

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 km³) 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.

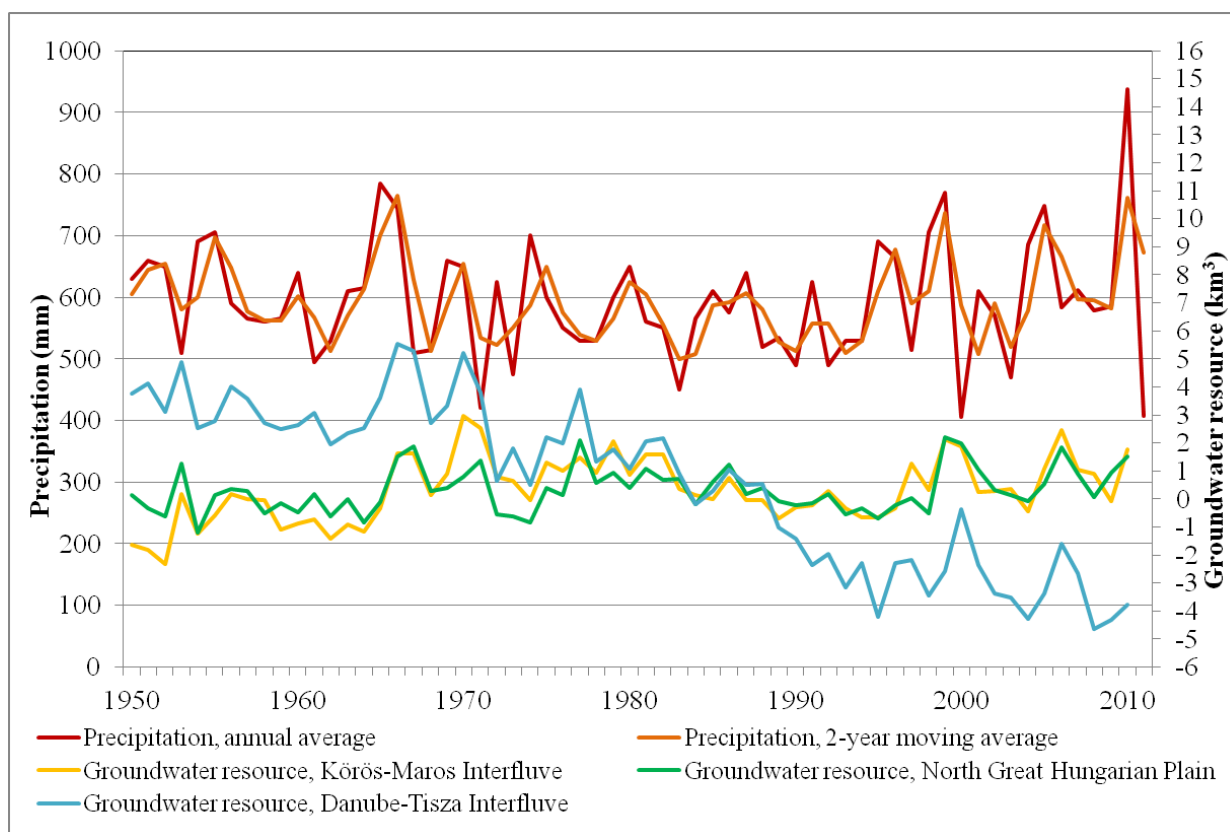


Fig. 1. Annual and 2-year moving average precipitation in Hungary (1950–2011) and the alterations of the groundwater resources compared to the average between 1950 and 2010
1. ábra. Az országos évi csapadék és a kétéves csúsztatott átlag (1950–2011), valamint a talajvízkészlet eltérése az 1950–2010 évek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

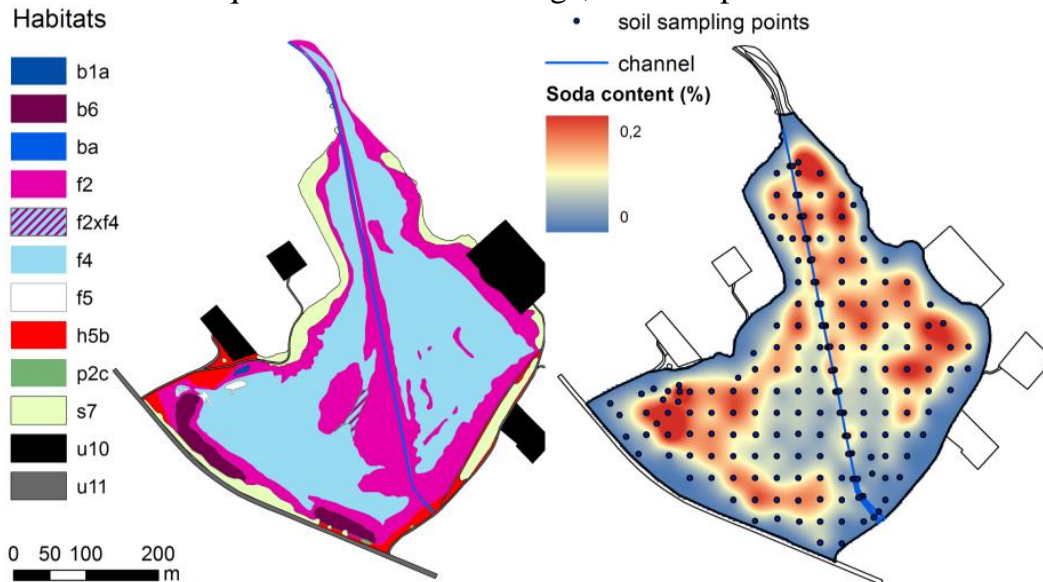


Fig.2. Habitat map of Lake Kancsal in 2009 and the interpolated map of soda content of upper soil in 2009

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

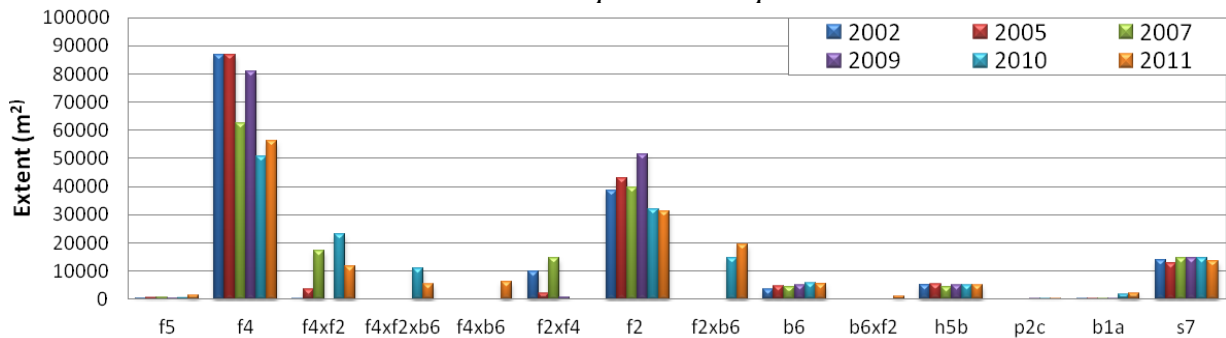


Fig. 3. Altering extensions of habitats in the investigated period

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 μ 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 μ 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.

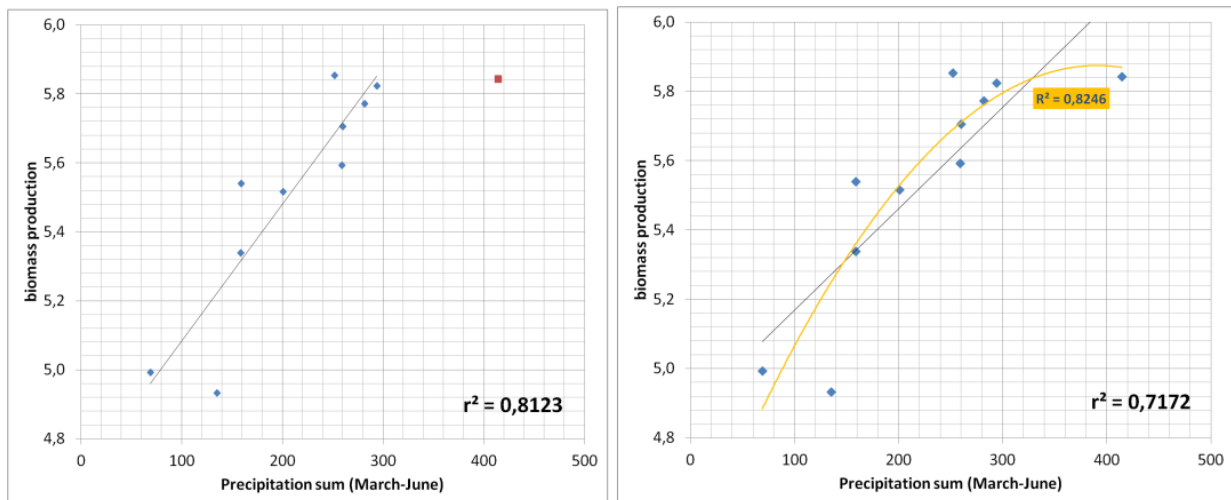


Fig. 4. The connection between biomass production and precipitation in the forests of *Illancs* microregion

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.

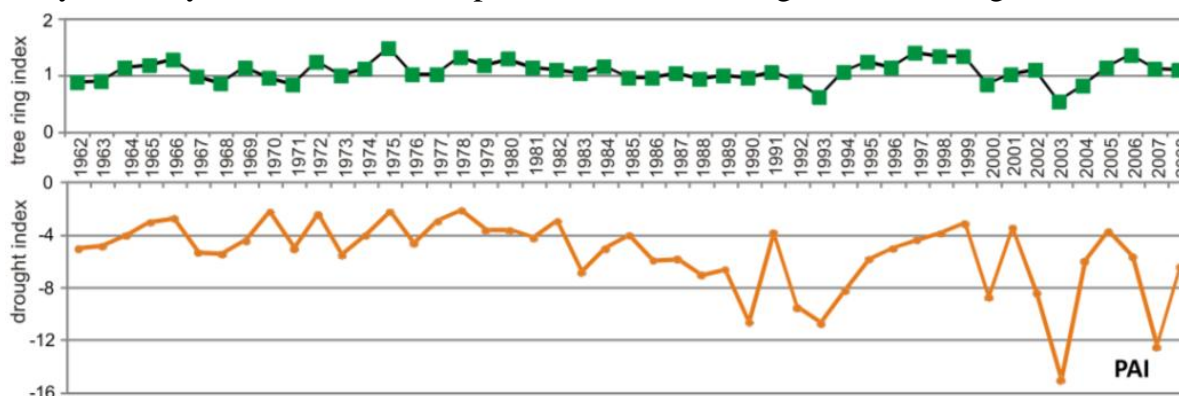


Fig. 5. Mean tree-ring indices of *Pinus sylvestris* samples in Illancs microregion and the Pálfaí Drought Index values

5. ábra. Az erdei fenyő minták átlagos évgűrűindexei 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.

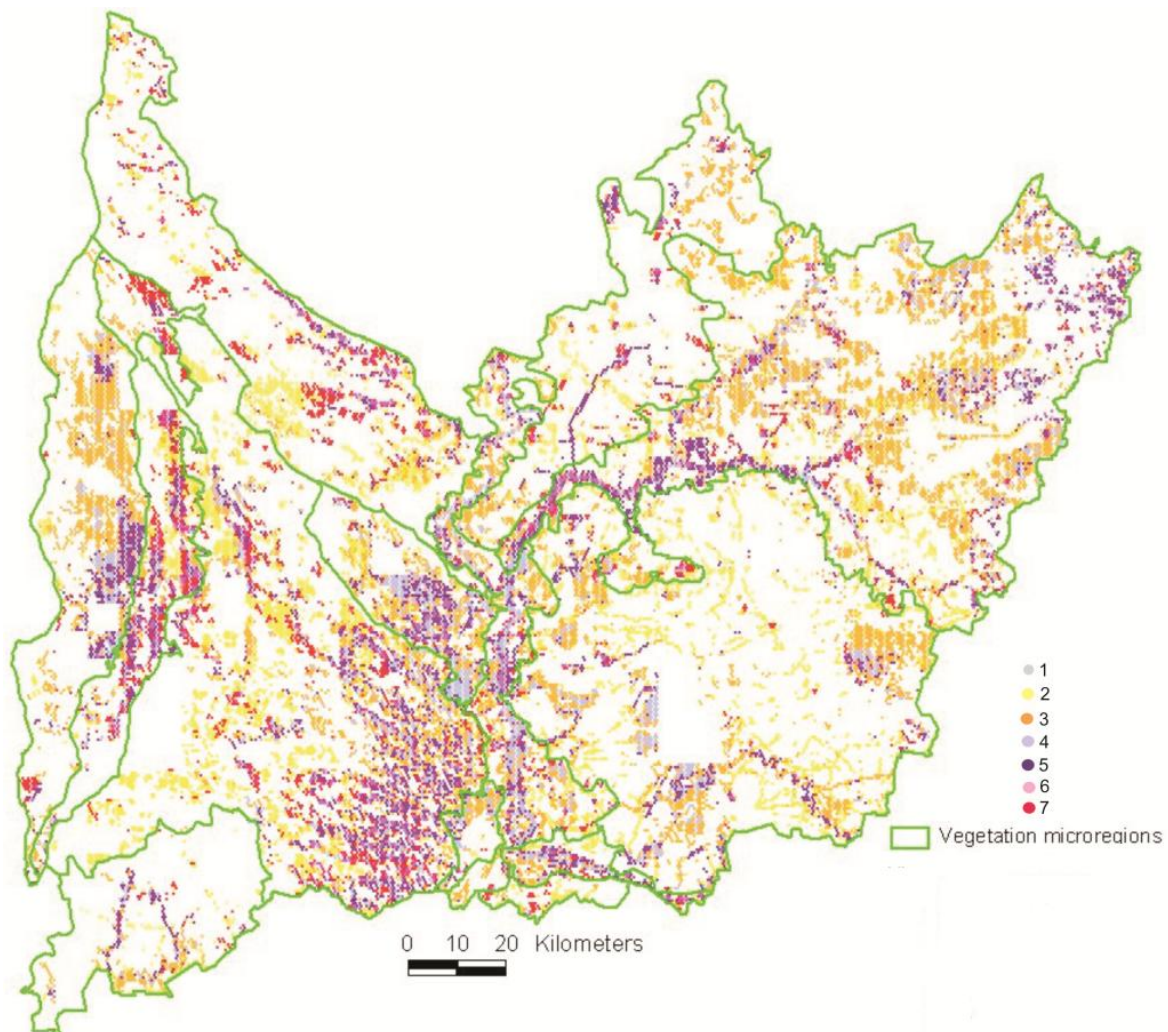


Fig. 6. Habitat's risk due to climate change considering their appearance

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.

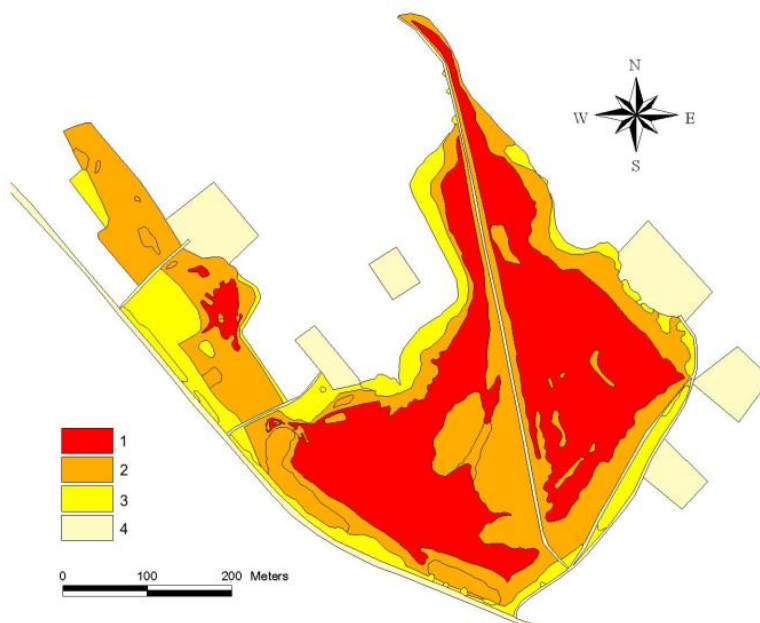


Fig. 7. Sensitivity of habitats due to climate change in case of Lake Kancsal

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 21st 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 km³) 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 tájökölógiai 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 só-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-nyári 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 fajokon 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 sósak 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 nyertesei 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.