

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

Készítette a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
a KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítószámú „NATÉR
továbbfejlesztése” projekt keretében



NAKFO

NEMZETI ALKALMAZKODÁSI KÖZPONT FŐOSZTÁLY
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat

2019. február

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Készítette:

Magyar Bányászait és Földtani Szolgálat
Alkalmazott és Környezetföldtani Osztály

Témafelelős:

Dr. Tildy Péter

Szerzők:

Csörghe-Andó Anita, Deák Villő, Halupka Gábor, dr. Maigut Vera, Prakfalvi Péter, Rádi Károly, dr. Tildy Péter, Vatai József

A tanulmányt összeállították:

Dr. Tildy Péter, Dr. Maigut Vera, Halupka Gábor

2019. február

TARTALOMJEGYZÉK

1	Bevezető.....	8
2	Összefoglaló	9
3	Földtani veszélyforrások Magyarországon.....	10
4	A klímaváltozás hatása a felszínmozgás aktivitásra	11
4.1	A felszínmozgásos folyamatok és a csapadék kapcsolata – fizikai elvek.....	11
4.2	A felszínmozgásos folyamatok és a globális klímaváltozás kapcsolata –rövid és hosszútávú összefüggések, bizonytalanságok	11
4.3	A kiváltó (trigger) folyamatok meghatározásának bizonytalanságai	12
4.3.1	Globális klímamodellek leskálázásából származó modellek.....	13
4.3.2	A csapadékmennyiség és a felszínmozgás gyakoriság kapcsolata – a kiváltó folyamatok küszöbértékei.....	14
4.3.3	Előzetes víztartalom állapot modellek.....	18
5	Az összefüggések feltárására használt adatok	19
5.1	A hazai felszínmozgásra vonatkozó információk forrásai	19
5.2	A rendelkezésre álló felszínmozgás adatbázis korlátai	19
5.3	A CarpatClim adatbázis.....	20
5.4	Klímaváltozási forgatókönyvek	21
6	Felszínmozgás adatbázis építés a 2005-2010 közötti időszakra	23
6.1	A felszínmozgás adatbázis kialakítása	23
6.2	A felszínmozgás adatbázis kiegészítése.....	25
7	A felszínmozgás előfordulások összefüggése a csapadékkal.....	29
7.1	A felszínmozgás adatbázis kiegészítése.....	29
7.2	Korrelációs számítás szintetikus adatok felhasználásával	32
7.3	Súlyozott kumulált csapadékösszegek meghatározása.....	36
8	A küszöbértékek gyakoriságváltozása a különböző forgatókönyvekben	41
9	Az eredmények alapján kapott térképi tematikák.....	50
9.1	A 2005-2010 között bekövetkezett káresemények eloszlási térképe a települések közigazgatási határai szerint.....	50
9.2	A csapadékos napok gyakoriságának várható változása, a figyelembe vett éghajlati forgatókönyvek alapján	51
9.2.1	Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)	52
9.2.2	Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)	53
9.2.3	Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)	53
9.2.4	Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)	54

9.3	Érzékenységi térkép az érintett földtani képződmények, lejtésviszonyok és a települések közigazgatási határán belüli káresemények számának (2005-2010) kapcsolata alapján.....	56
9.4	A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására, a figyelembe vett éghajlati forgatókönyvek alapján.....	58
10	Összefoglalás	61
11	Irodalomjegyzék	63
12	Mellékletek	65
13	Függelék	67

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra A felszínmozgás kiváltását leíró vázlatos hidrodinamikai modell (Crozir 2010 nyomán)	12
2. ábra Lejtő- és törmelékcsúszásra vonatkozó globális küszöbök 2626 felszínmozgást kiváltó csapadék esemény adatai alapján	17
3. ábra A földtani veszélyforrás adatok kártípus szerinti eloszlása	25
4. ábra A különböző földtani környezetek gyakorisága önállóan, és a kártípus szerint csoportosítva ..	26
5. ábra A különböző típusú káresemények környezetében meghatározott lejtőszögek eloszlása kártípusok szerint	27
6. ábra Közvetlenül (2 nappal) az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.	30
7. ábra 14 nappal az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.	31
8. ábra 31 nappal az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.	31
9. ábra Az adatrendszer korrelációja 3 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.	33
10. ábra Az adatrendszer korrelációja 3 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.....	34
11. ábra Az adatrendszer korrelációja 7 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.	34
12. ábra Az adatrendszer korrelációja 7 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.....	35
13. ábra Az adatrendszer korrelációja 30 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.....	35
14. ábra Az adatrendszer korrelációja 30 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.....	35
15. ábra A kumulált maximumértékek hisztogramjai a teljes és a szűrt adatrendszerre	38
16. ábra A kumulált maximumértékek hisztogramjai a) 2005 és 2009 közötti időszak teljes és a szűrt adatrendszerére és b) ugyanezen időszak azon eseteire, amelyeknél a partfalbizottsági jegyzőkönyvekben nagyobb csapadékról tesznek említést	39
17. ábra A kumulált maximumértékek hisztogramjai a 2010-es év teljes és a szűrt adatrendszerére ..	40
18. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, a magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok 1971 és 2100 között.....	42
19. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, a magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok hisztogramja	43
20. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja	43
21. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok átlagainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére	44
22. ábra A három kiválasztott időablak átlagértékekre vonatkozó doboz diagramja	44
23. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok mediánjainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére	45
24. ábra A három kiválasztott időablak mediánokra vonatkozó doboz diagramja	45
25. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok 1971 és 2100 között.....	46
26. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, az alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok hisztogramja	46

27. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja.....	47
28. ábra Az alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok átlagának időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére	47
29. ábra A három kiválasztott időablak átlagértékekre vonatkozó doboz diagramja	48
30. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok mediánjainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére	48
31. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja.....	49
32. ábra A 2005-2010 között bekövetkezett káresemények eloszlási térképe a települések közigazgatási határai szerint	50
33. ábra Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000).....	52
34. ábra Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000).....	53
35. ábra Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000).....	54
36. ábra Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000).....	55
37. ábra A csapadékos napok várható változását bemutató térképsorozat fő paramétereinek kapcsolatrend-szere.....	56
38. ábra: Érzékenységi térkép a felszínmozgással érintett földtani képződmények, a lejtésviszonyok és a települések közigazgatási határán belüli káresemények (2005-2010) számának kapcsolata alapján	57
39. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására.....	59
40. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására.....	59
41. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására extrém,.....	60

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat A küszöbérték meghatározására alkalmazott összefüggésekben szereplő csapadékra és éghajlatra vonatkozó különböző tényezők összefoglaló táblázata (Guzetti 2008 cikkéből átvett táblázat).....	15
2. táblázat Különböző, globális szintre vonatkozó, eltérő érvényességi tartományú küszöbértékek ...	15
3. táblázat Alapvető és származtatott meteorológiai paraméterek, mint kitettségi mutatók a NATÉR-ben (OMSZ nyomán Czira et al. 2012).....	21
4. táblázat Csapadékfüggést mutató korrelációs maximumok arányai különböző szintetikus idősorokra az adatrendszer egészére, a 2010-es évre, és az attól különböző időszakokra	36
5. táblázat Csapadékfüggést mutató összegek arányai különböző szintetikus idősorokra az adatrendszer egészére, a 2010-es évre, és az attól különböző időszakokra.....	37
6. táblázat Az elkészült gyakoriságváltozási adatsorok összefoglaló táblázata.....	49
7. táblázat Az érzékenységi paraméterek és kapcsolatuk.....	57

1 BEVEZETŐ

A projekt célja az, hogy megbecsüljük, a klímaváltozás milyen hatással lehet a különböző felszínmozgás előfordulások gyakoriságára. A módszertant kissé kifejtve, az eredeti elgondolás az volt, hogy az adatbázisokban fellelhető felszínmozgás előfordulásokat (lejtőcsúszások, partfal omlások, üregbeszakadások) összevetjük a rendelkezésre álló CarpatClim adatsorokkal, ennek alapján releváns küszöb eseményeket (pl. adott mennyiséget meghaladó napi, vagy heti csapadékösszeg) határozunk meg, amely egyben a földtani, domborzati és kártípus szerint tipizálásra is alkalmas lehet, majd az így meghatározott típusok klímaérzékenységét becsüljük. A klímaérzékenységet az egyes típusokra meghatározott időjárási küszöb jelenségek különböző éghajlatváltozási scénáriókban szereplő gyakoriságváltozásai alapján kívántuk becsülni.

A projekt indulásakor azt feltételeztük, hogy a feladatellátáshoz szükséges adatháttér mindhárom fő eleme (a felszínmozgás adatbázis, az archív meteorológiai adatok, illetve forgatókönyvek) házon belül rendelkezésre állnak, illetve viszonylag kis munkaráfordítással előállíthatók. Az indulást követően kiderült, hogy a felszínmozgás adatbázis esetén az adatrendszer erősen hiányos, elsősorban az előfordulások bekövetkezési dátum adatainak hiánya, illetve bizonytalansága jelentett problémát. Ezért a projektet két szakaszban terveztük megvalósítani. A tervezett első szakasz célja a megbízható felszínmozgás előfordulás adatbázis kialakítása, esemény kategóriák felállítása volt. A második – az előállt adatbázis statisztikai feldolgozását célzó – szakaszt ennek volumenétől és pontosságától tettük függővé.

Le kell szögezni, hogy a klímaváltozás számos másodlagos hatással járhat (pl. a vegetáció, a vízháztartás, vagy az erózió változása stb.), ez azonban túlmutat jelen projekt keretein, így ilyen hatásokat nem vizsgáltunk.

2 ÖSSZEFOGLALÓ

A projektben áttekintettük a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSz) felszínmozgásra vonatkozó adatbázisait, és a feladatspecifikus szűrések, leválogatások nyomán – amelyet egy, kifejezetten a feladatra Python-nyelvben megírt (Tildy P.) program segített – 808 db, koordinátákkal jellemzett mozgáseseményt vontunk be a statisztikai vizsgálatba. A mozgások és a klímaadatok közötti kapcsolat feltárásához a CarpatClim adatbázist vettük alapul.

A feldolgozás során az eseményeket partfal, patak, pince, rézsű, épített kategóriákba tudtuk besorolni, amelyek közül a pincebeszakadások szerepeltek a legnagyobb arányban (45%). A várakozásoknak megfelelően a löszös környezetben történt a legnagyobb számú mozgási esemény.

A feladat további lépéseként fontos volt az eseményekhez csapadék-idősorokat rendelni azt keresve, hogy az események közelében látható-e csapadék maximum? Az irodalmi áttekintésből látható volt, hogy a mozgást kiváltó csapadékjellemzőket egy hosszabb és egy rövidebb időtartamra érdemes vizsgálni, mert a hosszabb időtartam csapadéka meghatározza a közeg kezdeti nedvesség állapotát, míg a rövid időtartamé erre szuperponálódva aktivál(hat)ja a mozgást.

Az extrém nagy csapadékú 2010-es év adatainak megfelelő kezelését követően, a számítások alapján egyértelművé vált, hogy az adatrendszerben szereplő előfordulások és a csapadékjellemzők kapcsolatban vannak egymással, továbbá sikerült két küszöbértéket meghatározni, amely a normál csapadékos időszakra 23 mm, míg az extrém időszakra 44 mm. Ez azt jelenti, hogy ezen érték feletti csapadékesemény előfordulásakor várhatunk az adott földtani-morfológiai szituációban felszínmozgást.

Végül a normál (23 mm-es), és a magas (44 mm-es) küszöbértékre vonatkozó gyakoriságváltozások vizsgálatát is elvégeztük a teljes idősorra (az alapadatokra, azok átlagára, és mediánjára) az RCP_301-es pontra (Dunaújváros), 4 klímamodellre.

3 FÖLDTANI VESZÉLYFORRÁSOK MAGYARORSZÁGON

Földtani veszélyforrás fogalma alatt sokféle jelenséget érthetünk, vizsgálataink során ezeknek csak egy szűkebb körét vizsgáltuk. A legismertebb földtani veszélyforrások a földrengések és a vulkáni tevékenység különböző megjelenési formái. Ezekkel nem foglalkozunk, mert a mellett, hogy utóbbiak Magyarországon nem jelentenek gyakorlati kockázatot, bekövetkezésük nem időjárás, illetve klíma-függő¹.

A földtani veszélyforrások harmadik csoportja azonban Magyarországon nem hanyagolható el. Ezek az ún. sekélyföldtani veszélyforrások, amelyeket a 2014-ben készített országos katasztrófa kockázat-értékelési jelentésben két fő csoportra osztottak, tömegmozgásokra és üregbeszakadásokra (1384/2014 (VII. 17.) Korm. hat.). E jelenségek akkor okoznak károkat, ha építményeket, vagy valamilyen (jellemzően vonalas) infrastrukturális létesítményt érintenek.

A tömegmozgások és az üregbeszakadások (felhagyott bányavágatok, pincék, esetleg barlangok) veszélyforrásként való kezelését elsősorban a területhasználat kiterjesztése okozza, az emberek a települések fejlődésével olyan területeket is beépítenek, amelyek ezekkel érintettek, az elszenvedett károk a városiasodással és az ipari fejlődéssel párhuzamosan növekednek. Az emberi tevékenység hatása kettős. Egyrészt a földtani környezet kedvezőtlen sajátosságai fokozódnak az emberi tevékenység hatására (útbevágások, megnövekedett épületterhek, vízbeáramlások), másrészt a területen megjelenő épített környezet miatt egy-egy felszínmozgás nagyságrendekkel nagyobb károkat eredményezhet.

A fentiekkel összhangban a problémák központi kezelése csak a 60-as évek urbanizációs hulláma idején vált szükségessé. 1964-től kezdve változó szervezeti keretek között, de folyamatos adatgyűjtő munka, szükség esetén beavatkozás is történt, amely napjainkig tart. E tevékenységek dokumentumai képezik a felszínmozgás adatbázis alapját. A sekély földtani veszély Magyarországon 942 települést, a településállomány harmadát érinti.

¹ Jelenleg folynak kutatások az erős viharok, tájfunok, mint földrengés trigger jelensége vizsgálatára pl. Liu C.C. *Nature* **459**, 11, pp 833–836

4 A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A FELSZÍNMOZGÁS AKTIVITÁSRA

4.1 A felszínmozgásos folyamatok és a csapadék kapcsolata – fizikai elvek

A megfigyelések szerint a felszínmozgásos folyamatok bekövetkezése gyakran kapcsolható a megnövekedett csapadékmennyiséghez. Ezt a függést egyszerű fizikai okok magyarázzák. A lejtőstabilitást az úgynevezett biztonsági tényező segítségével szokták értékelni, amely a közeg nyírószilárdsága és a potenciális csúszófelület mentén kialakuló nyírófeszültség hányadosaként adható meg:

$$q = s / \tau$$

A Coulomb törvény alapján a csúszófelület mentén ébredő nyírófeszültséget a felépítő anyagok térfogatsűrűsége (γ), a csúszófelület mélysége (z) és a lejtőszöge (β) határozza meg:

$$\tau = \gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta$$

a lejtő állékonyságát biztosítani képes nyírószilárdság e paraméterek mellett a földtani közeg kohéziójától (c) és súrlódási szögétől (ϕ) és a pórusvíz nyomásától (u) függ:

$$s = c + (\gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta - u) \cdot \tan \phi$$

A lezivárgó csapadék hatására ezek, az állékonyság szempontjából kedvezőtlen irányban változnak. A térfogatsűrűség és a pórusvíznyomás megnő, ugyanakkor a kohézió, időnként a belső súrlódás is csökken. Mindezek miatt az a mennyiségében és/vagy intenzitásában megnövekedett csapadék nagyban megnöveli a lejtőmozgások bekövetkezésének esélyét.

4.2 A felszínmozgásos folyamatok és a globális klímaváltozás kapcsolata – rövid és hosszútávú összefüggések, bizonytalanságok

A levegőben tárolható maximális páratartalom a hőmérséklet emelkedésével nő, ennek megfelelően a globális felmelegedés egyik várható következménye a nagy csapadékok gyakoriságának és magnitúdójának növekedése (Fowler és Henessy 1995, IPCC 2007). Az előző fejezetben felvázolt fizikai okok miatt a klímaváltozás egyik gyakran említett hatása a megnövekedett csuszamlásos aktivitás (pl. MfE, 2001).

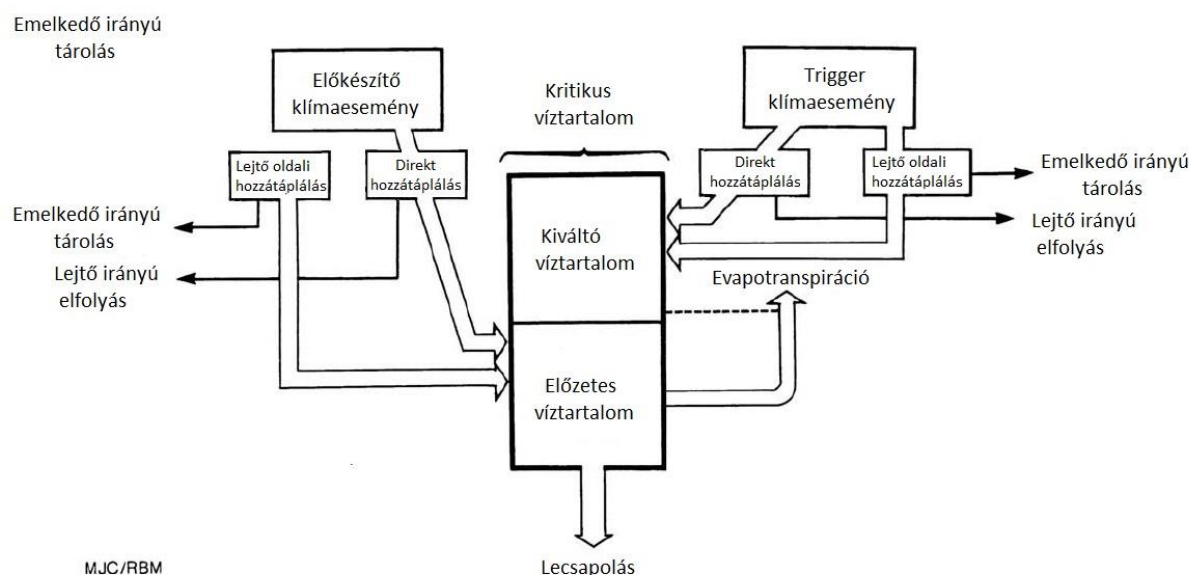
A fenti elv elfogadása azonban nem jelenti azt, hogy az összefüggés egyszerű, és kvantitatív módon is egyszerűen megfogalmazható. Ennek oka a klímaváltozás hatásainak összetettsége. A klímaváltozás több időjárási jellemzőt érint, és egy terület felszínmozgás érzékenysége több időtávon is hat. Az előbbire jó példa a hőmérsékletváltozás, amely közvetett úton (például a hóolvadáson felgyorsításával, vagy a párolgási jellemzők módosításával a megelőző csapadékmennyiség hatását befolyásoló tényezőként) szintén befolyásolhatja a felszínmozgásos folyamatok gyakoriságát.

A klímaváltozás eltérő időskálájú hatásai kapcsán végig kell gondolnunk: amellett, hogy a globális felmelegedés hatással van a kiváltó (trigger) események gyakoriságára, a megváltozott éghajlati tényezők hosszú távú, úgynevezett előkészítő folyamatokat is elindíthatnak, amelyek módosíthatják egy-egy terület stabilitását (például egy stabil területből hosszú idő alatt sérülékeny, egy sérülékenyből aktív mozgásos terület lesz). Ilyen változásokat okoz pl. a mállási sebesség, vagy a növénytakaró változása, amely a megváltozott beszívargási viszonyok, vagy párologtatás (evapotranspiráció) miatt megváltoztatják az érintett területek sérülékenységet. Ezek komplex, regionális szinten nehezen számszerűsíthető folyamatok, a különböző időtávú hatások nehezen választhatók szét, vizsgálatuktól

ezért a jelen projekt keretében eltekintünk, és a továbbiakban csak a kiváltó események azonosítására, és azok – különböző klíma forgatókönyvekben szereplő – gyakoriságváltozásaira koncentrálnak.

4.3 A kiváltó (trigger) folyamatok meghatározásának bizonytalanságai

A regionális összefüggések feltárását tovább nehezíti, hogy maguk a kiváltó hatások sem feltétlenül ugyanolyan időskálán hatnak minden felszínmozgás esetén. Attól függően, hogy a csúszófelület, vagy egyéb felszínmozgást kiváltó objektum milyen mélységben helyezkedik el, a kiváltó csapadékhullás és az előfordulás bekövetkezése között órák, de akár hetek is eltelhetnek. Ez nyilvánvalóan megnöveli a korrelációs vizsgálatok bizonytalanságait, és rendszerint szükségessé teszi a helyi adottságok beépítését az ilyen vizsgálatokba. Végezetül arról sem szabad megfeledkezni, hogy a csapadékmennyiség növekedése gyors felszíni elvezetés mellett, vagy egy száraz időszakot követően nem vált ki feltétlenül felszínmozgást. A felszínmozgás kiváltása szempontjából kritikus víztartalom kialakulását befolyásoló tényezők összefüggéseit a 1. ábrán mutatjuk be. Mindezekből következik, hogy a helyszín specifikus részletek ismeretének hiányában a trigger csapadékesemények küszöbértékeinek meghatározása meglehetősen bizonytalan.



1. ábra A felszínmozgás kiváltását leíró vázlatos hidrodinamikai modell (Crozir 2010 nyomán)

A modell alapján a felszínmozgásokat kiváltó csapadékjellemzőket két szinten, egy hosszabb és egy rövidebb időtartamra érdemes vizsgálni, mégpedig párhuzamosan. A hosszabb időtartam alatt lehulló csapadék határozza meg a földtani közeg felszínmozgást megelőző kezdeti állapotát, amely visszahat a potenciális rövid idejű (kiváltó) esemény jellemzőire. Ez leegyszerűsítve úgy is kifejezhető, hogy minél nagyobb az előkészítő jellegű megelőző csapadékmennyiség, annál kisebb mennyiségű hozzáadott vízmennyiség szükséges az felszínmozgás kiváltásához.

A klímaváltozás és a felszínmozgás gyakoriság között regionális összefüggések meghatározása – szakirodalmi példák és módszertan

Számos tanulmány született a klímaváltozás felszínmozgás aktivitására gyakorolt hatásáról, az ezek során alkalmazott módszerek spektruma igen széles. Ezek nem mindegyike használ klíma forgatókönyveket, az éghajlat múltbéli megváltozása is támpontot nyújthat a folyamatok megértésében, sőt, mivel a klímaváltozások hatása és az emberi történelem szoros kölcsönhatásban van (az emberi beavatkozás már a történeti időkben is hatott a környezetre, a növénytakaró jellegére és a mikroklimá-

ra, és számos bizonyíték van a felszínmozgás aktivitás és a historikus emberi tevékenység kapcsolatára. A kapcsolódó tanulmányok viszonylag jó áttekintését adja Crozier 2010-es cikke.

Meg kell jegyezni, hogy felszínmozgás aktivitás a jelenkorban még erősebben függ az emberi tevékenységtől, a városiasodás, a népességszökkenés, egy-egy régió gazdasági fejlődése és ennek hatására átalakuló társadalmi és műszaki környezet sok esetben nagyobb hatással van a rá, mint az éghajlat változása. Ez érdekes tématerület, de a vizsgálatok erősen interdiszciplináris jellege miatt ezzel jelen munka keretében nem foglalkoztunk. A címbeli problémát boncolgató tanulmányok nagyobb része ehhez hasonlóan önmagában a klímaváltozás hatásait kutatja, és nem foglalkozik az emberi tevékenység hatásaival. Az ilyen szemléletű vizsgálatoknál a kiváló időjárási események változásainak becsléséhez célszerű a globális klímamodellek adataiból kiindulni. Mivel a felszínmozgások helyi és nem globális hatással járnak, és az előfordulások bekövetkezésének időjárási feltételei is helyhez kötöttek, a vizsgálatokat általában a globális modellek leskálázásával előállított modellek adataira alapozzák.

4.3.1 Globális klímamodellek leskálázásából származó modellek

A kiváltó esemény – jellemzően csapadék – felszínmozgásra gyakorolt hatását determinisztikus és statisztikus eljárásokkal is meg lehet becsülni. Az előbbi esetben lejtőstabilitás és/vagy hidrológiai modellek viselkedését vizsgálják különböző csapadékvizonyok között. Ilyen vizsgálatot végeztek például Collison és társai (2000) Dél Anglia területén, digitális terepmodelleken végzett vízgűjtő lehatárolás segítségével. A bemenő csapadékok és a vízgűjtő terepmodell alapján meghatározták a talajvízszint változásait, majd ez alapján a lejtőstabilitás változását becsülték. Érdekes, hogy eredményeik alapján a klímamodellekben szereplő megnövekedett csapadékmennyiség lejtőállékonyságra gyakorolt hatását ellensúlyozta az evapotranspiráció növekedése. Hasonló vizsgálatokat végeztek Dehn és társai (2000) az olaszországi Dolomitokban. Az általuk vizsgált modellek különösen a tavaszi időszakban csökkenő csapadékmennyiségeket eredményeztek hasonló irányú felszínmozgás aktivitással, ugyanakkor a szerzők is leismerik az eredmények nagy bizonytalanságát.

A statisztikus módszerek elterjedtebbek hasonló vizsgálatok esetén. Mivel mi a teljes ország területét vizsgáljuk, ahol sokféle mozgástípus fordul elő különböző földtani környezetben és domborzati viszonyok között, ezért a rendelkezésre álló időkeretet figyelembe véve csak e módszerek alkalmazása jöhetett szóba.

A legegyszerűbb esetben valamilyen statisztikai csapadékjellemzőt kapcsolunk össze direkt módon a felszínmozgások gyakoriságával. Ehhez természetesen lehetőleg teljes felszínmozgás adatbázisra van szükség. A vizsgálatokat egy adott terület hosszú idejű megfigyelésével, vagy – egyfajta ergodikus hipotézis elfogadása mellett – térben elkülönülő, különböző csapadékvizonyokkal rendelkező helyek bevonásával is végezhetjük. Ez utóbbi feltétel teljesülése kérdéses, mivel egy területen a bekövetkező felszínmozgások gyakorisága egy –az átlagos csapadékoságtól is függő – hosszú távú egyensúlynak megfelelően alakul. További kérdést vet fel, hogy a vizsgálatba bevont területek sajátosságai mennyire fedik le a területi jellemzők teljeségét. E kételyek mellett is történtek ilyen vizsgálatok: Hicks Új-Zélandon (hatványfüggvény jellegű) számszerű összefüggést határozott meg az évi átlagos csapadék és a felszínmozgás gyakoriság között (Hicks 1995). Hasonló kapcsolatokat próbáltak meghatározni a felszínmozgással érintett területek, és a kiváltó 1 napos csapadék nagysága (a kihullott csapadék mm-ben meghatározott értéke) között. E vizsgálatokkal kapcsolatban kimutatható, hogy a különböző helyszínek lokális jellemzői meghatározók, és hogy a meghatározott összefüggések ismételt előfordulások esetén is erősen változnak. Az áttekintett szakirodalom alapján a vizsgálatok fősodrát jelenleg a nagyszámú egyedi felszínmozgás előfordulást kiváltó csapadékjellemzők statisztikai feldolgozása jelenti, amelynek eredménye egy olyan küszöbérték meghatározása, amelynél kisebb csapadék nem okozhat felszínmozgást. Mivel a kiváltó csapadékok jellemzői (időtartam, intenzitás) széles skálán mozognak, és vizsgált terület éghajlati viszonyai is változatosak, sokféle formában adnak meg ilyen

küszöbértéket. Akármilyen formában adott is a kiváltó küszöbérték: éghajlati változás esetén az erre vonatkozó előfordulási gyakoriságok változását érdemes vizsgálni a különböző forgatókönyvekre.

4.3.2 A csapadékmennyiség és a felszínmozgás gyakoriság kapcsolata – a kiváltó folyamatok küszöbértékei

Előzetesen célszerű leszögezni, a küszöbértékek meghatározásának célja általában nem a klímaváltozás hatásának becslése, hanem a korai előrejelző rendszerek (early warning system) jelzési szintjeinek meghatározása. Mivel a területhasználat változása miatt számos helyen a korábbiaknál sokkal nagyobb problémát jelentenek a különböző felszínmozgások direkt és közvetett (pl. infrastruktúrát érintő) hatásai, a küszöbértékek minél pontosabb meghatározása intenzív kutatás alatt áll, főleg az érintett országokban (Olaszország, Nagy-Britannia, Új-Zéland).

A küszöbértékek meghatározására szolgáló statisztikai módszerek esetén a legfontosabb kérdés, hogy milyen számszerűsíthető tényezőket próbálunk összekapcsolni a felszínmozgásokkal. A csapadék esetében nem mindegy, hogy milyen átlagos csapadékviszonyok között mennyi időn keresztül, milyen intenzitással, milyen előzményeket követően hullik. A küszöbértékek meghatározásának módszereiről, és a korábbi munkákról jó összefoglalást ad Guzzetti tanulmánya (2008).

Az első (globális) felszínmozgásra vonatkozó küszöbértéket Nel Caine vezette be 1980-ban, intenzitás-időtartam összefüggés formájában:

$$I = 14.82xD^{-0.39} \quad (0.167 < D < 500)$$

ahol I a csapadék intenzitás (mm/h), D az időtartam (h) (Caine 1980). Az összefüggés azt mutatja meg, hogy valamely csapadék időtartam mellett mekkora az az intenzitás, ami alatt nem kell számolni felszínmozgás bekövetkezésével (minimum küszöb.). A zárójeles kifejezés az időtartamra vonatkozó érvényességi tartományt mutatja, az összefüggés tehát 10 perc és 500 óra (~21 nap) közötti csapadék-időtartamra vonatkozik. Caine a vizsgálatokhoz 73 felszínmozgás és csapadékkörülmény adatait használta fel.

Az úttörő cikk óta intenzív kutatás jellemzi a területet, nagyszámú, a világ különböző részein bekövetkezett lejtőmozgás, törmelékcsúszás adatainak bevonásával. Különböző vizsgálatokban a csapadék intenzitáson és időtartamon túl sokféle egyéb paramétert vettek figyelembe az összefüggések pontosítására (1. táblázat). A további használat céljának megfelelően többféle (globális, regionális vagy helyi) szintre határoznak meg küszöbértékeket. Néhány, az 1. táblázat paramétereit alkalmazó globális küszöbértékre vonatkozó összefüggést mutatunk be a 2. táblázatban.

1. táblázat A küszöbérték meghatározására alkalmazott összefüggésekben szereplő csapadéokra és éghajlatra vonatkozó különböző tényezők összefoglaló táblázata (Guzzetti 2008 cikkéből átvett táblázat)

Variable	Description	Units	First introduced
D	Rainfall duration; the duration of the rainfall event	h or days	Caine (1980)
D_C	Duration of the critical rainfall event	h	Aleotti (2004)
E	Cumulative event rainfall; The total rainfall measured from the beginning of the rainfall event to the time of failure; also known as storm rainfall	mm	Innes (1983)
E_{MAP}	Normalized event rainfall; cumulative event rainfall normalized to MAP ($E_{MAP} = E/MAP$); also known as normalized storm rainfall	–	Guidicini and Iwasa (1977)
C	Critical rainfall; the total amount of rainfall from the time of a distinct increase in rainfall intensity (t_0) to the time of the triggering of the first landslide (t_f).	mm	Govi and Sorzana (1980)
C_{MAP}	Normalized critical rainfall; critical rainfall divided by MAP ($C_{MAP} = C/MAP$)	–	Govi and Sorzana (1980)
R	Daily rainfall; the total amount of rainfall for the day of the landslide event	mm	Crozier and Eyles (1980)
R_{MAP}	Normalized daily rainfall; daily rainfall divided by MAP ($R_{MAP} = R/MAP$)	mm	Terlien (1998)
I	Rainfall intensity; the average rainfall intensity for the rainfall event	mm h ⁻¹	Caine (1980)
I_{MAP}	Normalized rainfall intensity; rainfall intensity divided by MAP ($I_{MAP} = I/MAP$)	h ⁻¹	Cannon (1988)
I_{MAX}	Maximum hourly rainfall intensity; the maximum hourly rainfall intensity	mm h ⁻¹	Onodera et al. (1974)
I_p	Peak rainfall intensity; the highest rainfall intensity (rainfall rate) during a rainfall event; available from detailed rainfall records	mm h ⁻¹	Wilson et al. (1992)
$I(h)$	Mean rainfall intensity for final storm period; "h" indicates the considered period, in hours, most commonly from 3 to 24 h	mm h ⁻¹	Govi and Sorzana (1980)
I_F	Rainfall intensity at the time of the slope failure; available from detailed rainfall records	mm h ⁻¹	Aleotti (2004)
I_C	Critical hourly rainfall intensity	mm h ⁻¹	Heyerdahl et al. (2003)
I_{pMAP}	Normalized rainfall intensity at the time of the slope failure; rainfall intensity at the time of the slope failure divided by MAP ($I_{pMAP} = I_p/MAP$)	h ⁻¹	Aleotti (2004)
$A(d)$	Antecedent rainfall. The total (cumulative) precipitation measured before the landslide triggering rainfall event; "d" indicates the considered period in days	mm	Govi and Sorzana (1980)
A_{MAP}	Normalized antecedent rainfall; antecedent rainfall divided by MAP ($A_{MAP} = A/MAP$)	–	Aleotti (2004)
MAP	Mean annual precipitation; for a rain gauge, the long term yearly average precipitation, obtained from historical rainfall records; a proxy for local climatic conditions	mm	Guidicini and Iwasa (1977)
RDs	Average number of rain days in a year (rainfall frequency); a rain day is a day with at least 0.1 mm of rain; for a rain gauge, the long term yearly average of rain days obtained from historical rainfall records; a proxy for local climatic conditions	#	Wilson and Jayko (1997)
RDN	Rainy-day normal; for a rain gauge, the ratio between the MAP and the average number of rain days in a year ($RDN = MAP/RDs$)	mm/#	Wilson and Jayko (1997)
N	Ratio between MAPs in two different areas	–	Barbero et al. (2004)

2. táblázat Különböző, globális szintre vonatkozó, eltérő érvényességi tartományú küszöbértékek

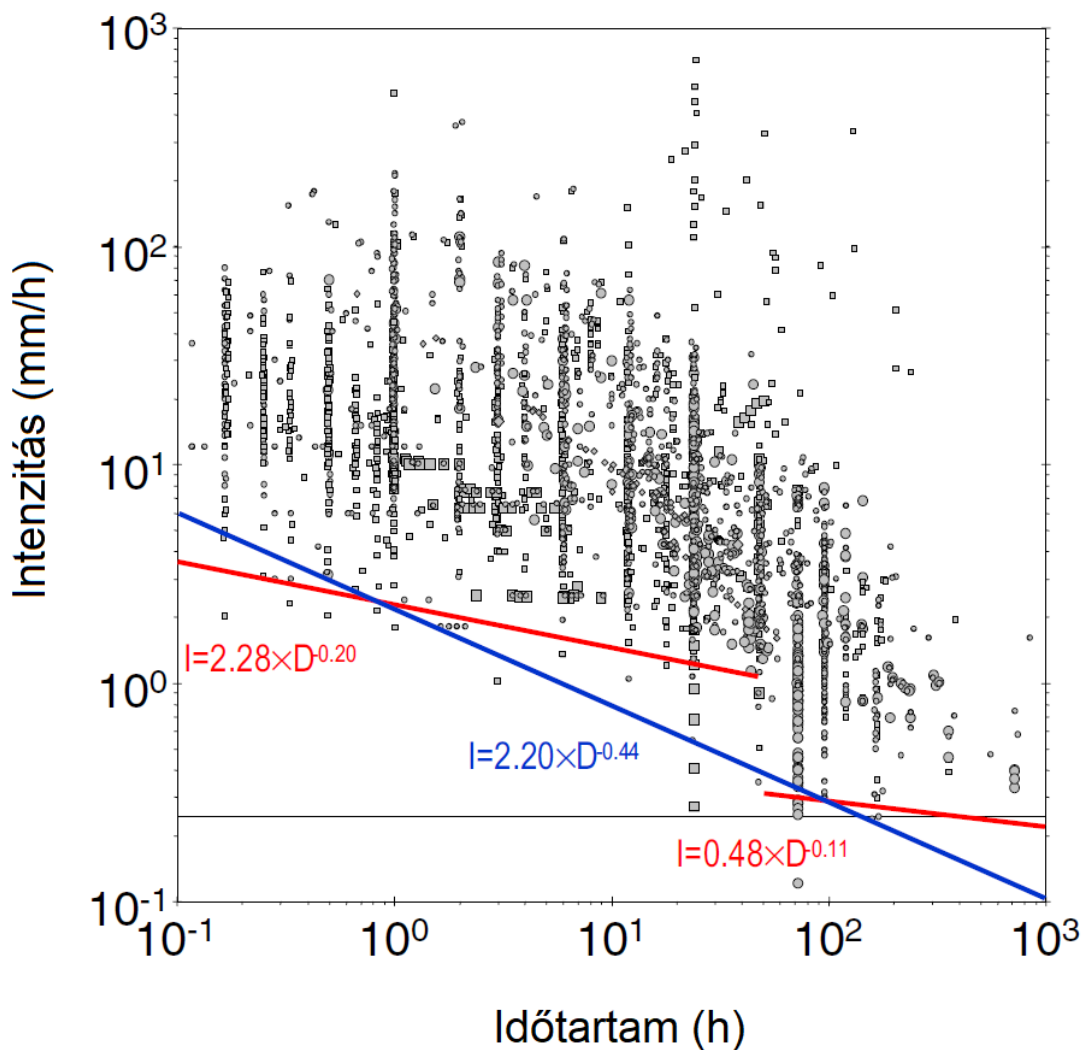
N	Szerző	Évszám	Mozgástípus	Köszöb típus	Összefüggés	Érvényességi tartomány
1	Caine	1980	Sekély lejtőcsúszás	ID	$I = 14.82 \times D^{-0.39}$	$0.167 < D < 500$
2	Innes	1983	Törmelékletjtő	ID	$I = 4.93 \times D^{-0.50}$	$0.1 < D < 100$
3	Clarizia et al.	1996	Talajcsúszás	ID	$I = 10 \times D^{-0.77}$	$0.1 < D < 1000$
4	Crosta and Frattini	2001	Sekély lejtőcsúszás	ID	$I = 0.48 + 7.2 \times D^{-1.00}$	$0.1 < D < 1000$
5	Cannon and Gartner	2005	Törmelékletjtő	ID	$I = 7 \times D^{-0.60}$	$0.1 < D < 3$
6	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	ID	$I = 2.2 \times D^{-0.44}$	$0.1 < D < 1,000$
7	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	ID	$I = 2.28 \times D^{-0.20}$	$0.1 < D < 48$
8	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	ID	$I = 0.48 \times D^{-0.11}$	$48 \leq D < 1000$
9	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IMAPD	$IMAP = 0.0016 \times D^{-0.40}$	$0.1 < D < 1000$
10	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IMAPD	$IMAP = 0.0017 \times D^{-0.13}$	$0.1 < D < 48$
11	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IMAPD	$IMAP = 0.0005 \times D^{-0.13}$	$48 \leq D < 1000$
12	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IRDND	$IRDND = 0.25 \times D^{-0.39}$	$0.1 < D < 1000$
13	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IRDND	$IRDND = 0.27 \times D^{-0.14}$	$0.1 < D < 48$
14	Guzzetti et al.	2008	Sekély lejtőcsúszás	IRDND	$IRDND = 0.06 \times D^{-0.12}$	$48 \leq D < 1000$

A küszöbértékek meghatározása rendszerint a felszínmozgásra és a közeli csapadékmérő állomások adataira támaszkodik. A folyamat egy mennyiségi és minőségi szempontból megfelelő felszínmozgás adatbázis összeállításával kezdődik. A szakirodalom alapján a mennyiségi adatok meglehetősen szórónak, a Caine féle 73 lejtőcsúszás és a Guzetti féle 2626 db előfordulás között sokféle szám előfordul. Utóbbi magas értékét az indokolja, hogy a globális felülvizsgálathoz rendkívül sokféle földrajzi fekvéssel rendelkező, eltérő időjárási és domborzati viszonyok között elhelyezkedő helyszín bevonását tartották szükségesnek.

A felszínmozgás adatbázisba rendszerint olyan előfordulásokat vonnak be, amelyekről előzetesen feltételezik, hogy csapadék hatására következtek be. Vannak példák, amikor olyan, viszonylag nagy csapadék eseményeket is figyelembe vesznek, amelyekhez nem kapcsolható felszínmozgás előfordulás, az adatbázisban azonban ez a jellemző (ti., hogy van-e az adott csapadék eseményhez kapcsolható következmény)² felszínmozgás előzetesen ismert információként szerepel. A felszínmozgás előfordulások jellemzésére azok típusán, a bekövetkezés helyén, és lehetőleg napon belüli idején kívül rendszerint a befoglaló földtani környezetet és lejtőviszonyokat, a területi kiterjedést esetleg a megmozdult térfogat nagyságát és a növényborítottságot szokták figyelembe venni. Fizikai, hidrológiai modelleknél természetesen célszerű részletesebb adatokat gyűjteni, ami a modellezési eredmények megbízhatóságát növeli.

Hasonlóan fontos a csapadékviszonyok helyben és időben minél pontosabb (jobb felbontású) ismerete. A csapadékokat rendszerint nem térképi, vagy a CarpatClim adatbázishoz hasonló interpolált adatokból szerzik, hanem közeli meteorológiai (csapadékmérő) állomások adataiból. Így a kiinduló adatok időbeli felbontása sokkal jobb, a kiváltó csapadék eseményekhez (jellemzően 10 perc és ~1 hónap között) időtartamokat és intenzitást rendelnek, ami megadja a kihullott csapadék mennyiségét is (2. ábra).

² Az angol nyelvű cikkekben a közvetlen oksági kapcsolatot a consequent, az időben egymást követőt (tehát azt az esetet, ahol az esetleges későbbi felszínmozgás előfordulás független a vizsgált csapadéktól független) subsequent kifejezésekkel írják le



2. ábra Lejtő- és törmelékcsúszásra vonatkozó globális küszöbök 2626 felszínmozgást kiváltó csapadék esemény adatai alapján

Az egyes kiváltó csapadékok jellemzőit az időtartam-intenzitás koordináta rendszer megfelelő pontjai jelölik. A pontok jelölése a kiváltott felszínmozgás típusától függően változik. A pontfelhő eloszlásának jellege kb. 48 óránál változik. A teljes adatrendszer figyelembevételével meghatározott küszöböt a kék, az időtartam növekedésével változó jelleget is leképező – differenciált – küszöböket piros vonalak jelölik. Guzetti (2008) nyomán

Az ábrával kapcsolatban több kérdés is felmerül:

- Hosszabb idejű csapadék esetén, melyik időtartam-intenzitás pár jellemzi legjobban, a kiváltó eseményt?
- Milyen eljárással lehet behúzni a küszöbérték egyenest (ami természetesen csak log-log koordináta-rendszerben egyenes), és meghatározni a küszöbértéket.

A második kérdésre Guzetti (2008) és Melillo (2018) cikkei alapján az a válasz, hogy az esetek nagy többségében a küszöbök nehezen rekonstruálható, és szubjektív módszerek alapján állapítanak meg. Idézett cikkekben ezektől eltérően, az időtartam-intenzitás leírására szolgáló hatványfüggvény paramétereit valószínűségi változónak tekintve, azokat (bayesi, illetve gyakorisági módszerekkel) statisztikai úton határozták meg. Részben ezért, részben a bemenő adatok bizonytalansága miatt, a szakirodalomban fellelhető küszöbök paramétereit meglehetősen különbözőek, és nehéz megmonda-

ni, hogy e különbségek mennyiben tükrözik a területi jellegzetességeket (globális esetben azt, hogy a bevont adatok mennyire teljesek), és mennyiben a az eltérő módszertant.

Az első kérdés talán még komplikáltabb. Előfordulhatnak olyan esetek, amikor egy-egy időszak megszakítás nélkül, többféle intenzitású csapadékhullással jár, kisebb szünetek következnek be, és az is kérdés, hogy a több napon át tartó csapadékok mennyiségeit hogyan vonjuk össze (mi lesz az effektív mennyiség). Az 1. ábra vázlatos modellje alapján is nyilvánvaló, hogy az felszínmozgást kiváltó csapadék nagysága nagymértékben függ az előzménycsapadék mennyiségétől és elosztásától. Bizonyos esetekben erre igen bonyolult módszertant alkalmaznak. (Melillo és társai 2018) regionális küszöbök meghatározására fejlesztett automatizált eljárásokból felépített szoftvert. A fejlesztés a felszínmozgással gyakran sújtott olaszországi régiók korai figyelmeztető rendszerének kialakításához kapcsolódik. A bemutatott eljárás kihasználja a sűrű csapadék-mérőrendszer által nyújtott nagy tér- és időbeli adatfelbontást, amelynek segítségével több állomás adatait is figyelembe veszi egy-egy felszínmozgás előfordulást indukáló csapadék jellemzésére, és egy-egy, a meghatározásnál számszerűsített csapadékos eseményt szofisztikált módszerrel határolja le. A lehatárolás során az elszivárgásból származó veszteséget és az evapotranspiráció hatását is figyelembe veszi.

Az előzetes csapadék figyelembevételére léteznek egyszerűbb modellek is, mint az előzetes víztartalom állapot modell (Crozier 1999), amely archív adatok alapján a megelőző csapadékösszegek figyelembe vételével meghatározza azokat a küszöbértékeket, amelyek egy adott területen felszínmozgást okoznak. A vizsgálatok alapján a módszer megfelelő a klímaváltozás hatásának becslésére, helyi előrejelzésre azonban, a globális klímamodellek leskálázásának bizonytalansága miatt nem alkalmas.

4.3.3 Előzetes víztartalom állapot modellek

Az első fejezetnek megfelelően a hosszabb idő alatt lehulló csapadék szabályozza, hogy a napi csapadékmennyiség mennyisége elégséges-e ahhoz, hogy felszínmozgást okozzon. Erre épül a megelőző vízállapot modellezés (Crozier 1999), amely archív adatok alapján a megelőző csapadékösszegek figyelembevételével határozza meg azt a napi csapadék-küszöbértéket, amelyek felszínmozgást okozhat. Csapadékos idő esetén a megelőző vízállapotot a napi csapadékösszegekből egy hatványfüggvény szerint súlyozott érték adja meg, az utolsó napi, felszínmozgást kiváltó csapadékösszeg ennek nagyságától függ.

Crozier vizsgálatai alapján (2010) a módszer megfelelő a klímaváltozás hatásának becslésére.

5 AZ ÖSSZEFÜGGÉSEK FELTÁRÁSÁRA HASZNÁLT ADATOK

5.1 A hazai felszínmozgásra vonatkozó információk forrásai

A rendelkezésre álló felszínmozgásra vonatkozó információ több, részlegesen eltérő célú, lebonyolítású tevékenység eredményeképpen gyűlt össze. E nagytömegű információ egységes adatbázisba szervezése a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatnál jelenleg is folyik. A munka során különböző központi és regionális szervezetek által, különböző programok kereteiben és különböző koncepcióval gyűjtött felszínmozgás adatait kell – amennyire ez egyáltalán lehetséges – egységesíteni.

A felszínmozgásokkal, elsősorban lejtőcsúszásokkal és partfalomlásokkal kapcsolatos központi adatgyűjtés az 1970-es években kezdődött. Ennek első lépéseként a Központi Földtani Hivatal 1972-ban rendszeres földtani-műszaki kataszterezési programot indított. A munkában számos hazai intézmény vett részt (Alumíniumipari Tervező és Kutató Intézet, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, Út és Vasúttervező Intézet, Borsodi szénbányák Vállalat). A kataszterezés három fázisban folyt:

- a felszínmozgással érintett területek összegyűjtése (megjelenítés 1:25000 térképlapokon),
- helyszíni bejárás és földtani állapotfelvétel (értékelés és megjelenítés 1:2000 térképlapokon),
- helyszíni fúrásos vizsgálatok és inklinométeres vizsgálatok mintaterületeken.

A program 1990-es évek közepén zárult le, az előfordulásokról egységes felépítésű kataszteri lapok (1. melléklet), a veszéllyel érintett településekről zónatérképek készültek a területhasználat korlátozására tett javaslatokkal.

Az adatgyűjtéssel párhuzamosan, kárelhárító és megelőző munkák is folytak. A rendszeres megelőző tevékenység az alapincézett településeken 1976-ban kezdődött, majd 1997-től kiterjedt a földcsuszamlások elleni védekezésre is. Az önkormányzatok által benyújtott támogatási igényekben leírt adatokat – a korábbi káresetekről, a potenciális problémákról – az ezeket okozó földtani körülményekről a támogatás odaítéléséről döntő szakértői bizottság vezetett nyilvántartást. A program 2002-ig tartott, lezárása után az adatgyűjtés is szünetelt. Ezt követően preventív munkákra csak az Unió támogatásai adtak lehetőséget, a bekövetkezett káreseteket a központi költségvetés vis maior keretéből finanszírozták. 2005-től kezdve a támogatási kérelmeket újra a szakértői bizottság bírálta el, így azóta az adatgyűjtés folyamatos³.

2010-2011 között az 1972-1985 között készült kataszteri lapokat digitalizálták, és térinformatikai adatbázisba szervezték. Az adatbázisba részleges bekerültek a szakértői bizottság 1976 és 2002 közötti nyilvántartásának, és alárendelten a 2005 utáni, vis-maior keretből finanszírozott esetek is.

5.2 A rendelkezésre álló felszínmozgás adatbázis korlátai

A projekt során a földtani veszélyforrás adatbázis tekintetében több nehézséggel kellett szembesülni:

³ 2007-2017: MBFH (Magyar Bányászati és Földtani Hivatal)

2107- : MBFSz (Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat)

- Az adatbázisba bevont információk, az adatgyűjtési időszak több évtizedes hosszából adódóan tartalmukat, formátumukat, valamint megbízhatóságukat tekintve is heterogének;
- Az alapadatok (kataszteri és vis maior jegyzőkönyvek, felülvizsgálati adatlapok) elsősorban földtani céllal készültek, és sokszor az adatgyűjtés módja miatt sem volt lehetséges pontos időpontot kötni az előfordulásokhoz;
- Az intézet által kezelt felszínmozgás adatbázis ugyancsak földtani céllal készült, így itt sem volt elsődleges szempont az előfordulások bekövetkezési idejének pontosítása.

Mindezek miatt a munkacsoportnak nagy energiát kellett fektetnie az adatbázis pontosítására. Első lépésben az 1972–89 között létrehozott felszínmozgás kataszteri lapokat vizsgáltuk át. Ezek már szerepeltek a meglévő adatbázisban, de a dátumadatok bizonytalansága miatt szükségesnek látszott, hogy a bekövetkezési időpontok pontosítására átvizsgáljuk az eredeti kataszteri lapok szkennelt változatait. 1016 db lap átvizsgálása után úgy értékeltük, hogy az ezekből származó adatbázis nem alkalmas statisztikai vizsgálatokra (a lapok felében találtunk időadatokat, napi pontosságú megjelölés az esetek 3 %-ban fordult elő).

Az adatkör második része az 1975–2002 közötti időszak közötti veszély-elhárítási program adatait tartalmazza. Ez a program elsősorban preventív céllal indult, a jegyzőkönyvek, adatlapok így csak alárendelten tartalmaznak pontos eseményleírásokat ráadásul a folyamatosan módosuló szervezeti formák és adminisztráció miatt a dokumentáció heterogén és hiányos.

Statisztikai feldolgozásra alkalmas, homogén adatrendszert a vis maior támogatásokhoz kapcsolódó szakértői bizottsági jegyzőkönyvek jelenthetnek, amelyek 2005-től állnak rendelkezésre. Ezeket a meglévő adatbázisok csak részlegesen tartalmazzák (a projekt indulásáig mintegy 30%-ukat rögzítették), és az adatrögzítést területileg elkülönítve végezték (az adatrendszert megyei bontásban tárolták, és az adatbevitel is ezt a logikát követte). A homogén adatrendszer követelménye miatt úgy ítéltük, hogy az adatbázisba célszerű az összes 2005 és 2010 között felvett (összesen 991 db) jegyzőkönyv adatait bevonni. Az ezekre vonatkozó adatok nagyobb része nem volt adatbázisba szervezve, ezért egy új, valamennyi jegyzőkönyv adatait egységes formában tartalmazó adatrendszer létrehozását tűztük ki célul. Az ezzel kapcsolatos tevékenységet a következő főfejezetben mutatjuk be.

5.3 A CarpatClim adatbázis

Az időjárási (csapadék) küszöbérték meghatározásához a CarpatClim-HU adatbázis napi gyakoriságú adatait használtuk.

Maga a CarpatClim adatbázis a 2010-es évek elején állt fel egy COST ('European Cooperation in Science and Technology') program (COST Action ES0601) keretében létrehívott, adat-homogenizációt lehetővé tevő sokváltozós adatanalitikai eljárás ('MASH', Szentimrey, 2011) alkalmazása révén. A CarpatClim projekt ('Climate of the Carpathian Region Project') fő célja egy kapcsolt adatforrás és adathozzáférés fejlesztése a Kárpát-régióban, regionális klímakutatások, pl. aszálymonitoring végzése érdekében (Lakatos et al., 2013). A projekt célterülete számos, a Kárpát-medencei térségben megtalálható országot érint – így Ausztriát, Csehországot, Lengyelországot, Magyarországot, Romániát, Szlovákiát, valamint Ukrajnát –, és a régió finom klímastruktúráinak idő- és térbeli változékonyságát vizsgálja egységes módszertannal. Eredményként egy hálós, 0,1° (~10*10 km) felbontású, számos

meteorológiai paramétert napi idősorokkal reprezentáló, 1961–2010 közötti időablakra szóló átfogó képet kapunk. A projekt végső soron minőség-ellenőrzött, homogenizált, in-situ, az egész régióban országanként hozzáférhető napi idősorokat és 10 km-es felbontású rácshálóban elérhető adatokat szolgáltat, beleértve egy metaadat katalógust, a létező, homogenizált adatbázisok dokumentációjával együtt (Czira et al., 2012, Lakatos et al., 2013).

Meg kell jegyezni, hogy a valós idejű riasztásra vonatkozó küszöbértékek meghatározására vonatkozó szakirodalom szerint (Melillo 2018) a küszöbértékek meghatározásának pontosságát nagymértékben növeli, ha interpolált értékek helyett a közeli valós csapadékmérő pontok adatait használják, ilyen adat azonban nem állt rendelkezésünkre.

5.4 Klímaváltozási forgatókönyvek

A megfigyelési adatsorok segítségével azonosított küszöbértékek előfordulásainak gyakoriságát az RCA (Rummukainen et al., 2001, Jones et al., 2004, Bartholy, Pongrácz (ed), 2013) klímaforgatókönyvek idősorain vizsgáltuk három időablakban (1971–2000, 2021–2050, 2071–2100).

Az említett időablakok kiválasztása nem véletlen. Az első intervallum a fentebb említett CarpatClim alapadatbázis idővetülete. Az 1971–2010 közötti időszakban alapvető, mért meteorológiai elemek és több származtatott paraméter adatai napi, havi, évszakos és éves felbontásban érhetők el, amelyek áttekintését az alábbi, 3. táblázatban adjuk közre.

3. táblázat Alapvető és származtatott meteorológiai paraméterek, mint kitétségi mutatók a NATÉR-ben (OMSZ nyomán Czira et al. 2012)

Kitétségi mutatók	
Átlaghőmérséklet	°C - napi
Minimum hőmérséklet	°C - napi
Maximum hőmérséklet	°C - napi
Csapadékösszeg	mm - napi
10 m-es horizontális szélesebesség	m/s - napi
10 m-es horizontális szélesebesség maximuma	m/s - napi
Napfénytartam	h – napi
Felhőborítottság	tized - napi
Globálisugárzás	MJ/m ² /nap
2 m-es relatív páratartalom	% - napi
Vízgőznyomás	hPa – napi
Felszíni légnyomás	hPa – napi
Hóvastagság	cm – napi
Hóvízgyenérték	mm – napi

A múltra vonatkozóan elérhető adatok azonban nem pusztán archívumként kezelendők, hanem pótolhatatlan alapot képeznek a jövőben várható események megfelelő becslésében. A NATÉR (Pálvölgyi, Selmeczi [ed.], 2016) keretében a jövőbeli változások számszerűsítése két időszakra történt meg: a rövidtávú alkalmazkodást a 2021–2050 közötti, míg a hosszú távú adaptációs lehetőségeket a 2071–2100 közötti időszakra tekintette át a projekt (Czira et al., 2012). Az időablakok kiválasztása az OMSZ által fejlesztett ALADIN regionális klímamodell (Szépszó [ed], 2015) nyomán történt. Ezzel kapcsolat-

ban érdemes megjegyezni, hogy bár hazánkban az ilyen hosszú távú stratégiakészítés nem terjedt még el, ám a szimulációs eredményekben látható, hogy a változás sokkal biztosabban és világosabban mutatkozik, mert ezen az időtávon az éghajlatváltozási jel sokkal robosztusabb, nagysága már meghaladja a változékonyságot és bizonytalanságot (Czira et al., 2012).

Szigorúan véve a megfigyelési adatokból meghatározott küszöbértékek előfordulási gyakoriságainak vizsgálata a klíma-forгатókönyvekben megadott időssorokra csak fenntartásokkal alkalmazható, hiszen a megfigyelt adatokból és a forгатókönyvek számított értékeiből számított statisztikai jellemzők egymástól eltérnek. Ezen eltérés vizsgálható és vizsgálendő, jelen kutatási projekt kereteibe azonban ez nem fért bele. Az adatok alkalmazhatóságát azonban megnöveli, hogy vizsgálataink fókuszában nem a gyakoriságok, hanem ezek változásai voltak, amelyek elsősorban a csapadékjellemzők forгатókönyvekben szereplő klímaváltozást tükröző változására érzékenyek.

Az előző két fejezet alapján egyértelmű, hogy az általunk hozzáférhető adatok teljessége és minősége messze a szakirodalmi fejezetben bemutatott igények alatt van, különösen két területen:

- A felszínmozgás előfordulások csapadékhoz kötése nem egyértelmű. Ennek oka, hogy azok a csúszások, pincebeszakadások, amelyek bekövetkezése viszonylag pontosan datálható elsősorban a Vis Maior események jegyzőkönyveiből ismertek. E jegyzőkönyvek elsődleges feladata nem az kapcsolódó időjárási viszonyok megállapítása, hanem az elbíráláshoz szükséges körülmények tisztázása (természetes vagy mesterséges folyamat eredményezte-e, milyen tulajdont érint, mennyire súlyos stb.) Az önkormányzatok számára rövid a bejelentési határidő, így érdekük, hogy az esetleg elmulasztott bejelentést egy alkalmaz időpontban (pl. egy esős időszakot követően) pótolják.
- Az csapadékokat csak a CarpatClim idősor adataiból ismerjük, így hiányoznak az egy napnál rövidebb időtartamok.

Mindezek miatt az összefüggéseket kellően leegyszerűsített modellek figyelembevételével célszerű keresni.

6 FELSZÍNMOZGÁS ADATBÁZIS ÉPÍTÉS A 2005-2010 KÖZÖTTI IDŐSZAKRA

6.1 A felszínmozgás adatbázis kialakítása

Mivel a csapadékviszonyok és a felszínmozgás közötti kapcsolat számszerűsítésére (vagyis a megfelelő küszöbérték meghatározására) a meglévő adatbázist, elsősorban a pontos bekövetkezési dátumok hiányában, nem találtuk alkalmasnak, ezért a 2005 és 2010 közötti időszakra rendelkezésre álló vis maior jegyzőkönyvek felhasználásával új adatbázis készítettünk.

A vis maior a jogszabályi meghatározás szerint olyan, alapvetően a természeti erők által okozott esemény, amelynek bekövetkezése előre nem kiszámítható. Vis maior támogatás az önkormányzatok, valamint kistérségi társulások részére nyújtható, védekezési többletkiadás, valamint a kötelező önkormányzati feladatot ellátó önkormányzati ingatlanokban esett károk részbeni helyreállításának támogatására. A vis maior támogatás rendszerének részletes szabályait a 9/2011. (II. 15.) Korm. rendelet tartalmazza. Fontos szabály, hogy a támogatás igénylését az esemény bekövetkezését követő 7 napon belül kezdeményezni kell, így a jegyzőkönyvekben szereplő események (többségének) időpontjai viszonylag pontosan meghatározhatók. Pince- és partfalomlás vagy földcsuszamlás esetében az e célra létrehozott Pince- és Partfalveszély Elhárítási Szakértői Bizottság a káreseményt a helyszínen megvizsgálja, veszélyességi kategóriába sorolja, és megállapításait jegyzőkönyvben rögzíti, amiről tájékoztatja az önkormányzatot. E dokumentumok képezték a felépítendő adatbázis adatforrásait.

A vis maior jegyzőkönyvek szerencsére digitális formában, szöveges állományként (MS Word doc formátum) is rendelkezésre álltak, így nem kellett szkennelésel, szövegbeolvasással foglalkoznunk, az állományok közvetlenül lehetővé tették a beolvasás automatizálását. Ez utóbbit fontosnak tartottuk, mert a kataszteri jegyzőkönyvek felülvizsgálata során számos esetben ütköztünk olyan problémába, hogy a felülvizsgálatban részt vevők személyek másként értelmeztek egy-egy vizsgálandó jellemzőt (pl., annak eldöntésénél, hogy a felszínmozgás esemény kapcsolódott-e nagyobb mennyiségű csapadékhoz ki-ki eltérően vette figyelembe, illetve hagyta el a közvetett információkat). Ezért a nagymennyiségű dokumentum adatbázisba szervezését automatizált módon, egyedi szoftver felhasználásával kívántuk megoldani. A feladatot és a költségkeretet figyelembe véve a szükséges szkripteket az ingyenes, ugyanakkor a különböző adatbányászati és statisztikai feladatokra elterjedten használt Python nyelven írtuk meg.

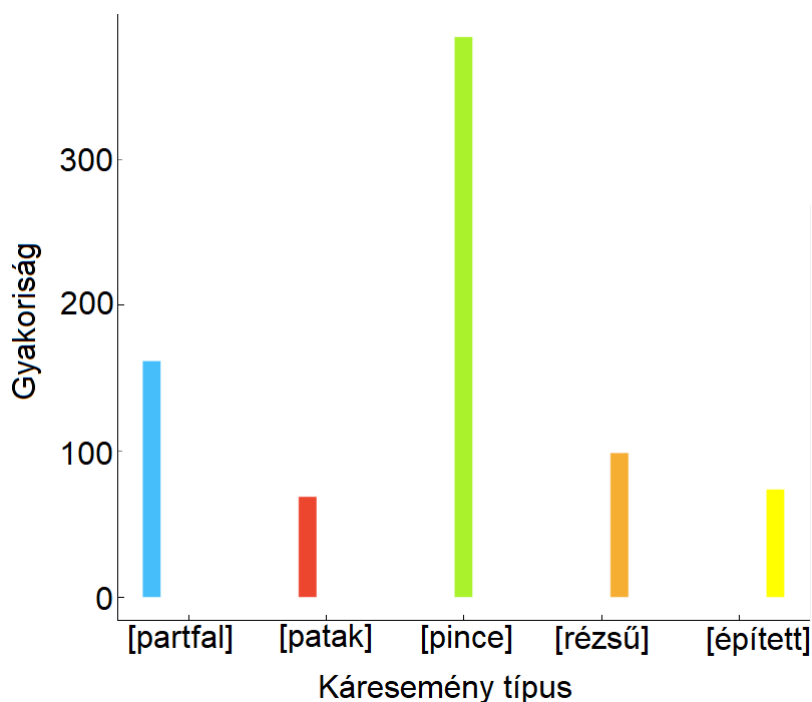
A feldolgozott jegyzőkönyvek szerkezete ugyan hasonló volt, de a nagyszámú kivétel (elírások, helyesírási hibák, módosított formátum stb.) miatt a kizárólag automatikus feldolgozás nem működött megfelelően. Ezért egy-egy az adattáblába szervezést ciklikusan, „kézi” ellenőrzések beiktatásával végeztük. Az adattípustól függően változott a szoftver által elvégzett művelet. Az esetek nagyobb részében a dokumentumból kihámozott adatokkal feltöltöttük a megfelelő mezőt, és személyesen csak ezek szintaktikai ellenőrzését kellett elvégezni (pl. a címek, helyrajzi számok, megfelelő formáját). Több bejelentést tartalmazó jegyzőkönyvek esetén az ellenőrzésnek ki kellett terjednie a kártípus tisztázására is, olykor pedig a program a kézi ellenőrzést megkönnyítő figyelemfelhívó jelöléseket rendelt az adattábla megfelelő soraihoz (pl. ha valamilyen vízfolyás által előidézett, tkp. villámárvíz-

hez kapcsolható káresemény történt, amelyre az eredeti jegyzőkönyvekben nem hozzárendelve volt külön kártípus). Így az adatbázis kialakítása meglehetősen időigényes folyamat volt, amelytől azonban nem lehetett eltekinteni.

A folyamat részletes leírását, az egyes programkódok funkcióit, kiindulási adatait és eredményét függelékben közöljük, vázlatosan pedig az alábbiakban ismertetjük:

1. A 2005-2010 között digitálisan rendelkezésre álló Vis Maior jegyzőkönyvek beolvasása a Python nyelv által támogatott adatszerkezetekbe (DataFrame), további szerkesztés, keresés céljából (946 db jegyzőkönyv, 1128 db felszínmozgás eseménnyel).
2. A szövegfájlokban található postai címek és helyrajzi számok leválogatása (pontos címet, illetve helyrajzi számot 896 eseményre lehetett azonosítani).
3. A jegyzőkönyvben szereplő kártípusok beolvasása
4. A postai címek és helyrajzi számok centroid koordinátáinak kötegelt leválogatása a Google és a Bing Geocode API-k, illetve a MEPAR rendszer segítségével. Postai címek esetén összevetettük a kétféle (Google és Bing) rendszerrel meghatározott koordináta párokat, és 50 m-nél nagyobb eltérés esetén azokat manuálisan ellenőriztük. A munkaszakasz végén 825 esetben kaptunk érvényes koordinátát. Ezekben előfordultak duplumok és olyan vis maior előfordulások, amelyek a vizsgálatok szempontjából nem voltak relevánsak, ezek kiszűrése után 808 db rekord maradt.
5. A felszínmozgás eseményre vonatkozó időadatok kigyűjtése. A jegyzőkönyvek kötelező tartalmi eleme a kárbejelentés és a bizottsági bejárás dátumai voltak. Az esemény pontos dátuma viszonylag ritkán jelent meg a jegyzőkönyvek szöveges leírás részében. E dátumokat kulcsszavas kereséssel szintén kigyűjtöttük, és manuálisan ellenőriztük. A 808 db. érvényes rekordból 20 esetén a bejelentési dátumot sem volt kitöltve, így ezeknél a csapadék idősorok viselkedését nem vizsgáltuk.

Az adatbázis elemeinek kártípus szerinti eloszlását a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra A földtani veszélyforrás adatok kártípus szerinti eloszlása
Az „épített” kategóriába utak, átereszek, hidak stb. tartoznak.

Látható, hogy a káresemények legnagyobb felét (az esetek mintegy 45%-át) a pincebeszakadások teszik ki. Ez részben a használaton kívüli pincék nagy számából adódik, részben abból, hogy a pincékkel kapcsolatos káreseményekkel állami szinten hamarabb kezdtek el rendszeresen foglalkozni, az így az ilyen jellegű problémákkal kapcsolatos eljárás ismertebb az önkormányzatok számára.

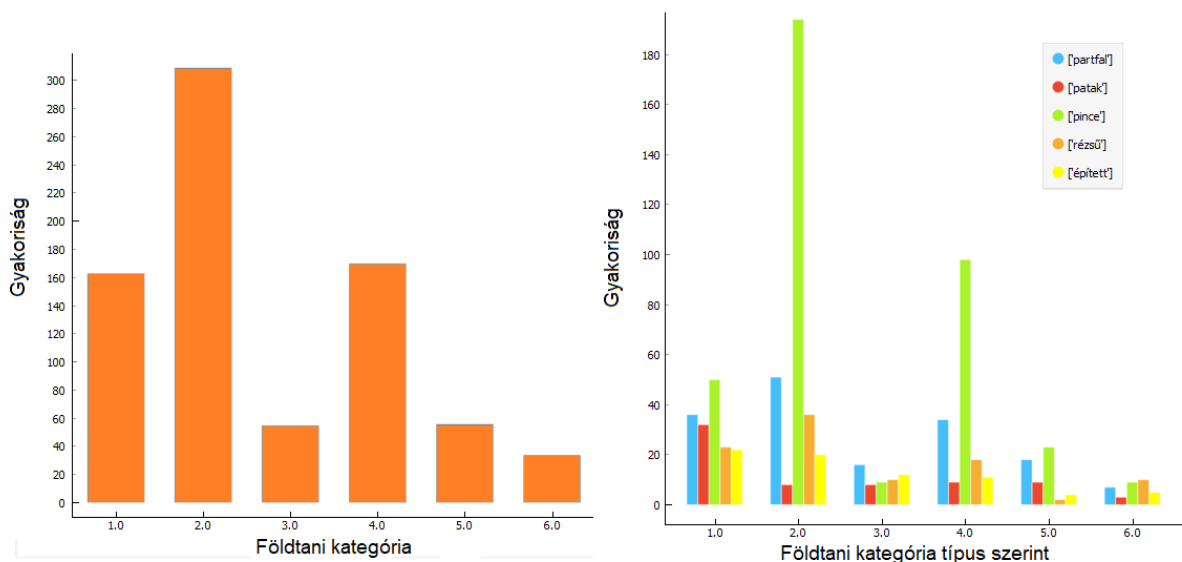
6.2 A felszínmozgás adatbázis kiegészítése

A fenti adatbázisban tehát 808 db felszínmozgás esemény szerepelt, a rájuk vonatkozó koordinátákkal, és az esetek döntő részében legalább a káresemény bejelentésének dátumával együtt. A koordináták lehetővé teszik, hogy térképi adatok segítségével helyi földtani, illetve domborzatra vonatkozó információt rendeljünk az egyes előfordulásokhoz. Ennek megfelelően a következő kiegészítő adatokat rendeltük az adatbázishoz:

1. A felszínmozgás előfordulások környezetének földtani kategóriáit
2. Az egyes előfordulásokhoz tartozó lejtőszöveget

A földtani kategóriákat a Pince és Partfal bizottságban részt vevő kollégák segítségével az 1:100 000 méretarányú földtani térkép képződményeinek osztályozásával határoztuk meg. Az osztályozás során a képződmények felszínmozgás érzékenysége alapján az alábbi 7 kategóriát különítettük el (4. ábra):

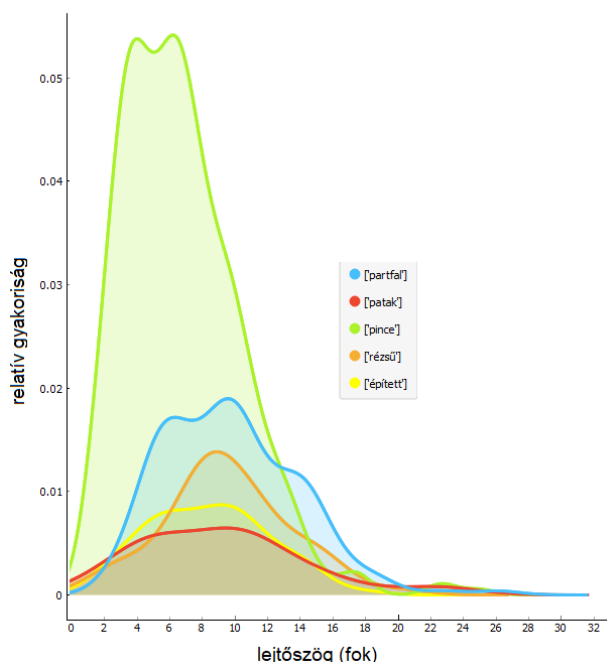
0. Antropogén képződmények
1. Durvaszemcsés üledékek
2. Lössös képződmények
3. Agyagok
4. Lejtőüledék képződmények
5. Tufás képződmények
6. Szilárd kőzetek



4. ábra A különböző földtani környezetek gyakorisága önállóan, és a kártípus szerint csoportosítva

Nem meglepő, hogy a lösszel borított vidékeken van a legtöbb kár, és itt a legnagyobb a pincekár arány is, a löszbe vájt pincék igen elterjedtek a Dunántúli területeken. Az agyagos képződmények környezetében bekövetkező károk alacsony száma egyben az időjárási tényezőre is utal, ilyen területeken a felszíni beszívargás kicsi, így ritkábban alakulnak ki csúszófelületek, vagy egyéb legyengült zónák, amelyek felszínmozgást okoznak.

A lejtőszögeket a globálisan elérhető NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission – <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) programja során készített magassági adatokból határoztuk meg. Az adatrendszer felbontása 3 szögmásodperces (mintegy 180x270 m-es), tehát meglehetősen durva, finomabb felbontású terepmodell azonban nem állt rendelkezésünkre, és a csúszások, beszakadások koordinátái sem érik el azt a (m-es nagyságrendű) pontosságot, ami lehetővé tenné a pontos lejtőviszonyok meghatározását. Ennek megfelelően az általunk adott lejtőszög paraméter inkább egy, a felszínmozgás esemény tágabb domborzati viszonyaira vonatkozó adat (5. ábra).



5. ábra A különböző típusú káresemények környezetében meghatározott lejtőszögek eloszlása kártípusok szerint

A lejtőszögek kár szerinti eloszlásánál egyértelmű, hogy a pinceomlások, és az áradó vízfolyások által okozott károk esetén kisebb lejtőszögek jellemzők, ami egyszerű fizikai okok miatt nem meglepő, de egyben visszaigazolja, hogy még a lejtőszög meghatározás általunk kényszerűségből alkalmazott kis felbontóképességű, és tulajdonképpen csak irányadó értékeket tartalmazó módszere is alkalmas a kategorizálásra a maga korlátaival.

Utolsó lépésként az adatbázis pontosítását és további kiegészítő információk beépítését végeztük el. E műveleteket három fő csoportra oszthatjuk:

1. A mozgástípusok pontosítása
2. Kategorizálásra alkalmas kiegészítő információk beépítése
3. Csapadék adatok csatolása

Az különböző felszínmozgás típusok automatizált elkülönítése nem feltétlenül egyértelmű, ha egy vis maior jegyzőkönyv több, egymástól eltérő káreseményt is tartalmaz. E jegyzőkönyvek formátuma évente, olykor éven belül is eltérő lehet. Ezek kezelését úgy oldottuk meg, hogy a program segítségével a kimeneti adattáblába egy új mezőt illesztettünk, amely az ilyen, többszörös kárbejelentéseket tartalmazó eseteket jelölte, megkönnyítve a manuális keresést és javítást. A 4-5. ábrák kártípusai már a felülvizsgált adatokat tartalmazzák.

Az felszínmozgások időjárási körülményektől való függése direkt és indirekt módon is megjelenhet a jegyzőkönyvi leírásokban, amelyek gyakran hivatkoznak az előfordulásokat megelőző csapadékos időjárásra, esetleg emberi beavatkozásra (pl. út- vagy épületet érintő bevágásra, tereprendezésre). Mivel úgy ítéltük, hogy ezek a statisztikai vizsgálatoknál hasznosak lehetnek, a program segítségével kulcsszavakra való szöveges keresések eredménye alapján ezek előfordulásait is külön mezőben adtuk meg.

Végül a statisztikai számítások megkönnyítéséhez célszerű volt az előfordulások helyszínének és időpontjának megfelelő csapadék idősorokat is beépíteni az adatbázisba (az archív idősor ugyanis igen nagyszámú, a feladat szempontjából lényegtelen adatot is tartalmaz, ezek beolvasása, manipulálása szükségtelenül lassítja a számításokat. Ezért az esemény helyszínéhez legközelebbi interpolációs pontra vonatkozó, az esemény dátumát megelőző 90 napra vonatkozó CarpatClim csapadék idősor szakaszt is beírtuk az adattáblába. A későbbi vizsgálatok során ezt az adatsort 250 nap hosszúságúra módosítottuk.

7 A FELSZÍNMOZGÁS ELŐFORDULÁSOK ÖSSZEFÜGGÉSE A CSAPADÉKKAL

7.1 A felszínmozgás adatbázis kiegészítése

Az elkészült adatbázis lehetőséget adott a csapadékadatokkal való összevetésre. A korábbi fejezetekben láthattuk, hogy a szakirodalomban meglehetősen sok csapadékmennyiségre vonatkozó, küszöbértéket határoztak meg, jellemzően intenzitás-időtartam összefüggés formájában. Az ilyen típusú összefüggések használatának oka elsősorban az, hogy a földtani közeg állékonyságát gyengítő elsődleges tényező a csapadék beszivárgása, amelynek kritikus mennyiségét heves záporok és csendes esőzés egyaránt kiválthatja. A szakirodalmi adatok általában nagyságrendileg 5-6 perc és 1,5 hónap közötti időtartam alatt lehullott csapadékokra határoznak meg a felszínmozgás szempontjából lényeges küszön intenzitás értékeket. Sajnos a rendelkezésünkre álló CarpatClim adatsor csak napi értéket tartalmaz, ami lehatárolja ezen összefüggések alkalmazhatóságát. Ez a korlát elég súlyosnak tűnik, de a Pince és Partfal Bizottság munkájában részt vevő szakemberek egybehangzó tapasztalatai alapján a hazai felszínmozgásokat hazánkban rendszerint nem a nagyintenzitású csapadékok, hanem hosszabb (több nap–hét) időtartamú ún. áztató esőzések váltják ki.

Első lépésben az adatbázis eseményeihez tartozó csapadék idősorokat vizsgáltuk, teljesítik-e azt az elvárást, hogy az esemény bekövetkezési (bejelentési) időpontja környékén maximummal rendelkeznek. Ennek két idősor hasonlóságát, illetve a csapadék indikáció időbeli tolását kell vizsgálnunk. Ilyen vizsgálatra időtartományban a keresztkorrelációt használják kiterjedten. A korrelációt az alábbi képletnek megfelelően végeztük

$$C_{xy}(n) = \sum_{i=1}^m x_i * y_{i+n}$$

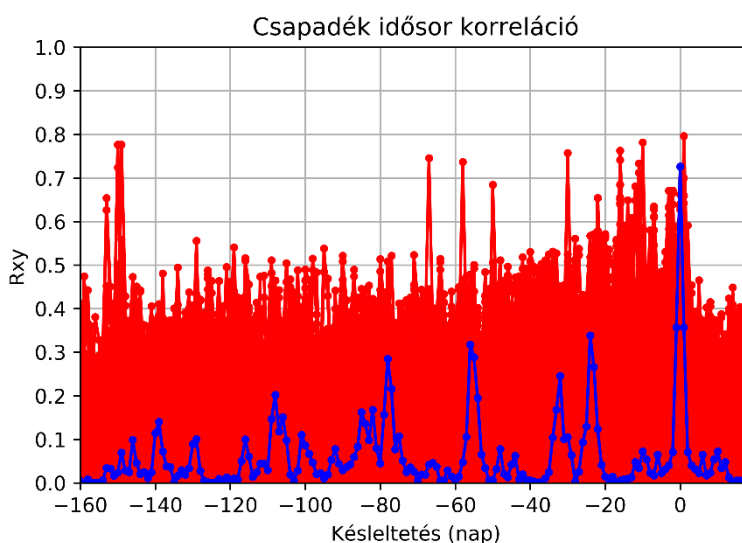
ahol $C_{xy}(n)$ a keresztkorrelációs függvény, az x_i és y_i a két analizálandó idősor. A keresztkorrelációs függvény egyes értékeit (a képletben szereplő, különböző n -hez tartozó értékeket) a két vizsgált idősor egymáshoz képest n taggal eltolt szorzatösszege adja. A függvény annál az n értéknél veszi fel maximumát, amelynél a két adatsor lefutása leginkább hasonlít egymásra. A mi esetünkben az idősorok napi értékeket tartalmaznak, amennyiben tehát ezeket egy-egy hasonló lefutású csapadék maximum jellemzi legjobban, a függvény n értéke a csapadékos időszakok időbeli távolságát mutatják napokban. A különböző idősorokból számított korrelációs függvények maximális értéke nagy szórást mutathat, a jobb összehasonlíthatósága miatt azokat célszerű normálni:

$$R_{xy}(n) = \frac{C_{xy}(n)}{\sqrt{C_{xx}(0) * C_{yy}(0)}}$$

A normálást tulajdonképpen az egyedi idősorok autokorrelációs függvénymaximumainak segítségével végezzük. A függvény értéke így (azonos jelek esetén) maximum 1 lehet.

Az adatbázisban 808 db esemény leírás van, tehát 808x807, nagyságrendileg 650 ezer függvény számítható. A számítás célja azonban nem az, hogy valamennyi függvényt egyenként tanulmányozzuk, a korrelációk megjelenítése inkább csak az adatok áttekintő jellegű megismerését célozza. Ezek hasznát célszerű néhány ábrán megjeleníteni. Ehhez olyan idősorokat célszerű választani, amelyek a feladat szempontjából hipotézisünknek megfelelő mintázattal, vagyis a felszínmozgás bekövetkezéséhez közeli viszonylag időpontban csapadékmaximummal rendelkeznek. A kiválasztott alap-adatsorok (tehát a fenti feltételeknek megfelelő idősorok) hosszát érdemes lerövidíteni, mert e nélkül az idősor többi „nagycsapadékos” része is befolyásolja az eredményt, ami jelen esetben nem célszerű. Ennek megfelelően az alap-adatsor hosszát 45, a vizsgálandó idősorokat 180 nap hosszúságúra vettük.

A bemutatott ábrák korrelációba bevont alap-adatsorait úgy választottuk ki, hogy azok az eseményt megelőző különböző időpontokban erős maximummal rendelkezzenek. A maximum mindhárom esetben egy három napos csapadékos időszak következménye volt. Ez a szélsőséges jelenség az első adatsor esetén az esemény időpontját közvetlenül (6. ábra), a második esetén 14 (7. ábra), a harmadiknál 31 nappal az eseményt megelőzően jelentkezett (8. ábra).

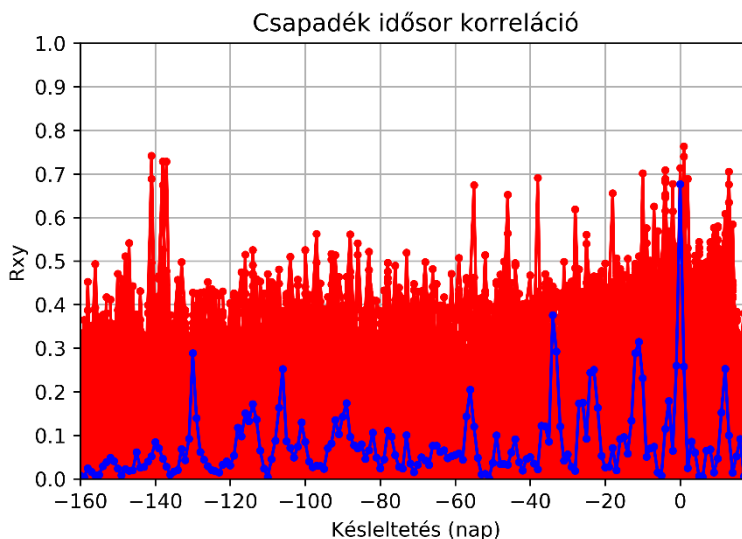


6. ábra Közvetlenül (2 nappal) az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.

Az alap-adatsor hossza 45 nap, a korrelált függvényeké 180 nap. A 0. nap mutatja a 0 időtoláshoz tartozó értékeket, amit az autokorrelációs jellegű kék görbe maximális értéke is mutat (ebben az esetben az analizálandó és az alap-adatsorok megegyeznek, csak hosszukban különböznek a rövidítés miatt). A felszínmozgás esemény itt a 2. napon van.

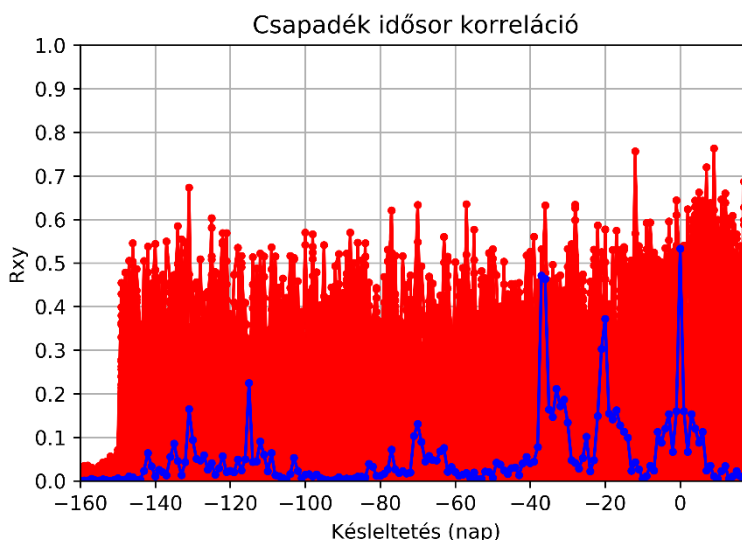
Az 6. ábrán látható, hogy a korrelációs értékek körülbelül a -40 naptól fokozatosan nőnek, majd a 0. nap után hirtelen csökkennek. Ez azt mutatja, hogy az adatbázisban szereplő előfordulások túlnyomó többségénél a helyszínre vonatkozó csapadék idősorokra az eseményt megelőző csapadéknövekedés, és azt követő csökkenés jellemzi. Néhány kiugró értéktől eltekintve a maximum a -25–2 napos intervallumban van.

A 7. ábrán az előzőhöz hasonló korrelációs függvényt látunk, de megfigyelhető, hogy a 2. naptól a 14. nap felé tolódik el korrelációs függvény hirtelen visszaesése, ami összhangban van azzal, hogy ebben az esetben a csapadékmaximum a felszínmozgást két héttel megelőzte. A 8. ábrán ugyanezt láthatjuk 31 napos eltolással.



7. ábra 14 nappal az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.

Az alap-adatsor hossza 45 nap, a korrelált függvényeké 180 nap. A 0. nap mutatja a 0 időtoláshoz tartozó értékeket, amit az autokorrelációs jellegű kék görbe maximális értéke is mutat (ebben az esetben az analízandó és az alap-adatsorok megegyeznek, csak hosszukban különböznek a rövidítés miatt). A felszínmozgás esemény itt a 14. napnál van.



8. ábra 31 nappal az esemény előtt maximummal rendelkező idősor korrelációja valamennyi, az adatbázisban szereplő idősorral.

Az alap-adatsor hossza 45 nap, a korrelált függvényeké 180 nap. A 0. nap mutatja a 0 időtoláshoz tartozó értékeket, amit az autokorrelációs jellegű kék görbe maximális értéke is mutat (ebben az esetben az analízandó és az alap-adatsorok megegyeznek, csak hosszukban különböznek a rövidítés miatt). A felszínmozgás

esemény itt a 31. napnál lenne, de a korrelációs függvény ezt a szélhatások elkerülése miatt már nem ábrázolja.

7.2 Korrelációs számítás szintetikus adatok felhasználásával

Az előző fejezetben bemutatott ábrák alapján egyértelmű, hogy az adatrendszerben szereplő előfordulások és a csapadékjellemzők kapcsolatban vannak egymással. A feladat természetesen túlmutat ennek igazolásán, potenciális küszöbértékek számszerű meghatározására van szükség. Erre a mért adatokból származó idősorok korrelációja nem alkalmas, mivel nem tudhatjuk, hogy melyik az a referencia idősor, amelyik jól közelíti ezt a küszöbértéket. Az idősorok egymással történő korrelációjának további hátránya, hogy azok több, egymástól független csapadékos időszak adatait is tartalmazzák, ez rendszerint több korrelációs mellékmaximumot eredményez.

A továbbblépéshez arra van szükség, hogy megismerjük a felszínmozgásokat megelőző csapadékjellemzőket. Fontos kérdés, hogy mekkora az a csapadékos időtartam, amely egyértelmű összefüggésbe hozható a felszínmozgások bekövetkezésével. Logikus feltételezés, hogy a kiváltó esemény igen röviddel a felszínmozgást megelőzően jelentkezik, így ezek jellemzőit viszonylag könnyű összegyűjteni. Ez két dolog miatt sem ennyire egyszerű. Egyrészt a felszínmozgások egyéb okból is bekövetkezhetnek, kiváltásukhoz nem feltétlenül szükséges nagy csapadék. Másrészt a bejelentési idők bizonytalanok, és a csapadék kihullása és az áztató hatás kifejtése között is számolnunk kell némi időkésséssel. Ezek a tényezők az adatsorokon is tükröződnek, az esemény közeli maximumok az adatrendszer egészére nézve korántsem mondhatók általánosnak. Kérdéses továbbá az is, hogy a felszínmozgást röviddel megelőző csapadékmaximum hosszabb csapadék idősorokat is figyelembe véve mennyire tekinthető kiugrónak.

A korrelációs módszerek a fenti kérdések megválaszolásában is nagyon jól használhatók, olyan szintetikus adatsorokkal számolva, amelyeket különböző időtartamú csapadékos eseményeket szimulálnak. Első ötletként csábító lehetőség, hogy ezekhez a szakirodalomban rendelkezésre álló összefüggéseket használjuk. Ezek alkalmazása azonban több szempontból is problémás. A korrelációs függvények egy-egy kezeléséhez ezeket normálni kell, amely művelet eltünteti a konkrét csapadékmennyiségek hatását. A vizsgálandó időtartamok is eltérőek, ahogy a 2. fejezetben láthattuk, a szakirodalmi küszöbértékek általában intenzitás-időtartam összefüggés formájában definiáltak (vagyis egy adott csapadékintenzitás mellett adják meg azt a csapadék időtartamot, amelyet átlépve felszínmozgások fellépésével kell számolni) (táblázat), és nagy hangsúlyt fektetnek a rövid, akár néhány órás nagyon intenzív csapadékok hatására. Mivel a CarpatClim adatbázis csak napi gyakoriságú adatokat tartalmaz, esetünkben ilyen események hatása nem határozható meg – egy jelentős napi csapadékösszeg csendes, egész napos eső hatására csakúgy előállhat, mint egy felhőszakadás következményeként. Ez az adatbéli korlát a teljes körű összefüggések feltárása szempontjából kedvezőtlen, de az ország területén előforduló csapadékok jellemzőit, és a bizottságban részt vevő kollégák szóbeli közléseit figyelembe véve (amelyben az áztató esőzések szerepét emelték ki), az adathiány teszi lehetetlenné egy megfelelő gyakoriságváltozási modell becslését.

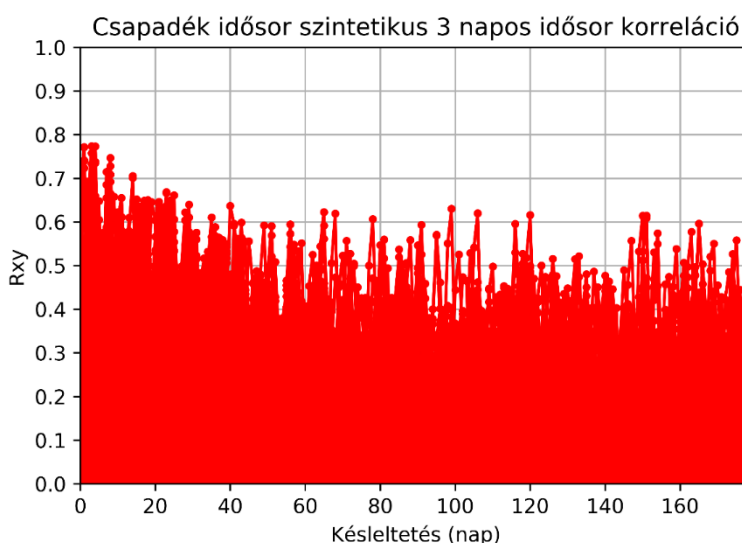
A korrelációs számítások célja kettős volt. Első lépésben azt kívántuk vizsgálni, hogy van-e olyan csapadék időtartam, ami a gyakoriságok alapján küszöbeseményekhez köthető. Amennyiben ilyen jellemző meghatározható, a korrelációs maximumokhoz tartozó késleltetési idő figyelembevételével megadhatók az ezekhez tartozó csapadékmennyiségek, amelyek minimuma küszöbértékként tekint-

hető. Az így meghatározott küszöbértékek klíma forgatókönyvekre vonatkozó gyakoriságváltozásai – az egyes forgatókönyvek megbízhatóságától függően – már komoly támpontokat adnak a felszínmozgással kapcsolatos veszélyek jövőbeli alakulásáról.

A korrelációs számítás szintetikus idősoraihoz 3, 7 és 30 napos eseményeket vettünk figyelembe, ezen kívül meghatároztuk az 1 napos csapadékösszeg maximumok eloszlásvizsgálatát is (itt nem volt értelme a korrelációs számításnak, egyszerűen a maximális értékek idősorokon belüli helyzetét vizsgáltuk). A szintetikus idősorok konstruálásánál fontos kérdés volt, hogy milyen legyen az időtartamon belüli csapadékeloszlás. Többféle eloszlást vizsgáltunk (egyenletes, szinuszos félperiódus), de végül az idősoron belüli negyed periódusos, szinuszos felfutású, változatot találtuk a leghasznosabbnak. Ez a modell kauzális, tehát jól tükrözi azt a fizikai ténytet, hogy a víztartalom növekedése ugyan az előzményektől is függ, de az időben közel kihulló csapadék hatása a meghatározó, másrészt ilyen alak mellett csökkenthető az eseménnyel csonkolt idősor szélhatása.

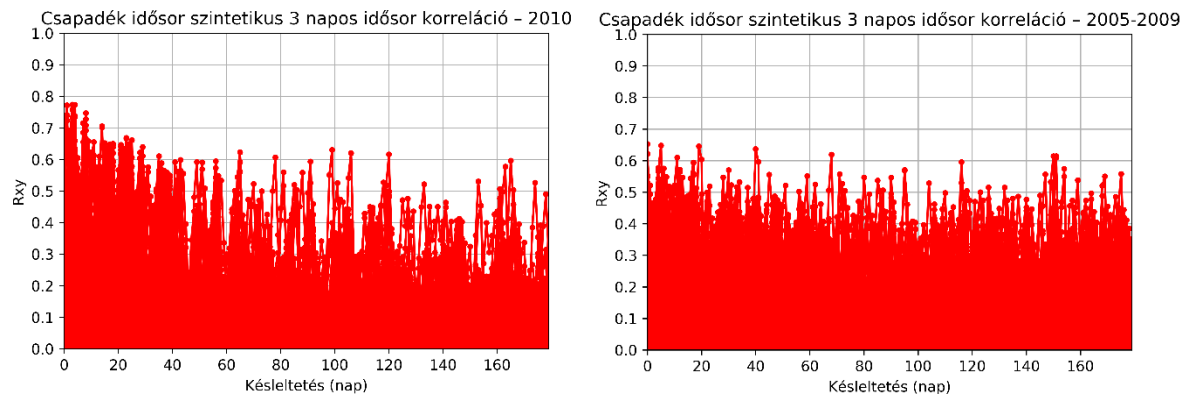
A korrelációs számításokat először a teljes adatrendszer bevonásával végeztük, de az abban lévő számos paraméter lehetővé tette szűrt adatok vizsgálatát is. Számos szűrés (esemény típus, földtani környezet, lejtőszög) nem járt szignifikáns változással, ellenben az adatrendszer időbeli szétválasztása drasztikusan megváltoztatta az eredményeket. Ennek oka a 2010-es év extrém csapadékossága, az OMSz-től származó információk alapján egy ilyen csapadékos év előfordulási valószínűsége 0,5 % alatt van.

A korrelációs görbéket a teljes és az időben szűrt adatrendszerekre a 9-14. ábrákon mutatjuk be.



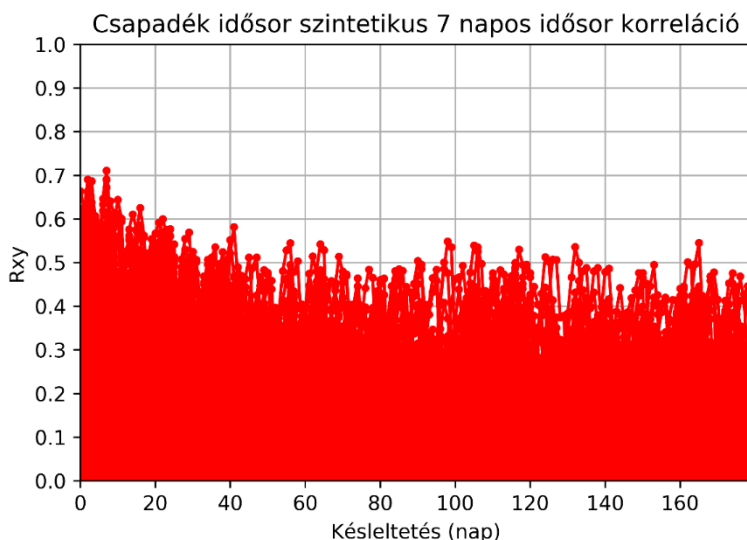
9. ábra Az adatrendszer korrelációja 3 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.

A 0. nap a felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik. Megfigyelhető, hogy az esetek nagy számában a korrelációs értékek maximuma a 0–30 napos időszakba esik.



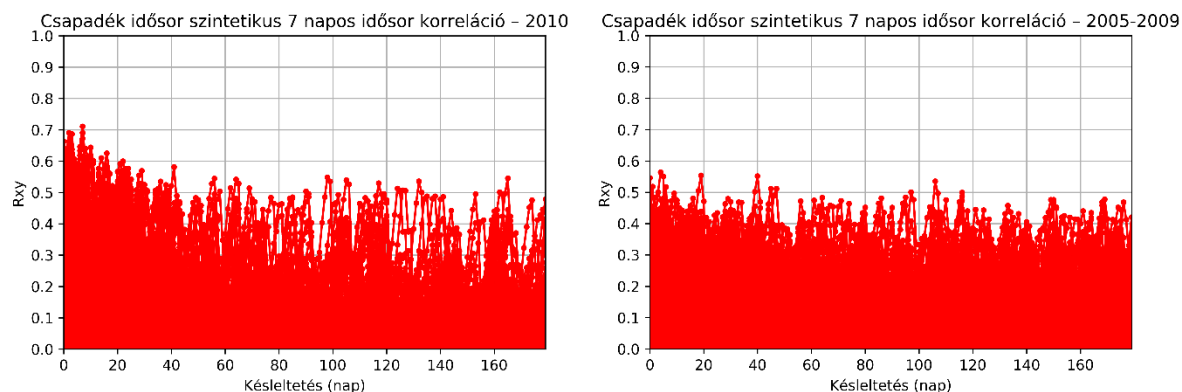
10. ábra Az adatrendszer korrelációja 3 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.

*A 0. nap a felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik.
Megfigyelhető, hogy a 2010-es évben sokkal jellemzőbb az esemény előfordulásának környezetébe eső korrelációs maximum*



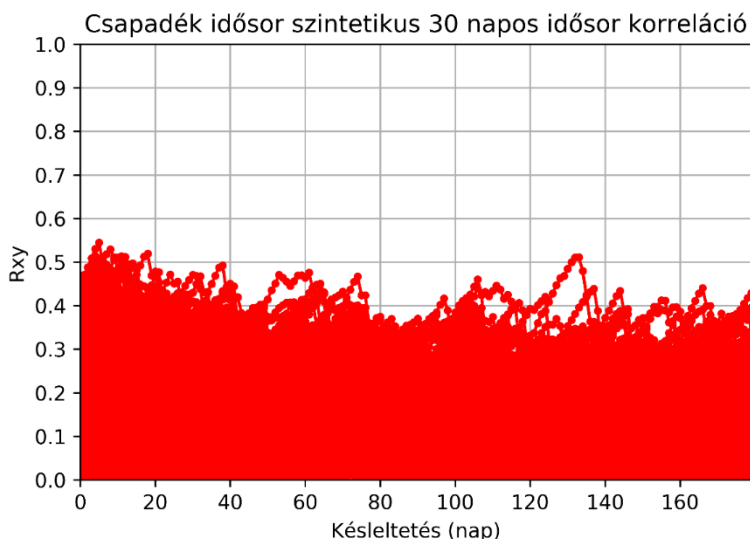
11. ábra Az adatrendszer korrelációja 7 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.

*A 0. nap a felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik.
Megfigyelhető, hogy az esetek nagy számában a korrelációs értékek maximuma a 0–30 napos időszakba esik, de a maximumok kisebb értékűek, mint a 3 napos időszor esetében.*



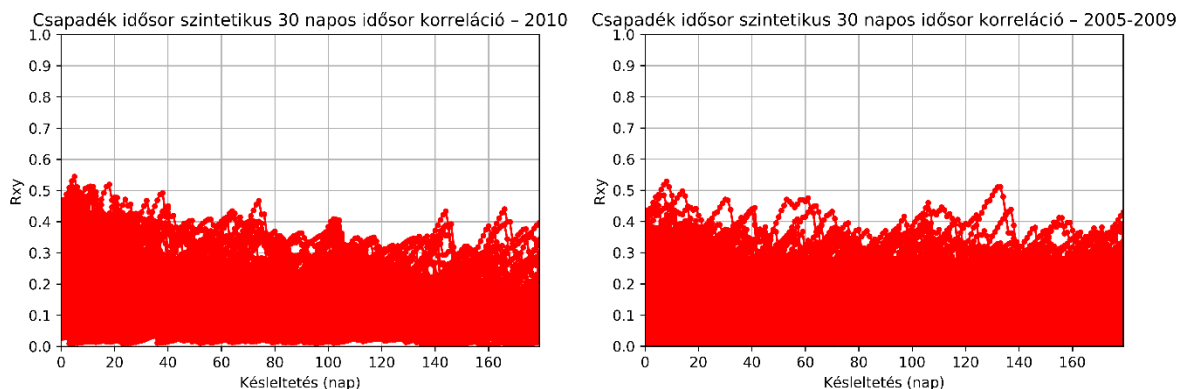
12. ábra Az adatrendszer korrelációja 7 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.

A 0. nap a felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik. Megfigyelhető, hogy a 2010-es évben sokkal jellemzőbb az esemény előfordulásának környezetébe eső korrelációs maximum



13. ábra Az adatrendszer korrelációja 30 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral.

A 0. nap az felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik. Megfigyelhető, hogy az esetek nagy számában a korrelációs értékek maximuma a 0–30 napos időszakba esik, de a maximumok jóval kisebb értékűek, mint a 3 napos idősor esetében.



14. ábra Az adatrendszer korrelációja 30 napos, szinuszos felfutású szintetikus adatsorral, szűrt adatrendszeren, a 2010-es évre (balra), és a 2005-2009 közötti időszakra.

A 0. nap a felszínmozgás bekövetkezéséhez, ilyen adat hiányában a bejelentés napjához tartozik. Megfigyelhető, hogy a 2010-es évben jellemzőbb az esemény előfordulásának környezetébe eső korrelációs maximum

A normált korrelációs függvények maximális értékei informatívak, de kissé félrevezetőek is lehetnek. Önmagában abból a tényből, hogy Magyarországon a csapadékos időszakok hossza korlátozott (ritka az, amikor több héten keresztül esik az eső), következik, hogy a rövidebb időszakok normált korrelációi nagyobbak lesznek. Az értékeken kívül célszerű azt is vizsgálni, hogy a korrelációs maximumok az

esetek mekkora hányadában esnek az eseményt megelőző 1 hónapba. Azért választottuk az 1 hónapos időintervallumot, mert az esemény bekövetkezése, esetleges észlelése és bejelentése közötti idő ugyan elhúzódhat, de – amennyiben egy valóban recens eseményt jelentenek be – ez az idő együttesen nem lehet sokkal hosszabb egy hónapnál. A fenti arányokat a 4. táblázatban adjuk meg.

4. táblázat Csapadékfüggést mutató korrelációs maximumok arányai különböző szintetikus idősorokra az adatrendszer egészére, a 2010-es évre, és az attól különböző időszakokra

Egy-egy kategóriapáron belül azon esetek arányát adjuk meg, melyek esetén a 30 napos maximumok egyben a vizsgált 180 napos időszak maximumai is

	1 napos	3 napos	7 napos	30 napos
teljes adatrendszer	48 %	47 %	47 %	46 %
2005-2009	32 %	35 %	34 %	30 %
2010	63 %	59 %	59 %	61 %

A korrelációs ábrák és a táblázat egyértelműen igazolja a felszínmozgás előfordulások csapadék függését. Véletlenszerű választás esetén 20% alatti lenne annak a valószínűsége, hogy egy adott hónapban belüli maximális csapadék esemény megegyezik a féléves maximummal, míg a táblázat alapján ez az arány átlagos években 30 % fölött, a kiemelten csapadékos 2010-es évben 60% körül van.

A küszöbérték kiválasztására vonatkozóan azonban a fenti számítások nem adnak egyértelmű útmutatást. Az esemény bekövetkezéséhez közeli nagy csapadékok gyakorisága a különböző időskálákon nagyon hasonló, a normált korrelációs függvények pedig az előző bekezdésben írtak alapján óvatosan kezelendők. Egy lehetséges megoldás menete a következő:

1. Az adatsorokat a 4. táblázatnak megfelelően leszűrjük, vagyis csak azokat az előfordulásokat vesszük figyelembe, amelyek nagy valószínűséggel csapadék-függők
2. Leválogatjuk a szűrt adatrendszer különböző hosszúságú (pl. 1 nap, 3 nap, 7 nap, 10 nap, 30 nap), a korrelációs maximum környezetébe eső idősorait
3. Meghatározzuk az ezek csapadékösszegeit, és ezek alapján a minimum küszöb értékeket
4. A küszöbértékekre a szakirodalmi hivatkozásokban szereplőhöz hasonló függvényeket illesztünk
5. Ezek alapján végzünk gyakoriságváltozási vizsgálatokat a klímaforgatókönyv adataira

E vizsgálatok azonban – az adatbázis építésre fordított időt is figyelembe véve – túlmutatnak-e munka keretein, ezért egy egyszerűsített megoldást kerestünk a küszöbértékek meghatározására.

7.3 Súlyozott kumulált csapadékösszegek meghatározása

Az egyszerűsített küszöb meghatározásra használt módszer kialakításánál abból a jellemzőből indulunk ki, hogy az értékek meghatározásánál kiemelt szerepe van az előzmény csapadékok mennyiségének és eloszlásának. Egy heves egynapos esőzés komoly felszínmozgásokat indíthat el, ha már előzően előkészített (ti. átázott) talajra érkezik, de egy hosszú szárazságot követően nem sok hatása van.

Az előző fejezetben tapasztalt 30 napos maximumértéknek hasonló szerepe lehetett, valószínűleg nem önmagában okozott nagy számban felszínmozgás előfordulásokat, hanem, egyrészt előkészítő szerepe volt, másfelől egy igen csapadékos 3 napos időszak a havi átlagra is erős hatással van.

Az előzménycsapadék hatásának figyelembevétele a szakirodalomban sem új, elsőként Crozier javasolta ezek figyelembe vételét a küszöbértékek meghatározásánál, amelyet újabb dolgozatok is átvettek (Crozier 1999, Melillo 2018).

Ennek formája igen egyszerű, az eseményt megelőző napok csapadékait egy időben visszafelé csökkenő súllyal figyelembe véve összegzik. Az összefüggést a következő formában adták meg:

$$E_L = E_L(0) + kE_L(1) + k^2E_L(2) + \dots + k^NE_L(N) = \sum_{i=0}^N k^i E_L(i)$$

ahol E_L a kumulált csapadék, $E_L(0)$ az esemény napján, $E_L(i)$ az eseményt i nappal megelőzően hullott csapadék, k a súlyozó hatványsor alapja, értéke a szakirodalmi ajánlások alapján 0,84. Egy ilyen csapadékösszeg figyelembe veszi a korábbi csapadékok hatását is, ugyanakkor kiemelt szerepe van az eseményhez közeli időszaknak.

A fentieknek megfelelően az esemény bekövetkezését megelőző 180 napra valamennyi helyszínre meghatároztuk a kumulált értékeket, és a korrelációs értékekhez hasonlóan megvizsgáltuk, hogy az esetek mekkora hányadában egyezik meg az ezekre vonatkozó utolsó 30 és 180 napra vonatkozó maximum. Az alkalmazott súlyfüggvényt 30 nap hosszúságúra vettük föl, ennél hosszabb előzményeseményekkel ugyanis a szakirodalom alapján nem kell számolni. A kapott eredmények nagyon hasonlóak a szintetikus adatsorokkal való korrelációs számításokéhoz, de ebben az esetben a maximumok nem korrelációs értékek, hanem csapadékösszegek, amelyek közvetlenül alkalmasak a küszöbértékek vizsgálatára. Az előző fejezetben hasonlóan itt is vizsgáltuk különböző szűrések hatásait, de nem meglepő módon itt is csak a vizsgálati időszak (vagyis a 2010-es extrém csapadékos év) hatása bizonyult markánsnak (5. táblázat)

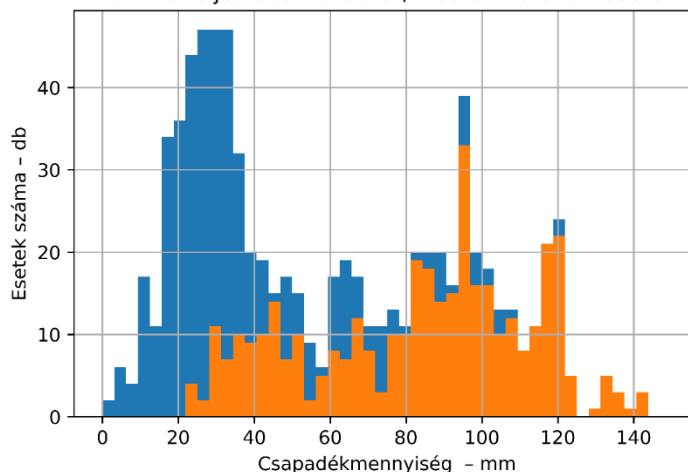
5. táblázat Csapadékfüggést mutató összegek arányai különböző szintetikus idősorokra az adatrendszer egészére, a 2010-es évre, és az attól különböző időszakra

Egy-egy kategóriapáron belül azon esetek arányát adjuk meg, melyek esetén a kumulált értékek 30 napos maximumai egyben a vizsgált 180 napos időszak maximumai is

	A kumulatív 30 napos értékek maximum-aránya
teljes adatrendszer	48 %
2005-2009	36 %
2010	60 %

Az adatrendszerből kiszűrhetők azok az esetek, amikor az elmúlt 180 napban az utolsó havinál nagyobb értékek is előfordultak, ebben az esetben a közeli csapadék eseményt nem tekinthetjük extrém méretűnek, tehát valószínűnek tarthatjuk, hogy az ilyen típusú csapadék nem küszöbérték. Tanulságos összevetni a kumulált értékek szűrés előtti, és azt követő hisztogramjait (15. ábra)

A felszínmozgás események súlyozottan kumulált csapadékösszegei
Kék – a teljes adatrendszer, Mustár – a szűrt esetek



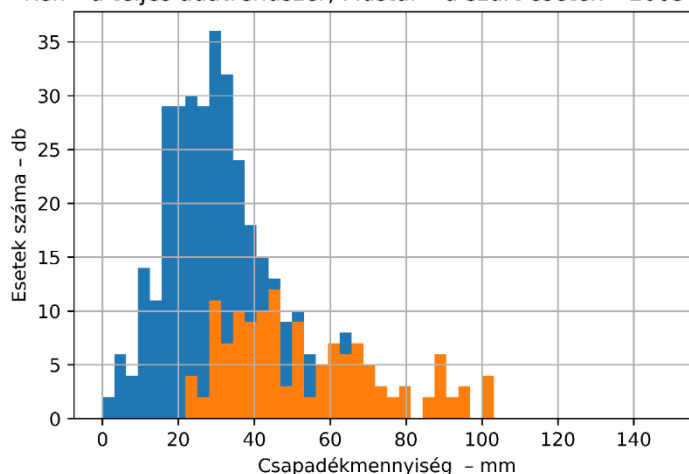
15. ábra A kumulált maximumértékek hisztogramjai a teljes és a szűrt adatrendszerre

Jól látható a kisebb értékek kiszűrésének hatása. A kiszűrt esetek jó része nagy valószínűséggel nem kötődik csapadékos időjáráshoz. Az eseményhez bekövetkezését egyéb hatás (pl. emberi beavatkozás) okozta.

Valamennyi eddigi vizsgálat mutatta a 2010-es év extrém adatainak eltérítő hatását, így van ez a hisztogramok esetén is. A 2005-2009-es évek hisztogramja jóval egységesebb képet mutat, és a kevesebb extrém adat miatt az eloszlás simább. Feltűnik ugyanakkor egy gyenge bimodális jelleg, ami a szűrt adatrendszeren felerősödik. A 2010-es évre vonatkozó adatokat is megtekintve (17. ábra) felmerülhet a kérdés, hogy az ott szinte teljesen hiányzó alsó, 35 mm körüli centrummal rendelkező lokális gyakorisági csúcs valóban a csapadék hatására bekövetkezett eseteket takarja, vagy csak a szűrés nem volt elég hatékony. Az ábrázolt adatok statisztikai jellemzőiből nem lehet erre vonatkozó következtetést levonni, de egy újabb szűrés (16. ábra b) része) azt látszik igazolni, hogy a felszínmozgás előfordulások összefüggése a csapadékkal valós. Utóbbi ábrán a 2005 és 2009 között bekövetkezett előfordulások közül csak azokat vontuk be a számításba, amelyeknél a Pince- és Partfalbizottsági jegyzőkönyvekben említést tettek nagyobb, a felszínmozgásokkal összefüggő csapadékokról.

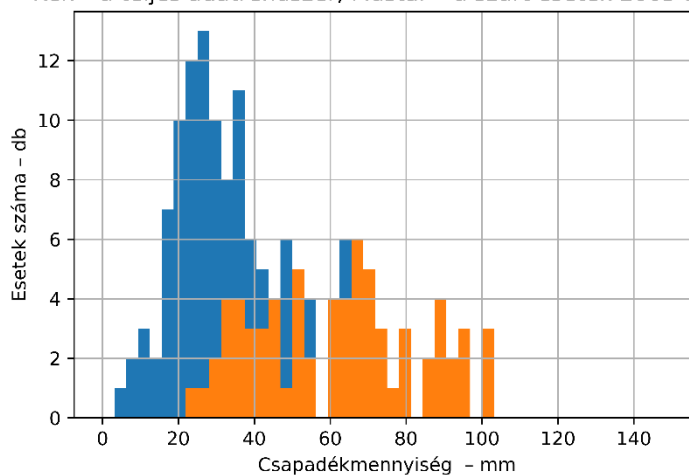
a)

A felszínmozgás események súlyozottan kumulált csapadékösszegei
Kék – a teljes adatrendszer, Mustár – a szűrt esetek – 2005-2009



b)

A felszínmozgás események súlyozottan kumulált csapadékösszegei
Kék – a teljes adatrendszer, Mustár – a szűrt esetek 2005-2009

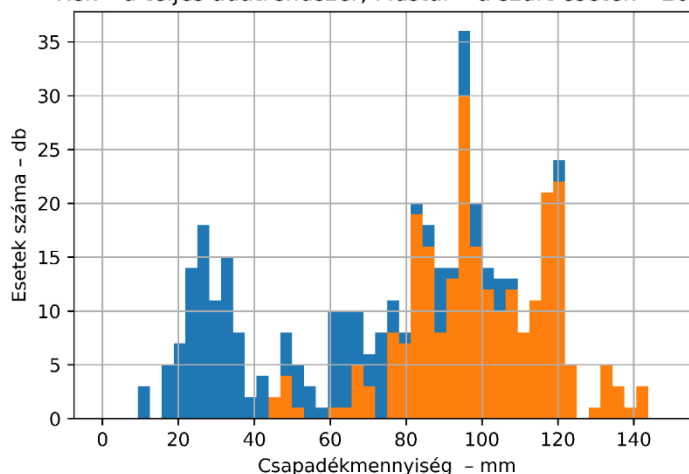


16. ábra A kumulált maximumértékek histogramjai a) 2005 és 2009 közötti időszak teljes és a szűrt adatrendszerére és b) ugyanezen időszak azon eseteire, amelyeknél a partfalbizottsági jegyzőkönyvekben nagyobb csapadékról tesznek említést

Jól látható a kisebb értékek kiszűrésének hatása. A kiszűrt esetek jó része nagy valószínűséggel nem kötődik csapadékos időjáráshoz. Az eseményhez bekövetkezését egyéb hatás pl. (emberi beavatkozás) okozta.

Továbbra is él azonban a kérdés, vajon miért van az, hogy a 2010-es adatsorokból jóformán hiányoznak a 20 mm-nél kisebb kumulált maximumok? Ennek részben az az oka, hogy a csapadékos időszak tulajdonképpen nem is 2010-ben kezdődött, hanem 2009 októberében, másrészt az erősen csapadékos időjárás hirtelen következett be, így a felszínmozgásokat nem a szokásos évekre jellemző minimumközöb körüli csapadékok idézték elő, hanem azoknál jóval nagyobbak. A csapadékosabb időjárás ugyanakkor nagy számban olyan eseteket is kiváltott, amelyek egyébként nem, vagy legalábbis sokkal később következtek volna be. Ez a nagyszámú eset alapján egyértelmű.

A felszínmozgás események súlyozottan kumulált csapadékösszegei
Kék – a teljes adatrendszer, Mustár – a szűrt esetek – 2010



17. ábra A kumulált maximumértékek hisztogramjai a 2010-es év teljes és a szűrt adatrendszerére

Jól látható a kisebb értékek kiszűrésének hatása. A kiszűrt esetek jó része nagy valószínűséggel nem kötődik csapadékos időjáráshoz. Az eseményhez bekövetkezését egyéb hatás (pl. emberi beavatkozás) okozta.

Mindezek miatt a kumulált maximumok alapján két küszöb is kijelölhető, az egyik az átlagos csapadékösszegű évekre, a másik az extrém csapadékos évekre vonatkozik. A két küszöbérték meghatározása azért is célszerű, mert a kisebbik inkább a kiváltó események csökkenésére, a nagyobb inkább azok markáns növekedésére érzékenyebb. A küszöbértékek kijelölését a többimódusú hisztogramok miatt nem az extrémális értékek statisztikai vagy aszimptotikus eloszlása alapján, hanem egyszerű minimum-meghatározással végeztük. A kapott értékek a normál időszakokra 23 mm, az extrém csapadékos időjárásra vonatkozóan 44 mm.

8 A KÜSZÖBÉRTÉKEK GYAKORISÁGVÁLTOZÁSA A KÜLÖNBÖZŐ FORGATÓKÖNYVEKBEN

A feladat utolsó lépéseként az előző fejezetben meghatározott küszöbértékek gyakoriságát kell vizsgálni a rendelkezésre álló klíma forgatókönyvek segítségével. A klímaváltozás során általánosan alkalmazott módszertan szerint a gyakorisági adatok változását nem a megfigyelési adatok és a forgatókönyvek között, hanem egy-egy forgatókönyvön belül vizsgáltuk. A kétféle (alacsony és magas) küszöbérték gyakoriságváltozásait négy forgatókönyvre határoztuk meg az 1971 és 2100 közötti időszakra.

A NATÉR projekt továbbfejlesztése során az EURO-CORDEX adatbázisban elérhető éghajlati projekciók közül két modell-kombináció két forgatókönyvre alapozott szimulációi kerültek kiválasztásra. Olyan éghajlati projekciós tagokra koncentráltunk, amelyek egy közepesen konzervatív becslést adnak az éghajlat várható megváltozására vonatkozóan. Így került kiválasztásra a két globális – CNRM-CM5, EC-EARTH – és egy regionális klímamodell – RCA4.

Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Éghajlat-változási Kormányközi Testület) 5. értékelő jelentésében (AR5) az újabb generációs RCP (Representative Concentration Pathway) forgatókönyveket veszik a jövőbeli klíma vizsgálatának alapjául. A sugárzási kényszer szintjének és pályalakjának függvényében összesen négy típust határoztak meg: RCP 2.6, RCP 6.0, RCP 4.5 és RCP 8.5. A forgatókönyvek nevében szereplő számok a 2100-ra elért teljes sugárzási kényszer változását jelentik W/m^2 -ben. Az adatok elérhetőségét előtérbe helyezve a közepesen optimista RCP 4.5, illetve a legpesszimistább RCP 8.5-ös forgatókönyvek kerülnek felhasználásra, így összesen négyféle szimuláció került kiválasztásra a projekt keretein belül.

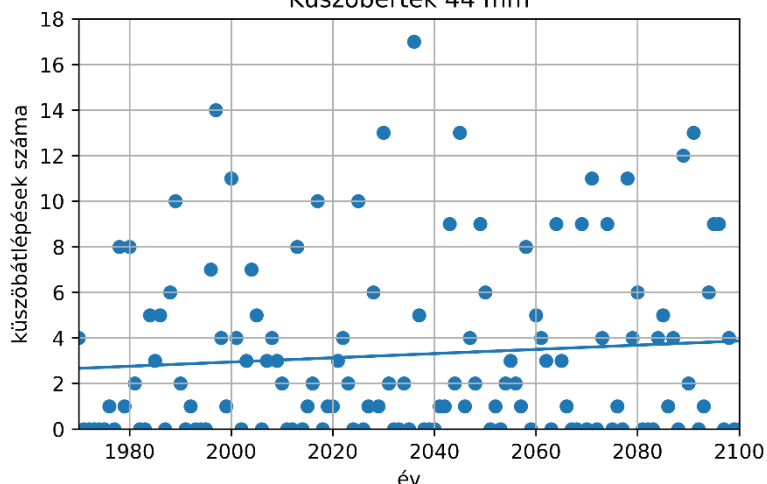
Így a négy különböző forgatókönyv egyenként 759 pontjára a két küszöbérték figyelembevételével összesen 6072 db idősort számítottunk, amelyek 130 elem hosszúságúak, és azon előfordulások éves számát tartalmazzák, amelyekre az előző fejezetben bemutatott súlyozott csapadékösszeg meghaladja a vizsgált küszöbértéket. A klímaforgatókönyvekben meghatározott időjárási paraméterek szórása meglehetősen nagy, így az azokból származtatott paraméterekre sem várható kis szórású eloszlás. Ezért a várható változások szignifikanciájának eldöntéséhez részletes statisztikai számításokra lenne szükség, amelyre e munka keretein belül nem volt lehetőség.

A továbbiakban néhány gyakorisági idősor segítségével szemléltetjük az adatsorok jellemzőit, amelyek segítenek abban, hogy reálisnak tekinthetjük-e a gyakoriságok változását. A 18. ábrán az RCE_E_rcp85 forgatókönyv adatainak felhasználásával, a magas (44 mm-es) küszöbértékre vonatkozó gyakoriságváltozásokat mutatjuk be a teljes idősorra az RCP_301-es pontra, ami Dunaújváros mellett található, tehát a felszínmozgás gyakoriságok szempontjából kiemelt fontossággal bíró adatpont. Ezen a helyszínen a kumulált értékek az esetek közel felénél (48%) nem érik el a magas küszöbértéket, és az előfordulások szórása nagyon nagy. A lineáris regressziós egyenes enyhe emelkedést mutat, de ekkora szórás mellett ez csak szemléltetésül szolgál, a szignifikáns növekedés elfogadása kétséges.

Az értékek hisztogramja sem visz minket sokkal közelebb az eloszlás jellemzőihez, az alacsony értékek és elemszám együttesen nehezen kezelhető statisztikát sejtet (19. ábra). Meg kell jegyezni, hogy mi éppen az statisztikai jellemzők időbeli változásait keressük, és ha ilyen változás valóban bekövetkezik, akkor a hisztogram egy kevert statisztikájú adatrendszer ábrázol. A 18. ábra pontsora alapján ugyanakkor intuitív módon beláthatjuk, hogy a zaj-jellemzők sokszorosan meghaladják az esetleges trendszerű változásokat, így a hisztogram alakját a fentiek nem módosítják nagymértékben. Az idősort sztochasztikus folyamatként tekintve felmerülhetne, hogy azt egy a trenddel rendelkező fehér zaj folyamatnak tekintsük, de a 0 értékek nagy gyakorisága miatt ez biztosan nem igaz.

A 20. ábrán ugyanennek az adatrendszernek a boxplotjait (magyarosan dobozábráját) mutatjuk be, a „jelenre” vonatkozó referencia időszak (1971-2000), és a közeli (2021-2050), illetve távoli (2071-2100) jövő időablakaira. A boxplot az adatrendszer statisztikai paramétereinek ábrázolásával a pontsornál sok szempontból jobb áttekintést ad arról, de különösen a két ábra együttese segít a statisztikai jellemzők időbeli változásának követésében. A 301-es pont esetén a fenti három időablakba eső adatok mediánértékei az idő előrehaladtával növekednek, a 2. és 3. időszak átlagai viszont nagyon hasonlóak. Ez alapján a középső időszak átlagnövekedése jórészt néhány felfelé kilógó gyakoriságértéknek köszönhető.

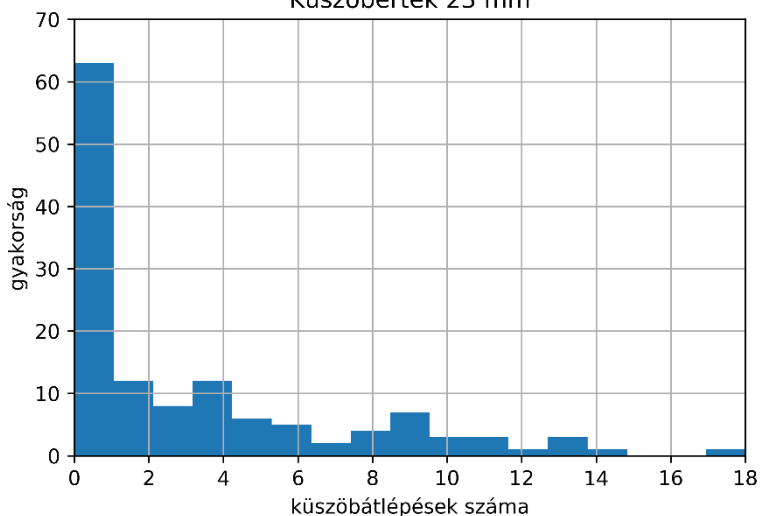
Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontra
Küszöbérték 44 mm



18. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, a magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok 1971 és 2100 között

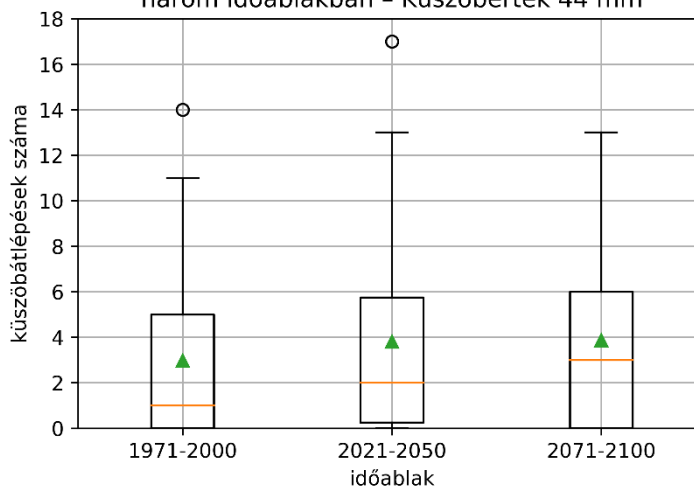
A pontok csaknem felénél nincs küszöbátlépés

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontra
Küszöbérték 23 mm



19. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, a magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok hisztogramja

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontjára
három időablakban – Küszöbérték 44 mm



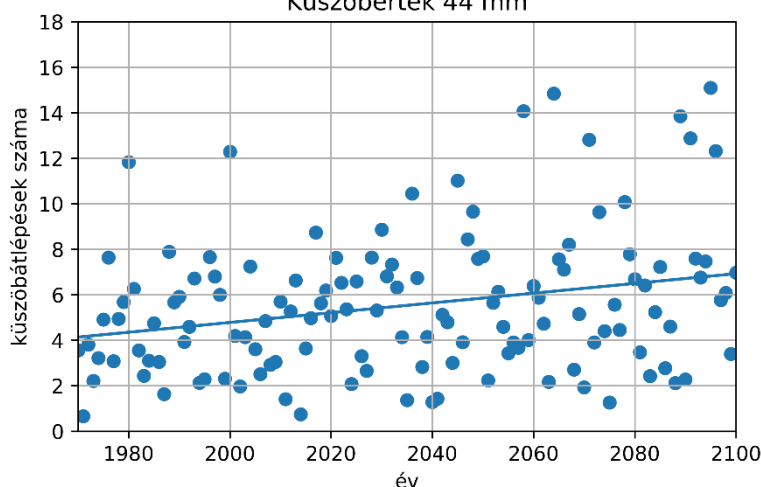
20. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja

A medián értékek növekednek, a 2. és 3. időszak átlagai viszont nagyon hasonlóak. Ez alapján a középső időszak átlagnövekedése jórészt néhány felfelé kilógó gyakoriságértéknek köszönhető. A „doboz” a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli.

Az egy-egy forgatókönyvhöz tartozó 808 pont egyedi idősorainak vizuális áttekintése reménytelen feladat, az esetleges hosszú távú, trendszerű változások követésére azonban simító hatása révén rendszerint alkalmas eszköz az átlagolás. Az RCE_E_rca85 forgatókönyv valamennyi pontjára vonatkozó éves átlag- és mediánértékek adják a 21–24. ábra alapadatait. A 21. ábrán látható, hogy a küszöbátlépések országos átlagára már nem jellemző a 0 értékek nagy gyakorisága. Az erősen zajos

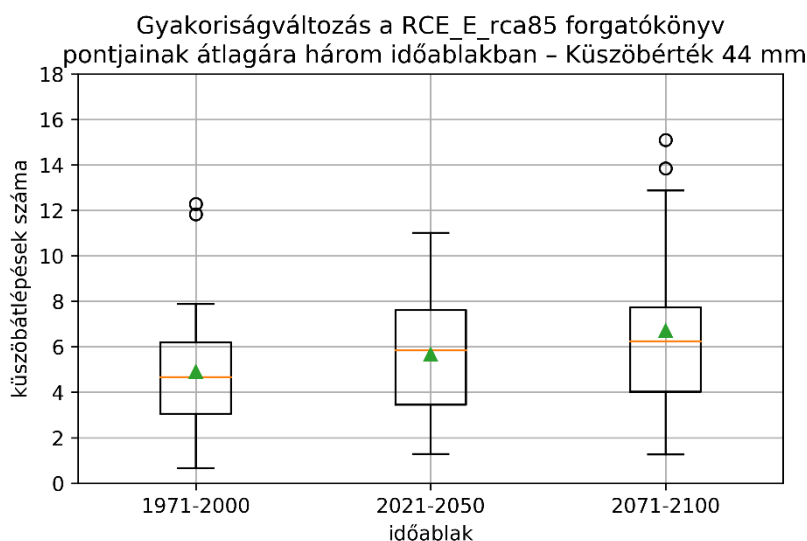
adatok egyszerű hipotézisvizsgálatra is alkalmat adnak, a szomszédos pontok különbségének előjelén alapuló próba (Dévényi 1988 pp. 289-300) segítségével, amellyel tesztelhető, hogy a folyamat tekinthető-e fehér zajnak. A számítás alapján a 21. ábra adatsora 0,01, 0,05 és 0,1-es szignifikanciaszinten is fehér zajnak tekinthető, ugyanakkor a lineáris trendvizsgálat (Dévényi 1988 pp. 300-302) eredménye 0-tól eltérő meredekséget adott. E becslés ugyan nem jelenti feltétlenül a trend meglétét, de mivel a vizsgált idősorok döntő hányadában hasonló (és természetesen hasonlóan gyenge) trendeket tapasztaltunk, azok meglétét a fehér zaj hipotézis megfelelőségét sugalló vizsgálati eredmények ellenére is valószínűsíthetjük.

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv pontjainak átlagára
Küszöbérték 44 mm



21. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok átlagainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére

A pontok szóródása érezhetően csökken, az emelkedő trend határozottabbá válik

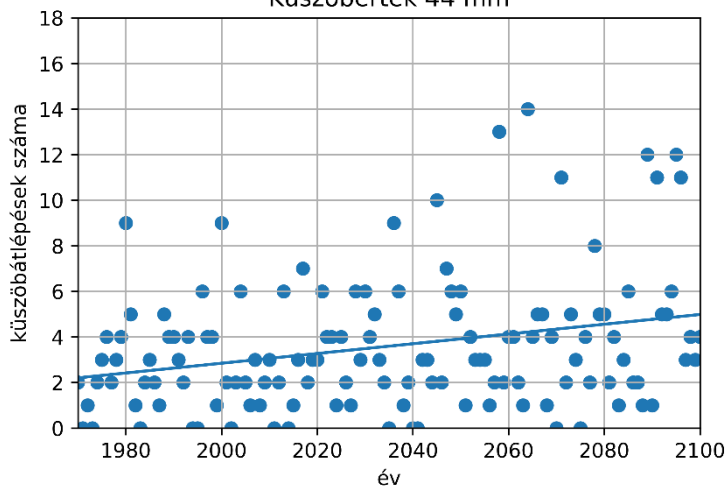


22. ábra A három kiválasztott időablak átlagértékekre vonatkozó doboz diagramja

Az átlagértékek esetén az átlagok átlaga és mediánja is trendszerűen nő, de az értékek szórása is így viselkedik.

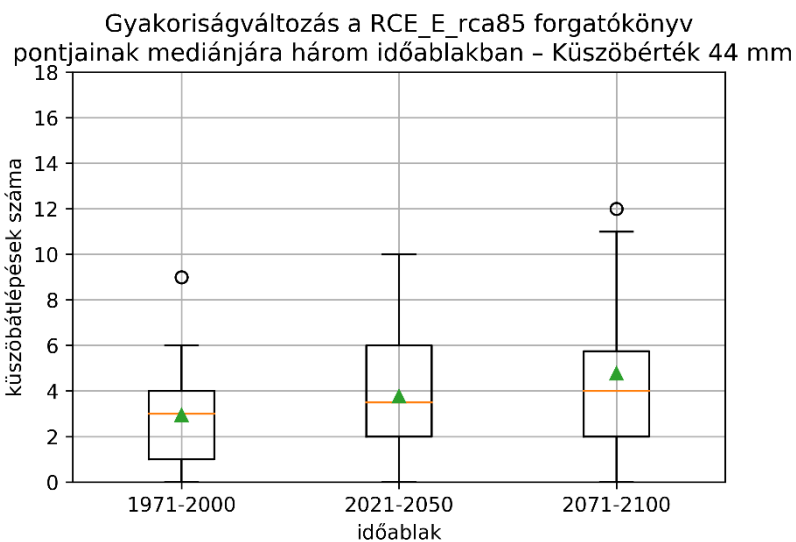
A „doboz” a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv pontjainak mediánjára
Küszöbérték 44 mm



23. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok mediánjainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére

A medián értékek jelentősen alacsonyabbak az átlagnál, ami a felfelé kilógó értékek súlyát mutatja.



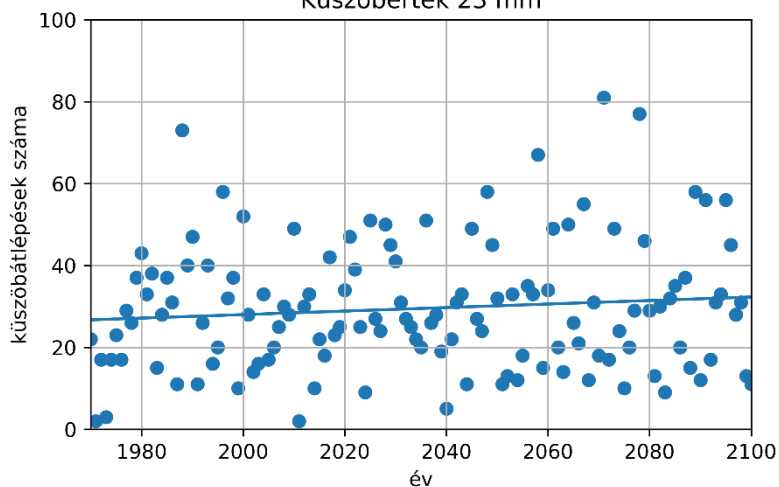
24. ábra A három kiválasztott időablak mediánokra vonatkozó doboz diagramja

A mediánértékek esetén az mediánok átlaga és mediánja is trendszerűen nő, de a felfelé kiszóró értékek miatt ez a növekedés az átlagértékekre nagyobb.

A „doboz”a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli.

Hasonlóan szemléltethetjük az alacsony (23 mm-es) küszöbértékek meghaladási gyakoriságait is (25–31. ábrák). Itt a gyakoriságok nagyobbak, ami megkönnyíti a vizsgálatokat, ugyanakkor itt is nagyon nagy az értékek szórása. A 301-es pontra vonatkozó adatok hisztogramjának képe (26. ábra) itt is elsősorban a bizonytalan módust, és az ezzel járó nagy szórást tükrözi. A fehér zaj vizsgálat itt, és az átlagértékekre vonatkozóan igazolják a hipotézist, ugyanakkor ezekben az esetekben is számítható (nem nulla értékű) trend meredekség.

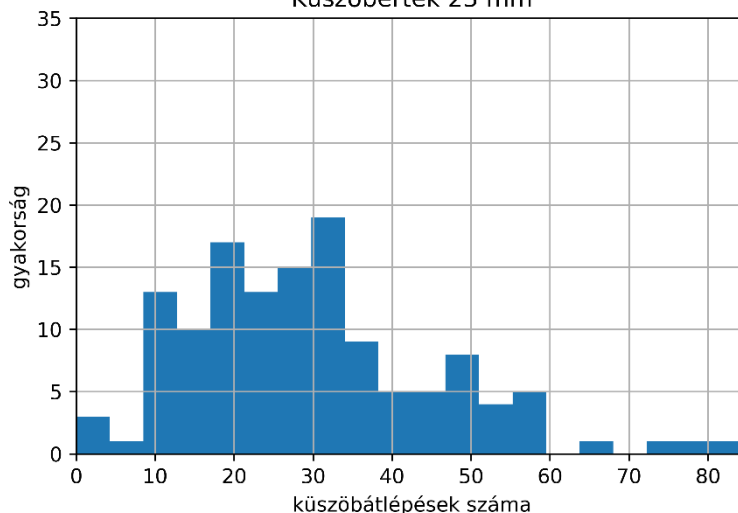
Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontra
Küszöbérték 23 mm



25. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok 1971 és 2100 között

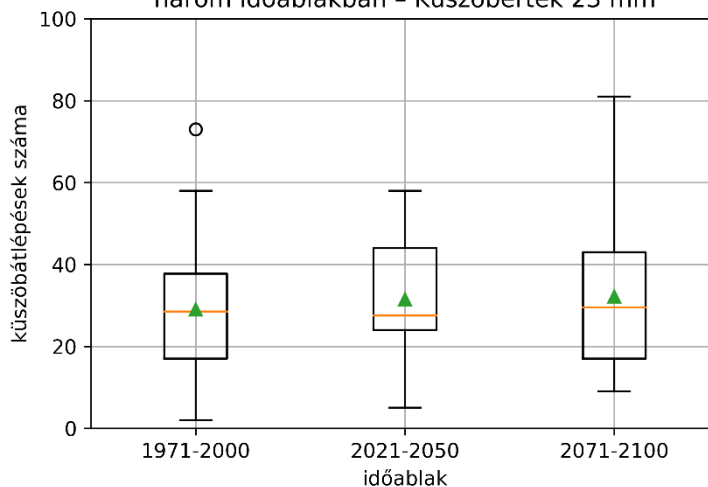
A magas küszöbhez képest nagyságrendnyivel több küszöbátlépés van, de a szórás itt is igen nagy.

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontra
Küszöbérték 23 mm



26. ábra Az RCA_301 pontra érvényes, az alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok hisztogramja

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv HU_RCA_301pontjára
három időablakban – Küszöbérték 23 mm

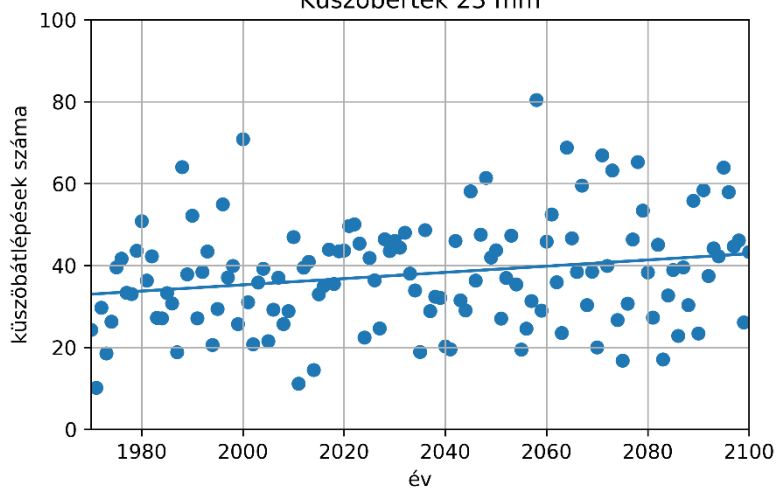


27. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja

Az átlagok enyhén emelkednek, de a középső időszak mediánja alacsonyabb, mint a referencia időszaké.

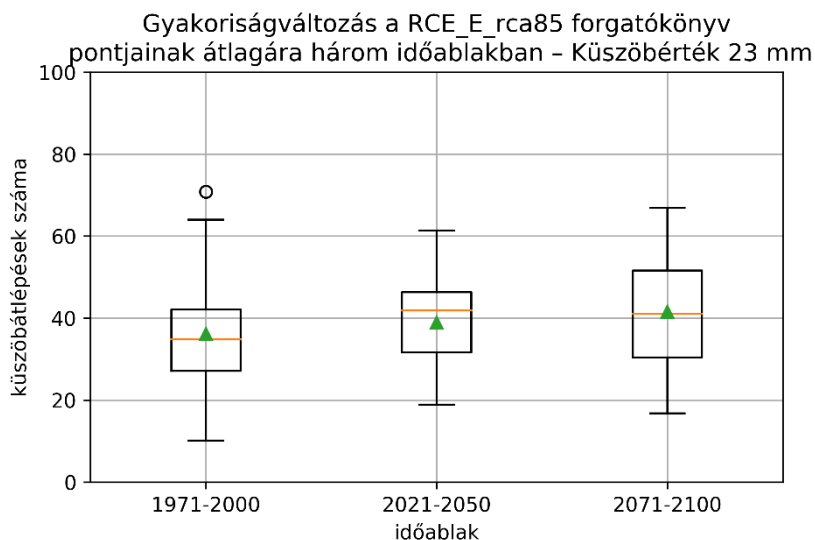
A „doboz” a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli.

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv pontjainak átlagára
Küszöbérték 23 mm



28. ábra Az alacsony küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok átlagainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére

A szórás itt is érezhetően csökken, az emelkedő trend valamivel határozottabbá válik.

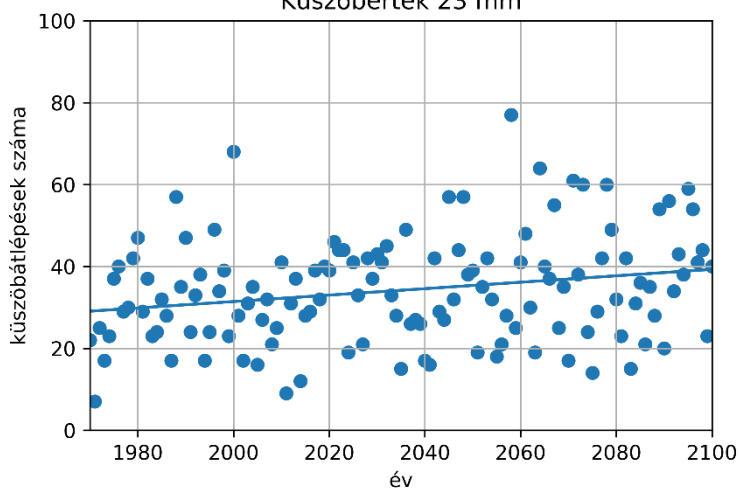


29. ábra A három kiválasztott időablak átlagértékekre vonatkozó doboz diagramja

Az átlagértékek esetén az átlagok átlaga trendszerűen nő, de a harmadik időablak adatainak mediánja – az előzőhöz képes megnövekedett szórás mellett – kismértékben csökken.

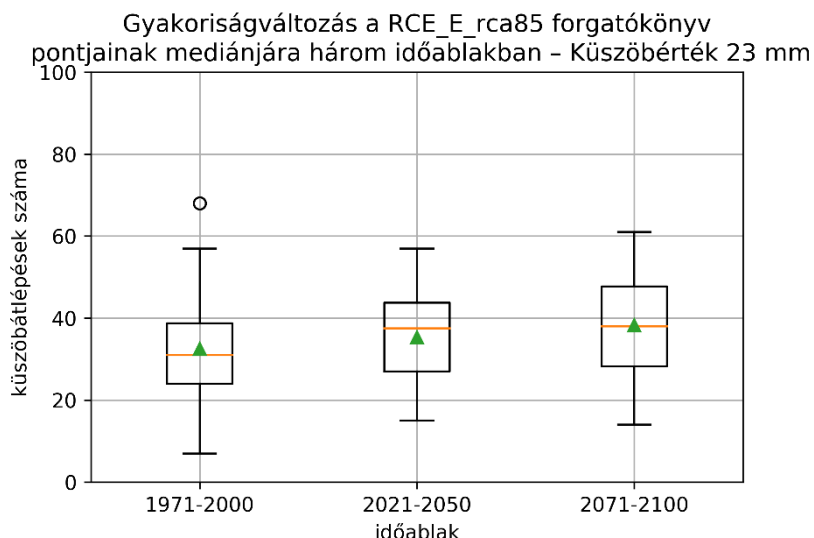
A „doboz” a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli.

Gyakoriságváltozás a RCE_E_rca85 forgatókönyv pontjainak mediánjára
Küszöbérték 23 mm



30. ábra A magas küszöbre vonatkozó átlépési gyakoriságok mediánjainak időbeli változása az előző ábra forgatókönyvére

A medián értékek gyakorisága ebben az esetben nagyon hasonló az átlagértékekéhez.



31. ábra A három kiválasztott időablak doboz diagramja

Ebben az esetben a medián és átlagértékek eloszlása nagyon hasonló, itt a két jövőbeli időszak között is enyhén nő a medián. A középső (2000 és 2050 közötti) időszak kis szórása itt is feltűnő.

A „doboz” a minták 50%-át tartalmazza, a folyamatos vonal T lezárással az alsó és felső enyhén kiugró pontokat tartalmazó érték intervallumot (a 10 és 90 %-hoz tartozó percentiliseket), a fekete karika az erősen kiugró értékeket, a sárga vonal az értékek mediánját, a zöld háromszög a számtani átlagot jelöli.

A fentieknek megfelelően tehát a négy különböző forgatókönyv területi pontjaira a két küszöbérték figyelembevételével számítottuk ki a csapadékösszegek küszöbértéket meghaladó éves gyakoriságait. Ezt követően pontonként meghatároztuk a klímaablakokba (1971-2000, 2021-2050, 2071-2100) eső gyakoriságok átlagát, és ezek hányadosaival megadtuk az adott pontra vonatkozó rövid és hosszú távú gyakoriságváltozásokat. Az adatrendszerek paramétereit a 6 táblázatban foglaljuk össze. Ezek segítségével megszerkeszthetők a küszöbértékek gyakoriságváltozásait bemutató térképek.

6. táblázat Az elkészült gyakoriságváltozási adatsorok összefoglaló táblázata

Küszöbérték	Időszak	Forgatókönyv			
		RCA_C rcp45	RCA_C rcp45	RCA_E rcp45	RCE_C rcp85
Alacsony	T2/T1	x	x	x	x
(23 mm)	T3/T1	x	x	x	x
Magas	T2/T1	x	x	x	x
(44 mm)	T3/T1	x	x	x	x

9 AZ EREDMÉNYEK ALAPJÁN KAPOTT TÉRKÉPI TEMATIKÁK

A munka eredményeként több térképtematika készült; a következő paraméterek szerint:

- esemény-eloszlás,
- csapadékos napok eloszlás-gyakorisága,
- érzékenység,
- a klímaváltozás várható hatása a felszínmozgások aktiválódására.

Míg az esemény-eloszlási és érzékenységi tematika egyetlen térképen volt bemutatható, addig a csapadékos napok eloszlás-gyakorisága, valamint a klímaváltozás várható hatása a felszínmozgás aktiválódásra több térkép elkészítését igényelte, igazodva egyfelől a vizsgált (figyelembe vett) éghajlati forgatókönyvekhez, másfelől a jelen tanulmányban bemutatott normál, valamint extrém időjárási helyzetre meghatározott csapadék küszöbértékekhez (23. és 44 mm).

A térképekkel kapcsolatos tanulságokat az alábbiakban összegezzük.

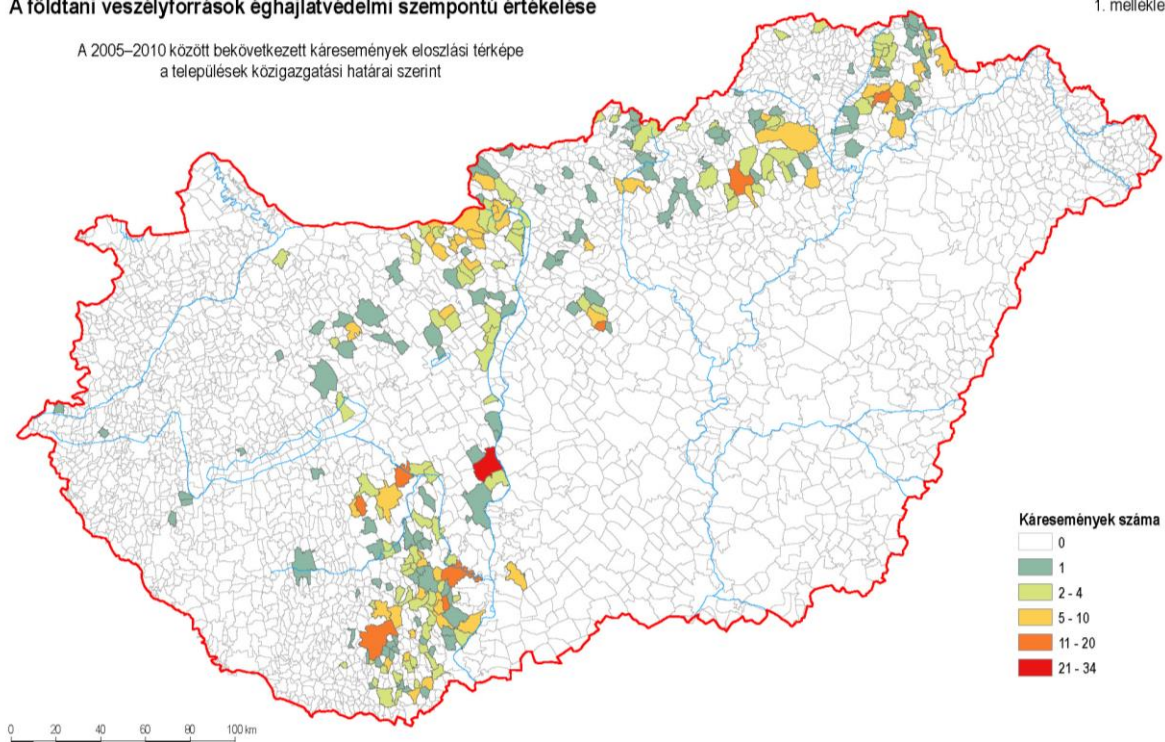
9.1 A 2005-2010 között bekövetkezett káresemények eloszlási térképe a települések közigazgatási határai szerint

A káresemények számát a települések külterületi közigazgatási határaitra vetítve adtuk meg (32. ábra). Ez a módszer nem csak a területi eloszlás érzéktetésében segít, de az érintett települések meghatározásában, leválogatásában is. Ugyanakkor az események tényleges földrajzi helye e térképen nem lokalizálható.

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

1. melléklet

A 2005–2010 között bekövetkezett káresemények eloszlási térképe
a települések közigazgatási határai szerint



32. ábra A 2005-2010 között bekövetkezett káresemények eloszlási térképe a települések közigazgatási határai szerint

Az általános kép azonban egyértelmű: a felszínmozgási események döntő része hegy- és dombvidékeinkhez kötődik. Ezek mellett egyértelműen hangsúlyos terület a Duna mentén azon vidék, ahol a dunántúli Mezőföld löszplatója eléri a folyót. Olyannyira, hogy a legnagyobb esetszám is épp a Duna mentén látható, Dunaújvároshoz kapcsolódva.

Megjegyzendő, hogy a vizsgált időszakban a 2010-es év rekordcsapadékot hozott, így a felszínmozgások előfordulásában is túltreprezentált ez az év.

9.2 A csapadékos napok gyakoriságának várható változása, a figyelembe vett éghajlati forgatókönyvek alapján

Ehhez a tematikához összesen 16 térkép tartozik, hiszen a normál és extrém időjárási helyzetre, 2 éghajlati forgatókönyv 2-2 sugárzási küszöbértékére, 2-2 jövőbeli időszakra vonatkozóan készültek el a térinformatikai feldolgozások. A térképtípusok az alábbiak:

1. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
2. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
3. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
4. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
5. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
6. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
7. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
8. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
9. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
10. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
11. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

12. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
13. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
14. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
15. Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)
16. Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

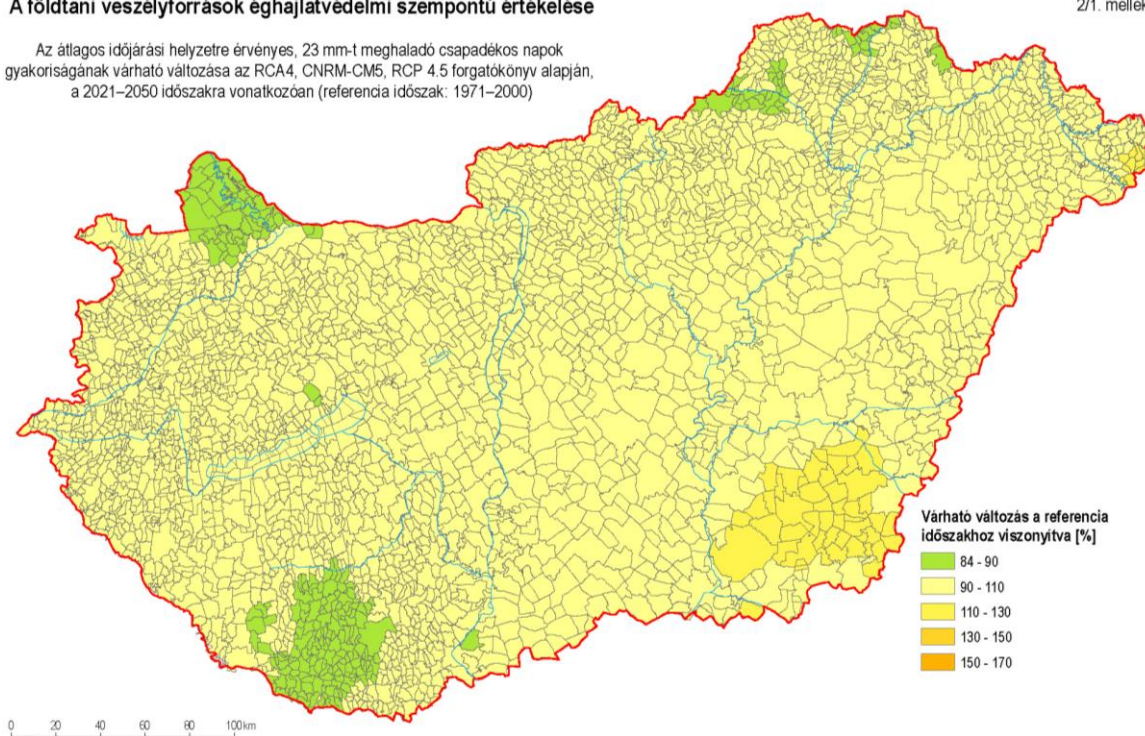
A térképsorozatból most a hozzánk időben legközelebbi, 2021-2050 évek közötti időszakra szóló, a CNRM-CM5 modellel készült projekció-csoportot emeljük ki és mutatjuk be részletesebben (33-36. ábra).

- 9.2.1 Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

2/1. melléklet

Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



33. ábra Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A térkép azt mutatja be, hogy az ország két, jelenleg is viszonylag magas éves csapadéku régiójában (ÉNy- és DNy-Magyarország), illetve foltszerűen ÉK-Magyarországon némileg csökkenni fog a 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az adott éghajlati forgatókönyv szerint, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (a referencia időszakhoz viszonyítva), míg DK-Magyarországon enyhe növekedés figyelhető meg.

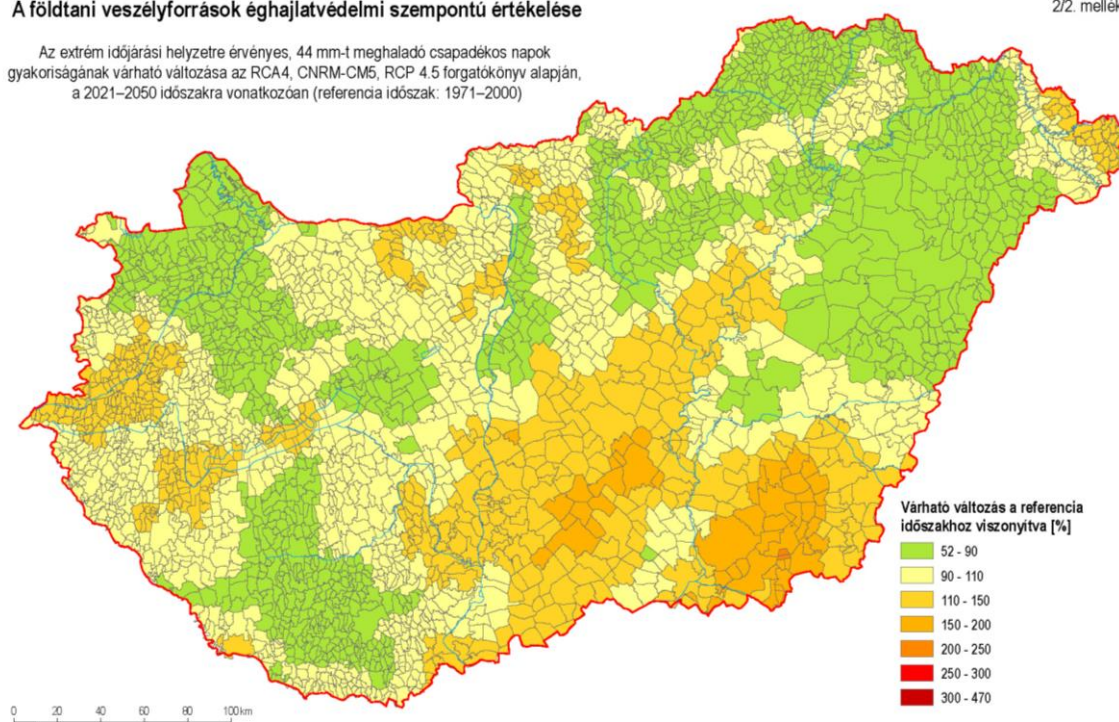
Eszerint a jelzett értéket, mint küszöböt meghaladó csapadékos napok gyakorisága előbbi esetben kissé csökkenni, utóbbi esetben nőni fog, azaz a jelen helyzethez viszonyítva a DK-magyarországi területeken várhatóan nagyobb gyakorisággal jelentkeznek a 23 mm-t meghaladó csapadékesemények.

9.2.2 Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

2/2. melléklet

Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



34. ábra Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A 9.2.1. esethez viszonyítva változatosabb képet mutat a 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása, a vizsgált időszakban, a referencia időszakhoz viszonyítva.

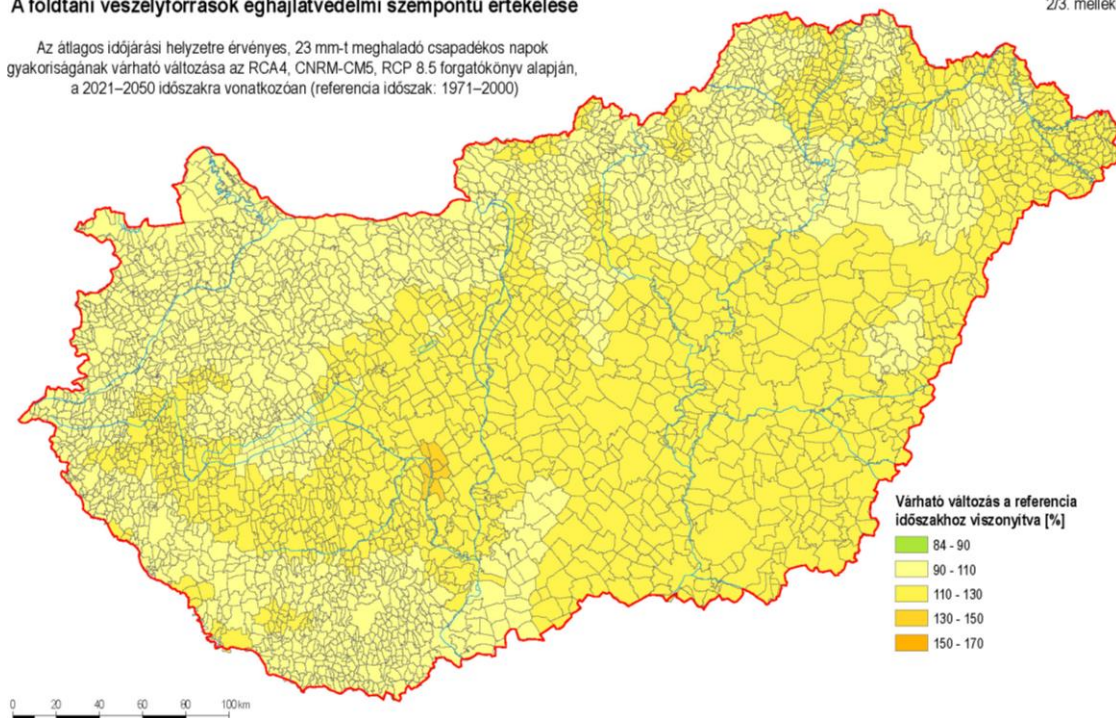
E magasabb csapadékküszöb átlépésével járó csapadékos napok gyakoriságának határozott emelkedését a Duna-Tisza-közén, illetve a Viharsarokban jelzi a forgatókönyv. Az ország más tájain stagnálás, illetve jelentős részein a küszöbérték feletti csapadékesemények számában csökkenés figyelhető meg.

9.2.3 Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

2/3. melléklet

Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



35. ábra Az átlagos időjárási helyzetre érvényes, 23 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

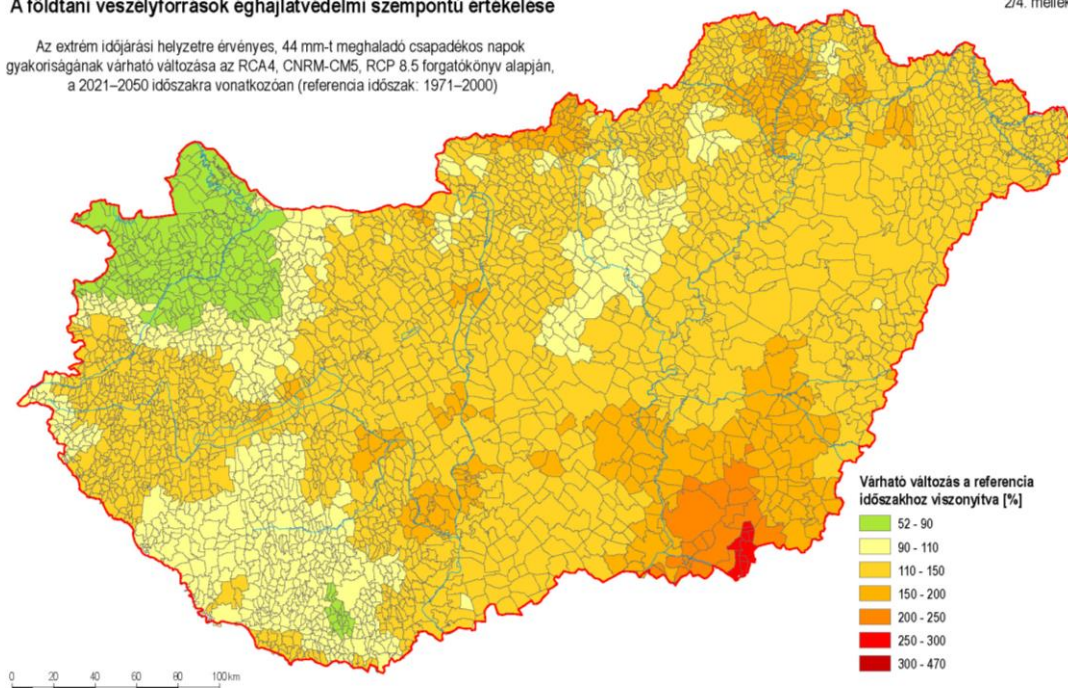
Ha szintén a 23 mm-es érték feletti csapadékos napok gyakoriságának várható változását tekintjük, de magasabb besugárzási érték mellett, úgy általános emelkedést láthatunk a küszöb feletti csapadékos események gyakoriságát illetően, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referenciaként tekintve az 1971–2000 időszakot).

- 9.2.4 Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

2/4. melléklet

Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



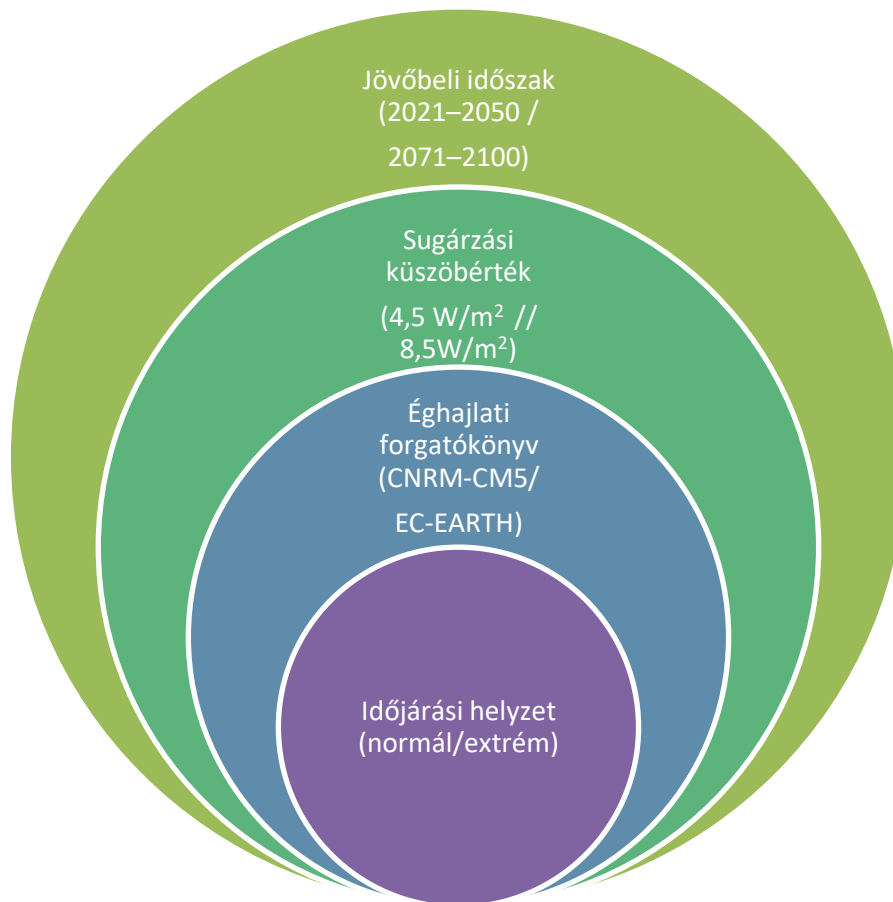
36. ábra Az extrém időjárási helyzetre érvényes, 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakoriságának várható változása az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján, a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

A fenti, négy térképből álló ábraszorozat legmarkánsabb változást tükröző tagja azonban a magasabb, $8,5 \text{ W/m}^2$ besugárzási értéket feltételező extrém, 44 mm-t meghaladó csapadék várható gyakoriság-változását bemutató ábra. Ebben az esetben bár szinte a teljes Kisalföld, valamint a Mecsek környéke csökkenést mutat az extrém események gyakoriságában a jelen szinthez képest, ám az ország legnagyobb területén egyértelműen, míg a DK-i országrészben igen határozottan többszörösére emelkedik a csapadékesemények előfordulási esélye.

2071–2100 időszakokra vonatkozóan még markánsabb változásokat láthatunk, különösen az extrém időjárási helyzetre vonatkozó előrejelzésekben. E jelentősebb változások azonban hasonló „mintázatot” mutatnak az időjárási helyzet, éghajlati scénáriók, sugárzási küszöbök vonatkozásában, mindkét célidőszak esetében.

Összességében a térképeket szemlélve nem meglepő, hogy az extrém időjárási helyzetre vonatkozó előrejelzés jelentősebb (negatívabb) változásokat vetít előre, mint a normál időjárási helyzetre vonatkozó forgatókönyv. Szintén nem meglepő, hogy a $4,5 \text{ W/m}^2$ értékkel készült éghajlati scénárió kedvezőbb képet fest a $8,5 \text{ W/m}^2$ értékkel készült előrejelzésnél. Ugyanakkor az eltérő éghajlati forgatókönyvvel (CNRM-CM5, vagy EC-EARTH) készültek a számítások eredményei között egyértelmű eltérések vannak, amely különbségek inkább a magasabb, $8,5 \text{ W/m}^2$ értékkel számoló, extrém időjárási scénárió esetén domborodnak ki.

A 16 térkép által bemutatott paramétercsoport összefüggéseit a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** igyekszik szemléltetni (ld. alább).



37. ábra A csapadékos napok várható változását bemutató térképsorozat fő paramétereinek kapcsolatrendszere

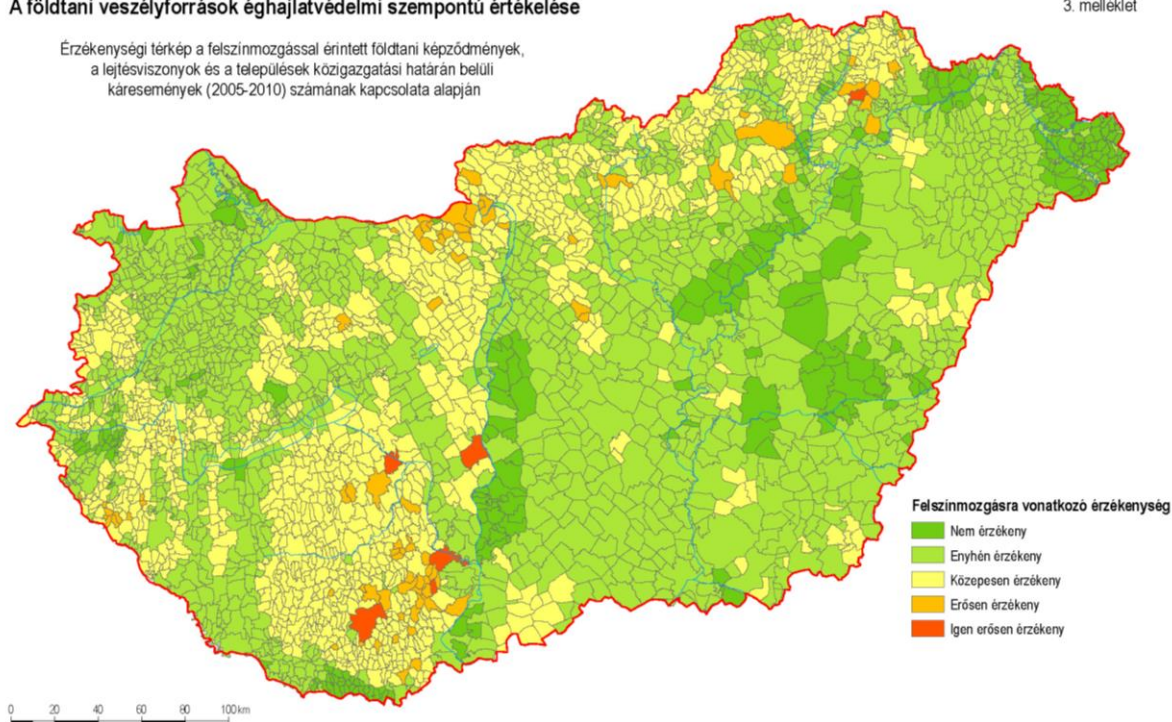
9.3 Érzékenységi térkép az érintett földtani képződmények, lejtésviszonyok és a települések közigazgatási határán belüli káresemények számának (2005-2010) kapcsolata alapján

A térkép voltaképp a 9.1. pontban bemutatott információ-típus, a települések közigazgatási határai szerinti káresemény eloszlás, valamint a földtan és lejtőviszonyok kapcsolatát hivatott bemutatni oly módon, hogy a településenkénti esetszámot összeveti a felszínmozgásoknak „otthont adó” földtani képződménnyel és a kapcsolódó lejtőkategóriával (38. ábra, 7. táblázat).

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

3. melléklet

Érzékenységi térkép a felszínmozgással érintett földtani képződmények, a lejtésviszonyok és a települések közigazgatási határán belüli káresemények (2005-2010) számának kapcsolata alapján



38. ábra: Érzékenységi térkép a felszínmozgással érintett földtani képződmények, a lejtésviszonyok és a települések közigazgatási határán belüli káresemények (2005-2010) számának kapcsolata alapján

7. táblázat Az érzékenységi paraméterek és kapcsolatuk

A földtani képződmények súlyozása a jelen tanulmány 5. ábráján látható esemény eloszlási diagram alapján készült. A lejtőkategóriák forrása:

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_TEI11/ch01s04.html; 11.4.7. fejezet

Földtan/Lejtő kat.		I	II	III	IV	V
	Súly	1	2	3	4	5
0	-	-	-	-	-	-
1	4	4	8	12	16	20
2	6	6	12	18	24	30
3	2	2	4	6	8	10
4	5	5	10	15	20	25
5	3	3	6	9	12	15
6	1	1	2	3	4	5

Súly	Földtani kategória	Típus
na.	0	Antropogén képződmények
4	1	Durvaszemcsés üledékek
6	2	Lössös képződmények
2	3	Agyagok
5	4	Lejtőüledék képződmények
3	5	Tufás képződmények
1	6	Szilárd kőzetek

Súly	Lejtőkategória	Lejtőszög (%)
1	I	< 5
2	II	5 - 12
3	III	12 - 17
4	IV	17 - 25
5	V	> 25

Ennek eredményeképp – ellentétben a 9.1. térkép tematikájával – nem csupán a felszínmozgással érintett települések kaptak érzékenységi besorolást, hanem hazánk valamennyi települése.

Ez a megközelítés segít helyesebben, realisabban értékelni a lezajlott eseményeket, de azt is, hogy az eseményekkel eddig nem érintett területek milyen, a földtani és lejtőkategóriából fakadó „hajlamot” hordoznak egy esetleges felszínmozgásra.

9.4 A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására, a figyelembe vett éghajlati forgatókönyvek alapján

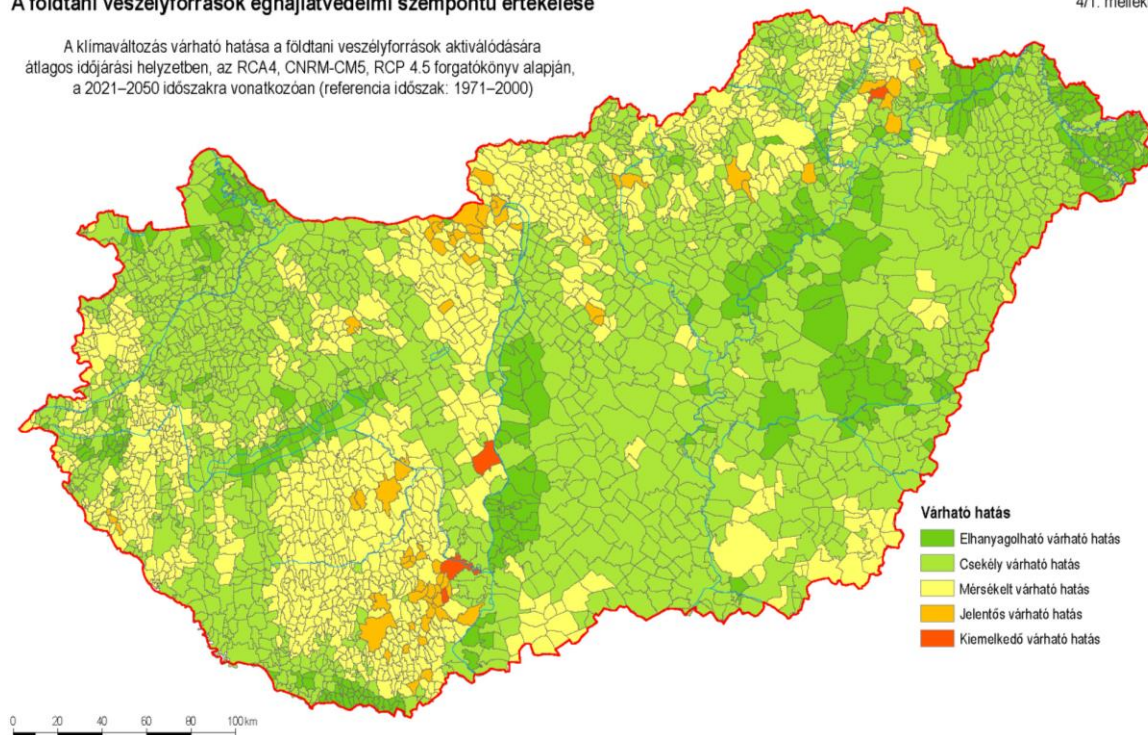
A 9.2. pontban bemutatotthoz hasonlóan ez a tematika is 16 térképet foglal magába, a fentebb már ismertetett paraméter-csoport – tehát a csapadékos napok gyakorisága, az éghajlati forgatókönyvek, a sugárzási küszöbértékek, valamint két célidőszak – alapján.

A térképsorozatban hasonló trendek láthatók, mint a 9.2. pontban említett térképsorozat esetében. Tehát az extrémabb időjárási helyzet, a magasabb sugárzási küszöbértékek magasabb felszínmozgás-esemény bekövetkezést jeleznek, mint a jellemzők alacsonyabb/kisebb párjához tartozó esetek. Más szóval, az extrém időjárási helyzetek, a magasabb sugárzási küszöbvel számoló éghajlati variánsok jelentősebben hozzájárulnak a felszínmozgások aktiválódásához, mint az átlagos időjárási szituációk (v.ö.: a 39-40. ábrapárt).

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

4/1. melléklet

A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására
 átlagos időjárási helyzetben, az RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv alapján,
 a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)

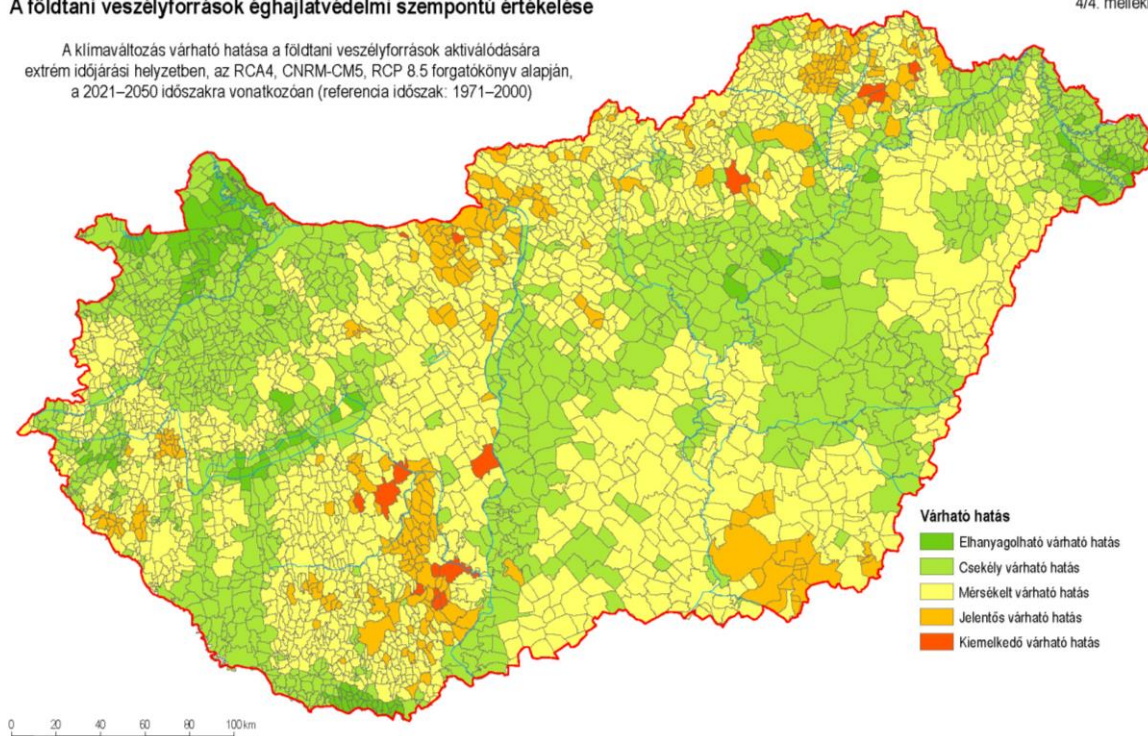


**39. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására
 átlagos időjárási helyzetben
 RCA4, CNRM-CM5, RCP 4.5 forgatókönyv,
 2021-2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1977-2000)**

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

4/4. melléklet

A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására
 extrém időjárási helyzetben, az RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv alapján,
 a 2021–2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



40. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására

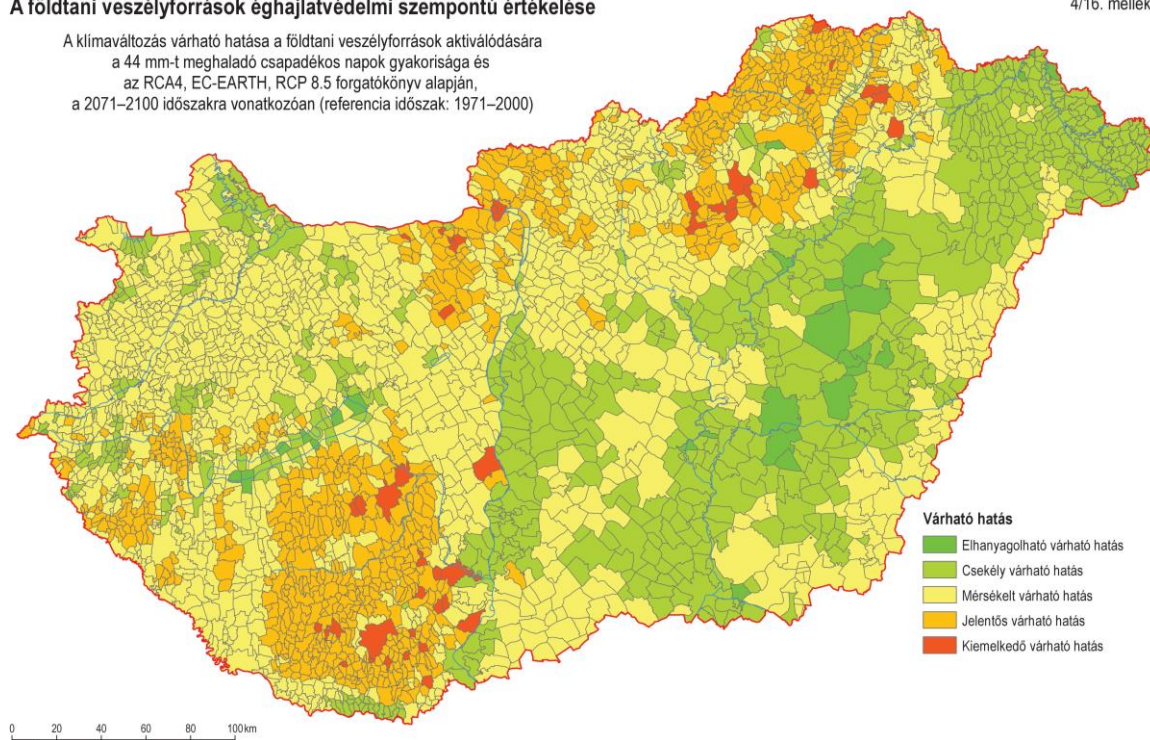
extrém időjárási helyzetben
RCA4, CNRM-CM5, RCP 8.5 forgatókönyv,
2021-2050 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1977-2000)

Amennyiben távolabbi időszakra vonatkozó modelleredményeket tekintünk, úgy még markánsabb változásokat láthatunk. Eszerint az évszázad végére hazánk jelentős kiterjedésű domb- és hegyvidéki területén, ideértve azok előtéri, hegy- és domblábi régióit, valamint a mezőföldi löszplató Duna menti letörésének egyes tájain (pl. Dunaújváros) jelentős, vagy akár kiemelkedő módon gyakorol hatást a felszínmozgások aktivitására az éghajlatváltozás. Ezt a helyzetet a 41. ábra szemlélteti.

A földtani veszélyforrások éghajlatvédelmi szempontú értékelése

4/16. melléklet

A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására
a 44 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakorisága és
az RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv alapján,
a 2071–2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1971–2000)



41. ábra A klímaváltozás várható hatása a földtani veszélyforrások aktiválódására extrém, 44 mm-t meghaladó csapadékot adó időjárási helyzetben
RCA4, EC-EARTH, RCP 8.5 forgatókönyv,
2071-2100 időszakra vonatkozóan (referencia időszak: 1977-2000)

10 ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiek összefoglalásaként, módszertani, valamint szakmai oldalról a következőket érdemes kiemelni:

a.) Módszertan, adatfeldolgozás

- A gyakoriságváltozások időbeli alakulása a vizsgált esetek alapján trendszerű, de a trend hatására előforduló változásokat nagyságrendileg felülmúlja a véletlen változékonyság. Ezt az is mutatja, hogy a fehér zaj vizsgálatra alkalmazott, a szomszédos pontok különbségének előjelén alapuló módszer 0.01, 0.05 és 0.1-es szignifikanciaszinten is igazolta a fehér zaj hipotézist.
- Az időablakok statisztikai paraméterei, elsősorban az átlag és a medián különbségei a kiszóró pontok erős hatását mutatják. A kiugró értékek főként a nagyobb gyakoriságok irányában jelentkeznek. Mivel a felszínmozgás előfordulásai is a felső extrémumokra érzékenyek, a túlsimítás csökkentése és a konzervatív megközelítés igénye miatt a három időablak átlagos értékeivel számoltunk.
- Az itt bemutatott ábrák és a néhány elvégzett hipotézisvizsgálat nem tekinthető megfelelő statisztikai vizsgálatnak, arra – főként az adatbázis-építés szükségszerű elhúzódása miatt – a jelen munka keretében nem jutott idő. Ennek keretében a területi összefüggések (geostatisztikai jellegű) vizsgálatát lehet elsősorban javasolni, amely lehetővé tenné az egymással kapcsolatban lévő adatok összevonását, és így a számított gyakoriságváltozások megbízhatóságának növelését.

b.) Általános szakmai eredmények

- Meghatároztuk a legfontosabb érzékenységi paramétereket, mint a hatásviselő rendszerre jellemző leglényegesebb, az esemény bekövetkezését elősegítő, természetes tényezőket. Ezek a földtani típusok, amelyekben az események bekövetkeztek; valamint a lejtőkategóriák, amelyek „aktiválták” az egyes eseményeket.
- Meghatároztuk a kitettségi paramétereket, amelyek jelen esetben a 23 (normál), illetve 44 mm-es (extrém csapadékesemény-variáns) küszöbértékek.
- Meghatároztuk az érzékenységi és kitettségi paraméterek összevetésével a jövőben várható hatást, a figyelembe vett éghajlati forgatókönyvek alapján.
- A munka eredményeként számos térképtematika készült; a következő tematikák szerint:
 - esemény-eloszlás – 1 térkép,
 - csapadékos napok eloszlás-gyakorisága – 16 térkép,
 - érzékenység – 1 térkép,
 - a klímaváltozás várható hatása a felszínmozgások aktiválódására – 16 térkép.

A téma feldolgozottsága korántsem teljes, hiszen a mögöttes adattartalom sem egységes. A térben és időben heterogén, s leginkább az események bekövetkezésének pontos idejét nélkülöző archív adatok utólagos pótlása nyilvánvalóan nem, vagy csak egy határig lehetséges. Ez azonban rávilágít arra, hogy a téma – annak társadalmi fontossága miatt – további, és folyamatos szakmai figyelmet érdemel és kíván. Ennek gyakorlati megvalósulását pl. a már láthatóan kritikus területekre vonatkozó, valós idejű monitoring rendszerek telepítése és folyamatos, automatizált üzemeltetése segítené hatékonyan. A stabil, biztonságos, duplum-mentes, megfelelő szakmai hozzáférési protokollal ellátott monitoring rendszerrel nem csak az események pontos bekövetkezési helye, ideje lenne rögzíthető, de a szünetmentesen érkező adatok folyamatos feldolgozása az események várható bekövetkezését is segíthet meghatározni. Ez pedig gyökeresen új és hatékony eszköz lehet az emberéletben, vagyontárgyakban bekövetkező károk lecsökkentéséhez.

A fentiek mellett továbblépési lehetőség olyan nemzetközi együttműködés, amely a felszínmozgások aktiválásában szerepet játszó folyóink mentén, az időszakos árhullámok figyelése révén követi, méri fel a kapcsolódó, kiváltott felszínmozgások bekövetkezését.

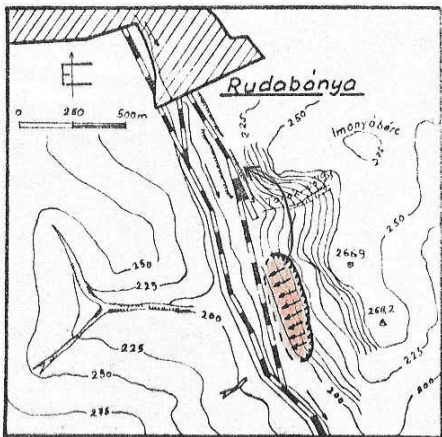
11 IRODALOMJEGYZÉK

- Bartholy, J., Pongrácz, R. (ed), 2013: Klímaváltozás – ELTE, Budapest, p. 186.
- Caine, N., 1980 The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. *Geogr Ann A* 62:23–27
- Collison, A., Wade, S., Griffiths, J., Dehn, M., 2000. Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude. *Engineering Geology* 55, 205–218
- Crosta, G., 1998. Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation, *Environmental Geology* 35, 131.
- Crozier, M. J, 1999, Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model *Earth Surf. Process. Landforms*, 24, 825-833, 10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<825::AID-ESP14>3.0.CO;2-M
- Crozier, M., J, 2010, Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review, *Geomorphology* 124(3), 260-267
- Czira, T., Fancsik, T., Mattányi, Zs., Páhy, A., Selmeczi, P., Csete, M., Pálvölgyi, T., Dunkel, Z., Szépszó, G., Czúcz, B. (2012) Konceptcionális és megvalósíthatósági tanulmány a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerhez (NATÉR) – MFGI, Budapest, p. 167.
- Csima, G., Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 112, 3–4, 155–177.
- Dehn, M., Bürger, G., Buma, J., Gasparetto, P., 2000. Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology* 55, 193–204.
- Dévényi D., Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában, Tankönyvkiadó, Budapest pp. 299-300
- Fowler, A.M., Hennessy, K.J., 1995. Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. *Natural Hazards* 11, 283–303.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., 2008. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides* 5 (1), 3e17.
- Hicks, D.L., 1995. A way to estimate the frequency of rainfall-induced mass movement. *Journal of Hydrology (New Zealand)* 33 (1), 59–67.
- IPCC, 2007. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon W-T., Laprise, R., Magaña Rueda V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr A., and Whetton, P., 2007: Regional climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and Miller, H. L., (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J., Mitchell, J.F.B. (2004): Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Hadley Centre, UK Met Office, Exeter, UK. 44p
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., 2013: Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data – *Időjárás*, vol. 117., No.1., pp. 143-158
- Liu, C.C., Linde, A.T., Sacks, I.S., 2009: Slow earthquakes triggered by typhoons – *Nature* 459, pp. 833-836.

- Melillo, M., Brunetti, M. T., Peruccacci, S., Gariano, S.L., Roccati A. and Guzzetti, F., 2018, A tool for the automatic calculation of rainfall thresholds for landslide occurrence *Environmental Modelling & Software*, 105, 230–243
- MfE, 2001. Climate Change Impacts in New Zealand. Ministry for Environment, Wellington.
- Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U., Jones, C. (2001): A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. *Clim. Dyn.*, 17, pp. 339-359
- Pálvölgyi T., Selmeczi P., (ed.) 2016: Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására – MFGL, Budapest, p. 85.
- Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, 27–46.
- Szépszó, G. (ed.) 2015: A klímamodellekből levezethető indikátorok alkalmazási lehetőségei – OMSZ-ELTE, Budapest, p. 111.
- 1384/2014, (VII. 17.) Korm. határozat, Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékelési módszertanáról és annak eredményeiről, 2014. online:
<http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/szervezet/20140718-katasztrofakockazat-ertekelesrol-jelentes.pdf>
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

12 MELLÉKLETEK

1. melléklet Egy, a felszínmozgás terepi felvétele során használt kataszteri adatlap

MEGYE: B. A. Z.		109-343 135. FELSZÍNMOZGÁSOS TERÜLETEK NYILVÁNTARTÓ LAPJA		SORSZÁM: 0501- 390-2
TAJEGYSÉG: Borsodi-med.	HELY: Rudabányától D-re az ipar- vasút melletti domboldal	MOZGÁS IDEJE:	MOZGÁS TÍPUS: csuszás	
HELYSZÍNRAJZ:		FÖLDTANI VISZONYOK: Pannóniai agyag és homok rétegek felett pleisztocén vegyes kőzet-törmeléken agyag található 4-5 m vastagságban.		
		VÍZFÖLDTANI VISZONYOK: Pleisztocén laza üledékben, völgy- talp irányába áramlik a talajvíz pannóniai agyag felett.		
		FELSZÍNHAJLÁS, NÖVÉNYZET, BEÉPÍTETTSÉG: 10 lejtésű, füves domboldal alsó szélénél vasut található.		
MOZGÁS LEFOLYÁSA, IDŐTARTAMA, SEBESSÉGE: Gyorslefolyású, nagy kiterjedé- sű, szakaszos suvadás két évti- zeade figyelhető meg. 1555-ben indult E. 1485		VIZSGÁLATOK TERJEDELME ÉS EREDMÉNYEI: HAVTERV 28 db furást mélyített. Pannon agyagot, felette pleisz- tocén vegyes törmeléken agyagot tárt fel, melyeket talajmechani- kai vizsgálat alá vetett.		
		MOZGÁSBAN RÉSZTVEVŐ ANYAGOK FIZIKAI JELLEMZŐI: Pleisztocén agyag: $I_p=16-42\%$ $I_c=0,6-1,1$; Pannóniai homokos, ka- vicsos, szerves agyag $I_p=24-29\%$ $I_c=1,0-1,2$; Pannóniai homok; $d_m=0,08-0,3$ mm $U=8-24$		
MOZGÁS KITERJEDÉSE:	FÜGGŐLEGESEN:	35	m	A MOZGÁS KÖZVETLEN OKA: Lejtők irányába áram- ló vizek, surlódás és nyírószilárd- ság csökkenő hatása VÉDEKEZÉSI JAVASLAT: Vízvezetés és erdősítés.
	HOSSZÚSÁGA:	200	m	
SZÉLESSÉGE:	800	m		
MOZGÓ TÖMEG:	640	m ³		
ELMOZDULÁS MÉRTÉKE:		VÍZSZINTES:	5-10	m
		FÜGGŐLEGES:	4-6	m
OKOZOTT KÁR: Vasúti töltés és tele- fonvezetékek, oszlopok károsodtak meg. Az anyagi kár számottevő.				
MEGÉPÍTETT VÉDEKEZÉSI MŰVEK: Szivárgó-bordákat építettek és árkokat.				
UTÁNVIZSGÁLAT IDEJE, EREDMÉNYE: 1980. október 17. A védekezési műveletek csak rész- ben érték el céljukat. Hatalmas méretű, élő suvadással van dolgunk, amely veszélyezteteti a vasútvonal épségét, és a magasfeszültségű távve- zeték épségét.				
VIZSGÁLATOT VÉGZŐ SZERV: HAVTERV 12-50303, PTI 1973. MFT Szakmagyarországi Ter. Szervezete Miskolc 1980. MAFI MTFSZ 1975.		IRODALMI HIVATKOZÁS: PTI 1973. 05-10 b.sz. Dr. Rózsa: Rézsűk stabilitási körü- sei néhány hazai csuszás tükrében: Életp. szle XII/1 E. 1485		

2. melléklet Vis maior jegyzőkönyv

SZAKVÉLEMÉNY
Vis maior támogatási kérelemhez

Bejelentő: Bátaapáti Község Önkormányzata

Bejelentés időpontja: 2008. november 20.

Helyszíni szemle időpontja: 2008. november 24.

Káresemény helyszíne: Bátaapáti, Deák F. u. 9 számú lakóingatlan mögött, valamint a Táncsics M. u. 11. számú ingatlan előtt.

Káresemény típusa: partfalomlás, és pinceomlás.

1. Káresemény leírása:

Bátaapáti község önkormányzatához november 20.-án lakossági bejelentés érkezett arról, hogy a megelőző éjszaka folyamán a Deák F. u. 9 számú ingatlan mögötti, önkormányzati tulajdonú 252/4 hrsz.-ú löszfalról omlás történt. A löszfal lakóépülettől való távolsága kb. 5-6 méter, magassága 8-10 méterre becsülhető, felülete függőleges repedésekkel tagolt tömbös kifejlődésű. A fal jobboldali lábvonali részén korábbi omlások maradványa figyelhető meg. A peremvonal növényzettel fedett, alatta aláhajló, repedezett felületek vannak, melyeket a gyökérzet tartja. A löszfal lábvonálában pince bejárat nyoma is látható. Megállapítható, hogy a partfal instabil állapotú, a kialakult repedések, aláboltozódások alapján további omlás bármikor bekövetkezhet, ami közvetlenül emberéleteket veszélyeztethet, valamint a lakóépület is elsodorhatja. Bár az omlás magáningatlant érint, de a veszélyhelyzetet okozó löszfal területe önkormányzati tulajdonban van. A balesetveszély elkerülése végett szükségesnek tartom, hogy az Önkormányzat a végleges megoldásig, az esetlegesen elguruló lösztömbök megfogása érdekében ideiglenes védő korlátot helyezzen el.

Veszélyességi kategória: A káreseményt 3. sz. veszélyességi kategóriába sorolom.

A veszélyhelyzet megszüntetésére a vis maior kérelmet támogatom.

2. Káresemény leírása:

Bátaapáti, Táncsics M. útnak a 11. számú lakóingatlannal szembeni szakaszán november 21.-én károsodás történt. A helyszíni szemle alkalmával volt megállapítható, hogy a káreseményt minden bizonnyal az úttest alatt áthaladó ismeretlen pincejárat beomlása okozta. A beszakadás felülete kb. 8-9 m², mélysége 1,5-2 m. A beomlott föld tömege közel 30 m³-e becsülhető. A Táncsics u. zsákutca, az omlás miatt 6 lakóingatlan gépjárművel nem közelíthető meg. Az omlás helyét szalaggal elkerítették, de mivel további omlás bármikor bekövetkezhet, ezért indokoltnak tartom az út teljes elzárását és a veszélyhelyzetre figyelmeztető tábla elhelyezését.

Veszélyességi kategória: A káreseményt 1. sz. veszélyességi kategóriába sorolom.

A veszélyhelyzet megszüntetésére mindkét vis maior kérelmet támogatom.

Ezen szakvéleményt a 47/2008. (III. 5.) Korm. rendelet 21.§ (7) bekezdése alapján adom ki.

Budapest, 2008. december „ „

13 FÜGGELÉK

Az adattáblák felépítéséhez használt Python scriptek, és a folyamat leírása

Python script 1: oszi_jk_teljes_20xx_4.py

Beolvassa az Oszvald Tamás féle jegyzőkönyveket docx fájlból, és egy excel fájlba menti soronként egy-egy eseménnyel (nem egy jegyzőkönyvvel)

Bemenet: jk_2009_0.docx–jk_20xx_n.docx

A jegyzőkönyvek sorszámozott, docx-es változata, amelybe a fájl elejére egy word macro segítségével beírjuk az eredeti (Pince- és partfalveszély Elhárítási Bizottság jegyzőkönyvet tartalmazó) fájl nevét, a készítés dátumát és a fájl méretét. Ezek az egyértelmű azonosításhoz szükségesek.

Kimenet: rendezett_jk_20xx_4v.xlsx

Excel tábla, amelyben szerepel a jegyzőkönyv sorszáma, a fájl neve,
Két munkalap – row_data; place_table

Megj: Korábban az oszi_jk_teljes_20xx_3.py kód szolgált erre, amit kicsit át kellett alakítani, és megfelelően kommentelni. Az alul taglalt, 2. számú, a georeferáláshoz szükséges osztályozást végző kód még a korábbi 3-as verzióra épült, a későbbiek (leiras_banya_.py) a 4-esre.*

Mivel a georeferáláshoz szükséges címbeolvasást nem lehetett teljesen automatizálni, hanem az eredményfájlokat manuálisan kellett javítani, szükség híján, és idő szűkében a két verziót nem sikerült teljesen összehangba hozni. Különbség csupán abban van, hogy egyes állományokban hol (melyik oszlopban) jelenik meg a teljes sorszám, ami tkp. a felszínmozgás eseményazonosító, és hol a jegyzőkönyv fájl sorszáma.

A fájl sorszáma az eredeti jegyzőkönyvek sorszámozásából adódik a fájlnevek (amik jellemzően a településnevek) ABC sorrendje alapján. A kettős sorszámozás azért alakult ki, mert bizonyos jegyzőkönyvek több eseményt is tartalmaznak, vannak azonban olyan jegyzőkönyvek is, amelyek nem tartalmaznak felolgozásra alkalmas információt.

Ami lényeges, a két verzió sorszámozása nem tér el egymástól, csak a fájl sorszám id_sorszám oszlopok megjelenése változik, illetve bizonyos az új verzióban megjelenik egy plusz sor, ami a DataFrame adattípus címkéit tartalmazza, és később ki kell törölni (ld a következő scriptnél)

Python script 2: gkod_10_4.py

Beolvassa a rendezett_jk_20xx_4v előbbi fájlt, és osztályozza a helyszíneírás szerint.

Kategóriák:

helységnév/utca/hsz	(OK),
helyrajzi szám	(HRSZ),
utcaszintű besorolás	(utca),
helyre való utalás	(hely)

Az eredményfájlt le kell ellenőrizni, kézi javítás után indulhat a georeferálás.

Bemenet 2: rendezett_jk_20xx_4v.xlsx

Megj.: A rendezett_jk_20xx_4v.xlsx fájlból jelenleg futtatás előtt kézzel ki kell törölni az 1., sort, hogy ne kapjunk index hibát.

Excel tábla, amelyben szerepel a jegyzőkönyv sorszáma, a fájl neve,
Két fül – row_data; place_table

Kimenet 2: *PythonExport_20xx_p.xlsx, kézi javítás után PythonExport_20xx_p_jav.xlsx*

Excel tábla, amelyben szerepel:

a jegyzőkönyv sorszáma, a fájl sorszáma (jk_x), A káresemény helyszíne – teljes szöveges leírás, A káresemény helyszíne – bontás:

a helyszínleírás kategória: helyszín leírás(helység/irszam/nev/kozt_jelleg/hazszam/hrszt/hrszt_ossz (kézi javítást segítő kiemelés))

Kézi javítás után a táblázat bontott címeiből (OK típus esetén) képezhető a címek georeferálását végző program bemenete (Bing.Maps és Google.Maps adatbázis).

Python script 3: *koord_bing_google.py*

Beolvassa a *PythonExport_20xx_p_jav.xlsx* Excel fájlt, elvégzi a georeferálást a Google és a Bing API segítségével, majd a címekhez tartozó koordinátákat beírja a *PythonExport_20xx_p_jav_koord.xlsx* fájlba

Megj: A Google API használatához regisztrálni kell a Bing és a Google oldalakon.

Bing: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff428642.aspx>

Google: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/get-api-key>

Bemenet 3: *PythonExport_20xx_p_jav.xlsx*

Excel tábla, amelyben szerepel:

a jegyzőkönyv sorszáma, a fájl sorszáma (jk_x), A káresemény helyszíne – teljes szöveges leírás, A káresemény helyszíne – bontás:

a helyszínleírás kategória: helyszín leírás(helység/irszam/nev/kozt_jelleg/hazszam/hrszt/hrszt_ossz (kézi javítást segítő kiemelés))

Kimenet 3: *a PythonExport_20xx_p_jav_koord.xlsx*

Excel tábla, amelyben 3 fül van:

OK_Geokod_WGS – a jegyzőkönyv sorszáma, a bontott cím (helység/irszam/nev/kozt_jelleg/hazszam), a Bing és a Google WGS koordináták.

konv – a jegyzőkönyv sorszáma, a konvertált EOVS koordináták

Hason – két API-val meghatározott EOVS koordináták távolsága

A számított koordináták különbségei alapján 50 m-nél nagyobb távolságok esetén kézi ellenőrzés.
Kimenet:

PythonExport_20xx_p_jav_koord_monogram.xlsx Hason_eredm fül

Megj: Helyrajzi szám alapján a MEPA rendszerből lehet lekérni a centroid koordinátákat. A köteget lekérdőzés fizetős (30 Ft/db) – Budapest Főváros Kormányhivatala, Földmérési, Távérzékelési és Földhivatali Főosztály, Szolgáltató Osztály, Telefon: +36 1 460 4240, E-mail: lengyel.eva@bfkh.gov.hu

Python script 4: *leiras_banya_20xx.py*

Beolvassa a rendezett_jk_20xx_4v fájlt, és a leírásból kiszemezgeti, és soronként (rekordonként) rögzíti

- esemény dátumát (ha arra a szövegben van utalás)
- azt, hogy történt-e említés csapadékról
- azt, hogy milyen típusba sorolható,
- azt, hogy a típusbesorolás igényel-e kézi ellenőrzést (attól függően, hogy egy-egy jegyzőkönyvben hány esetleírás van, és hányféle esemény típust rögzítettek)

Bemenet 4: *rendezett_jk_20xx_4v.xlsx*

Excel tábla, amelyben szerepel a jegyzőkönyv sorszáma, a fájl neve,

Két munkalap – row_data; place_table

Kimenet 4: *PythonExport_20xx_banyasz2*

Excel tábla, egy munkalappal – leiras_banyasz_pyth

- ebben szerepel a jegyzőkönyv fájl sorszáma, az esemény sorszáma (egy jegyzőkönyvben több esemény is szerepelhet), a fájl neve és egyéb azonosítói;
- az, hogy egy jegyzőkönyvben hány azonosítható esemény szerepel (azaz hány veszélyességi osztályba sorolás, illetve „osztályba nem sorolható” beírás szerepel az adott dokumentumban);
- a jegyzőkönyv teljes szövege az ellenőrzéshez;
- a bejelentés, bejárás, és ha van, az esemény bekövetkezésének dátuma;
- milyen említés van csapadékról, emberi tevékenységről (pl. bevágás stb.);
- típusba sorolás, amennyiben több típus szerepel, illetve több esemény szerepel egy jegyzőkönyvben manuális ellenőrzésre való felhívás

Ez a fájl manuális ellenőrzésen esik át, kimenet *PythonExport_20xx_banyasz2_monogram*

Python script 5: *leiras_banya_villamarv.py*

Az előbbi program kiegészített változata, beolvassa a rendezett_jk_20xx_4v fájlt, és a leírásból kiszemezgeti, és soronként (rekordonként) rögzíti

- azt, hogy van-e utalás áradásból eredő károokra („patak”, „alámosás” stb.)
- azt, hogy a típusbesorolás igényel-e kézi ellenőrzést (attól függően, hogy egy-egy jegyzőkönyvben hány ilyen előfordulás van)

Bemenet 5: *rendezett_jk_20xx_4v.xlsx***Kimenet5:** *PythonExport_20xx_banyasz2_patak*

A kimeneti excel fájlokból k999ézzel válogattuk össze a végső adattáblát, amelynek Nater_AB munkalapján van az összes, a Natér2 korelációhoz szükséges adat. Ha figyelembe vesszük, hogy a CarpatClim adatok rendelkezésre állnak, ennek nincs új adattartalma csak a korrelációs számítások megkönnyítésére szolgál.

Egy további lépéssel, ehhez hozzátesszük a káresemény bekövetkezését (ennek hiányában a bejelentés dátumát) megelőző 90 (később 250) nap, az esemény helyszínéhez legközelebbi adatpontra vonatkozó CarpatClim adatsorát, és az utolsó oszlopban egy dátum jelzést, amelyiknek 1 az értéke, ha rendelkezünk bekövetkezési dátummal, 0 ha nem.

A kimenet a *rendezett_jk_20xx_AB_idosorral_.xlsx* fájlban található.

A kimenet az összes vizsgált évre (2005–2010): *rendezett_jk_2005_10_AB_idosorral3_jav.xlsx*