock. The damaged houses were destroyed and rebuilt; hence 70% of the affected families are living in better conditions, than before. The inhabitants of houses which were only renewed 25% and those who were not affected by flood only 15% are living in better life circumstances. Despite the prices of the new houses are falling, whilst 50 000 Euros were spent on building the houses but due to the flood risks they only worth around 15–16 thousand Euros. That's why these houses in-

creasingly bought for second homes. After the rebuilt and the renewal the image of the village and the streets were completely changed, therefore the society is changing. If it is a negative or positive process it is only matter of time.

### **The climate change, farming and land-use**

The climate change seriously affects the agriculture and land-use, which is noticeable locally and globally (EEA, 2008; OLESEN,– BINDI, 2002). Our study analyses the changes in land-use, biodiversity and farming. It is also examines the role of the fishponds and mine lakes in drought of the Danube–Tisza interfluve. This area is acutely sensible and compound, since the 1960's Danube–Tisza interfluve is case at issue. The used databases were Corine Land Cover and the Corine Land Cover Change (SZILÁGYI– VOROSMARTY, 1993; PÁLFAI, 1994, 2003; MOLNÁR, 2009).

GIS-methods were used to measure the land-use and biodiversity changes between 1990 and 2006. Edge density, patch density, number of classes were counted. According to WILLEMS, E. et al. (2000), comparative analysis was made on the Water Framework and related documents. An estimation was made for the future water consumption.

The worst affected areas are the mentioned Danube–Tisza interfluve and another sandy area, the Nyírség due to the crisis of the agricultural sector and the lack of compensation. Diminution of meadows and pastures is noticeable, the area of parklands also declined.

The EU funds also resulted negative tendencies. The size of arable land, orchards, vinery, and forest lands also declined in 2–3 years. The effect of the EU regulation is even more influential than the climate change. According to the result of the biodiversity analysis loss of diversity and growth of homogenous is noticeable.

Hungary's one of the most important questions is the drying of the Danube–Tisza interfluve which is considered as a semi-desert area. The use of the ground water is a crucial issue in this region, whilst watering and maintaining the fishponds needs ground and surface water. Between 2005 and 2008 the waterusage increased by 450%. Until 2015 20–25% growth can be expected in the pisciculture, triggering 15–18% growth of the fishpond area and 12–15% of water consumption. The water consumption of the fishponds grew seven times more which cannot be supplied from the current water supply. The maintenance of the fishponds and mine lakes result loss of ground water.

Time after time the water of the fishponds is emptied to the Danube or the Tisza, which is more than 3 million m<sup>3</sup> irreversible loss for the Danube–Tisza interfluve can be never restored.

Not only the amount but the quality of the water used by fishponds causes problems. The high content of nutrients, the different pH changes the life circumstances for organisms via modifying the soil and the composition of the ground water.

The withdrawal of the surface water, the water usage of the fishponds and mining lakes reduces the level of the ground water, strengthens the trend of sinking water table in which nor the major precipitation years (eg. 2010) nor greater amount of water can change substantially.

Overall On the whole, sustainable resolutions are needed in pond management to underline the sensibility of the surface and groundwater resources, and therefore save as much water as we can.



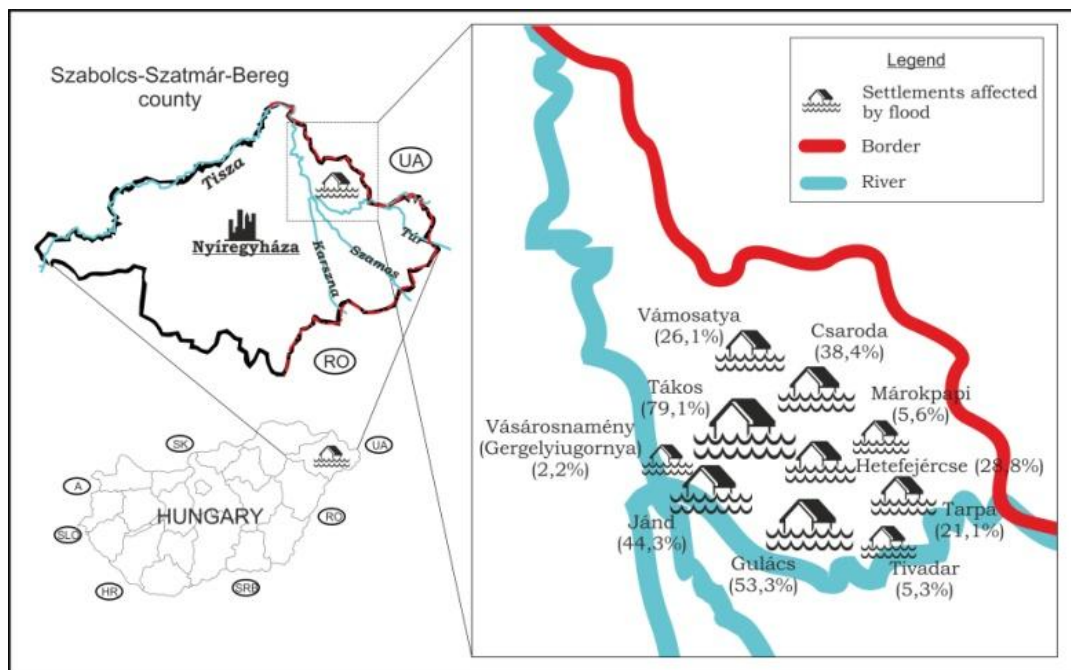


Fig. 1. Damage rate of the house stock among the flood affected settlements in Bereg (edited by Dudás, G.)

1. ábra. A lakásállomány pusztulásának aránya a 2001-es beregi árvíz által érintett településeken (szerk. Dudás G.)

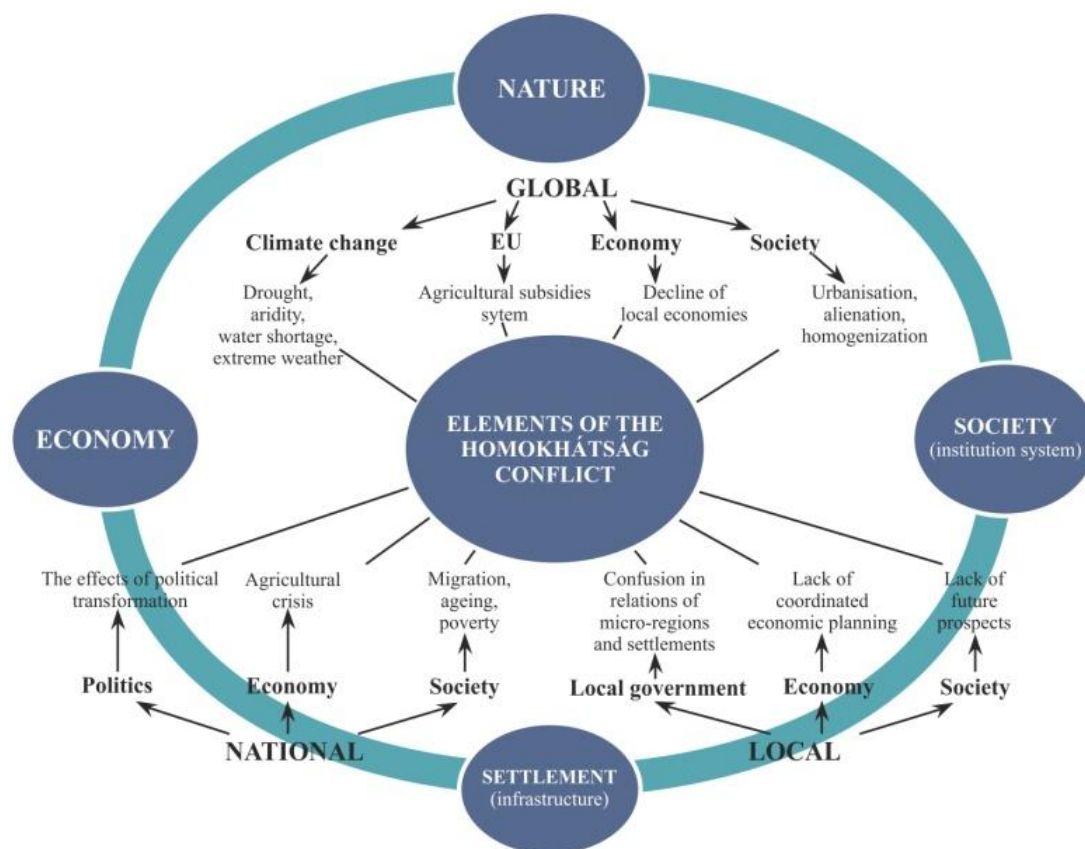


Fig. 2. Elements of the conflict in the Homokhátság (edited by Csatári, B. – Farkas, J. – Dudás, G.)

2. ábra. A Homokhátság konfliktusainak összetevői (szerkesztette Csatári B. – Farkas J. – Dudás G.)

Two major actions can be formulated: first, the regional water retention (up to municipal waste water as well), and the spread of water-efficient forms of production, on the other hand, the water supply from the Danube, or the country's northern areas which can be managed only with the involvement of a wide range of actors (Fig. 2).



Fig. 3. City district types in the research area (edited by Dudás, G.)

3. ábra. A vizsgált városrész-típusok (szerkesztette Dudás G.)

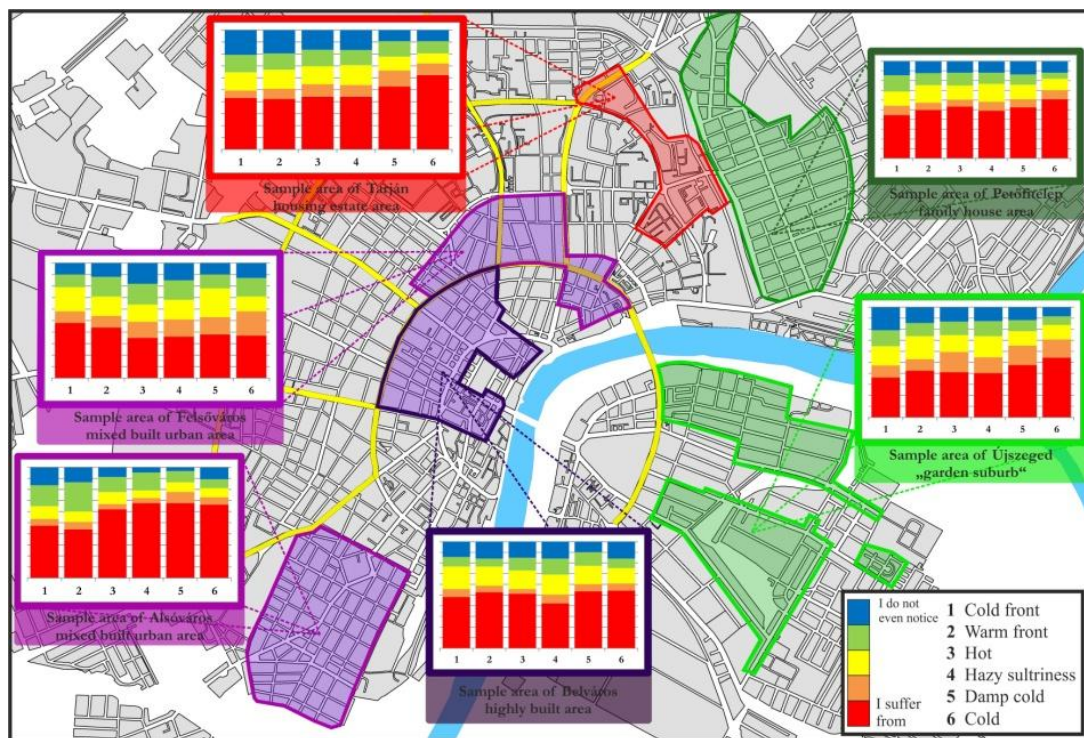


Fig. 4. Some weather events and it's effects on the population of the study area (edited by Dudás, G.)

4. ábra. Néhány időjárás jelenség hatása a vizsgált területek népességére (szerk. Dudás G.)



## **The role of the environment in suburban and counter-urban processes**

Migration, urbanization cycle characteristics are study subjects of several Hungarian literature. The urbanization process in the pre-1990 – the population growth of cities, population decline in villages – is a well-known phenomenon (ENYEDI, 1988; BELUSZKY, 1999). However the post-1990 period brought a significant change in the trend of urbanization in Hungary, the suburbanization has become the most decisive (TIMÁR, 1999). Through this process, the suburban areas have become the fastest growing population areas, while the population of large and medium-sized cities started to decrease. After a decade counter-urbanization appeared, bringing major population growth in certain rural areas. The aim of the study is to reveal the motivation of moving to suburbs or exurbs, villages, and if the global environmental changes have effect on urbanization processes.

403 families were surveyed on 35 settlements among those who moved to the settlement in the last 15 years. The questions concerned the circumstances, the motivation of the move, the satisfaction with the former and the current habitation. The examined settlements were typical suburban (Szeged, Székesfehérvár, Dunaújváros and the agglomeration of Budapest) and counter urban, exurban areas (Balaton-felvidék, surrounding of Hévíz, region of Lake Velencei, the edge of the agglomeration of Budapest).

During the selection of the study areas an important feature was the difference in characteristic of the centre city and the surrounding.

The most important motivations of the respondents were the environmental issues. The former environment of the residence is considered negative, whilst the current residence judged positively. In addition the need of a bigger housing or garden, possibility for gardening proved to be important. The deterioration in the workplace, and health status only mentioned some cases by the respondents as a motivation.

The respondents moved to exurban village areas consider the same motivations the most important, thus the need for bigger house and garden is not that stressed, whilst the changes in workplace and labour market situation showed to be more stressful.

Scoring the previous and current residence showed that the physical characteristics of housing, the environmental condition in the neighbourhood of the current habitat is better than the former (the average value of air quality of housing for the previous was scored 3.15, the current was scored 4.74). The availability and terms of traffic the latter was evaluated more favourably (4.43 in the availability of services, and 3.58 of the current). The physical characteristics of housing and environmental conditions of the former and current residence show major differences in the case of Dunaújváros (sometimes more than 2 points difference). The suburbs were scored higher. Despite examining the availability of jobs and services in exurban spaces (Lake Velencei, Hévíz region, Vác, Balaton-Felvidék, Martonvásár) the former residences were considered in better position.

Both the environmental circumstances and the state of the environment is an important factor in migration, yet the role of them is not exclusive. These features influence the decision in migration.

## **The perception and the outcomes of climate change caused extreme weather events in Szeged**

Numerous literature took up the question of the connections between the health status and the weather events before the phenomena of the global climate change was recognised. Nowadays these researches were thrown new lights upon.

The cases of epidemics, famine, the UV-radiation caused outcomes, the extreme weather events caused health risks, morbidity are stressed and researched globally in these studies (EPSTEIN, 2005; KOHUT, 2012).

In our research we examined how the assessment of health is connecting to different weather events, different public spaces depending on the characteristics of the city districts? We assume that different urban density and socio-economic status influence the perception of health. We also researched how the habitants protect themselves against extreme weather events?

In the spring of 2011 a survey was made, 3000 households were addressed, 1256 household answered. The units of the survey are not consistent with the limitation of the CSO and the Integrated Strategy for City Development. To enclose the study areas results of former researched about city morphology, land-use and deprivation indices were used (BOROS, 2008). Three types of city districts were shaped with several subtypes (Fig. 3).

We have not managed to form a picture of the general state of health, but subjective health assessment was made via self-assessment of the respondents asking the presence of well-known weather-borne illnesses. High rates were noticed of those who have high blood pressure, however spatial differences can be observed: the lowest in the population of the villa district are suffering the least from the disease, while the most of the incidence of high blood pressure occurs in Alsóváros district – which is characterized with rural features. Despite allergy is less common in the family house dominant suburban area chartered neighbourhoods and downtown, while the blocks of flats residential areas and rural-like areas are more often suffering from allergy. Articulation problems are the most common in the rural characteristic area.

Usually the weather has no serious effect on the respondents; the extreme weather events cause the least problems in the block of flats residential areas and in the mixed zone of Alsóváros. The residents of Felsőváros, which is also a mixed zone of residential and rural characteristics have the most problems due to weather. Mainly the respondents of the Villa district and the residential areas are suffering from cold front; in the villa district of Újszeged suffers more from humid hot air (Fig. 4).

41% of the house stock of Szeged is consisting of blocks of flats, that's why the research is pointing out this residential study area. The residents of the renewed, energetically modernised buildings are more satisfied with their circumstances and less sensible for extreme weather events.

Further comparison is needed with other researches concerning to human bioclimatic researches and urban heat island researches. It is also an important object to refresh the demographical data with the results of the census of 2011.

## **Shopping centres as new public spaces in aspect of climate change**

The effects of the climate change are various, not only globally, but locally manifested. Not just a city, but smaller units, like districts, neighbourhoods or institutions are affected by the changes. In this context the shopping centres, as spaces of services and

consumptions can be considered as research units (NAGY, 2007; BOROS et al., 2007; SIKOS–HOFFMANN, 2004; SIMIG, 2006). But how these constructions connect to climate change?

Shopping malls have modern, new functions, considered as the new ‘agora’ of the 21<sup>st</sup> century. They are not only places of consumption, but spaces for social life. In our paper we attempted to introduce how extreme weather events influence the visitation habits, and how and how much the air conditioning influences the attendance. Survey was made in Budapest and regional capital cities asking more than 500 visitors (n=565).

During winter time less visitors arrive to shopping malls, only 14% of the respondents visit the centres every second week, in spring 20% of them, whilst in summer 18%. Differences can be noticed among the respondents of Budapest and respondents of other visitors. In case of Budapest there is no differences between visitor number considering seasons, whilst 45% of the non-Budapest respondents visit shopping centres less frequently. It is rooted in the differences of consumption habits and lifestyle, and also the worse infrastructural supplies (worse availability).

42% of the visitors said that one’s spent their time in shopping centres due to extreme weather event such as hot spell or extraordinary cold. The balanced temperature is labelled as one of the most important factors choosing shopping centre (scored with 3.85 point out of 5). 81% of the respondents prefer air conditioned buildings for shopping and leisure.

The balanced climate and the convenience is more important for the young generations, 50% of the group under age of 27 visited the shopping centre due to balanced climate. The same reason reached only 38% among the group above age 27. It can be assumed according to the results that climate change influence the consumer habits and the attendance in shopping malls.

## References

- Beluszky, P. 1999: Magyarország településföldrajza. Általános rész. – Dialóg-Campus Kiadó, Budapest–Pécs.
- Boros, L. – Hegedűs, G. – Pál, V. 2007: A globalizáció néhány hatása Szeged kereskedelmére. – In: Sikos T. T. (szerk.): Bevásárlóközpontok jelene és jövője. Selye János Egyetem, Komárom, 79–103.
- Boros, L. 2008: Hol laknak a szegények? A depriváció térbelisége Szegeden. In: Szabó V.-Orosz Z., – Nagy, R. – Fazekas, I. (ed.): IV. Magyar Földrajzi Konferencia, Debrecen 2008. 362–368.
- Bullard, R. D. 1990: Dumping in Dixie: Race, Class and Environmental Quality. – Westview Press, San Francisco. 234 p.
- Clemens, P. – Hietala, J. R. 1999: Risk of domestic violence after flood impact: effects of social support, age and history of domestic violence. – Applied Behavioral Science Review, 7 (2), 199–206.
- Clutter, S. L. – Boruff, B. J. – Shirley, W. L. 2003: Social vulnerability to environmental hazards. – Social Science Quarterly, 84 (2), 242–261.
- EEA 2008: Impacts of Europe Changing Climate. EEA Briefing 3/2008, [www.eea.europa.eu/publications/briefing\\_2008\\_3/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/briefing_2008_3/at_download/file)
- Enyedi Gy. 1988: A városnövekedés szakaszai. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 115 p.
- Epstein, P. R. 2005: Climate Change and Human Health. New England Journal of Medicine, 14, 1433–1436.

- Havas, G. 1999: A kistelepülések és a romák. In: Glatz F. (szerk.): A cigányok Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 163–203.
- Kohut L. 2012: A globális klímaváltozás egészségügyi vonatkozásai. Repüléstudományi Közlemények, XXIV (2), 695–705.
- Molnár, Zs. 2009: Néhány ökológiai szempont a tervezett Duna–Tisza csatorna kapcsán. Kézirat, Kecskemét.
- Nagy, E. 2007: A belvárosi bevásárlóközpontok és a hagyományos köztérszerep megőrzésének lehetőségei az európai városokban. In: Sikos, T. T. (ed.): Bevásárlóközpontok jelene és jövője. Selye János Egyetem, Komárom, 233–261.
- Newton, D. E. 2009: Environmental Justice. – ABC Clio, Oxford. 308 p.
- Olesen, J. E. – Bindi, M. 2002: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy 16, 239–262.
- Pálfai, I. 1994: Összefoglaló tanulmány a Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről. In: Pálfai, I. (ed.): A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. (A Nagyalföld Alapítvány kötetei 3.) Békéscsaba, 111–123.
- Pálfai, I. 2003: A vízháztartás helyzete és a vízgazdálkodás fejlesztési lehetőségei a Duna–Tisza közti Homokhátságon. Hidrológiai Közöny, 83, (4), 251–253.
- Rakonczai, J. 2008: Globális környezeti kihívásaink. Universitas Szeged Kiadó, Szeged, 204 p.
- Rakonczai, J. – Pristyák, E. 2003: Az árvizek hatása az alföldi népesség migrációjára az utóbbi fél évszázadban (Effects of floods on the migration of the population of the Great Hungarian Plain in the last fifty years) Alföldi tanulmányok. 118–128.
- Simig, L. 2006: A Pláza-jelenség. – Publicationes Universitatis Miskolciensis. Sectio Philosophica, 11 (1), 175–180.
- Sikos, T. T. – Hoffmann, I. 2004: A fogyasztás új katedrálisai. – MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 380 p.
- Soja, E. W. 2010: Seeking Spatial Justice. – University of Minnesota Press, Minneapolis. 256 p.
- Szilágyi, J. – Vorosmarty, Ch. 1993: A Duna–Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. Vízügyi Közlemények, 75, (3), 280–294.
- Szirmai, V. 2005: Globális klímaváltozás és a társadalmi biztonság. Magyar Tudomány, 7, 849–856.
- Timár, J. 1999: Elméleti kérdések a szuburbanizációról. Földrajzi Értesítő 1–2, 7–31.
- Walker, G. – Fairburn, J. – Smith, G. 2003: Environmental quality and social deprivation. R&D Technical Report E2-067/1/TR. Bristol. Environment Agency.
- Williams, R. W. 1999: Environmental injustice in America and its politics of scale. Political Geography, 18 (1), 49–73.
- Willems, E. – Vandevoort, C. – Willekens, A. – Buffaria, B. 2000: Landscape and land cover diversity index. (<http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/ch3.htm#3>)
- Young, I. M. 1990: Justice and the Politics of Difference. Princeton University Press, New Jersey. 294 p.

## A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS TÁRSADALMI-GAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEI ÉS AZOK KEZELÉSE

A globális klímaváltozás releváns kérdései annak társadalomra gyakorolt hatásaihoz kapcsolódnak. A társadalomtudományok számára a klímaváltozás egy jelenség a számos egyéb közül, ami a társadalomban változásokat indukál. Az utóbbi évtizedben egyre többet foglalkoznak a kutatók ezekkel a hatásokkal, különösképpen annak gyakorlati vonatkozásaival. A szakirodalomból kitűnik, hogy a klímaváltozás társadalomra és gazdaságra gyakorolt hatásai meglehetősen szerteágazók (SZIRMAI, 2005; RAKONCZAI, 2008).

Kutatásaink során a sokféle hatás közül kiválasztottunk néhányat, melyek látszólag mozaikszerűek, azonban ezeket összekapcsolja az a kérdés, hogy különféle földrajzi léptékeken hogyan jelennek meg ezek a hatások? E léptékek átfognak tájakat, városokat, városrészeket, falvakat, intézményi tereket, és közös bennük, hogy a lokalitás felől közelítik a teret. Ennek oka, hogy kutatásaink egyik kiindulópontja az volt, hogy bár a klímaváltozás globális jelenség, hatásai lokálisan is megjelennek, és a problémák egy részét is ezen a léptéken kell kezelni.

Az általunk vizsgált témák mozaikjához tartozik a környezeti igazságosság, az árvizek társadalmi hatásai, a gazdálkodás átalakulása, a szub- és dezurbanizáció folyamatai, az egészségi állapot, a szélsőséges időjárási helyzetekkel (különösen a hőséggel) szembeni lakossági védekezési stratégiák, illetve a légkondicionált bevásárlóközpontok térhasználata.

A globális klímaváltozás növeli azoknak az eseteknek a gyakoriságát, amelyeknél megfigyelhetők a *környezeti igazságossággal* kapcsolatos problémák. Ennek kiindulópontja, hogy a különböző egyéneket, társadalmi csoportokat eltérő mértékben éri a környezeti kockázatok (NEWTON, 2009). Ez igazságtalan helyzetet teremt, függetlenül attól, hogy a szituáció a természet vagy a társadalmi folyamatok eredménye. Mindezek a folyamatok legérzékenyebben a deprivált, sérülékenyebb társadalmi csoportokat érintik (BULLARD, 1990; SOJA, 2010), akik gyakran nemzeti, vallási vagy etnikai kisebbséghez tartoznak. Hazánkban különösen a romák érintettek, hiszen körükben magas a halmozottan hátrányos helyzetűek aránya.

Kutatásaink során elsősorban azt vizsgáltuk, hogyan jelenik meg a klímaváltozáshoz, illetve az ebből eredő növekvő árvízveszélyhez kapcsolódó környezeti igazságtalanság egyes kiválasztott mintaterületeken? Mindehhez kapcsolódóan arra is kíváncsiak voltunk, hogy az érintettek hogyan élik meg a helyzetüket, illetve milyen társadalmi, gazdasági, egészségügyi következményei vannak az igazságtalan helyzetnek?

A komplex kérdéskör többféle módszer alkalmazását tette szükségessé. Így kérdőíves felmérést végeztünk a 2001-es beregi és a 2010-es borsodi árvizek által érintett települések lakosai körében (n=869), interjúkat készítettünk települési vezetőkkel, kisebbségi önkormányzati képviselőkkel. A települési imázs vizsgálatára „picture voice analízist” használtuk. Mindezek mellett részletesebben megvizsgáltuk az egyik legerőteljesebben érintett település, a borsod megyei Boldva romatelepét, ahol teljes körű kérdőívezést folytattunk (n=63, elemzési egység = háztartás), és strukturált interjúkat készítettünk.

Eredményeink alapján a vizsgált területeken a rossz anyagi helyzet és az etnikai hovatartozás fokozott veszélyeztetettséget jelent. Az árvizek által fenyegetett települé-



sek lakói ingatlanpiaci csapdában vannak, mivel lakásaikat nem tudják eladni, illetve anyagi helyzetük eleve csak az alacsony értékű ingatlanok megvásárlását tette lehetővé. A többség nincs tudatában sem hátrányos helyzetének, sem a környezeti igazságtalanságnak, így nem is kapcsolják össze a környezeti fenyegetettséget és az egészségügyi problémáikat. Mivel nem ismerik fel a problémát, így lépéseket sem tesznek annak leküzdésére. Ebből adódóan mindkét vizsgált térség erősen függ a külső segítségtől, ugyanakkor ez gyakran csak eseti, és a katasztrófaszituációkhoz kapcsolódik. A picture voice analízis eredményei azt mutatják, hogy az érintett falvak a külső szemlélő számára átlagos vagy jó helyzetűnek tűnnek, ami csalóka, hiszen a települések az elöntés utáni helyreállítások miatt tűnik viszonylag kedvezőnek. Ugyanakkor Boldván a romatelepet az elmúlt évtizedben majdnem minden évben elöntötte a víz, amely tönkretett több lakóépületet, erős fertőzésveszélyt okozott, mivel kimosta az emésztőgödrök tartalmát. Boldva egyébként az emberi beavatkozás jelentőségét is jól illusztrálja: a romatelepe a falu legmélyebb pontján, több oldalról is gáttal körbevett területen fekszik, így fokozottan ár- és belvízveszélyes terület.

Részben kapcsolódva az előzőkhöz az *árvizek* helyi lakosságra, a települések épületállományára és gazdasági lehetőségeire kifejtett *hatását* is vizsgáltuk beregi és borsodi mintaterületeken. Beregben a 2001-ben, Borsodban 2010-ben a tavaszi árvíz pusztított: az előbbi térségben kilenc, az utóbbiban öt települést öntött el az ár. A beregi árvíz mintegy 1000 házat rombolt le, az újjáépítések eredményeként azonban a falvak gyorsan újjáépültek, a felépített típusházak pedig a korábbinál kedvezőbb életkörülményeket biztosítottak a lakóknak (1–2. kép). Mivel a következmények már tisztábban láthatók a 2001-es beregi árvíz által érintett településeken, így jelenleg is elsősorban ezekkel foglalkozunk.

Kutatásunk során egyrészt a korabeli újságcikkeken végeztünk tartalomelemzést, másrészt a KSH és más adatforrások statisztikai adatbázisát elemeztük, illetve az árvíz által legjobban érintett kilenc beregi településen folytatunk kérdőíves felmérést ( $n = 426$ , elemzési egység = lakos). Mindezt négy település (Tarpa, Tákos, Gulács és Jánd) polgármesterével készített interjú egészítette ki.

A vizsgált térségben 2001–2011 között is népességfogyást tapasztaltunk, nagyobb, mint 1960–1990 között. Leggyorsabban azon települések népességszáma csökkent (Jánd, Gulács és Tákos népességszáma mintegy 20%-kal), amelyeket a legerősebben érintett az árvíz (RAKONCZAI – PRISTYÁK, 2003).

A kérdőívesítés során a megkérdezettek 70%-a adott érdemi választ arra, hogy hová költöztek el településükről az árvíz következtében. A válaszadók csaknem 29%-a nyilatkozott úgy, hogy már gondolkozott azon, hogy elköltözik az árvíz után. Legnagyobb arányban azokból a településekből kívántak elköltözni (Gulács, Jánd, Tákos), amelyek a legnagyobb árvízjárást szenvedték el. Az árvíz után ugyanakkor beköltözés is folyt a vizsgált településekre. A megkérdezettek csaknem 300 esetben adtak értékelhető választ arra a kérdésre, hogy honnan jöttek beköltözők az árvíz után. Legnagyobb arányban a környékbeli községek jelentek meg (33%), kiemelve Jánd, ahonnan elsősorban Gergelyugornyára költöztek nagy számban. A beköltözők között az elköltözőkhöz képest felülreprezentáltak a fiatal, magas iskolai végzettségű, munkahellyel rendelkező, gazdagabb emberek (Tákos, Csaroda), de kissé több a szegény és a roma is (Tarpa, Hetefejérce).

Az árvíz következményei a települések lakásállományának átalakulásában is érzékelhetők: a vásárosnaményi kistérségben a lakások csaknem 5%-a megsemmisült 2001.

Ez a csökkenés azonban korántsem mutatja ténylegesen a pusztulás mértékét. 2001-ben elemi csapás miatt 1062 lakás szűnt meg a vásárosnaményi kistérségben, a kistérség lakásállományának csaknem 9%-a. Hét településen ugyanakkor ez az arány 20% feletti, de Csarodán például a lakásállomány 38%-a semmisült meg az árvíz miatt (1. ábra). Átalakult a települések lakásállományának minősége is. Akiknek összedőlt a háza, vagy le kellett bontani, azok negyede ma lényegesen jobb, csaknem fele pedig jobb lakáskörülmények között él, mint az árvíz előtt. Ezzel szemben, akiknek ki lehetett javítani a káraikat, csak 25, akiket pedig nem ért kár, csak 15%-uk él jobb lakáskörülmények között, mint az árvíz előtt.

A globális klímaváltozás igen érzékenyen érinti a *mezőgazdálkodást és a terület-használatot* (EEA, 2008, OLESEN – BINDI, 2002). A konkrét vizsgálatok a területhasználathoz való átalakulására, a tájökölógiai diverzitás változására irányultak, illetve bányavak és a halastavi gazdálkodás szerepére a Duna–Tisza közének szárazodásában.

Elemzéseink anyagát országos lefedettségű adatbázisok adták (pl. Corine Land Cover és a Corine Land Cover Change), melyeket térinformatikai módszerekkel dolgoztunk fel. Ezek segítségével 1990–2006 közötti időszakokra különféle diverzitási indexeket számoltunk (WILLEMS et al., 2000 alapján). Emellett a Víz Keretirányelv hazai végrehajtásához kapcsolódó dokumentumok tartomelemzését is elvégeztük.

A területhasználathoz 1990 után bekövetkezett negatív tendenciák az Alföldön belül elsősorban a Nyírséget, illetve a Duna–Tisza közét érintették. E változásokat elsősorban a mezőgazdaság válsága, másrészt a kárpótlás folyamata okozta, eredményeképpen csökkentek a rétek/legelők, illetve az átmeneti erdős-cserjés területek. Az európai uniós támogatások megjelenése szintén kedvezőtlen változásokat okozott, melyben elsősorban a szántóterületek, a szőlő-gyümölcs területek, valamint az erdők voltak érintettek.

A szárazodás legerőteljesebben a Duna–Tisza közti Homokhátságot sújtja, ahol a felszíni vízkivétel célja mezőgazdasági, ezen belül öntözési és halászati célokat szolgál. Az Alsó-Tisza-völgy vízgyűjtő területén 2005–2008 között a vízkivétel mintegy 4,5-szeresére emelkedett, ezen belül a halastavak üzemeltetése miatti vízkivétel nőtt jelentősen. Becslésünk alapján 2015-ig 13,5%-os vízigény-, illetve vízkivétel növekedést lehet feltételezni a Duna-Tisza köze térségében. A mennyiségi problémák mellett minőségi problémák is fellépnek. A terület természetes vizeibe, csatornáiba a halas- és horgásztavakból leeresztett vízmennyiség magasabb szervesanyag-tartalmával, eltérő kémhatásával és mésztartalmával módosítja az életfeltételeket.

A problémák orvoslására két alapvető cselekvési irány fogalmazható meg: egyrészt a térségi vízviasszatartás (akár kommunális szennyvizek esetében is), és ezzel együtt a víztakarékos termelési formák elterjesztése, másrészt a vízpótlás. Mindezen problémákat ugyancsak csak az aktorok széles körének bevonásával lehet megoldani (2. ábra).

További kutatásunkban arra voltunk kíváncsiak, hogy a *szub- és dezurbanizációban* a motivációk között szerepelnek-e a klímaváltozással kapcsolatos tényezők? Ennek feltárására lakossági kérdőíves felmérést végeztünk 2011 márciusában: 403 családot kérdeztünk meg mintegy 35 településen, melyek több típusból álltak: potenciálisan szuburbán (Szeged, Székesfehérvár, Dunaújváros és Budapest környéke), dezurbán (Balaton-felvidék, Hévíz környéke, Velencei-tó térsége, a budapesti agglomeráció peremei).

Mind a szuburbán, mind a dezurbán terekbe való költözés esetében legfontosabb szempontnak a környezeti kérdések bizonyultak: a korábbi lakóhely környezetének negatív, a jelenleginek a pozitív volta. Emellett a saját ház iránti igény és a nagyobb lakásméret szükségessége, valamint a kert, illetve gazdálkodás lehetősége bizonyult fontosnak. A dezurbán tereknél a klasszikus szuburbán előnyök fontossága kevésbé hangsúlyos, ellenben a munkahely megváltozása lényegesen fontosabbnak bizonyult. A lakás fizikai jellemzői és a környezeti állapot vonatkozásában a szuburbán terekben nagyobb az eltérés. A munkahely és a szolgáltatások elérhetősége esetében ugyanakkor a dezurbán terekben nagy a különbség.

Összességében a migrációs folyamatok hátterében, a költözési motivációk elemeként a természeti körülmények értékelése, a környezet állapotának kérdése is fontosnak bizonyul. Ugyan ennek jelentősége nem kizárólagos, de más motivációs elemekkel összefonódva befolyásolja a válaszadókat a költözés helyének megválasztásában.

Még a globális klímaváltozás ismertté válását megelőzően számos kutatás keresett kapcsolatot az *egészségi állapot, a komfortérzet és egyes időjárási jelenségek* között. A globális klímaváltozás ezeket a kutatásokat új megvilágításba helyezte. Általában azokat a veszélyeket veszik sorra, amelyek a globális egészséget veszélyeztetik, többnyire globális kontextusban.

Kutatásunkban azt vizsgáltuk, hogy hogyan függ össze az „egészség megítélése”, annak kapcsolata egyes időjárási eseményekkel, a komfortérzettel egy lokális téren, egy városon belül vizsgálva városrészenként attól függően, hogy milyen annak a városrésznek a jellege? Arra a kérdésre is kerestük a választ, hogy az egyes városrészek lakói hogyan védekeznek az időjárási szélsőségekkel szemben? Ezen belül kiemelt figyelmet fordítottunk az épületek energetikai korszerűsítésére.

E kérdések megválaszolásához 2011 tavaszán kérdőíves felmérést végeztünk szegedi mintaterületeken. Az adatfelvétel területeiteknek meghatározását korábbi kutatások eredményei (BOROS, 2008) és terepbejárás során alakítottuk ki: három városszerkezeti-típust további altípusokkal (3. ábra). A minta részben kvótás, részben véletlen volt: 3000 háztartás felkeresése során 1256 kérdőív került kitöltésre.

A vizsgált népesség általános egészségi állapotáról nem, azonban a szubjektív egészségéről sikerült képet alkotnunk. Részben az egészségi állapot önértékelésével, részben az ismert, orvos által megállapított – különösen időjárás-érzékeny – krónikus megbetegedések felmérésével. Itt olyan betegségekre koncentráltunk, amelyek a szakirodalom alapján élettanilag összefüggnek valamilyen időjárási jelenséggel. A felmérés alapján igen magas azoknak az aránya, akik tudnak magas vérnyomás betegségükről. Itt is kirajzolódnak azonban területi különbségek: a legkevesebben a villanegyedben szenvednek ettől a betegségtől, míg a legtöbben az alsóvárosi kisvárosias övezetben. Allergia ugyanakkor ritkábban fordul elő a családi házas városrészekben és a Belvárosban, míg a lakótelepeken és a kisvárosias övezetekben gyakrabban. Az ízületi problémák is az alsóvárosi kisvárosias övezetben a leggyakoribbak.

Általában a megkérdezettek nagyobb részére nincs komolyabb hatással az időjárás. Összességében az extrém, vagy az átlagostól eltérő időjárási helyzetek az alsóvárosi vegyes övezetben és a lakótelepeken okoznak a legkisebb gondot az ott élőknek. Az ugyanebbe a típusba tartozó felsóvárosi vegyes övezetben élőknek van a legtöbb problémájuk az időjárási hatásokkal. Elemeire bontva sok területi különbség figyelhető meg: a legnagyobb arányban a lakótelepek és a villanegyed népessége szenved hidegfrontkor,

az újszegedi villanegyedben viszont a párás melegtől szenvedők aránya nagyobb (4. ábra).

A kutatás során külön fókuszáltunk lakótelepekre, mivel a szegedi lakás 41%-a található panel technológiával készült lakótelepen. A felmérés megerősítette, hogy az energetikai korszerűsítésen átesett lakótelepi lakások tulajdonosai lényegesen elégedettebbek lakásukkal, lakókörnyezetükkel, mint az energetikailag nem korszerűsítettek tulajdonosai. Az elégedettséghez hozzátartozik a kiegyenlítettebb hőmérséklet, a télen kevésbé száraz beltéri levegő. Így megállapítható, hogy az ilyen lakásban élőköt a növekvő időjárási szélsőségek kevésbé érintik.

A globális klímaváltozás lokálisan megjelenő hatásai nemcsak egy városban vagy városrészben érhetők tetten, hanem az *intézményi tereket*, azok működését is befolyásolják. A plázák új funkciókkal is bírnak: a modern kor agóráinak tekinthető bevásárlóközpontok szociális térként jelennek meg a lakosság térhasználatában. Kutatásunkban arra kerestük a választ, hogy a lakosság plázába járási szokásait hogyan befolyásolják az évszakok vagy az extrém időjárási helyzetek (pl. kánikula), illetve hogy milyen szerep jut a klimatizáltságnak, felértékelődik-e annak szerepe?

Ehhez kapcsolódóan kérdőíves felmérést végeztünk 2011 őszén, a Dél-Alföldi megyeszékhelyein, valamint a fővárosban. Az adatfelvétel helyszínéeként Budapesten a regionális vonzáskörű plázákat és a közlekedés szempontjából kulcsfontosságú helyek közelében lévő forgalmas köztereket választottuk ki, a megyeszékhelyek esetében pedig a leginkább frekvenciált helyszíneket jelöltük ki. A felmérésbe több mint ötszáz főt vontunk be (n=565) véletlen mintavétellel.

Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy míg télen a válaszadók ritkábban járnak a bevásárlóközpontokba, addig a melegebb időszakokban a látogatási gyakoriság jelentősen megnő. (Télen a válaszadók 14 %-a átlagosan kéthetente látogatja a plázákat, ezzel szemben ez az érték tavasszal 20, nyáron pedig 18%.) Az évszakonként eltérő plázalátogatási szokásokhoz képest markánsabban jelenik meg a válaszadók szélsőséges időjárási helyzetben megmutatkozó, a szabadidő-eltöltéshez kapcsolódó magatartása. A megkérdezettek 42%-ával fordult már elő, hogy a rendkívüli időjárás (kánikula vagy nagy hideg) miatt töltötte a szabadidejét bevásárlóközpontban. Az itt biztosított kiegyenlített hőmérséklet ugyanis kiemelt preferenciaként jelenik meg a megkérdezettek vásárlási és szabadidős tevékenységeinek helyszínének megválasztásában: a válaszadók 81%-a a klímaberendezéssel ellátott helyiségeket részesíti előnyben az előbbi tevékenységek kapcsán.

A kiegyenlített klíma, a kényelmi szempontok előtérbe helyezése a szabadidő-eltöltést és vásárlást illetően elsősorban a társadalom fiatalabb generációinál jelenik meg. Az eredmények alapján feltételezzük, az éghajlatváltozás kísérőjelenségeinek tekinthető időjárási szélsőségek mérsékelt égövi megjelenése kihatással bír a fogyasztói szokások, így a plázák használatának alakulására nézve is.

## **LIST OF PUBLICATIONS SUPPORTED BY TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005**

The success of the two-year-long research program is confirmed by high publication activity: 3 books, almost 80 journal articles (12 with IF), 3 doctoral theses, 4 student's research papers (TDK), more than 20 theses and 5 journal articles in press (2 with IF). The results of the research were presented in several international conferences (26 conference abstracts were published) and the public importance of the research was confirmed by many media representations (television, newspapers).

### **A KUTATÁSI PROGRAM SORÁN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK**

A két éves kutatási program eredményességét bizonyítja a kimagasló publikációs tevékenység. A 3 önálló kötet, a közel 80 megjelent szakcikk (ebből 12 impact faktoros kiadványban), 3 PhD disszertáció, 4 tudományos diákköri dolgozat és több mint 20 szakdolgozat/diplomamunka mellett további 5 szakcikk áll megjelenés előtt (ebből 2 impact faktoros). Ezen alább felsorolt eredményeken túl számos nemzetközi konferencián mutatta be a kutatói kollektíva eredményeit (ezekhez kapcsolódva 26 konferencia abstract született), és tucatnyi média szereplés (TV, napi sajtó) bizonyította a kutatások társadalmi fontosságát.

#### **Book/Önálló kötet**

- Ladányi Zs. (szerk.) 2011: A biodiverzitás monitorozása a közoktatásban. Hogyan kapcsolódhatnak diákok a biológiai sokféleség állapotának és változásainak hosszú távú megfigyeléséhez? Beretzk Péter Természetvédelmi Klub, Röszke, 87 p. ISBN 978-963-08-2114-8
- Rakonczi J. (szerk.) 2011: Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány kötetei 7, Békéscsaba. 396 p. ISBN 978 963 85437 8 3
- Rakonczi J. – Ladányi, Zs. (eds.) 2012: Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). A klímaváltozás kutatás válogatott eredményei a Szegedi Tudományegyetemen (2010–2012). Szeged, 128 p.

#### **Journal article, book chapter/Szakcikk, könyvfejezet**

- Bácsmegi, G. – Sümegi, P. 2010: Geoarcheológiai vizsgálatok Szurdokpuspöki – Hosszúdűlő lelőhelyen. (Geoarcheological investigation at Szurdokpuspöki – Hosszúdűlő). In: Guba Sz. – Tankó, K. (szerk.): „Régről kell kezdenünk”... *Studia Archaeologica in honorem Pauli Patay*. Régészeti tanulmányok Nógrád megyéből Patay Pál tiszteletére. Szécsényi Múzeum Kiadványa, Szécsény. 327–336.
- Bajmócy P. – Bozsó N. – Horváth E. 2012: A 2001-es árvíz hatásai a városnaményi kistérség településeinek társadalmára. – In: Társadalomföldrajzi kihívások a XXI. század Kelet-Közép-Európájában. *Beregszász*. 225–236.
- Bajmócy P. – Dudás R. – Hosszú Sz. – Fekete Gy. 2012: Urbanizációs trendek a rendszerváltozás utáni Magyarországon. – In: Pál Viktor (szerk.): *A társadalomföldrajz globális és lokális kérdései*. Tiszteletkötet Dr. Mészáros Rezső 70. születésnapja alkalmából, Szeged. 95–110.

- Bajmócy P. – Hosszú Sz. – Dudás R. – Balizs D. 2011: A szuburbanizáció és a dezurbanizáció motivációi Magyarországon. In: Csapó T. – Kocsis Zs. (szerk.): Az 1971. évi OTK és hatásai a hazai településrendszerre. Savaria University Press, Szombathely. 181–194.
- Bajmócy, P. – Boros, L. – Csatári, B. – Dudás, R. – Farkas, J. Zs. – Juray, T. – Kovács, Z. – Pál, V. 2012: Managing the socio-economic consequences of the climate change. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). 105–120.
- Barna Gy. – Ladányi Zs. – Rakonczai J. – Deák J. Á. 2011: Változó alföldi táj: a talaj-víz-növényzet kapcsolatrendszer vizsgálata különböző mintaterületeken. In: Farsang A. – Ladányi Zs. (szerk.) Talajaink a változó természeti és társadalmi hatások között. Talajvédelem különszám, Talajvédelmi Alapítvány, 117–126.
- Bátori, Z., Kelemen, A., Aradi, E. and Zalatnai, M. 2011: A new population of *Astragalus dasyanthus* Pall. in the Southern Kiskunság (Hungary). *Tiscia* 38, 19–27.
- Bihari, P. – Sipos, B. – Melika, G. – Fehár, B. – Somogyi, K. – Stone, G. N. – Péntes, Zs. 2011: Western Palearctic phylogeography of an inquiline oak gall wasp, *Synergus umbraculus*. *Biological Journal of the Linnean Society* 102 (4), 750–764.
- Blanka V. – Kiss T. 2011. Kanyarulatfejlődés dinamikájának vizsgálata természeti és antropogén hatások tükrében. In: Unger, J.– Pál-Molnár, E. (szerk.): *Geoszférák 2010*. *GeoLitera*, Szeged, 9–40.
- Blanka, V. – Mezősi, G.– Loibl, W. – Szépszó G. – Csorba, P. – Meyer, B. – Bata, T. – Nagy, R. – Vass, R. 2012: Meso-region scale change of climate in the 21th century and its potential impacts on the environment in the Carpathian Basin. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). 25–40.
- Csatári B. – Farkas J. Zs. 2012: A város-vidék peremzóna sajátos geográfiai jellemzői és konfliktusai Kecskemét példáján. In: Farsang A. – Mucsi L. – Keveiné Bárány I. (szerk.): *Táj – érték, lépték, változás* Szeged. *GeoLitera*, 197–210. ISBN:978-963-306-151-0
- Csorba P. – Blanka V. – Vass R. – Nagy R. – Mezősi G. – Meyer B. 2012: Hazai tájak működésének veszélyeztetettsége új klímaváltozási előrejelzés alapján. *Földrajzi Közlemények* 3. 274–289.
- Deák J. Á. 2011 Csongrád megye kistájainak élőhely-mintázata és tájökölógiai szempontú értékelése. In: Unger J. – Pál-Molnár E. (szerk.) *Geoszférák 2010*. *GeoLitera*, Szeged. 79–128.
- Deák J. Á. 2011: A növényzet tájléptékű változásai a Kiskunság délkeleti részén. In: Rakonczai J. (szerk.) *Környezeti változások és az Alföld*. A Nagyalföld Alapítvány kötetei 7, Békéscsaba. 327–338.
- Égerházi, L. – Gulyás, Á. – Kántor, N. – Kevei-Bárány, I. – Kiss, M. – Makra, L. – Samu, A. – Tanács, E. – Unger, J. 2012: Investigations at the Department of Climatology and Landscape Ecology in the frame of the project ‘TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005’. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012), 89–104.
- Égerházi, L. – Kántor N. 2011: Area usage of two outdoor public places with regard to the thermal conditions – observation-based human thermal comfort study in the centre of Szeged. *Acta Climatologica et Chorologica*, 44–45, 73–81.

- Erdős, L. – Zalatnai, M. – Morschauer, T. – Bátori, Z. – Körmöczi, L. 2011: On terms related to spatial ecological gradients and boundaries. *Acta Biol. Szegediensis* 55. 2. 279–287.
- Farsang A. – Barta K. – Bartus M. – Négyesi G. – Szatmári J. 2011: Szélsőséges időjárási jelenségek egyik lehetséges talajtani következménye az Alföldön: defláció okozta tápanyag veszteség becslése csernozjom talajainkon. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány kötetei 7. 271–283.
- Farsang A. – Szatmári J. – Négyesi G. – Bartus M. – Barta K. 2011: Csernozjom talajok szélereződés okozta tápanyag-áthalmozásának becslése szélcsatorna-kísérletekkel. *Agrokémia és Talajtan* 60. 87–102.
- Gál N. – Farsang A. – Barta K. 2012: A belvízelöntés talajszerkezetre gyakorolt hatásának vizsgálata csernozjom talajú mintaterületen. (VIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia). Veszprém, Götter Kiadó, 118–120. ISBN 978-963-86627-2-9
- Guba, Z. – Matyasovszky, I. – Makra, L. – Sümegehy, Z. 2011: Multivariate analysis of respiratory disorders in relation to environmental factors. *Acta Climatologica et Chorologica* 44–45, 135–153.
- Gulyás, S. – Sümegehy, P. 2011: Farming and/or foraging? New environmental data to the life and economic transformation of Late Neolithic tell communities (Tisza Culture) in SE Hungary. *Journal of Archaeological Science*, 38 (12): 3323–3339. **(IF: 1,71)**
- Gulyás, S. – Sümegehy, P. 2011: Riparian environment in shaping social and economic behavior during the first phase of the evolution of Late Neolithic tell complexes in SE Hungary (6th/5th millennia BC). *Journal of Archaeological Science* 38 (10), 2683–2695.
- Gulyás, S. – Sümegehy, P. 2012: The reconstructions of past hydrologies of River Tisza using multivariable archeomalacological analysis. In: Geiger, J. – Pál-Molnár, E. – Malvic, T. (eds.): *New Horizons in Central European Geomathematics, Geostatistics and Geoinformatics*. Geolitera Publishers, 113–131.
- Hoyk, E. – Farkas, J. Zs. – Vecseri, Cs. 2012: The effects of fishpond's husbandry on the groundwater in the Sand Ridge between the Danube and Tisza rivers: Proceedings of the 11th Alps-Adria Scientific Workshop, – *Water. Növénytermelés* 61:(Suppl. 1) 337–340.
- Hupuczsi J. – Sümegehy P. 2011: A madarasi téglagyári löszszelvény legújabb malakológiai vizsgálatának eredményei. *Archeometriai Műhely*, 2. pp. 157–161.
- Juray T. – Gázsó M. 2012: Gondolatok és tények a plázáknak mint új szociális tereknek a funkciójáról egy hazai vizsgálat tükrében. – In: Pál Viktor (szerk.): *A társadalomföldrajz globális és lokális kérdései*. Tiszteletkötet Dr. Mészáros Rezső 70. születésnapja alkalmából, Szeged. 122–133.
- Kántor N. – Gulyás Á. – Égerházi L. – Unger J, 2010: Komplex humánkomfort vizsgálatok városi környezetben. II. rész. *Légekör* 55, 115–126
- Kántor N. – Gulyás Á. – Unger J, 2010: Komplex humánkomfort vizsgálatok városi környezetben. I. rész. *Légekör* 55, 108–114
- Kántor, N. – Unger, J. 2011: The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature. *Central European J Geosciences* 3, 90–100. DOI:10.2478/s13533-011-0010-x
- Kiss M. – Tanács E. – Keveiné Bárány I. 2011: Karsztos erdők szénmegkötésével kapcsolatos számítások egy erdőrezervátum adatai alapján. *Karsztfejlődés* XVI. 157–166.



- Kiss, T. – Blanka, V. 2012: River channel response to climate- and human-induced hydrological changes: Case study on the meandering Hernád River, Hungary. *Geomorphology*. doi:10.1016/j.geomorph.2012.07.003 (**IF: 2.520**)
- Kovács Cs. 2012: A klímaváltozás és hatásai a borszőlőtermelésre. In: Pál Viktor (szerk.): A társadalomföldrajz globális és lokális kérdései. Tiszteletkötet Dr. Mézszáros Rezső 70. születésnapja alkalmából, Szeged. 87–94.
- Kovács Z. – Herpai T. 2012: A panelprogram társadalmi és környezeti hatásai Szegeden. – In: Környezettudatos energiatermelés és felhasználás. A II. Energia és Konferencia. Debrecen. 322–328.
- Ladányi Zs. 2011: A természeti és társadalmi környezet hatása egy Duna-Tisza közti kistájra. Illancs környezetállapota és tájváltozásai az elmúlt évszázadban. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány kötetei 7, Békéscsaba, 295–306.
- Ladányi, Zs. – Blanka, V. 2011: Dendrokronológiai vizsgálatok *Pinus sylvestris* fafajon, esettanulmány a Duna–Tisza közén. *Proceedings of the 17th Int. Symp. on Analytical and Environmental Problems*, 134–137.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Deák, Á.J. (2011): A Hungarian landscape under strong natural and human impact in the last century. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6 (2), 35–44. (**IF: 1.579**)
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – van Leeuwen, B. 2011: Evaluation of precipitation-vegetation interaction on a climate-sensitive landscape using vegetation indices. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5, 053519, doi:10.1117/1.3576115. (**IF: 0.644**)
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. 2011: Habitat changes of an alkaline lake, South Hungary. *Proceedings of the 17th Int. Symp. on Analytical and Environmental Problems*, 138–141.
- Makra L. – Mika J. – Szentpéteri M. – Unger J. 2011: Nagyvárosaink légszennyezettsége és hősziget-hatása a klímaváltozás tükrében. *A Földrajz Tanítása* 19. 1. 3–13.
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Bálint, B. 2012: Association of allergic asthma emergency room visits with the main biological and chemical air pollutants. *Science of the Total Environment*, 432, 288–296. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.05.088 (**IF: 3.286**)
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Deák, J. Á. 2011: Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in Central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmospheric Environment*, 45(33), 6010–6018. (**IF: 3.465**)
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Guba, Z. – Karatzas, K. – Anttila, P. 2011: Monitoring the long-range transport effects on urban PM10 levels using 3D clusters of backward trajectories. *Atmospheric Environment* 45, 2630–2641 (**IF: 3.226**)
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Ionel, I. – Popescu, F. – Sümeghy, Z. 2011: Connection between meteorological elements and pollutants concentrations at Szeged, Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica* 44–45, 127–134.
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Thibaudon, M. – Bonini, M. 2011: Forecasting ragweed pollen characteristics with nonparametric regression methods over the most polluted areas in Europe. *International Journal of Biometeorology*, 55(3), 361–371.
- Makra, L. – Matyasovszky, I. 2011: Trends in the characteristics of allergenic pollen in Szeged, Hungary. *Acta Climatologica et Chorologica* 44–45, 111–125.
- Makra, L. – Sánta, T. – Matyasovszky, I. – Damialis, A. – Karatzas, K. – Bergmann, KC. – Vokou, D. 2010: Airborne pollen in three European cities: Detection of

- atmospheric circulation pathways by applying three-dimensional clustering of backward trajectories. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 115, D24220, doi:10.1029/2010JD014743 (IF: 3.303)
- Matyasovszky, I. – Makra, L. – Bálint, B. – Guba, Z. – Sümeghy, Z. 2011: Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants. *Atmospheric Environment* 45, 4152–4159 (IF: 3.465)
- Matyasovszky, I. – Makra, L. – Guba, Z. – Pátkai, Zs. – Páldy, A. – Sümeghy, Z. 2011: Estimating the daily Poaceae pollen concentration in Hungary by linear regression conditioning on weather types. *Grana* 50, 208–216. (IF: 0.842)
- Matyasovszky, I. – Makra, L. – Guba, Z. – Pátkai, Zs. – Páldy, A. – Sümeghy, Z., 2011: Estimating the daily Poaceae pollen concentration in Hungary by linear regression conditioning on weather types. *Grana*, 50(3), 208–216. (IF: 0.842)
- Matyasovszky, I. – Makra, L. 2012: Estimating extreme daily pollen loads for Szeged, Hungary using previous-day meteorological variables. *Aerobiologia*, 28 (3), 337–346. DOI: 10.1007/s10453-011-9238-7 (IF: 1.515)
- Mezősi, G. – Bata, T. 2011: Further GIS solution for the better definition of geographical/landscape boundaries. In: Lechnio, J. (ed.): *Four dimensions of landscape*. Polish Association for Landscape Ecology Warsaw 66–77.
- Mezősi, G. – Meyer, B. C. – Loibl, W. – Aubrecht, C. – Csorba, P. – Bata, T. 2012: Assessment of regional climate change impacts on Hungarian landscapes. *Reg Environ Change* 12/3 457–478 DOI 10.1007/s10113-012-0326-1 (IF: 3.001)
- Molnár D. – Sávai Sz. – Hupuczi J. – Galovic L. – Sümegi, P. 2011: Kelet-horvátországi lösz-paleotalaj sorozatok malakológiai elemzése. *Archeometriai Műhely*, 2. 127–136.
- Náfrádi, K. – Bodor, E. – Törőcsik, T. – Sümegi, P. 2011: Vegetation history reconstructed from anthracology and pollen analysis at the rescue excavation of the MO Motorway, Hungary. *Central European Journal of Geosciences*, 4. 358–367.
- Nagy Gy. – Bán A. 2012: A környezeti igazságtalanság kockázatai Boldván, különös tekintettel az allergiás légúti megbetegedésekre. – In: *Társadalomföldrajzi kihívások a XXI. század Kelet-Közép-Európájában*. Beregszász. 332–339.
- Nagy Gy. 2012: Környezeti igazságtalanság a kárpát-medencei kisebbségek körében. In: *Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei IV. 3. (No.9.) Társadalomtudományi (történelem, regionális tudomány és geográfia) tematikus szám*, Szeged, 170–177.
- Puskás, I. – Farsang, A. – Balog, K. – Gál, N. 2011: Influence of water shortage and drought on some soil types of Danube–Tisza Interfluve, Hungary. *2nd International Conference for Development of Environmental Engineering Education*, Proceeding 129–135. ISBN 978-80-8086-185-8
- Puskás, I. – Gál, N. – Farsang, A. 2012: Impact of weather extremities (excess water, drought) caused by climate change on soils in Hungarian Great Plain (SE Hungary). In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): *Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012)*. 73–88.
- Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Deák J. Á. 2012: A földrajz és a tájökológia szerepe a klímaváltozás következményeinek értékelésében. In: Farsang A. – Mucsi L. – Keveiné Bárány I. (szerk.): *Táj- érték, lépték, változás*. SZTE TTIK FFT, Szeged, 137–144.

- Rakonczi J. 2011: Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás. In: Rakonczi J. (szerk.) *Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány kötetei 7*, Békéscsaba, 137–148.
- Rakonczi, J. – Ladányi, Zs. – Deák, Á.J. – Fehér, Zs. 2012: Indicators of climate change in the landscape: investigation of the soil – groundwater – vegetation connection system in the Great Hungarian Plain. In: Rakonczi, J. – Ladányi, Zs. (eds.): *Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012)*, 41–58.
- Rakonczi, J. 2011: Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin., In: Blanco, J. A. – Kheradmand, H. (eds.): *Climate Change – Geophysical foundations and ecological effects*. Intech Open Access Publisher. 297–322. ISBN 978-953-307-419-1
- Samu, A. – Kiss, M. – Tanács, E. 2010: Környezeti változások modellezése Bayeshálók segítségével, karsztos tavak eutrofizációjának példáján. In: Jakab, G. – Madarász, B. – Őrsi, A. – Pálincás, M. (eds.) *Tájökológiai Kutatások. MTA Földrajz-tudományi Kutatóintézet, Budapest* 239–247.
- Sümegei P. – Kozák J. – Tóth, Cs. 2011: A Tiszapolgár–Kenderföld bronzkori tell kagylóanyagának táplálkozásbiológiai (paleozoológiai) feldolgozása. *Archeometriai Műhely*, 2. 197–208.
- Sümegei P. 2010: Az Északi középhegység negyedidőszak végi őstörténete. Ember és környezet kapcsolata a szubkárpati (felföldi) régióban. (Paleohistory of the Northern Mountains at the end of Quaternary. Connection between Man and environment in the Subcarpathian–Upland region). In: Guba Sz. – Tankó, K. (szerk.): „Régről kell kezdenünk”... *Studia Archaeologica in honorem Pauli Patay*. Régészeti tanulmányok Nógrád megyéből Patay Pál tiszteletére. Szécsényi Múzeum Kiadványa, Szécsény. 295–326.
- Sümegei P. 2011: Archeomalakológiai vizsgálatok Magyarországon. *Archeometriai Műhely*, 2. 101–116.
- Sümegei P. 2011: Kis-balatoni és balatoni fúrások archeomalakológiai vizsgálatának eredményei. *Archeometriai Műhely*, 2. 137–156.
- Sümegei, P. – Gulyás, S. – Persaits, G. – Szelepcsényi, Z. 2012: Long environment change in the forest steppe habitat of the Great Hungarian Plain (Alföld) based on paleoecological data. In: Rakonczi, J. – Ladányi, Zs. (eds.): *Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012)*. 7–24.
- Sümegei, P. – Lócskai, T. – Hupuczi, J. 2011: Late Quaternary palaeoenvironment and palaeoclimate of the Lake Fehér (Fehér-tó) sequence at Kardoskút (South Hungary), based on preliminary mollusc records. *Central European Journal of Geosciences*, 3: 43–52.
- Tanács, E. – Szmorad, F. – Bárányi-Kevei, I. 2010: Patterns of tree species composition in Haragistya-Lófej forest reserve (Aggtelek karst, Hungary). In: Barančoková, M. – Krajčí, J. – Kollár, J. – Belčáková, I. (eds.): *Landscape ecology – methods, applications and interdisciplinary approach*. Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 767–780.
- Tanács, E. 2011: Temperature and precipitation trends in Aggtelek Karst (Hungary) between 1958 and 2008. *Acta Climatologica et Chorologica* 44–45, 51–63.
- Tóth, F. – Matyasovszky, I. – Makra, L. – Guba, Z. – Sümeghy, Z. 2011: Assessment of daily Poaceae pollen levels by linear regression for two Hungarian cities in

association of different weather types. *Acta Climatologica et Chorologica* 44–45, 155–164.

Veres Zs. – Sümegi P. – Töröcsik T. 2011: Az ócsai láp archeomalakológiai vizsgálata – A *Pomatias elegans* első radiokarbon adatokkal korolt holocén előfordulása Magyarországon. *Archeometriai Műhely*, 2. 181–196.

Zalatnai, M., – Körmöczi, L. 2012: Vegetation boundary zone in sandy grasslands and the affecting edaphic factors. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). 59–72.

### **Doctoral thesis, Student's research paper, Thesis/ PhD értekezés, TDK dolgozat, szakdolgozat**

Kántor Noémi 2012: Városi közterületek termikus komfort-viszonyainak értékelése Szeged példáján különös tekintettel a látogatók szubjektív reakcióira. Szeged, PhD értekezés. 124 p.

Ladányi Zs. 2011: Tájváltozások értékelése a Duna–Tisza közti homokhátság egy környezet- és klímaérzékeny kistáján, az Illancson. Szeged, PhD értekezés. 111 p.

Samu A, 2011: A Gömör–Tornai-karszt állóvizeinek vízminőség-értékelése, különös tekintettel a tápanyagterhelésre. Szeged, PhD értekezés. 161 p.

Berki P. 2011: Termikus komfortvizsgálat a Szegedi Tudományegyetem József Attila Tanulmányi és Információs Központjában. XXX. OTDK, Nyíregyháza.

Herpai T. 2011: A szegedi lakótelepek átalakulása a panelprogram nyomán. TDK.

Misi D. – Töviskes R. 2012: Az elmúlt 500 év éghajlati változásainak rekonstrukciója. TDK.

Takács Á. 2012: A termikus stressz térbeli eloszlásának vizsgálata szegedi közterületek példáján. XIII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia.

Baczkó É. E. 2011: Az antropogén és klimatikus hatásokra bekövetkező változások a Duna–Tisza köze táji és vegetációs mintázatában az elmúlt 200 évben, valamint a klímaváltozás várható hatásai a XXI. század végéig. Szakdolgozat

Bozsó N. 2012: Az árvizek hatása a népesség migrációjára Északkelet-Magyarországon. Diplomamunka.

Csatai D. 2011: A Szarvas–Békésszentandrás Holt-Körös bemutatása és vízminőség-vizsgálatai értékelése. Szakdolgozat

Égerházi L. 2012: Egy frekventált szegedi játszótér mikroklimatikus és termikus komfortviszonyainak értékelése. Diplomamunka.

Gilicze Z. K. 2012: A globális klímaváltozás és az egészségi állapot összefüggései szegedi városrészekben. Szakdolgozat.

Hegy K. 2011: A városi környezet humán komfort módosító hatásának elemzése két szegedi nyár példáján.

Henk B. 2011: A városi zöldterületek társadalmi funkciói, a szegedi Zápor-tavi park példáján. Szakdolgozat

Herpai T. 2012: A szegedi lakótelepek átalakulása a panelprogram nyomán. Diplomamunka.

Juhász G. 2011: Az Aggteleki- és a Tengerszem-tó vízminőségének vizsgálata. Szakdolgozat

Makra Zs. 2012: Szemben a trendekkel – Szuburbanizációs folyamatok Mórahalmon, Szakdolgozat.

- Mohácsi A. T. 2011: A mezőgazdasági tevékenység hatása alföldi csernozjom talajok szerkezetére. Környezettudományi MSc, diplomamunka
- Pesztránszkiné Mondovits, Sz. 2012: Az évgyűrűsélesség és a klímparaméterek kapcsolatának vizsgálata a Duna–Tisza közének déli részén. Diplomamunka.
- Pintér Zs. 2011: A humán komfort viszonyok kisléptékű változékonyságának elemzése egy szegedi park példáján.
- Rajki E. 2011: Az Udvari – 2A fúrás földtani hátterének elemzése és az összlet egy szakaszának vizsgálata. Földtudomány BSc, szakdolgozat.
- Schwéger Sz. 2012: A téli időjárás hatása a pókok aktivitására. Diplomadolgozat, SZTE Ökológiai Tanszék.
- Sinkó E. N. 2012: Szeged belső lakónegyedeinek társadalomföldrajzi differenciálódása. Diplomamunka..
- Szarvas Cs. 2011: A pitricsomi legelő vegetációjának ökológiai és természetvédelmi szempontú értékelése. Szakdolgozat
- Szentes A. 2012: Szub- és dezurbanizációs folyamatok vizsgálata Vác térségében. Szakdolgozat.
- Takács Á. 2011: Termikus viszonyok feltérképezése városi környezetben egy szegedi közpark példáján.
- Tölgyesi Cs. 2012: Vegetációs egységek statisztikai összehasonlítása relatív ökológiai indikátorok segítségével. Diplomadolgozat.
- Varga E. 2011: Paleoökológiai rekonstrukciós módszerek a Dél-alföld felsőpleisztocén löszszelvényei alapján. Szakdolgozat.
- Vaszkó E. 2011: Vizes élőhelyek rehabilitációja a Dél-kiskunságban. Szakdolgozat

### **Journal articles in press/Szakkikkek megjelenés alatt**

- Blanka, V. – Mezősi, G. – Meyer, B. 2012: Changes in the drought hazard in Hungary due to climate change. *Időjárás* 4. **(IF 0.575)**
- Csökmei, B. – Hammbach, U. – Gulyás, S. – Stevens, T. – Sümegi, P. 2012: Preliminary magnetic susceptibility data for paleoclimatic reconstruction in southern part of the Great Hungarian Plain during the last phase of loess development period. *Central European Geology*
- Makra, L. – Matyasovszky, I. – Páldy, A. – Deák, J. Á. 2012: The influence of extreme high and low temperatures and precipitation totals on pollen seasons of Ambrosia, Poaceae and Populus in Szeged, Southern Hungary. *Grana*, doi:10.1080/00173134.2012.661764 **(IF: 0.842)**
- Sümegi, P. – Magyarai, E. – Dániel, P. – Molnár, M. – Törőcsik, T. 2012: Responses of terrestrial ecosystems to Dansgaard-Oeshger cycles and Heinrich-events: a 28,000-year record of environmental changes from SE Hungary. *Quaternary International*.
- Farkas, J. Zs., – Hoyk, E. 2012: Possible Landscape Ecological Analysis of the CORINE Database based on GIS systems. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*



The research was funded by the Project  
„TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005 – Creating the Center of Excellence at the University of Szeged”,  
supported by the EU and co-financed by the European Regional Fund.