

**Sisák István**

egyetemi docens, Pannon Egyetem GK Növénytermesztési és Talajtani Tanszék

## Mit hozhat a klímaváltozás Magyarország eróziós viszonyaiban? Lehetséges-e a badland-szenárió?

*A „badland” elnevezés (hozzávetőleges fordításban: rossz föld) az Amerikai Egyesült Államokból származik. Dél-Dakota államban a magas és alacsony füvű préri határán található egy közel ezer négyzetkilométeres terület, ami az utóbbi félmillió év eróziója hatására alakult ki. Nagyon erősen szabdalt, nehezen járható, a lejtőkön jórészt növényzettől mentes, gazdálkodásra alkalmatlan hatalmas terület (Bryan és Yair, 1982), amely ma védett nemzeti park.*

### A vízerózió tendenciái Európában

A talajok víz általi eróziója talán a legelterjedtebb talajdegradációs folyamat Európában, amely mintegy 105 millió hektárt, Oroszországot nem számítva a teljes terület 16 százalékát érinti (EEA, 2003). Egyelőre nincs európai szinten egyeztetett mérési módszer az erózió mértékének a meghatározására. Eddig egy összehasonlító tanulmány született a PESERA projektben (Gobin és Govers, 2003), ez azonban néhol alul-, néhol felülbecsli a tényleges eróziót. A mediterrán régió különösen érzékeny az erózióra a hosszú száraz periódusokat követő felhőszakadásszerű esők, a meredek lejtők és a könnyen erodálódó talajok miatt. Sok helyen a folyamat nem megállítható, másutt pedig épp ellenkezőleg, azért szűnt meg, mert már nem maradt erodálható talaj. Észak-Európa ebből a szempontból kevésbé veszélyeztetett, mert az esők kisebb intenzitásúak és a növényborítottság nagyobb. Az iszap (esetleg vályog) fizikai féleségű szántók azonban Észak-Európában is veszélyeztetettek lehetnek közvetlenül a művelés utáni időszakban. Egyik fontos következménye az erózióknak, hogy a felszíni vizekbe bemosódó tápanyagok eutrofizációt, vízvirágzást válthatnak ki (EEA, 2010).

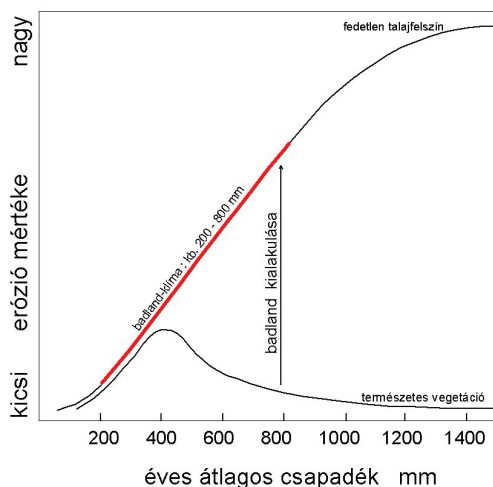
Az erózió időbeli változásának EU-szintű becslése nehéz, mert hiányoznak a módszerek és az adatok. Azonban megfontolásokkal élhetünk még ebben az esetben is. Mivel a meteorológiai események, valamint a felszínborítás és az erózió között szoros összefüggés van, ezek változása tükrözi az erózió változását is. A SOER 2010 jelentésben (EEA, 2010) találunk statisztikai adatokat a felszínborítás változására a CORINE adatbázis alapján. A rétek szántóba vonása, továbbá a bioenergia iránti igény növekedése és ezzel a kukorica és más növények nagyobb vetésterülete mind az erózió növekedése irányába mutatnak. A klímaváltozás és a csapadékeloszlás megváltozása (az aszály csökkenti a növényborítottságot, majd a heves zápor lemosza a talajt) szintén az erózió növekedése irányába hat.

Az erózió a talajvesztésen túl a talajok termékenységének csökkenését is eredményezi, mivel a biológiai tápanyag körforgást megszakítja, továbbá korlátozza a talaj-

használatot, csökkenti a föld értékét, a táblán kívül károsítja az infrastruktúrát, szennyezi a felszíni vizeket, tönkreteszi az élőhelyeket, és ezáltal csökkenti a biodiverzitást. Az erózióknak tehát igen nagy táblán belüli és táblán kívüli kárát látjuk. Az erodálódott talaj iszapfolyásokat okozhat, feliszapolja az árkokat, utakat, vasutakat, épületeket áraszt el. A legtermékenyebb felszíni réteg tűnik el, és ha a talaj sekély réteggű, akár a teljes szelvény erodálódhat. A mélyréteggű talajok esetében a felszíni réteg elvesztése esetleg nem tűnhet olyan jelentősnek, de hosszú távon ugyanolyan káros (EEA, 2010).

### A badland keletkezése

A 'badland' elnevezés (hozzávetőleges fordításban: 'rossz föld') az Amerikai Egyesült Államokból származik. Dél-Dakota államban a magas és alacsony fűvű préri határán található egy közel ezer négyzetkilométeres terület, ami az utóbbi félmillió év eróziója hatására alakult ki. Nagyon erősen szabdalt, nehezen járható, a lejtőkön jórészt növényzettől mentes, gazdálkodásra alkalmatlan hatalmas terület (Bryan és Yair, 1982), amely ma védett nemzeti park. A felsorolt tulajdonságok is világosan mutatják, miről kapta a nevét a 19. század telepeseitől. Míg a dél-dakotai „badland” a természeti erők hatására alakult ki, a világ számos pontján fellelhető hasonló területek többsége emberi hatásra, a helytelen tájhasználat következtében keletkezett (Dotterweich, 2013). Akár így, akár úgy, a jelenség természettudományos magyarázata többé-kevésbé ugyanaz. A lényeg bemutatásához Marshall (1973) ábráját hívtam segítségül (1. ábra), de kiegészíttem az irodalomban található új információkkal is.



1. ábra. A vízerózió és a badland előfordulásának klimatikus meghatározottsága

A természeti rendszereknek változó mértékű, gyakran igen jelentős rugalmassága van, azaz különböző hatásokra megváltoznak, de hosszabb-rövidebb idő alatt visszatérnek a korábbi, vagy ahhoz nagyon közeli állapotukba. Az 1. ábrán látszik, hogy a természetes vegetáció esetén és a teljesen fedetlen talajfelszín esetén megfigyelhető talajlehordás nagyon közel van egymáshoz körülbelül 350–400 mm éves átlagos csapadéknál szárazabb területeken, de ennél nedvesebb területeken a különbség gyorsan nő. Körülbelül a 200 és 800 mm/év közötti csapadéku területeken megtörténhet, hogy több kedvezőtlen

tényező együttes előfordulása esetén a növényzet teljesen elpusztul, a táj tartósan képtelen lesz regenerálódni, tehát a fedetlen talajfelszínnel összeköthető magas eróziós értékek stabilizálódnak.

Nadal-Romero és munkatársai (2007) munkája alapján röviden áttekinthetem, milyen feltételek szükségesek e kedvezőtlen helyzet kialakulásához. A badland konszolidált vagy gyengén konszolidált üledékeken alakul ki, és alig vagy egyáltalán nincs rajta növényzet (Gallart és mtsai, 2002). Az ilyen területek domborzatát alapvetően a felszíni lefolyás alakítja (vízerózió, suvadás), és jellemző a vízmósások és barázdák igen nagy sűrűsége, valamint a meredek lejtők. Számos egyéb tényező is közrejátszik, főként a talajképző közet milyensége és az éghajlat (Hodges és Bryan, 1982).

Badland sokféle klimatikus környezetben kialakulhat, különösen a szemiárid területekre, de kisebb mértékben a humid és szubhumid régiókra is jellemző (Bryan és Yair, 1982; Campbell, 1989; Torri és Rodolff, 2000). Európában Spanyolország délkeleti részén van a legtöbb (Calvo-Cases és Harvey, 1996; Canton és mtsai, 2001). Ott a szégyenes növénytakaró, a vízhiány, a könnyen erodálódó talajok, valamint a talajok magas nátrium- és szmektit- (duzzadó agyagásvány) tartalma teszi lehetővé a kialakulásukat (Canton és mtsai, 2001). Megjelenhet azonban badland a csapadékosabb, és a szubhumid hegyvidéki területeken is (Pardini és mtsai, 1996). Ezekben a területeken a kialakulásnak kedvez a földtani közeg, a domborzat és a klíma, amelyre jellemző a csapadék és a hőmérséklet erős évszakos különbsége.

A felsorolt tulajdonságokból következik, hogy a badland az egész világon a legjelentősebb eróziós terület. Az USA-ban (Engelen, 1973), a spanyol Pireneusokban (Valero-Garcés és mtsai, 1999), a francia Alpokban (Descroix és Mathys, 2003), Olaszországban (Battaglia és mtsai, 2011), Kínában (Shi és Shao, 2000), Ausztráliában (Fanning, 1994) óriási mértékű hordalék távozik ezekről a területekről. A legextrémebb példa a Sárga-folyó Kínában, amibe a kínai löszfennsík legszabdaltabb tájairól hektáronként évi több száz, esetenként akár ezer tonna finom hordalék mosódik be. A badland területekre is igaz, hogy minél nagyobb vízgyűjtőt vizsgálunk, annál kisebb a fajlagos (egységnyi területre jutó) erózió mértéke, hiszen a nagyobb tájban több üledékcsapda van (Nadal-Romero és mtsai, 2011). Mindezzel együtt is a vízmósásos badland területek eróziója több nagyságrenddel nagyobb, mint azoké a tájaké, ahol csak a felszíni rétegerózió hat (Valentin és mtsai, 2005).

Kiemelten fontos megállapítás, hogy a badland területek vízgazdálkodása alapvetően eltér az eredeti felszíni területétől. A víz beszivárgásának akadályja lehet a talajképző közet – például márga vagy agyagpala – nagyon rossz vízvezető képessége (Nadal-Romero és Regüés, 2010), de a talaj felszínén kialakuló kergesedés is (Li és mtsai, 2005; Issa és mtsai, 2004). A lecsökkent víznyelőképesség mellett egy ezzel ellentétes folyamat is nagy szerepet kap. Az úgynevezett alagosodás során a felszín közelében vagy mélyebben csatornák és erek alakulnak ki, amelyekben nagy sebességgel folyik a víz, a csatornák fölötti talajréteg gyakran beomlik, és teljes mennyiségben lemossa a víz (Faulkner és mtsai, 2004, Faulkner, 2006). Ezeknek a csatornáknak a vize nem szivárog a mélyebb rétegekbe, hanem rövid felszín alatti szakasz után ismét a felszínre jut. További jelenségeként a felszínen az agyagásványok duzzadása és zsugorodása és/vagy a fagyás és olvadás folyton „újratermel” egy nagyon porózus, az alatta lévő réteghez lazán kapcsolódó, könnyen lemosódó felszíni talajréteget (Nadal-Romero és Regüés, 2010).

Fölvetődik a kérdés, hogy különösen a nedvesebb területeken miért nem telepszik meg ismét a növényzet? Ennek többféle oka van. Egyrészt a nagyon erős talajlehordással a növények magvai is lemosódnak, másrészt, és ez a fontosabb, a megváltozott vízgazdálkodás és a száraz periódusok miatt nincs elegendő víz a csíranövényeknek ahhoz, hogy megerősödhessenek (Jiao és mtsai, 2009).

Az elsivatagosodás szoros összefüggésben áll számos talajdegradációs folyamattal (Brandt és Thornes, 1996; Rubio és Recatala, 2006; Safriel, 2009), többek között a talaj szervesanyag-tartalmának csökkenésével és az az erózióval is (Sommer és mtsai, 1998). Több tanulmány is bizonyította (például: Yassoglou, 1999) a szoros összefüggést a növénytakaró degradációja és a talaj degradációja között a felszíni lemosódás révén. Emiatt az elsivatagosodást olyan átfogó problémának tekintjük, ami a mediterrán országokat érinti leginkább, de Európa más részein, főleg Kelet-Közép-Európában is jelen van. Ez utóbbi országokban az ariditás növekedése jelent problémát, ami a talajvízszint csökkenésében és egyre hosszabbá váló aszályos periódusokban ölt testet.

Az egyre növekvő vízhiány korlátozza az ökoszisztémák azon funkcióit, amelyek a talajon keresztül érvényesülnek. A talajélőlények visszaszorulása és a kisebb mértékű humuszfelhalmozódás csökkenti a talaj termékenységét és az ebből adódó biomassza-termelést. Ilyen körülmények között a helyi erőforrásokra alapozott mezőgazdaság összeomolhat. A növekvő ariditás csökkenti az ökoszisztémák azon képességét, hogy visszanyerjék egyensúlyi helyzetüket a különösen erős behatások után (aszály, tűz, népesség-növekedés), ami pozitív visszacsatolásként tovább erősíti az elsivatagosodás folyamatát. A szárazságot gyakran heves zivatarok váltják, melyek jórészt a felszínen elfolynak, és közben nagy mennyiségű talajt mosnak le a növényekkel gyengén fedett, cserepes felszínről. Ezáltal a talajba beszivárgó víz mennyisége csökken, és így tovább súlyosbodnak a kedvezőtlen folyamatok. A talaj termékenységének csökkenése és az ebből következő gyengébb állományfejlődés még tovább erősíti az erózióval való kitettséget (EEA, 2010). A 2003. és 2008. évi európai aszályok is megmutatták az elsivatagosodás lehetséges kockázatát, szignifikánsan csökkentették a gazdasági teljesítményt. Rubio és Recatala (2006) becslése szerint az elsivatagosodás (ariditás-növekedés) a mediterrán félszáraz területek 30 és Európa 10 százalékát érinti.

### A klímaváltozás hatása a talajokra – magyarországi előzmények

A klímaváltozások folyamatait, következményeit és a lehetséges alkalmazkodás módját régóta vizsgálják Magyarországon (Láng és mtsai, 1983; Láng, 2004). Több publikáció látott napvilágot az általános mezőgazdasági következményekről (Anda, 2004; Varga-Haszonits, 2003; Harnos, 2005) és a növénytermesztésben jelentkező speciális következményekről (Szöllösi és mtsai, 2004; Jolánkai és mtsai, 2003). Néhány szerző a talajt is tekintetbe veszi mint a klímaváltozás hatásainak közvetítő közegét a növénytermesztés felé (Kertész, 2001), de olyan célzott kutatást, amely a talajok és a klímaváltozás összefüggéseit kutatta volna, idehaza eddig kevesen folytattak (Máté és mtsai, 2009; Makó és mtsai, 2009; Sisák és mtsai, 2008, 2009).

Magyarországon az átlagos hőmérséklet 1 °C-kal emelkedett, az éves átlagos csapadék pedig 83 mm-rel csökkent az utóbbi másfél évszázadban, és a változás nagy része az utóbbi évtizedekben következett be (Jolánkai és mtsai, 2004; Várallyay, 2006). Az általános trendek mellett az extrém időjárási események gyakorisága is megnőtt, és ez a folyamat jelenleg is erősödni látszik (Bartholy és Pongrácz, 2007).

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (2009) erről a következőképpen fogalmaz:

„A világgazdasági és társadalmi fejlődését, valamint a földi éghajlat érzékenységét számításba véve a tudományos közösség értékelése szerint 1,1–6,4 °C közötti mértékben várható 2100-ra a melegedés (az előző évszázad végéhez képest).

Hazánkban az átlaghőmérséklet emelkedése mellett a következő évtizedekre az éves csapadék átlagos mennyiségének csökkenése és csapadékeloszlás átrendeződése (több csapadék télen, kevesebb nyáron) várható, továbbá a szélsőséges

időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése. A csapadék utánpótlás, a felszíni és felszín alatti vizek helyzete (minőség, mennyiség) lesz a legkritikusabb kérdés. Globális szinten a változások hatására régióként nagyon eltérő mértékű gazdasági visszaesés, és az egyre kevésbé élhető területekről való elvándorlás jelentős megnövekedése várható.

A megfelelő mezőgazdasági földhasználat váltás (szántó gyepek konverzió, szántóterületek erdősítése) kellően stabil termelési szerkezetet hozhat létre hazánkban, ennek hiányában azonban a mezőgazdasági ágazat a klímaváltozás által leginkább kiszolgáltatott szektor lehet.”

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia a mezőgazdaság alkalmazkodására vonatkozóan az erózió elleni védekezésre alkalmas intézkedéseket is megfogalmaz:

- A növénynevelés felgyorsítása, a legmegfelelőbb fajtaválaszték megválasztása alkalmazkodóképességi vizsgálatok alapján.
- Víz-visszatartás és a folyamatos növénytakarás biztosítása.
- A táj mozaikosságának (mezsgyék, sövények, fasorok) növelése.
- Mezővédő erdősávok rendszerének kialakítása, fás legelők területének növelése.
- Erdősítés.

A következőkben azt vázoljuk fel, hogy a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia célterületeinek kiválasztása érdekében a fentiekben már bemutatott európai uniós kutatásokhoz és eredményekhez igazítva hogyan és milyen lépéseken keresztül lehet a kiválasztás elveit meghatározni.

### A vonalas (felgyorsult) erózió kockázata Magyarországon

Hazai viszonylatban az utóbbi években a vonalas erózió formáiról, mértékéről és kockázatairól Gábris és munkatársai (2003) és Jakab (2008) jelentettek meg közleményeket. A nemzetközi tapasztalatokkal összhangban ezek a publikációk hangsúlyozták az erózió felgyorsulását abban az esetben, ha a vonalas formák is megjelennek, meghatározták a vonalas erózióból részarányát az összes erózióon belül (körülbelül 50 százalék), és megállapították, hogy az intenzív művelés hatására a kevésbé meredek lejtőkön is (12 százalék alatt) vízmosságok alakulhatnak ki.

A Balaton-vízgyűjtőről származó diffúz tápanyagterhelés és az eróziós viszonyok kutatásának a keszthelyi Georgikon Karon jelentős hagyományai vannak, és ezek a kutatások mindig hazai és nemzetközi összefogással folytak (*Sisák és Máté*, 1993; *Sisák és Pomogyi*, 1994; *Azozglu és mtsai*, 2002a, 2002b; *Sisák és Máté*, 2003; *Szűcs és mtsai*, 2006; *Sisák és mtsai*, 2007; *Withers és mtsai*, 2007; *Sisák és mtsai*, 2008; *Centeri és mtsai*, 2010).

Eltérő kisvízgyűjtőkön, eltérő talajviszonyok mellett végzett kisparcellás esőszimulátoros mérések eredményei azt mutatták, hogy az eolikus eredetű talajképző kőzetten kialakult, már erodált talajok USLE szerinti erodálhatósága akár kétszer nagyobb lehet, mint a hasonló fizikai fűleségű, nem erodált talajoké, és ez nagyon erős barázdaképződésben is megnyilvánul (*Azozglu és mtsai*, 2002b; *Centeri és mtsai*, 2010).

A döntően iszap frakciót tartalmazó talajok általában rendkívül érzékenyek az erózióra (*Renard és mtsai*, 1997), és mint fentebb láttuk, a barázdás erózió enyhébb vagy havária jellegű kialakulása is ilyen talajokon várható (*Bryan*, 2000; *Auzet és mtsai*, 2005). Magyarországon területén az eolikus eredetű, löszszerű, döntően nagy mértékben

iszap frakciót tartalmazó talajok rendkívül elterjedtek, különösen a Dunántúl hegy- és dombvidéki területein.

Ezen területek közül a legszárazabbak már most is a jelentős mértékű (mediterrán jellegű) erózióval sújtott, barázdák és vízmosások által szabdalta tájakhoz tartoznak, ahogy azt Gábris és munkatársai (2003), Jakab (2008) és mások kutatásai is megmutatták.



2. ábra. Barázdás és vízmosásos erózió a Balaton déli vízgyűjtőjén (Somogybabod)

Magyarország az ariditás növekedése által fenyegetett területekhez tartozik (EEA, 2010). Ha a havária jellegű nagy csapadékok már most is kimutatható növekedése (Bartholy és Pongrácz, 2007) folytatódik, és ez együtt jár az ariditás növekedésével, akkor Magyarország egyes dombvidékein a talajokra a legrosszabb, „badland-szenáriónak” is nevezhető sors várhat, ami hosszabb távon lényegében megsemmisíti az adott terület mezőgazdaságát.

A Balaton déli vízgyűjtőjén az erősen erodált, viszonylag száraz löszterületeknek a részaránya rendkívül nagy. A „badland-szenárió” a völgyekbe települt falvak lakossága és az ottani infrastruktúra szempontjából is fenyegető lehetőség, a patakokra települt halastavak üzemeltetését már rövid távon is lehetetlenné tenné, a Balaton déli partján a strandok feliszapolódását okozná, továbbá megnövelné és hosszú távon tartósítaná a Balaton külső tápanyagterhelését, amelyet pedig az eddigi intézkedések már jelentősen csökkentettek a legrosszabb időszakot képviselő 1980-as évekhez képest.

*A „badland-szenárió” egyelőre még kicsi valószínűségű, időben távoli lehetőségnek tűnik, hiszen a természetes rendszerek igen nagy rugalmassággal rendelkeznek. Az ismétlődő erős hatások következtében azonban a rugalmasság elveszhet, és viszonylag rövid időn belül megállíthatatlan és visszafordíthatatlan változások következnek be. Egyes száraz dombvidéki területek a Balaton déli vízgyűjtőjén ennek az állapotnak a határán vannak, legalábbis erre következtetünk az állandó jellegű barázdás és az időről-időre ismétlődő vízmosásos erózióból.*

A „badland-szenárió” egyelőre még kicsi valószínűségű, időben távoli lehetőségnek tűnik, hiszen a természetes rendszerek igen nagy rugalmassággal rendelkeznek. Az ismétlődő erős hatások következtében azonban a rugalmasság elveszhet, és viszonylag rövid időn belül megállíthatatlan és visszafordíthatatlan változások következnek be. Egyes száraz dombvidéki területek a Balaton déli vízgyűjtőjén ennek az állapotnak a határán vannak, legalábbis erre következtethetünk az állandó jellegű barázdás és az időről-időre ismétlődő vízmosásos erózióból.

A jelenség bekövetkezése olyan komplex, gazdasági, környezetvédelmi és társadalmi problémát okozna, amelynek megelőzése az ország alapvető érdeke.

### A vizsgált terület és a vizsgálati módszerek

A magyar gazdaságot az erózió és az ahhoz kapcsolódó problémák a Balaton vízgyűjtőterületén nagyon érzékenyen érintik. A legfontosabb hatás talán a tóba jutó mezőgazdasági eredetű diffúz tápanyagterhelés (foszfor és nitrogén), aminek következtében a vízminőség nem tud a kellő ütemben javulni, de az árkok, víztározók és utak feliszapolása is jelentős kárt okoz. Vizsgálati területül ezért a Balaton vízgyűjtőjét választottuk, ami a tó vízfelülete nélkül mintegy 5200 km<sup>2</sup>. A Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontjával való együttműködés révén hozzáfertünk a vízgyűjtőn található vízmosások és mélyutak digitális adatbázisához. Ezt az adatbázist az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképek alapján digitalizálták. Felhasználtuk a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet által publikált 1:100 000-es méretarányú földtani térképét (*Pelikán és Pereg, 2005*), valamint az 1:10 000-es méretarányú topográfiai térképek magasságvonalai alapján készítette 10×10 méter felbontású digitális domborzati modelljét.

A domborzatmodellből lejtőkategóriákat számoltunk, és a geológiai térkép segítségével kiválasztottuk azokat a területeket, ahol a lejtés nagyobb volt, mint 12 százalék, és egyúttal a talajképző kőzet lösz vagy egyéb löszszerű, szél által lerakott üledék volt. Megvizsgáltuk, hogy ezeken a területeken mennyi a vízmosás, és ezt összehasonlítottuk az egész vízgyűjtő adataival.

### Eredmények

A 3. ábrán láthatók azok a löszterületek, ahol a meredekség nagyobb, mint 12 százalék.



3. ábra. A 12 százaléknál nagyobb meredekségű löszterületek

A 4. ábrán azokat a vízmosásokat tüntettük fel, amelyek a meredek löszterületeken találhatóak.

A szakirodalomban a badland területek átlagosan elég meredek, de arra is találunk utalást, hogy akár 1 százalék lejtő esetén is kialakulhat vízmosás, ha a felszíni beszivárgás akadályozott, ugyanakkor az alagosodás is jelen van. Ez különösen meszes löszön gyakori (Valentin és mtsai, 2005). A világon a legtöbb hordalékot fajlagosan a nagy folyamok közül a Sárga-folyó szállítja (Shi és Shao, 2000), és ennek fő oka a kínai löszfennsík badland jellegű eróziója. Ebből arra következtethetünk, hogy a Balaton vízgyűjtőjén is elsősorban a meredek löszös területeken várható a tájhasználat és a klímaváltozás hatására jelentős változás, akár badland jellegű erózió is. Megvizsgáltuk, hogy a meredek löszös területeken mekkora a vízmosások sűrűsége, ami több, mint 1876m/km<sup>2</sup> értéknek adódott, és ez több, mint háromszorosan haladja meg az erősen vízmosásos erózió határértékét (500m/km<sup>2</sup>), és több, mint ötszörösen haladja meg a vízgyűjtő átlagát (361m/km<sup>2</sup>). Szubhumid észak-spanyolországi példák is mutatják (Nadal-Romero és mtsai, 2012), hogy ilyen körülmények között a badland formáció kialakulása nem összefüggő nagy területeken, hanem kis foltokban kezdődik, de a feltételek változása esetén a jelenség gyorsan terjedhet. Tulajdonképpen a feltételek Magyarországon is adottak ehhez a káros folyamathoz. A kutatás következő szakaszában azt elemezzük részletes terepi felvételezés alapján, mennyire játszódott le máris a folyamat, és modellezzük a lehetséges jövőbeli alakulását.



4. ábra. Vízmosások a meredek löszterületeken

Favis-Mortlock és Boardman (1995) kimutatta, hogy 7 százalék növekedés a csapadék mennyiségében 26 százalék növekedést okozhat az erózió mértékében Angliában. A hőmérséklet növekedése szintén hatással lehet az erózióra, és az aszályveszély különösen Közép- és Dél-Európában károsíthatja a talajokat. Elvileg a magasabb hőmérséklet nagyobb biomassza produkciót is eredményezhetne, ha lenne hozzá elég nedvesség, annak hiányában azonban a felszínborítás csökken (Pruski és Nearing, 2002). Az agrárpolitikának rendkívüli szerepe van az eróziós folyamatok irányának megszabásában is. Több rossz példa igazolja, hogy a túl száraz területeken a durumbúza termesztése (Piccarreta és mtsai, 2006), a meredek lejtőkön az erőltetett szőlőtelepítés (Kosmas és mtsai, 1997) vagy a támogatások hatására elterjedt nagy léptékű tereprendezés (Clarke és Rendell, 2000) olyan változások voltak a múltban, amelyeket az elhibázott támogatási politika váltott ki, és egyértelműen nagyobb erózióhoz és környezetkárosodáshoz vezettek. Szerencsére azonban a badland kialakulása nem olyan fátum, amin ne lehetne



változtatni. Több sikeres rekonstrukciós projektről is olvashatunk a szakirodalomban (Valentin és mtsai, 2005), de az mindenképpen figyelmeztető, hogy az eredeti állapothoz való visszatéréshez száz év is kevés volt (Vallauri és mtsai, 2002).

## Irodalomjegyzék

- Anda A. (2004): Globális felmelegedés és a mezőgazdaság. *Természet Világa*, II. különszám. 65–69.
- Auzet, A. V., Kirkby, M. J. és Van Dijk, P. (2005): Surface characterisation for soil erosion forecasting. *Catena*, **62**. 2. sz. 77–78.
- Azazoglu, E., Strauss, P., Sisák, I. és Blum, W. H. E. (2002a): Einfluss der Wasserqualität auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Infiltration – ein Berechnungsversuch in Ungarn. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, **65**. sz. 25–33.
- Azazoglu, E., Strauss, P., Sisák, I., Klaghofer, E. és Blum, W. H. E. (2002b): Einfluss erosiver Niederschläge auf Bodenabtrag, Oberflächenrauhigkeit und Scherspannung landwirtschaftlich genutzter Böden. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, **66**. sz. 69–76.
- Bartholy, J. és Pongrácz, R. (2007): Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, **57**. sz. 83–95.
- Battaglia, S., Leoni, L., Rapetti, F. és Spagnolo, M. (2011): Dynamic evolution of badlands in the Roglio basin (Tuscany, Italy). *Catena*, **86**. 1. sz. 14–23.
- Brandt, C. J. és Thornes, J. B. (1996, szerk.): *Mediterranean Desertification and Land Use*. John Wiley and Sons.
- Bryan R. B. (2000): Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, **32**. sz. 385–415.
- Bryan, R. B. és Yair, A. (1982): Perspectives of studies of badland geomorphology. *Badland Geomorphology and Piping*, 1–12.
- Calvo-Cases, A. és Harvey, A. M. (1996): Morphology and development of selected badlands in southeast Spain: Implications of climatic change. *Earth Surface Processes and Landforms*, **21**. 8. sz. 725–735.
- Campbell, I. A. (1989): Badlands and badland gullies. *Arid zone geomorphology*, 159–186.
- Cantón, Y., Domingo, F., Solé-Benet, A. és Puigdefábregas, J. (2001): Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, **252**. 1. sz. 65–84.
- Centeri, Cs., Jakab, G., Szalai, Z., Madarász, B., Sisák, I., Csepinszky, B. és Bíró, Zs (2010): Rainfall simulation studies in Hungary. In: Fournier, A. J. (szerk.): *Soil Erosion: Causes, Processes and Effects*. Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA. 177–218.
- Clarke, M. L. és Rendell, H. M. (2000): The impact of the farming practice of remodelling hillslope topography on badland morphology and soil erosion processes. *Catena*, **40**. 2. sz. 229–250.
- Descroix, L. és Mathys, N. (2003): Processes, spatio-temporal factors and measurements of current erosion in the French southern Alps: a review. *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**. 9. sz. 993–1011.
- Dotterweich, M. (2013): The history of human-induced soil erosion: geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation – a global synopsis. *Geomorphology*, **201**. sz. 1–34.
- EEA (2003): *Assessment and Reporting on Soil Erosion. EEA Technical Report 94*. European Environment Agency.
- EEA (2010): *The European environment — state and outlook 2010*. European Environment Agency, Copenhagen.
- Engelen, G. B. (1973): Runoff processes and slope development in badlands national monument, South Dakota. *Journal of Hydrology*, **18**. 1. sz. 55–79.
- Fanning, P. (1994): Long-term contemporary erosion rates in an arid rangelands environment in western New South Wales, Australia. *Journal of Arid Environments*, **28**. 3. sz. 173–187.
- Faulkner, H. (2006). Piping hazard on collapsible and dispersive soils in Europe. *Soil erosion in Europe*, 537–562.
- Faulkner, H., Alexander, R., Teeuw, R. és Zukowskyj, P. (2004): Variations in soil dispersivity across a gully head displaying shallow sub-surface pipes, and the role of shallow pipes in rill initiation. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**. 9. sz. 1143–1160.
- Favis-Mortlock, D. és Boardman, J. (1995): *Modelling Soil Erosion by Water*. NATO-ASI Global Change Series. Springer-Verlag, Berlin.
- Gábris, Gy., Kertész, Á. és Zámbo, L. (2003): Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, **50**. sz. 151–164.
- Gallart, F., Llorens, P., Latron, J. és Regués, D. (2002): Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, **6**. 3. sz. 527–537.

- Gobin, A. és Govers, G. (2003, szerk.): *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment Project*. Third Annual Report to the European Commission. EC Contract No. QLK5-CT-1999-01323. European Commission, Brussels.
- Harnos Zs. (2005): A klímaváltozás hatása a növény-termesztésre. *Agro 21*, 38. sz. 38–58.
- Hodges, W. K. és Bryan, R. B. (1982): The influence of material behaviour on runoff initiation in the Dinosaur Badlands, Canada. *Badland geomorphology and piping*, 13–46.
- Issa, O. M., Cousin, I., Bissonnais, Y. L. és Quéting, P. (2004): Dynamic evolution of the unsaturated hydraulic conductivity of a developing crust. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29. 9. sz. 1131–1142.
- Jakab G. (2008): *Természeti tényezők hatása a talajpusztulás vonalainak kialakulására*. Doktori értekezés, Magyar Tudományos Akadémia Földrajz-tudományi Kutatóintézet.
- Jiao, J., Zou, H., Jia, Y. és Wang, N. (2009): Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. *Acta Ecologica Sinica*, 29. 2. sz. 85–91.
- Jolánkai M., Láng I. és Csete L. (2004): Hatások és alkalmazkodás. *Természet Világa*, II. különszám, 16–18.
- Jolánkai M., Szentpéteri Zs. és Szöllösi G. (2003): Évjáráthatások az őszi búza termésére és minőségére. *Agro-21*, 31. sz. 74–81.
- Kertész Á. (2001): *A globális klímaváltozás természetföldrajza*. Holnap Kiadó, Budapest.
- Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L. H., Chabart, M., Diamantopoulos, J., Farand, R., Gutierrez, L., Jacob, A., Marques, H., Martinez-Fernandez, J., Mizara, A., Moustakas, N., Nicolau, J. M., Oliveros, C., Pinna, G., Puddu, R., Puigdefabregas, J., Roxo, M., Simao, A., Stamou, G., Tomasi, N., Usai, D. és Vacca, A. (1997): The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*, 29. 1. sz. 45–59.
- Láng I. (2004): Klímaváltozás és környezetpolitika. *Természet Világa*, II. különszám, 2–4.
- Láng I., Csete L. és Harnos Zs. (1983): *A magyar mezőgazdaság agroökológiai potenciálja 2000-ben*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Li, X. Y., González, A. és Solé-Benet, A. (2005): Laboratory methods for the estimation of infiltration rate of soil crusts in the Tabernas Desert badlands. *Catena*, 60. 3. sz. 255–266.
- Makó András, Máté Ferenc, Szász Gábor, Tóth Gergely, Sisák István és Hernádi Hilda (2009): A talajok klímaérzékenységének vizsgálata a kukorica terméshatásai alapján. „KLÍMA-21” Füzetek, 56. sz. 18–35.
- Marshall, J. K. (1973): Drought, land use and soil erosion. In: Lovett, J. V. (szerk.): *The Environmental, Economic, and Social Significance of Drought*. Angus and Robertson, Publishers, Sydney. 55–77.
- Máté Ferenc, Makó András, Sisák István és Szász Gábor (2009): A magyarországi talajzónák és a klímaváltozás. „KLÍMA-21” Füzetek, 56. sz. 36–42.
- Nadal-Romero, E. és Regüés, D. (2010): Geomorphological dynamics of subhumid mountain badland areas—weathering, hydrological and suspended sediment transport processes: A case study in the Araguás catchment (Central Pyrenees) and implications for altered hydroclimatic regimes. *Progress in Physical Geography*, 34.
- Nadal-Romero, E., Martínez-Murillo, J. F., Vanmaercke, M. és Poesen, J. (2011): Scale-dependency of sediment yield from badland areas in Mediterranean environments. *Progress in Physical Geography*, 35. 3. sz. 297–332.
- Nadal-Romero, E., Regüés, D., Martí-Bono, C. és Serrano-Muela, P. (2007): Badland dynamics in the Central Pyrenees: temporal and spatial patterns of weathering processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32. 6. sz. 888–904.
- Nadal-Romero, E., Vicente-Serrano, S. M. és Jiménez, I. (2012): Assessment of badland dynamics using multi-temporal Landsat imagery: An example from the Spanish Pre-Pyrenees. *Catena*, 96. sz. 1–11.
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia* (2009)
- Pardini, G., Vigna Guidi, G., Pini, R., Regüés, D. és Gallart, F. (1996): Structural changes of smectite-rich mudrocks experimentally induced by freeze-thawing and wetting–drying cycles. *Catena*, 27. 3–4. sz. 149–165.
- Pelikán P. és Peregi Zs. (2005, szerk.): *Magyarország földtani térképe 1:100 000*. © Magyar Állami Földtani Intézet. <http://mafi-loczyz.mafi.hu/Fdt100/>
- Piccarreta, M., Capolongo, D., Boenzi, F. és Bentivenga, M. (2006): Implications of decadal changes in precipitation and land use policy to soil erosion in Basilicata, Italy. *Catena*, 65. 2. sz. 138–151.
- Pruski, F. F. és Nearing, M. A. (2002): Runoff and soil loss responses to changes in precipitation: a computer simulation study. *J. Soil and Water Cons.*, 57. 1. sz. 7–16.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. és Yoder, D. C. (1997): *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agricultural Handbook No. 703. U.S. Department of Agriculture.
- Rubio, J. L. és Recarala, L. (2006): The relevance and consequences of Mediterranean desertification including security aspects. In: Kepner, W.G., Rubio, J. L., Mouat, D. A. és Pedrazzini, F. (szerk.):

- Desertification in the Mediterranean Region: A Security Issue*. Valencia, NATO Workshop. Springer. 133–165.
- Safriel, U. N. (2009): Status of desertification in the Mediterranean region. In: Rubio, J. L., Safriel, U. N., Daussa, R., Blum, W.E. H. és Pedrazzini, F. (szerk.): *Water Scarcity, Land Degradation and Desertification in the Mediterranean Region*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer Science+Business Media B.V. 33–73.
- Shi, H. és Shao, M. (2000): Soil and water loss from the Loess Plateau in China. *Journal of Arid Environments*, **45**. 1. sz. 9–20.
- Sisák István és Pomogyi P. (1994): A Zala tápanyag-terhelésének vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, **76**. 3–4. sz. 417–434.
- Sisák, I., Máté, F. és Szűcs, P. (2008): Effect of climate change on soil erosion from a small catchment. Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop. 28 April 2 May, 2008, Stara Lesna, Slovakia. *Cereal Research Communications*, **36**. Supplement CD.
- Sisák István és Máté Ferenc (2003): Eróziós monitoring hálózat és talaj-adatbázis fejlesztés a Balaton vízgyűjtőjén. In: Gaál Z., Máté Ferenc és Tóth G. (szerk.): *Földminősítés és földhasználati információ*. Veszprémi Egyetem, Keszthely. 365–379.
- Sisák, I., Sárdi, K., Szűcs, P. és Csathó, P. (2007): Assessing phosphorus release from sandy soils in the watershed of Lake Balaton. In: de Neve, S., Salomez, J., van den Bossche, A., Haneklaus, S., van Cleemput, O., Hoffman, G. és Schnug, E. (szerk.): *Mineral versus organic fertilization. Conflict or synergism? 16th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers*. Proceedings. CIEC, Braunschweig. 484–490.
- Sisák István, Máté Ferenc, Makó András, Szász Gábor és Hausner Csaba (2009): A talajok klímaérzékenysége. „KLÍMA-21” Füzetek, **57**. sz. 31–42.
- Sisák István és Máté Ferenc (1993): A foszfor mozgása a Balaton vízgyűjtőjén. *Agrokémia és Talajtan*, **42**. 3–4. sz. 257–270.
- Sommer, S., Loddo, S. és Pudd, U. (1998): Indicators of Soil Consumption by urbanisation and industrial activities. In: Enne, G., D’Angelo, M. és Zanolla, C. H. (szerk.): *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Proceedings of the international seminar held in Porto Torres, Italy, September 1998. Ministero dell’Ambiente, ANPA: Porto Torres. 116–125.
- Szóllósi G., Ujj A., Szentpéteri Zs. és Jolánkai M. (2004): A növénytermesztés egyes agroökológiai vonatkozásai. *Agro-21*, **37**. sz. 89–96.
- Szűcs, P., Csepinszky, B., Sisák, I. és Jakab, G. (2006): Rainfall simulation in wheat culture at harvest. Proceedings of the 5th Alps-Adria Scientific Workshop, 6-11 March 2006, Opatija, Croatia. *Cereal Research Communications*, **34**. 1. sz. 81–84.
- Torri, D., Calzolari, C. és Rodolfi, G. (2000): Badlands in changing environments: an introduction. *Catena*, **40**. 2. sz. 119–125.
- Valentin, C., Poesen, J. és Li, Y. (2005): Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, **63**. 2. sz. 132–153.
- Valero-Garcés, B. L., Navas, A., Machín, J. és Walling, D. (1999): Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, **28**. 1. sz. 23–41.
- Vallauri, D. R., Aronson, J. és Barbero, M. (2002): An analysis of forest restoration 120 years after reforestation on badlands in the Southwestern Alps. *Restoration Ecology*, **10**. 1. sz. 16–26.
- Várallyay, G. (2006): Soil degradation processes and extreme soil moisture regime as environmental problems in the Carpathian Basin. *Agrokémia és Talajtan*, **55**. 1–2. sz. 9–18.
- Varga-Haszonits Z. (2003): A klímaváltozás mezőgazdasági hatásainak elemzése, klímascenáriók. *Agro 21*, **31**. sz. 9–28.
- Withers, P. J. A., Hodgkinson, R. A., Barberis, E., Presta, M., Hartikainen, H., Quinton, J., Miller, N., Sisák, I., Strauss, P. és Mentler, A. (2007): An environmental soil test to estimate the intrinsic risk of sediment and phosphorus mobilization from European soils. *Soil Use and Management*, **23**. 1. sz. 57–70.
- Yassoglou, N. J. (1999): Land, desertification vulnerability and management in Mediterranean landscapes. Proceedings of the International Conference held in Crete, 29 October to 1 November 1996. In: Balabanis, P., Peter, D., Ghazi, A. és Tzogas, M. (szerk.): *Mediterranean desertification: Research results and policy implications*. European Commission — Directorate General Research, Luxembourg. 87–113. EUR 19303.