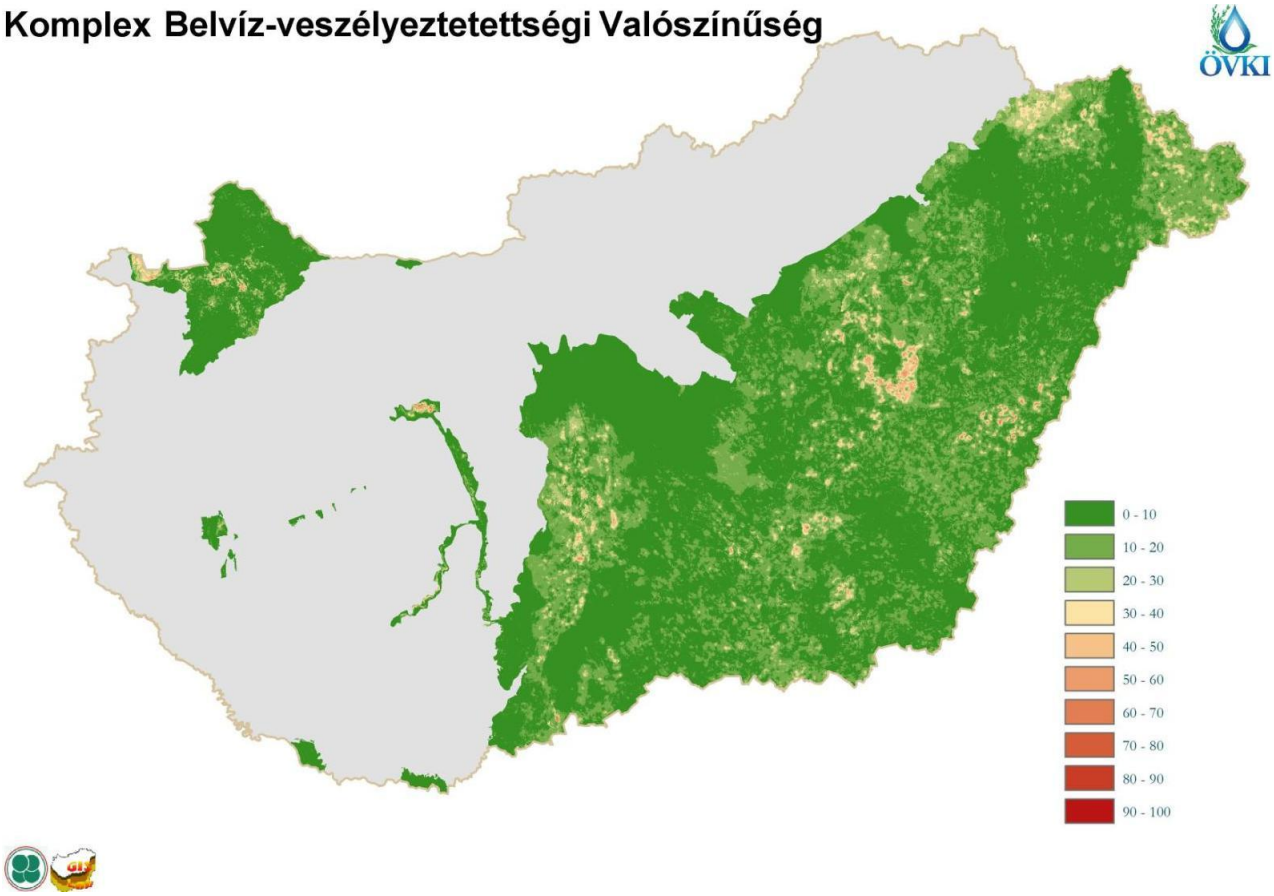
Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése
(KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001)
III. Ütem



Belvízi veszélytérképezés

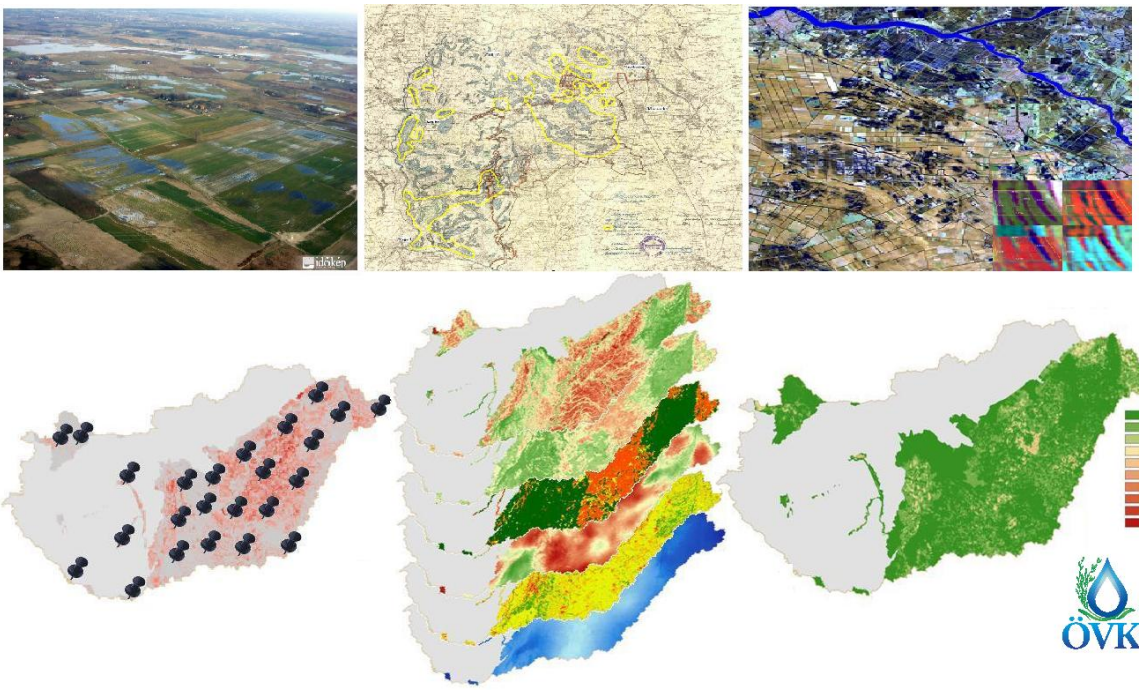
Metodika, veszélytérképezési eredmények

2014-2015

ÁKK 2014 KONZORCIUM

Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ
Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály
5540 Szarvas, Anna-liget 8.
Telefon: (66) 515-300
Fax: (66) 312-142
E-mail cím: info@ovki.naik.hu
Iktatószám: 83-11/2015
Hivatkozási szám: 83-1/2015
Ügyintéző: Bozán Csaba
Webcím: www.ovki.naik.hu

Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi térképezése Magyarország síkvidéki területein (Alföld, Kisalföld, szórvány területek)



Készült

a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK), Öntözési s Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztályán (ÖVKI)

(5540 Szarvas, Anna-liget 8.)

SZARVAS

2015

Készítette:

Bozán Csaba témafelelős, tudományos munkatárs, osztályvezető, NAIK ÖVKI
Körösparti János tudományos munkatárs, NAIK ÖVKI
Andrási Gábor tudományos segédmunkatárs, NAIK ÖVKI
Túri Norbert intézeti mérnök, NAIK ÖVKI
Kun Ágnes intézeti mérnök, NAIK ÖVKI
Valentinyi Károly szakértő, NAIK HAKI

Alvállalkozó/Bedolgozó/Beszállító:

MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet (témafelelős: Dr. Pásztor László)
HGRV Informatikai Kft. (témafelelős: Házas Gábor)
Geoforma Bt. (témafelelős: Sipos György)
Müller Tamás egyéni vállalkozó
SITUSOFT Kft. (témafelelős: Prof. Dr. Ijjas István és Ijjas István Zsolt)
Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest
Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest

TARTALOMJEGYZÉK

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ **5**
1. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK, KIHÍVÁSOK, CÉLKITŰZÉSEK **9**
2. VIZSGÁLATI TERÜLET **14**
3. A BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI TÉRKÉP SZERKESZTÉSÉHEZ FELHASZNÁLT ALAP ÉS SZÁRMAZTATOTT ADATOK **16**
4. MÓDSZERTAN ISMERTETÉSE ÉS A BEFOLYÁSOLÓ PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA **20**
4.1 Hidrometeorológiai tényező ***22***
4.2 Domborzati tényező ***26***
4.3 Talajtani tényező ***31***
4.4 Földtani tényező ***40***
4.5 Talajvíz tényező ***43***
4.6 Földhasználati tényező ***47***
4.7 Belvíz-gyakoriság ***50***
5. KOMPLEX BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI VALÓSZÍNŰSÉG (KBV) **57**
6. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK **61**
7. A BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI TÉRKÉP FEJLESZTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI **64**
8. FELHASZNÁLT IRODALOM, TERVEK ÉS DOKUMENTUMOK JEGYZÉKE **68**

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

Jelen feladat, alvállalkozási szerződés keretében az „Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése" (KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001) pályázathoz kapcsolódóan került kidolgozásra. Az ÁKK 2014 Konzorcium a korábbi egyeztetéseknek megfelelően felterjesztette a tárgyi feladatrész tematikai javaslatát, amit a megbízó OVF 2015. március 5-én jóváhagyott. A jóváhagyott tematika megvalósítására az ÁKK 2014 Konzorcium részéről a VIZITERV Environ Kft. szerződést kötött 2015. március 11-én a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központtal (NAIK) „*Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi térképezése Magyarország síkvidéki területein (Alföld, Kisalföld, szórvány területek)*" címmel. Felelős: NAIK Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály (NAIK ÖVKI, 5540 Szarvas, Anna-liget 8.). Teljesítési határidő: 2015. augusztus 3.

CÉLKITŰZÉSEK

Magyarország síkvidéki területein a morfológiai, agrometeorológiai és hidro(geo)lógiai, valamint a talajtani adottságok miatt, természeti jelenségként, véletlenszerű ismétlődéssel rendszeresen kialakulnak egyes időszakokban térszíni elöntések (belvizek), illetve máskor aszályt okozó vízhiányok. Mindkét jelenség károkozása esetenként vállalhatatlan kockázatot jelent. Hazánk mintegy 45 000 km^2-es síkvidéki területének igen jelentős részét, kereken 60%-át veszélyezteti számottevő mértékben a belvízi elöntés. Általános következtetés, hogy a termőhely vízháztartási folyamatát sok, időben és térben különbözően változó tényező befolyásolja. Egy-egy időpontbeli vízállapotot pedig a tényezők véletlenszerű együttállása, illetve rövid időszakú halmozódása határozza meg. Mindezek alapján a belvíz-veszélyeztetettségi térképezés elengedhetetlen feltétele a vízügyi és mezőgazdasági tervezésnek. Megbízásunk alapján elkészítettük Magyarország síkvidéki területeinek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi térképét, mely alkalmas egy-egy terület belvízi veszélyeztetettségének numerikus jellemzésére.

MÓDSZERTAN

A belvíz-veszélyeztetettség általánosságban egy olyan térbeli jellemzőnek tekinthető, amely azt fejezi ki, hogy a statikus és dinamikus hatótényezők együttes hatása miatt, adott területet potenciálisan milyen mértékben sújthat belvíz szélsőség. A belvíz-veszélyeztetettség (ellenben a „belvízveszéllyel") a hatótényezők és az elöntés esélye tekintetében is hosszabb idő átlagát veszi figyelembe. Módszertanunk alapja, hogy a legfőbb állandó és változó tényezők figyelembevételével olyan térképsorozatot szerkesszünk, amely lokális pontossággal jellemezi a vizsgálati terület belvízi veszélyeztetettségét. Ehhez 6 fő tényező digitális térképét kell megszerkesztenünk, melyek alapjai egy-egy jól definiált 1-től 5-ig terjedő paraméter. Minél nagyobb a vizsgált tényező értéke, annál kisebb a belvízképződés lehetősége. A belvízi veszélyeztetettség és a természeti tényezők kapcsolatának tisztázását célzó korábbi kutatásaink eredményeire támaszkodva az alábbi 6 fő tényező számszerű értékét határoztuk meg és használtuk fel a végső térképek szerkesztésénél:

1. Hidrometeorológiai tényező (a súlyozott csapadék és a lehetséges párolgás éves értéke hányadosának 10%-os előfordulási valószínűségű értéke);
2. Domborzati tényező (relief energia a HIDRODEM terepmodell alapján + 8 db környezeti segédváltozó);

3. Talajtani tényező (víznyelési sebességből és egyéb mutatókból meghatározva, a Kreybig-féle talajtérképek és a Várallyay-féle térképek alapján + 3 db környezeti segédváltozó);
4. Földtani tényező (a felső 10 méteres rétegöszlet fő jellemzőiből, mint az agyagossági százalékból, a vízzáró réteg vastagságából és elhelyezkedéséből számítva, melyek egyben környezeti segédváltozók);
5. Talajvíztényező (2-2 magas talajvíz ($LNV_{1961-1990}$, $LNV_{1991-2014}$) átlaga, konkrét kútadatokra feldolgozva és a HIDRODEM-hez igazítva);
6. Földhasználati tényező (művelési ágakból, mint rét-legelő, szántó, erdő, stb. meghatározva, felhasználva a CORINE Landcover CLC50 adatbázist).

Módszertanunk alapján a belvíz-veszélyeztetettségi térkép szerkesztéséhez alkalmazott regressziós eljárás során a „független” változók a belvízképződést befolyásoló kiválasztott tényezők, míg a „függő” változó a tényleges belvíz-elöntési adatok alapján szerkesztett belvíz-gyakorisági térkép, más szóval az elöntés relatív gyakorisága. A dunántúli síkvidéki területek esetén nem áll rendelkezésre megfelelő számú elöntési térkép, ezért az összesített elöntés térképi állománya egyrészt a rendelkezésre álló elöntés adatokból, illetve a Pálfai-féle felparametrizált elöntési adataiból, másrészt pedig a FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekből készített műholdkép kiértékelések alapján készült adatbázis általunk kijelölt random tanulópontokban mért elöntés gyakorisági értékekből adódik.

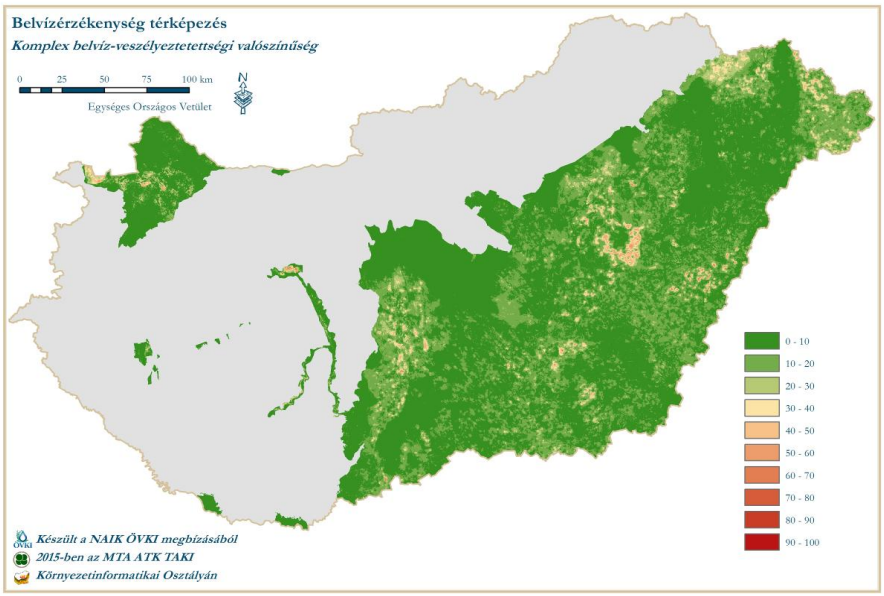
A belvíz-veszélyeztetettségi térképezés (Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató továbbfejlesztett változata => Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség, KBV) jelen munka során egy, a környezeti modellezésben egyre több területen bizonyító geostatisztikai módszer, a regresszió krigelés alkalmazásával történik. Ennek során a vizsgált tényező térbeli változását a térbeli interpoláció mellett a vele közvetett vagy közvetlen kapcsolatban álló segédváltozók figyelembe vételével modellezzük. A regresszió krigelés során a térképezendő tulajdonságot először a környezeti változók többváltozós regressziójával becsüljük, majd a modellezett értékek és az adatok közötti eltérések térbeli kiterjesztése krigelési eljárással történik. A regressziós modellek, illetve a reziduumokon alapuló krigelési becslő eljárás eredőjeként kapjuk meg Magyarország síkvidéki területeire vonatkozóan a belvíz-veszélyeztetettség térbeli becsléseit, azaz a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűséget. A belvíz-veszélyeztetettség alatt azt a valószínűségi változót értjük, ami statisztikailag értelmezhető formában megadja, hogy adott területen (pl. térképi cellában) mekkora eséllyel következik be a vizsgált hidrológiai szélsőség.

EREDMÉNYEK

A már több éve folyamatosan fejlesztett KBV alkalmas arra, hogy megfelelő pontossággal jellemezzünk egy-egy terület belvízi veszélyeztetettségét. A vizsgálati szempontok nagy száma miatt az összefüggések bonyolultsági foka magas, ezáltal azok tartalmi vonatkozása sokrétű. A belvíz-veszélyeztetettségi térkép a mezőgazdasági vízgazdálkodással összefüggő feladatok megoldásához nyújt segítséget, de minden olyan külterületen folyó hasznosítási, fejlesztési és védelmi tevékenység lényeges támpontja lehet, amelyeknél az időszakos vízborítás kárt okoz. A digitális tényezőtérképek és a KBV alapján szerkesztett szintézistérkép olyan származtatott térképek, amelyek alkalmasak az eltérő tulajdonságú területek összehasonlítására és a tényezők ok-okozati kapcsolatainak felderítésére.

A regresszió krigelés eredménye a KBV térkép (*1. ábra*), mely alapján megállapítható, hogy az ország síkvidéki területeinek igen jelentős hányadát veszélyezteteti belvízi elöntés. A belvízzel leginkább veszélyeztetett területek kisebb-nagyobb foltokban szétszórva, de főleg a folyóvölgyek legmélyebb részein helyezkednek

el. Igen jelentősen veszélyeztetett térség az Alföldön a Felső-Tisza környéki tájak (Bereg, Tisza-Szamos köz, Szamos-Kraszna köz, Rétköz, Bodrogköz, Taktaköz), továbbá a Hortobágy melléke, a Jászság és a Nagykunság tekintélyes része, a Körösök vidéke, az Alsó-Tisza völgye, valamint a Duna-Tisza közi hátság nyugat pereme (a Duna-völgyi főcsatorna melléke). A Kisalföldön a Fertő-Hansági táj tartozik ide, míg a Dunántúl többi részén csak egészen kis területek, pl. a Sárvíz mentén. Belvízzel kevésbé veszélyeztetett zónát találunk elsősorban a hátsági jellegű területeken (Duna-Tisza közi hátság, Nyírség), azonban pl. a Békés-Csanádi löszhát esetén foltszerűen kialakulhatnak belvízi elöntések a talajvízfeltörés (földárja) jelenségének köszönhetően.



1. ábra: Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség

FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A NAIK ÖVKI által kialakított módszertanban megvan a lehetőség új tényezők alkalmazására megfelelő minőségű adatbázisok esetén. Jelenleg „csak” múltbéli adatokra tudunk támaszkodni, azonban a veszélyeztetettségi térképezés dinamikai elemei (területhasználat, vízkormányzás, éghajlati szcenáriók) további fejlesztéseket igényelnek. A *hidrometeorológiai tényező* igen jól kifejezi a területek humiditási jellemzőit, azonban az Országos Meteorológiai Szolgálat 4 szögperces felbontású hőmérséklet és csapadék adataiból levezetett segédváltozók integrálásával növelhető a veszélyeztetettségi térkép érzékenysége (halmozott csapadék minimumok és maximumok, hőösszegek, összegzett hő hiánya stb.). A *domborzati és talajtani tényező* fejlesztésére lokális léptékű felmérések során van lehetőség. A *földtani tényező* esetén az osztályozásnál alkalmazott mutatók számértékeit lehet pontosítani. A *talajvíz tényező* fejlesztése szempontjából különösen fontos környezeti segédváltozó lehet az áramlási rendszerek integrálása a módszertanba, illetve a feláramlási területek lehatárolása (talajvízfeltörés) és kellő súllyal történő figyelembe vétele. A *földhasználati tényező* esetén a MEPAR parcella alapú támogatási rendszerhez használt ortofotó alapján szerkesztett térképek egyrészt jelentősen jobb felbontást eredményezhetnek a területhasználati típusok térképezésénél, másrészt pedig a területhasználatok változásának nyomon követését is biztosítaná. A formálódó Öntözési Kataszter Program adatbázisa mindenképpen komoly előrelépést jelenthet a rendszeresen öntözött, illetve az öntözésre berendezett területek vizsgálatba vonásában. Szükségszerű a meliorált területek adatainak feldolgozása is, melynek adatbázisa jelenleg még nem áll rendelkezésre (művek állapota, jelenlegi hatásfoka). A belvízelvezető, öntöző és kettős funkciójú csatornák egyrészt a belvízi elöntések területi kialakulását jelentősen

befolyásolhatják, másrészt a mederbeli lefolyás és tározás figyelembe vétele elkerülhetetlen. Ennek alapján érdemesnek látjuk az ideiglenes belvíztározók hatását is vizsgálatba vonni. A területi vízháztartás szempontjából meghatározó jelentősége van a természetvédelmi és NATURA2000-es területeknek is. Az agrotechnikai beavatkozások (lazítás, mélyszántás) számbavétele és területi interpretációja mindenképpen meghatározó jelentőségű a belvízi veszélytérképezésben. A *belvíz-gyakorisági térkép* szerkesztéséhez egyrészt a terepi felvételezések metodikájának pontosítása, másrészt pedig a távérzékelés, elsősorban a légifényképezés és a műholdas távérzékelés teremt lehetőséget a vízfoltok pontos felmérésére, és a növénytermesztést korlátozó nedvességtartalmú (kétfázisú) területek elkülönítésére is. Egy egységes, országos belvíz-elöntési adatbázis kialakítása szükségszerű követelmény. Mindez megfelelő információt nyújthat belvíz-gyakorisági térkép készítéséhez szükséges random mintavételezéshez. A *Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató* alapvetően a közelmúltbeli állapotokat tükrözi. Az adatmodell (elsősorban a peremfeltételek és a paraméterezés) módosításával a jelenlegitől lényegesen eltérő viszonyok vizsgálata is lehetséges. Így mód van a beavatkozások hatásainak vagy a vízkészletek jövőjére vonatkozó feltételezések elemzésére is. A vízkészletek jövőbeli állapotát számos különböző hatótényező alakítja. Ezek elsősorban az éghajlati viszonyokhoz, a vízgazdálkodáshoz (vízkormányzás) és a területhasználathoz köthetőek. Előrejelzések egy-egy tényező esetében is csak jelentős bizonytalansággal tehetőek, így a hidrológiai viszonyokra tett egyértelmű predikció szinte lehetetlen. Ugyanakkor a „mi történne, ha…" jellegű felvetések megválaszolása elősegítheti a tervezést. *Éghajlati szempontból* több variáns kidolgozása indokolt, úgymint a közelmúlt adataira épülő becslés (jelen állapot, KBV), illetve az IPCC által javasolt forgatókönyvekre támaszkodóan (*IPCC SRES, 2000*). A *vízkormányzás*sal kapcsolatban három elvi lehetőség adódik: (1) a jelenlegi, alapvetően vízelvezetésre alapuló megközelítés, (2) az aktív védekezés egyik legköltségesebb elemét jelentő szivattyús átemelés elhagyása (gravitációs elvezetés megmarad), valamint (3) aktív belvízvédelem megszüntetése/jelentős vízvisszatartás megvalósítása. A vízvisszatartásos forgatókönyvekben feltételezhető a karbantartás hiánya is. A *területhasználat* tekintetében számos forgatókönyv elemzése lehetséges, melynek adatbázisa képzi jelenleg a legtöbb bizonytalanságot. A korábban ismertetett földhasználati tényező fejlesztési lehetőségei közül a következők változásának figyelembevétele megfontolandó: területhasználat változásának nyomon követése (MEPAR), öntözött területek változása, meliorációs művek fejlesztése, csatornák és ideiglenes tározók hatása, szennyvíz elhelyezések, természetvédelmi területek változása, aktuális növénykultúra fejlettségi állapota, agrotechnikai beavatkozások (lazítás, mélyszántás) területi interpretációja, stb.

A regresszió krigelés, mint alkalmazott térbeli becslő eljárás további fejlesztési lehetőségeket rejt magában (adatbányászati módszerek, interpolációs technikák).

A regressziós krigeléshez használt környezeti segédváltozók egymásra hatása további kutatásokat követel, ugyanis meg kell határoznunk, hogy az alkalmazott változók egymástól milyen mértékben függetlenek (statisztikai szempontból). Erre alkalmas az ún. kollinearitás vizsgálat, mely segítséget nyújthat abban, hogy melyik tényező (változó) van jelentős hatással a belvíz-veszélyeztetettség kialakulására, illetve mely tényező vagy tényezők hatása nem számottevő, így csak azok a tényezők kerülnek a modellbe, amelyek valós jelentőséggel bírnak. A vizsgálat alkalmas arra is, hogy meghatározzuk a tényezők közül azokat, melyek a legnagyobb többletinformációval rendelkeznek a modell számára.

A tanulmányban bemutatott valamennyi térkép digitális ArcGIS Shape és GeoTiff állománya a Megrendelő részére átadásra került, illetve a NAIK ÖVKI archívumában is megtalálható.

1. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK, KIHÍVÁSOK, CÉLKITŰZÉSEK

Jelen feladat, alvállalkozási szerződés keretében az „Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése" (KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001) pályázathoz kapcsolódóan került kidolgozásra. Az ÁKK 2014 Konzorcium a korábbi egyeztetéseknek megfelelően felterjesztette a tárgyi feladatrész tematikai javaslatát, amit a megbízó OVF 2015. március 5-én jóváhagyott. A jóváhagyott tematika megvalósítására az ÁKK 2014 Konzorcium részéről a VIZITERV Environ Kft. szerződést kötött 2015. március 11-én a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központtal (NAIK) „*Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi térképezése Magyarország síkvidéki területein (Alföld, Kisalföld, szórvány területek)*" címmel. Felelős: NAIK Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály (NAIK ÖVKI, 5540 Szarvas, Anna-liget 8.). Teljesítési határidő: 2015. augusztus 3.

A tematika elfogadása és véglegesítése számos szakmai konzultáció következménye (a szakmai konzultációk jegyzőkönyvei a VIZITERV Environ Kft. archívumában megtalálhatók):

- OVF Vízkárelhárítási Országos Konferencia, 2014. május 6-8. Miskolctapolca, Bozán Cs. Belvíz-veszélyeztetettség térképezésének eredményei a Dél-Alföldön;
- Előzetes szakmai egyeztetés: NAIK ÖVKI– ESRI Hungária Kft., 2015. február 2., Szarvas.
- Országos Árvízvédelmi és Folyógazdálkodási Konferencia, Győr 2015. április 27., Bozán Cs. Az ÁKK III. ütem végrehajtásának eredményei IV.: A belvízi veszély-és kockázati térképezés eredményei: A térképezés módszertani alapjainak bemutatása.
- Szakmai egyeztetés: NAIK ÖVKI – ESRI Hungária Kft., 2015. április 29., Budapest.
- ATIVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. május 22., Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (ATIVIZIG) székhelye, 6720 Szeged, Stefánia 4.
- KÖVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. május 27., Körös-vidéki Vízügyi Igazgatóság (KÖVIZIG) székhelye, 5700 Gyula, Városház u. 26.
- TIVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 04., Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság (TIVIZIG) székhelye, 4025 Debrecen, Hatvan u. 8-10.
- ÉDUVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 22., Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (ÉDUVIZIG) székhelye, 9021 Győr, Árpád u. 28-32.
- KDTVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 24., Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) székhelye, 8000 Székesfehérvár, Balatoni út 6.
- NYUDUVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 24., Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) székhelye, 9700 Szombathely, Vörösmarty u. 2.
- ADUVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 25., Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (ADUVIZIG) székhelye, 6500 Baja, Széchenyi I. u. 2/c.
- DÉDUVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. június 25., Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (DÉDUVIZIG) székhelye, 7623 Pécs, Köztársaság tér 7.
- KDVVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. július 2., Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) székhelye, 1088 Budapest, Rákóczi u. 41.
- ÉMVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. július 7., Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság (ÉMVIZIG) székhelye, 1088 Miskolc, Vörösmarty u. 77.
- FETIVIZIG – ÁKK 2014 Konzorcium, 2015. július 10., Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG) székhelye, 4400 Nyíregyháza , Széchenyi u. 19.
- Az OVF és az ÁKK 2014 Konzorcium egyeztetése, Budapest, 2015. július 07., Kolossváry Gábor főosztályvezető, OVF Belvízvédelmi és Öntözési Főosztály; Kabódi Vera Eszter ügyintéző, OVF Belvízvédelmi és Öntözési Főosztály; Kerti Andor szakértő, VIZITERV Environ Kft.; Bozán Csaba osztályvezető, témafelelős, NAIK ÖVKI; Körösparti János tudományos munkatárs, NAIK ÖVKI.

Szakmai előzmények

A NAIK Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztályán (NAIK ÖVKI) és jogelődjénél (Halászati és Öntözési Kutatóintézet) – meghatározóan a Földművelésügyi Minisztérium és jogelődjeinek támogatásával – a belvíz-veszélyeztetettséggel kapcsolatos térképezési vizsgálatok 2001-ben kezdődtek a *Békési-sík* kistáj vizsgálatával. A tanulmány geológiai, domborzati, vízrajzi, talajtani, hidrológiai, vízrendezési, meliorációs és éghajlati jellegű kérdésekkel foglalkozott. Azt vizsgáltuk, hogy a felsorolt tényezők miként vezethetnek a szélsőséges vízháztartási helyzetek kialakulásához. A vizsgálatokat 2002-ben folytattuk a *Békés-Csanádi löszhát* területére. A belvízi hajlamosságra vonatkozó vizsgálataink elvi és módszertani megalapozása érdekében másfél évszázadra visszanyúló szakirodalmi feltárást végeztünk, mely alapján levonható általános következtetés, hogy a termőhely vízháztartási folyamatát sok, időben és térben különbözően változó tényező befolyásolja. Egy-egy időpontbeli vízállapotot pedig a tényezők véletlenszerű együttállása, illetve rövid időszakú halmozódása határozza meg. A Békés-Csanádi löszhátra vonatkozó tanulmány 12 fő befolyásoló tényezőt és összesen 47 paramétert vett számba. 2003. évi vizsgálataink során (*Csongrád megye és Békés megye Körösökön túli vidéke*) módszertanunkat módosítottuk, melyben az eredeti rangszám-képzési elvet megtartva jóval kevesebb befolyásoló tényezőt, illetve paramétert alkalmaztunk, csak a belvízképződésben valóban lényeges szerepet játszókat vettük számításba. Ugyanakkor nem településenkénti, hanem jóval sűrűbb rácshálózattal dolgoztunk, így vektoros digitális tényezőtérképeket állítottunk elő, amelyeket fedvényként kezelve egy részletgazdagabb térbeli felbontású szintézistérképet hoztunk létre, amely jól kifejezi a vizsgált terület belvízi veszélyeztetettségét. A szintézistérkép előállításához közvetetten felhasználtuk az elöntési térképet. A szintézistérképről meghatároztuk az egyes településekre jellemző átlagos veszélyeztetettségi értéket. A belvízi veszélyeztetettség és a természeti tényezők kapcsolatának tisztázását célzó korábbi kutatások eredményeire támaszkodva 6 fő tényező (hidrometeorológia, domborzat, talajtan, földtan, talajvíz, földhasználat) számszerű értékét határoztuk meg és használtuk fel a végső térkép szerkesztésénél. A fenti komplex tényezők értékeit - egy többváltozós regressziós vizsgálattal - a rácshálózatban összevetettük a belvízelöntések relatív gyakorisági értékeivel, amelyet az erre a célra szerkesztett térképről határoztunk meg. A végső szintézistérképet a regressziós egyenletből kiadódó Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató (KBM) alapján szerkesztettük meg. A 2005-ben a feladataink egyrészt a módszertan finomítására irányultak, másrészt a fejlesztett módszerrel való számítások és térképszerkesztés elvégzésére. A vizsgálatok elsősorban *Békés megye* teljes területére vonatkoznak, abból a megfontolásból, hogy egységes módszerrel állíthassuk elő az elöntés-veszélyeztetettségi térképet. A meglévő adatok felhasználásával *Csongrád megyében* is végeztünk egy újrafuttatást, annak ellenére, hogy a területről készített belvíz-veszélyeztetettségi térképen jelentős változások már nem várhatók, viszont a lokális pontatlanságok még jelentősen javíthatók. 2006-ban *Bács-Kiskun megye* területére dolgoztuk ki a belvíz-veszélyeztetettségi térképet. A belvíz-veszélyeztetettség térképezése alkalmat adott arra, hogy területileg differenciálhassuk a belvíz által veszélyeztetett területek hasznosítási lehetőségeit (mezőgazdasági, tájfejlesztési

és természetvédelmi célzattal). Ezt követően javaslatot tehettünk a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató alapján a terület belvíz-veszélyeztetettségi kategorizálására (mérsékelten, közepesen és erősen veszélyeztetett), melyen belül megjelölhetőek a lehetséges hasznosítási módok. A Duna-Tisza közi hátság talajvízszint süllyedése miatt módosítani kellett a talajvíztényező kiszámításának módszerét, ugyanis figyelembe kellett vennünk a kettébontott adatsor közötti különbséget. Ezen túl módosítottuk a talajvíztényező térkép szerkesztési módszerét is, mivel az adathálózat viszonylagos ritkasága miatt igazítanunk kellett a domborzathoz, melyet a ko-krigelés módszerével hajtottunk végre. 2008-ban elkészítettük *Jász-Nagykun-Szolnok megye* belvíz-veszélyeztetettségi térképét, mely már lényeges előrelépést jelentett a korábban alkalmazott adatminőséghez viszonyítva, ugyanis a FÖMI által forgalmazott 1:10000 DDM igen jó lehetőséget biztosított a belvíz kialakulása szempontjából leginkább releváns domborzati tényező minél pontosabb meghatározásában. 2010-ben elkészítettük *Hajdú-Bihar megye* belvíz-veszélyeztetettségi térképét megtartva az eredeti módszertant. 2011-ben *Szabolcs-Szatmár-Bereg megye* belvíz-veszélyeztetettségi térképét készítettük el, amelyhez a 20x20-as DDM-et használjuk fel. 2013-ben elkészítettük *Pest, Heves és Borsod-Abaúj-Zemplén megyék alföldi területei*nek belvíz-veszélyeztetettségi térképét. A feldolgozás során először szembesültünk jelentős adathiánnyal (belvízelöntési térképek), mely a módszertan további finomítását követelte meg. Mivel nem homogén az adatelérhetőség a teljes területre, ezért a regressziós elemzéshez külön választjuk a tanuláshoz felhasználható, illetve fel nem használható területeket. Azokon a területeken ahol semmilyen adat nem fellelhető, térinformatikai alapú adatgenerálást kell végrehajtanunk tanulóterületek kijelölésével. A korábbi megyei állományok nem azonos referencia adatsorok alapján készültek, ezért a legnagyobb kihívást a belvíz elöntések homogenizálása jelenti. A kiindulási alap, hogy az eloszlásokat szűrőfüggvények segítségével áttranszformáljuk egymásba. Ehhez referenciának a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térképet vesszük. Megvizsgáljuk, hogy az egyes régiókban a négy Pálfai-kategóriával jegyzett területek statisztikailag hogyan oszlanak meg, melyet követően vettük az átlagokat. A módszertan további fejlesztését jelenti, hogy a korábban alkalmazott többváltozós regressziós vizsgálatok helyett a regressziós krigelési lejárást alkalmazzuk. Módszertanunk alapján 100.000 véletlenszerűen elszórt pontban nézzük meg az egyes tényezők értékeit, illetve az elöntési adatot. Az 100.000 pontban vett mintasokaság képezte a statisztikai elemzés alapját. A többváltozós regressziót, az eddigiektől eltérően, megelőzi egy főkomponens elemzés, ami az adatok multikollinearitása miatt szükségszerű. Ezzel lineárisan függetlenné tesszük a regressziós elemzésbe beléptetett független (az eredeti tényezők szintén lineáris kombinációjaként előálló) változókat, ami annak alkalmazhatóságának elvi feltétele. A regresszió krigelés elvégzéséhez szükséges pontszerű, numerikus, referencia adatokat többszörös, virtuális mintavétel segítségével állítjuk elő. A végső elemzéshez összesen 10 referencia és 5 validáló pontkészletet használunk.

Kihívások

Az országos jelentőségű hidrológiai szélsőségek közül a belvíz a legnagyobb területi kiterjedésű (47%). A néhány éves gyakoriságú elöntések által okozott károk alapján a szakirodalom az országos belvízkockázat értékét 8-16 Mrd Ft/évre becsüli. Stratégiai fontosságát számos elemzés, adat támasztja alá (pl. *Rakonczai et al., 2001; Pálfai, 2004; Somlyódy, 2011*). A környezeti és antropogén folyamatok eredményeként kialakuló, soktényezős jelenség tanulmányozása a hazai vízgazdálkodás nagy múltra visszatekintő, kiemelt területe. A felhalmozott szakmai tudás óriási méretű, az elmúlt 10-15 év technológiai fejlődése pedig új fejezetet nyitott a belvíz leírásában. Ennek ellenére a belvíz-veszélyeztetettség és -kockázat térképezése komoly szakmai kihívást jelent. Kiváltképp, ha a jelenlegi állapoton túl a lehetséges vízkormányzási és területhasználati beavatkozások, illetve környezeti trendek hatásait is számításba kívánjuk venni.

A belvíz-veszélyeztetettség általánosságban egy olyan térbeli jellemzőnek tekinthető, amely azt fejezi ki, hogy a statikus és dinamikus hatótényezők együttes hatása miatt, adott területet potenciálisan milyen mértékben sújthat belvíz szélsőség. A veszélyeztetettségre gyakran veszélyként hivatkoznak (pl.: „veszélytérkép”), a két fogalmat egymás szinonimájaként használják. A két összefüggő jellemző közti különbséget *Kozák* (*2006*) egyértelműsíti: a belvízveszély a dinamikus tényezők aktuális állapotától függően adja meg az elöntés „pillanatnyi” esélyét. Ezzel szemben a veszélyeztetettség a hatótényezők és az elöntés esélye tekintetében is hosszabb idő átlagát veszi figyelembe. Példaként érdemes összevetni a kizárólag a belvíz elöntések relatív gyakoriságaiból súlyozott területi átlagolással levezetett Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi mutatót és a NAIV ÖVKI által alkalmazott, hatótényezők többváltozós regressziójára és szintézistérképezésre alapuló Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűséget.

A belvízkutatás terén felgyűlt tapasztalatok mellett számos nyitott kérdés fogalmazható meg, amelyek közvetve vagy közvetlenül mind a veszélyeztetettségi térképezés és kockázatértékelés kivitelezését nehezíthetik:

- Az észleléshez és a gyakorlati hatásokhoz (károkozáshoz) köthető bizonytalanság miatt érthető módon az ismert belvíz definíciók sem a térbeli, sem az időbeli kiterjedésre, sem a felszín alatti fázisarányra vonatkozóan nem adnak egyértelmű útmutatást. Az elvinek tűnő probléma gyakorlati jelentőségű is, hiszen a mennyiségi kritériumok hiánya miatt a belvíz tanulmányozása óhatatlanul szubjektívvé válik.
- A jelenség kiterjedésének terepi és/vagy távérzékeléses mérése a technikai fejlődés ellenére országos viszonylatban továbbra is jelentős bizonytalansággal terhelt (*Rakonczai et al., 2003; Pálfai, 2004; Kozák, 2009; van Leeuwen, 2012*).
- A belvíz kialakulásának és megszűnésének hidrológiai hatótényezői régóta ismertek, azonban azok csak nehezen és bizonytalanul számszerűsíthetőek. Ennek egyik fő oka a hatótényezők számához, tér- és időbeli változékonyságához mérten szűkös az adatellátottság (*Kozma, 2013*).
- Többek között erre vezethető vissza az, hogy a belvíz védekezés hatékonysága és jelentősége szakmai vita tárgya. A korábban egyértelműen pozitív megítélést az elmúlt 15 év országos belvizei és a védekezés tapasztalatai jelentősen rontották (*Ijjas, 2002; Somlyódy, 2011;*

VKKI, 2011; Dajka és Bacskai, 2012). A kérdést tovább árnyalják az elmúlt időszak kutatási eredményei is: *Kozák* (*2006*) rámutatott, hogy a védelmi rendszer az elöntések csúcsértékét kevésbé befolyásolja és elsősorban a tartósság csökkentését teszi lehetővé.

- A belvízhez köthető károk értékelése javarészt jellemzően a mezőgazdasági terméskiesés és a védekezés költségeinek becslésére korlátozódik. Ennek lehetséges oka az, hogy közgazdaságilag még a közvetlen hatások jó része is nehezen számszerűsíthető (pl. infrastrukturális károk, hordalék lerakódás, erózió, talaj degradáció, járványügyi problémák, stb.; *Vámosi, 2002*). A témában tudományosan megalapozott gazdasági elemzés alig található (*Ijjas, 2002; Pinke, 2012*), ami rendkívül bizonytalanná teszi a belvízkockázat múltbeli tapasztalatokra, adatokra alapuló becslését.

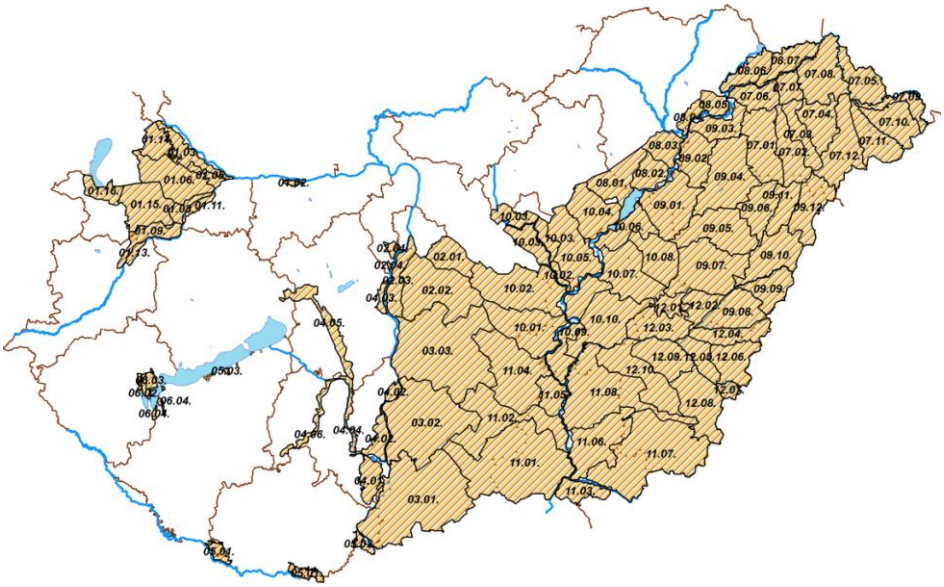
A belvízkutatás, így a hidrológiai leírás és a veszélyeztetettségi térképezés terén az elmúlt időszakban jelentős előrelépések történtek, amelyek részben a fent felsorolt kihívásokra is megoldást kínálnak. A távérzékelés és a térinformatika fejlődésével a szintetikus térképi eljárások egyre kifinomultabbak lettek, melyek közül meghatározó a NAIK ÖVKI (illetve a jogelőd HAKI) vezetésével kidolgozott módszer, aminek alapja a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató (KBM), illetve továbbfejlesztett változata a regresszió krigelésen alapuló Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség (KBV).

Célkitűzések

Megbízásunk alapján elkészítjük Magyarország belvízvédelmi szakaszainak belvíz-veszélyeztetettségi térképét. Tekintettel arra, hogy számos adathiányos területtel kell dolgozni, az észak alföldi területeken nyert tapasztalatok (adathiány) alapján végezzük el az adatfeldolgozást és az elemzéseket. Kihívást jelent a dunántúli területekre jellemző szinte teljes adathiány (elöntési térképek), melyet egyrészt a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térkép adataival próbálunk korrigálni, másrészt pedig a FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekből készült műholdkép-kiértékelések alapján készült adatbázis felhasználásával oldunk meg. A teljes adatbázis nem áll rendelkezésünkre, így a FÖMI-vel kialakított együttműködés keretében, általunk kijelölt random tanulópontokban elöntés gyakorisági értékeket rendeltetünk, amelyek a közvetlen adatelemzéshez megfelelő információt biztosítottak. Ezen módszer alkalmazásával az alföldi területek normalizált elöntés-gyakorisági térképéhez hasonló minőségű térképet kapunk a regressziós vizsgálatok elvégzéséhez. A belvíz-veszélyeztetettségi térképezést a környezeti modellezésben egyre több területen bizonyító geostatisztikai módszer, a regresszió krigelés alkalmazásával hajtjuk végre. Ennek során a vizsgált tényező térbeli változását a térbeli interpoláció mellett a vele közvetett vagy közvetlen kapcsolatban álló segédváltozók figyelembe vételével modellezzük. A regresszió krigelés során a térképezendő tulajdonságot először a környezeti változók többváltozós regressziójával becsüljük, majd a modellezett értékek és az adatok közötti eltérések térbeli kiterjesztése krigelési eljárással történik. Végül a teljes becslés a regressziós modell és az interpolált eltérés összegeként adódik. A regresszió krigelések eredménye a belvízi elöntés gyakoriságára becslést adó, 50x50 méter cellaméretű térkép (Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség, KBV).

2. VIZSGÁLATI TERÜLET

Jelen feladat vizsgálati területe a 10/1997. (VII. 17.) KHVM rendelet, 2. mellékletében kihirdetett belvízvédelmi szakaszokra esik (*1. ábra, 1. táblázat*), amelyek Magyarország közel felét érintik (összesen 45025 km^2). A NAIK ÖVKI a vizsgálatait – többszöri egyeztetés után – az OVF adattárából rendelkezésünkre bocsájtott ArcGIS shape formátumú határvonalak segítségével végezte el.



1. ábra: Magyarország belvízvédelmi szakaszai

1. táblázat: Belvízvédelmi szakaszok

Szakasz szám	Rendszám	Szakasznév	Terület (km^2)
05.03.	AAC477	Balatonlellei	7,35
05.01.	AAC802	Dráva-menti	172,75
05.02.	AAC248	Kölked-bédai	59,02
02.01.	AAD475	Gyáli	349,24
02.02.	AAD433	Észak-Dunavölgyi-völgyi	1066,34
02.03.	AAD624	Ráckevei (Soroksári)-Duna menti	291,95
02.04.	AAC583	Érd-dunafüredi	51,13
03.01.	AAD539	Bajai	2050,34
03.02.	AAD289	Kalocsai	1566,70
03.03.	AAC750	Kunszentmiklósi	2051,35
04.01.	AAD034	Szekszárd-bátai	232,47
04.02.	AAC240	Bölcske-bogyiszlói	255,66
04.03.	AAC882	Adony-ercsi	57,24
04.04.	AAB861	Szekszárd-simontornyai	114,32
04.05.	AAC223	Cece-ősi	308,03
04.06.	AAC510	Tolnanémedi-dombovári	128,66
06.01.	AAC222	Zala jobb parti	16,95
06.02.	AAC731	Zala bal parti	40,29
06.03.	AAC281	Keszthely-hévízi	47,70
06.04.	AAB899	Kis-Balaton Déli	26,38
07.01.	AAC381	Érpatak (VIII.sz.)-Simai (IX.sz.)főfolyások völgye	699,76
07.02.	AAC061	Kállói (VII.sz.) főfolyás völgye	462,03
07.04.	AAB915	Vajai (III.sz.) főfolyás völgye	452,35
07.05.	AAC863	Beregi	441,57
07.06.	AAC407	Felsőszabolcs alsó	320,07
07.07.	AAC914	Felsőszabolcs középső	199,71
07.08.	AAC181	Felsőszabolcs felső	692,97
07.09.	AAD087	Tisza-Túrközi	227,86

07.10.	AAC093	Tisza-Túr-Szamosközi	470,36
07.11.	AAC860	Szamos-Krasznaközi	455,49
07.12.	AAC324	Kraszna balparti	683,26
08.01.	AAD406	Laskó-csincsei	466,93
08.02.	AAC903	Tiszavalk-sulymosi	275,37
08.03.	AAC473	Rigós-Sajózugi	272,67
08.04.	AAC385	Inérhát-tiszadobi	119,99
08.05.	AAC464	Prügy-taktaföldvári	159,10
08.06.	AAD269	Bodrogzug-Törökéri	294,06
08.07.	AAD615	Tiszakarád-ricsei	328,15
09.01.	AAD088	Tiszai-alsó	758,87
09.02.	AAC161	Tiszai-középső	434,07
09.03.	AAC833	Tiszai-felső	336,60
09.04.	AAD266	Kadarcs-Karácsony-foki	947,54
09.05.	AAC637	Kösely-alsó	759,66
09.06.	AAC230	Kösely-felső	437,19
09.07.	AAD065	Hamvas-sárréti	955,24
09.08.	AAD566	Berettyó-alsó	534,75
09.09.	AAD129	Berettyó-felső	378,27
09.10.	AAC187	Kálló	619,68
09.11.	AAD415	Alsónyírvíz-Kati-ér	305,55
09.12.	AAC132	Alsónyírvíz-Nagy-éri	516,29
10.02.	AAC225	Ceglédi	1080,79
10.03.	AAB986	Jászberényi	580,43
10.04.	AAC174	Kiskörei	549,04
10.05.	AAD553	Jászkiséri	724,06
10.06.	AAC685	Kunhegyesi	364,58
10.07.	AAC902	Kisújszállási	723,09
10.08.	AAC659	Karcagi	504,16
10.09.	AAC828	Cibakházi	586,51
11.02.	AAC447	Dong-éri	976,06
11.03.	AAC094	Torontáli	247,22
11.04.	AAC120	Dong-ér-Kecskeméti	1079,06
11.05.	AAC918	Vidreéri	262,49
11.07.	AAD338	Sámson-Élővízi	1734,63
11.08.	AAC880	Kurcai	1362,33
12.01.	AAC113	Réhelyi	167,61
12.02.	AAC887	Szeghalmi	264,60
12.03.	AAB981	Gyomai	502,38
12.04.	AAC404	Holt-sebes-körösi	367,89
12.05.	AAC641	Kettős-Körös jobb parti	283,66
12.06.	AAC956	Hosszú-foki	460,59
12.07.	AAC975	Fehér-Fekete-Körös közi	90,29
12.08.	AAD295	Élővíz-csatornai	719,17
12.09.	AAC929	Mezőberényi	506,05
12.10.	AAC426	Dögös-káka-foki	746,48
10.10.	AAC405	Mezőtúri	843,50
10.01.	AAC558	Tiszakécskei	785,65
01.02.	AAD342	Szőny-Füzitői /01.02./	22,12
01.03.	AAD155	Duna menti /01.03-04./	276,07
01.05.	AAD448	Mosoni-Duna bal parti /01.05./	95,80
01.06.	AAC875	Rábca menti /01.06-07./	642,68
01.08.	AAC932	Rába-alsó /01.08./	129,34
01.09.	AAC730	Rába-felső /01.09-10./	253,36
01.13.	AAC756	Lánka menti /01.13./	51,97
01.16.	AAC274	Fertő-tó menti /01.16./	191,70
01.11.	AAC551	Marcal menti /01.11-12./	79,65
01.14.	AAD101	Lajta menti /01.14./	248,42
07.03.	AAC383	Máriapócsi (IV.sz.)-Bogdányi (V.sz.)-Sényői VI.sz	313,79
11.01.	AAC976	Algyő-Tápé-Gyála-Körös-éri	1968,18
11.06.	AAD369	Mártély-Tisza-Maroszugi	763,84
01.15.	AAC905	Kapuvár-hanságí /01.15./	577,28
			45025,80

3. A BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI TÉRKÉP SZERKESZTÉSÉHEZ FELHASZNÁLT ALAP ÉS SZÁRMAZTATOTT ADATOK

A belvíz-veszélyeztetettségi térkép tényezőinek kialakítása során felhasznált alap és származtatott adatok és adatbázisok az alábbiak:

Hidrometeorológiai tényező: A tényező előállításához szükséges a vizsgálati területen található csapadékmérő állomások (OMSZ, VIZIG) adatainak havi átlaga. Az evapotranspiráció kiszámításához hosszú idősoros hőmérséklet adatok szükségesek (1961-2014).

Alapadatok:

Adattípus: idősoros adatbázis 68 meteorológiai állomásra (1961-2014)
Adattartalom: a vizsgálati területen található meteorológiai állomások és vízügyi mérőhelyek csapadék és hőmérséklet adatai
Felbontás: az állomások sűrűségétül függő
Aktualitás: archív és naprakész adatok
Adatformátum: koordinátákhoz rendelt adattáblák
Adatgazda: OMSZ, területileg illetékes Vízügyi Igazgatóságok, OMSZ

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvények
Adattartalom: a vizsgálati területen található meteorológiai állomások adataiból számított evapotranspirációs értékek felparametrizálása és térbeli kiterjesztése geomatematikai módszerekkel, egyéb levezetett környezeti segédváltozók.
Felbontás: 50x50 méter
Aktualitás: archív és naprakész adatok
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Domborzati tényező: domborzati tényező elkészítéséhez az OVF által rendelkezésünkre bocsájtott Digitális Domborzat Modellt (HIDRODEM) használtuk fel (1:10000 25x25 méteres felbontás, esetenként LIDAR felvételezéssel javított).

Alapadatok:

Adat megnevezés: HIDRODEM Domborzatmodell
Adattípus: terepmodell
Adattartalom: a vizsgálati terület diszkrét pontjaihoz rendelt magassági adatok
Felbontás: 1: 10000
Aktualitás: 2014
Adatformátum: koordinátákhoz rendelt Dbase adattáblák, raszter (ERS)
Adatgazda: OVF

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvények
Adattartalom: a magassági adatokból kialakított domborzati tényező (reliefenergia) térbeli kiterjesztése és egyéb környezeti segédváltozók

Felbontás: 50x50 méter
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Talajtani tényező: A talajtani tényező kialakításához a Kreybig-féle talajismereti térképsorozat térinformatikai feldolgozásaként épülő Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer (KDTiR) geometriai állományait használtuk.

Alapadatok:

Adattípus: térinformatikai adatbázis
Adattartalom: talajok fizikai és kémiai tulajdonságai, tájtermesztési adatok
Felbontás: 1:25000
Aktualitás: 2014
Adatformátum: ArcView Shape poligon
Adatgazda: MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvények
Adattartalom: a számított talajtani paraméter térbeli kiterjesztése és egyéb környezeti segédváltozók
Felbontás: 1:25000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Földtani tényező: A földtani tényező kialakításához Magyarország komplex földtani térképezése során mélyített sekélyfúrások terepi leírásait és laboratóriumban elemzett adatait, valamint megszerkesztett térképeit használtuk fel.

Alapadatok:

Adattípus: térképi fedvény
Adattartalom: a vízzáró összletek térbeli kiterjedése és vastagsága sekélyföldtani fúrások adatai alapján
Felbontás: 1: 100000
Aktualitás: 2014
Adatformátum: ArcView Shape
Adatgazda: Magyar Földtani és Geofizikai Intézet

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvények
Adattartalom: a számított földtani paraméter térbeli kiterjesztése, valamint a vastagság és a kiterjedés környezeti segédváltozóként.
Felbontás: 1: 100000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Talajvíz tényező: Talajvíz tényező kialakításánál hosszú idősoros talajvíz szint adatokat kerültek felhasználásra.

Alapadatok:

Adattípus: idősoros adatbázis, térképi fedvény
Adattartalom: talajvíz észlelő kutak koordinátái és vízszint értékei havi bontásban
Felbontás: a felhasznált észlelőkutak sűrűségétől függ
Aktualitás: 1961-2014
Adatformátum: Excel adattábla
Adatgazda: OVF

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvény
Adattartalom: a talajvízállásokból számított talajvíz paraméter térbeli kiterjesztése és a HIDRODEM terepmodellhez illesztése krigeléssel
Felbontás: 50x50 méter
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Területhasználati tényező: A területhasználati tényező a CLC50 térképi adatbázis területhasználati kategóriáira épül.

Alapadatok:

Adattípus: térinformatikai adatbázis
Adattartalom: területhasználati kategóriák
Felbontás: 1: 50000
Aktualitás: 2003
Adatformátum: ArcView Shape poligon
Adatgazda: Földmérési és Távérzékelési Intézet

Származtatott adat:

Adattípus: digitális térképi fedvény
Adattartalom: a veszélyeztetettségi szempontok szerint értékelt területhasználat alapján számított területhasználati tényező térbeli kiterjesztése
Felbontás: 1: 50000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Belvíz-gyakoriság: A gyakorisági térkép elkészítéséhez a belvízi elöntések folttérképeit használjuk fel, az egyes elöntési események digitalizált foltjainak egymásra vetítésével.

Alapadatok 1:

Adattípus: térinformatikai idősoros adatbázis
Adattartalom: konkrét belvízelöntések adatai
Felbontás: 1: 50000, 1:100000

Aktualitás: 2014
Adatformátum: ArcView Shape poligon
Adatgazda: OVF

Származtatott adat 1:

Adattípus: digitális térképi fedvény
Adattartalom: homogenizált, felparametrizált elöntés gyakorisági térkép
Felbontás: 1: 25000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape, GeoTiff
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Alapadatok 2:

Adattípus: digitális térképi fedvény
Adattartalom: Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térkép
Felbontás: 1:200000
Aktualitás: 1992
Adatformátum: DWG vonalmű
Adatgazda: Pálfai Imre

Származtatott adat 2:

Adattípus: digitális térképi fedvény
Adattartalom: homogenizált, felparametrizált elöntés gyakorisági térkép
Felbontás: 1: 25000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape
Adatgazda: NAIK ÖVKI

Alapadatok 3:

Adattípus: térinformatikai térképi adatbázis
Adattartalom: belvízelöntések műholdkép kiértékelésen alapuló adatai
Felbontás: 1:100000
Aktualitás: 1998-2014
Adatformátum: ArcView Shape poligon
Adatgazda: FÖMI

Származtatott adat 3:

Adattípus: pontfelhő adatbázis, térképi fedvény
Adattartalom: homogenizált, felparametrizált elöntés gyakorisági térkép
Felbontás: 1: 25000
Aktualitás: nem releváns
Adatformátum: ArcView Shape
Adatgazda: NAIK ÖVKI

4. MÓDSZERTAN ISMERTETÉSE ÉS A BEFOLYÁSOLÓ PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSA

A belvíz-veszélyeztetettségi térkép tényezőtérképeinek elkészítéséhez szükséges adatállományok beszerzése megtörtént. A 4. fejezetben bemutatásra kerülnek az egyes tényezőtérképek, valamint a regressziós krigelésnél használt segédváltozók térképei is.

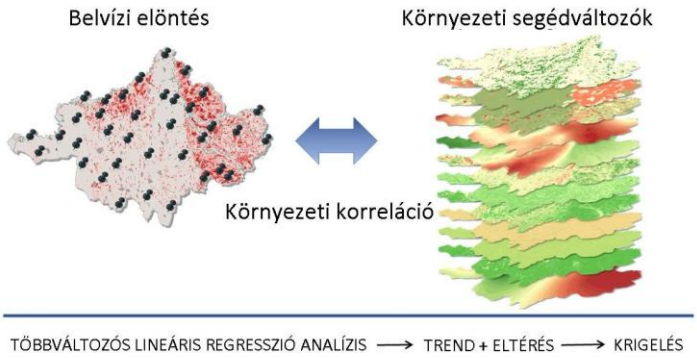
Módszertanunk alapja, hogy a legfőbb állandó és változó tényezők figyelembevételével olyan térképsorozatot szerkesszünk, amely lokális pontossággal jellemezik a vizsgálati terület belvízi veszélyeztetettségét. Ehhez 6 fő tényező digitális térképét kell megszerkesztenünk, melyek alapjai egy-egy jól definiált 1-től 5-ig terjedő paraméter. A belvízi veszélyeztetettség és a természeti tényezők kapcsolatának tisztázását célzó korábbi kutatásaink eredményeire támaszkodva az alábbi 6 fő tényező számszerű értékét határoztuk meg és használtuk fel a végső térképek szerkesztésénél:

1. *Hidrometeorológiai tényező* (a súlyozott csapadék és a lehetséges párolgás éves értéke hányadosának 10%-os előfordulási valószínűségű értéke) – *4.1 fejezet*;
2. *Domborzati tényező* (relief energia a HIDRODEM terepmodell alapján + 8 db környezeti segédváltozó) – *4.2 fejezet*;
3. *Talajtani tényező* (víznyelési sebességből és egyéb mutatókból meghatározva, a Kreybig-féle talajtérképek és a Várallyay-féle térképek alapján + 3 db környezeti segédváltozó) – *4.3 fejezet*;
4. *Földtani tényező* (a felső 10 méteres rétegöszlet fő jellemzőiből, mint az agyagossági százalékból, a vízzáró réteg vastagságából és elhelyezkedéséből számítva, melyek egyben környezeti segédváltozók) – *4.4 fejezet*;
5. *Talajvíztényező* (2-2 magas talajvíz ($LNV_{1961-1990}$, $LNV_{1991-2014}$) átlaga, konkrét kútadatokra feldolgozva és a HIDRODEM-hez igazítva) – *4.5 fejezet*;
6. *Földhasználati tényező* (művelési ágakból, mint rét-legelő, szántó, erdő, stb. meghatározva, felhasználva a CORINE Landcover CLC50 adatbázist) – *4.6 fejezet*.

Módszertanunk alapján a belvíz-veszélyeztetettségi térkép szerkesztéséhez alkalmazott regressziós eljárás során a „független” változók a belvízképződést befolyásoló kiválasztott tényezők, míg a „függő” változó a tényleges belvíz-elöntési adatok alapján szerkesztett belvíz-gyakorisági térkép, más szóval az elöntés relatív gyakorisága (*4.7 fejezet*). A dunántúli sík vidéki területek esetén nem áll rendelkezésre megfelelő számú elöntési térkép, ezért az összesített elöntés térképi állománya egyrészt a rendelkezésre álló elöntés adatokból, illetve a Pálfai-féle felparametrizált elöntési adataiból, másrészt pedig a FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekből készített műholdkép kiértékelések alapján készült adatbázis általunk kijelölt random tanulópontokban mért elöntés gyakorisági értékekből adódik.

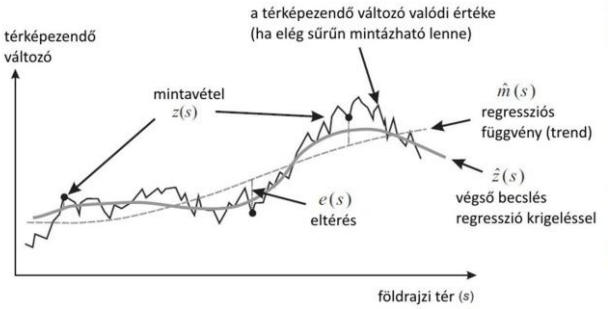
A belvíz-veszélyeztetettségi térképezés (Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség, *5. fejezet*) jelen munka során egy, a környezeti modellezésben egyre több területen bizonyító geostatisztikai módszer, a regresszió krigelés alkalmazásával történik. Ennek során a vizsgált tényező térbeli változását a térbeli interpoláció mellett a vele

közvetett vagy közvetlen kapcsolatban álló segédváltozók figyelembe vételével modellezzük. A regresszió krigelés során a térképezendő tulajdonságot először a környezeti változók többváltozós regressziójával becsüljük, majd a modellezett értékek és az adatok közötti eltérések térbeli kiterjesztése krigelési eljárással történik. Végül a teljes becslés a regressziós modell és az interpolált eltérés összegeként adódik (*2. ábra*).



2. ábra: A regresszió krigelés menete

A regresszió krigelés megoldása a következőképp írható fel:



$$\hat{z}(s_0) = \mathbf{q}_0^{\,T} \cdot \boldsymbol{\beta}_{GLS} + \boldsymbol{\lambda}_0^{\,T} \cdot (\mathbf{z} - \mathbf{q} \cdot \boldsymbol{\beta}_{GLS})$$

ahol: $\hat{\mathbf{z}}(\mathbf{s_o})$ a regresszió krigeléssel adott becslés az $\mathbf{s_o}$ pontban, $\mathbf{q_o}$ a független változók vektora az $\mathbf{s_o}$ pontban, $\boldsymbol{\beta}_{GLS}$ a regressziós koefficiensek vektora, $\boldsymbol{\lambda}_o$ a krigelési súlyok vektora az $\mathbf{s_o}$ pontban, $\mathbf{z}$ a mért belvíz-elöntés vektora és $\mathbf{q}$ mátrix tartalmazza az egyes független változók értékeit a mérési pontokban.

A becslési algoritmus alapját jelentő többszörös lineáris regresszió analízist a generált pontszerű elöntési gyakoriság adatsoron (mint függő változón), illetve a belvízképződéshez kapcsolódó prediktorokon (mint független változókon) végezzük el. Az analízisek során mindvégig 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztunk, a regressziós modellbe beépülő magyarázó változók leválogatása „stepwise” módszerrel történik. Az eredményül kapott modellekből minden esetben származtatjuk a regressziós reziduumokat, melyeken feltáró variográfiai vizsgálatokat végzünk. A kiszámított tapasztalati félvariogramokhoz elméleti félvariogram modelleket illesztünk szemi-automatikus megoldással. A kapott variogram modellek alapján kerülnek meghatározásra a mintaterület egyes pontjaihoz rendelhető krigelési súlyok vektorai. A regressziós modellek, illetve a reziduumokon alapuló krigelési becslő eljárás eredőjeként kapjuk meg Magyarország belvízvédelmi szakaszokra vonatkozóan az elöntés-gyakoriság térbeli becsléseit, azaz a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűséget (KBM).

4.1 Hidrometeorológiai tényező

A tényező előállításához szükséges a vizsgálati területen található csapadékmérő állomások (OMSZ, VIZIG) adatainak havi átlaga. Az evapotranspiráció kiszámításához hosszú idősoros hőmérséklet adatok szükségesek (átlagosan 50 éves adatsorral számolunk).

A HUMI számításához az 1961-2014 közötti 53 éves meteorológiai alapadatsort állítottuk össze az alábbi meteorológiai állomásra (*2. táblázat*).

2. táblázat: A HUMI szerkesztésénél figyelembe vett állomások

EOV X	EOV Y	Állomás neve	HUMI 10%-os valószínűségű értéke 1961-2014
707 000	95 000	Ásotthalom	1,353
648 000	93 000	Baja	1,402
669 000	304 000	Balassagyarmat	1,657
838 000	213 000	Berettyóújfalu	1,369
812 000	151 000	Békéscsaba	1,455
660 000	232 000	Budapest	1,425
708 000	203 000	Cegléd	1,282
846 000	254 000	Debrecen	1,422
750 000	283 000	Eger	1,495
628 000	271 000	Esztergom	1,442
756 000	229 000	Fegyvernek	1,275
705 000	266 000	Gyöngyös	1,561
548 000	265 000	Győr	1,596
834 000	276 000	Hajdúdorog	1,437
804 000	255 000	Hortobágy	1,307
602 000	129 000	Iregszemcse	1,575
674 000	162 000	Izsák	1,248
715 000	240 000	Jászberény	1,318
775 000	352 000	Jósvafő	1,816
645 000	132 000	Kalocsa	1,404
555 000	113 000	Kaposvár	1,646
496 000	250 000	Kapuvár	1,654
806 000	223 000	Karcag	1,288
705 000	173 000	Kecskemét	1,233
511 000	160 000	Keszthely	1,586
711 000	153 000	Kiskunfélegyháza	1,263
683 000	121 000	Kiskunhalas	1,482
722 000	127 000	Kistelek	1,231
878 000	326 000	Kisvárda	1,483
580 000	268 000	Komárom	1,382
656 000	188 000	Kunszentmiklós	1,296
630 000	217 000	Martonvásár	1,339
786 000	110 000	Mezőhegyes	1,326
778 000	305 000	Miskolc	1,654
621 000	73 000	Mohács	1,364
586 000	227 000	Mór	1,660
518 000	284 000	Mosonmagyaróvár	1,452
491 000	125 000	Nagykanizsa	1,877
847 000	297 000	Nyíregyháza	1,332
876 000	266 000	Nyírlugos	1,471
774 000	137 000	Orosháza	1,278
665 000	210 000	Örkény	1,240
640 000	164 000	Paks	1,371
529 000	222 000	Pápa	1,518
906 000	301 000	Pátyod	1,667
586 000	73 000	Pécs	1,474
805 000	283 000	Polgár	1,370
769 000	256 000	Poroszló	1,434

680 000	290 000	Romhány	1,647
705 000	307 000	Salgótarján	1,663
812 000	344 000	Sárospatak	1,630
573 000	175 000	Siófok	1,382
764 000	170 000	Szarvas	1,199
731 000	101 000	Szeged	1,165
812 000	188 000	Szeghalom	1,174
753 000	330 000	Szendrőlád	1,716
744 000	148 000	Szentes	1,183
602 000	207 000	Székesfehérvár	1,317
737 000	199 000	Szolnok	1,205
467 000	217 000	Szombathely	1,645
594 000	257 000	Tata	1,502
561 000	175 000	Tihany	1,703
778 000	256 000	Tiszafüred	1,217
738 000	181 000	Tiszakécske	1,260
826 000	313 000	Tokaj	1,514
779 000	197 000	Túrkeve	1,258
658 000	269 000	Vác	1,493
482 000	170 000	Zalaegerszeg	1,794

A humiditási index (HUMI) meghatározását a korábbi vizsgálatokhoz hasonló módon végeztük el. Az index éves értékeinek számítási képlete az alábbi:

$$HUMI = P^*/PET,$$

ahol HUMI – humiditási index; P* - súlyozott csapadékösszeg az október – szeptemberi 12 hónapos időszakban (mm); PET – potenciális evapotranszspiráció az október – szeptemberi 12 hónapos időszakban (mm).

A havi csapadékok súlyozó tényezőit a *3. táblázat* mutatja.

3. táblázat: A havi csapadékok súlyozó tényezői

Hónap	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Súlyozó tényező	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0	0,75	0,5	0,5	0,5	0,75

A potenciális evapotranszspiráció számítását a havi közepes léghőmérséklet függvényében végeztük, a szabad vízfelszín párolgására vonatkozó Szesztay-féle nomogramból kiindulva (Vízügyi Közlemények 1958/2). Az október – február közötti öt hónapra és szeptemberre az alábbi közelítő képlettel számítható a vízfelszín havi párolgása:

$$Eh = 11{,}2 + 1{,}525t + 0{,}0638t^{1/2} + 0{,}0096t^{1/3},$$

ahol Eh – havi párolgás (evaporáció) a szabad vízfelületről (mm); t – havi középhőmérséklet (ºC).

Március és augusztus között az alábbi képlet érvényes:

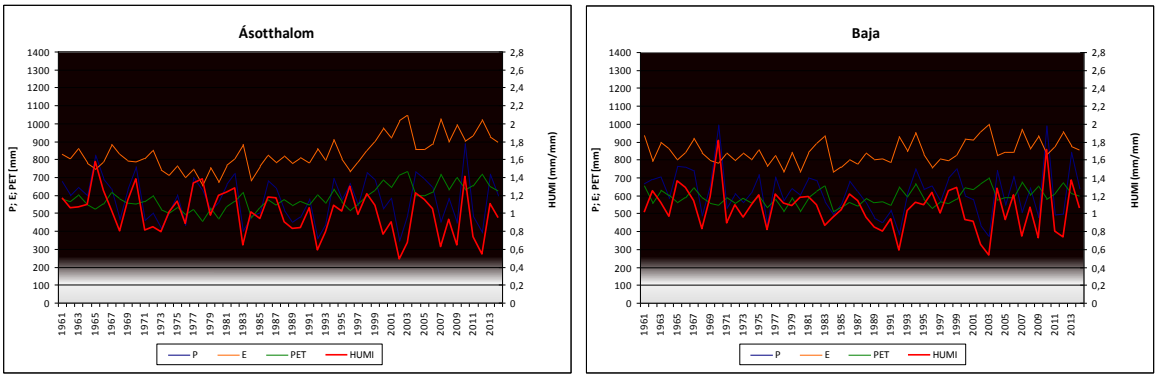
$$Eh = 15{,}6 + 2{,}735t + 0{,}0687t^{1/2} + 0{,}0088t^{1/3}.$$

A vízfelszín október – szeptember közötti 12 havi összes párolgását (E) a havi értékek összegzésével kapjuk. A PET a szabad vízfelszín párolgására meghatározott érték 0,7-tel való szorzása adja meg (hozzávetőleges becsléssel), azaz: PET = 0,7 E.

A belvíz-veszélyeztetettségi térkép szerkesztéséhez a HUMI 10 %-os előfordulási valószínűségű (átlagosan 10 évenként előforduló) értékeit kell felhasználni. Ennek meghatározásához a Gumbel-féle eloszlásfüggvényt alkalmaztuk, amely jól illeszkedik a tapasztalati eloszláshoz. A havi csapadék- és hőmérsékleti alapadatokat az OVF hidrológiai adatbázisából vettük át, a méréseket az Országos Meteorológiai Szolgálat végezte. A hőmérsékleti alapadatokból kiszámított évi középhőmérsékleti értékek állomásonkénti összehasonlításából és a Magyarország Nemzeti Atlaszában (1989) található hőmérsékleti térképekkel való összevetéséből megállapítottuk, hogy néhány másodrendű meteorológiai állomás esetében a fő- és elsőrendű állomásokhoz képest valamivel magasabb hőmérsékleti értékeket mérnek, ezért – a területi homogenitás érdekében – a nevezett állomások adatait néhány tized fokkal korrigáltuk. A vizsgálatok eredményei közül a P*, az E, a PET és a HUMI 1961-2014 közötti értékeit az *1a. mellékletben* foglaltuk össze (*4. táblázat, 3. ábra*).

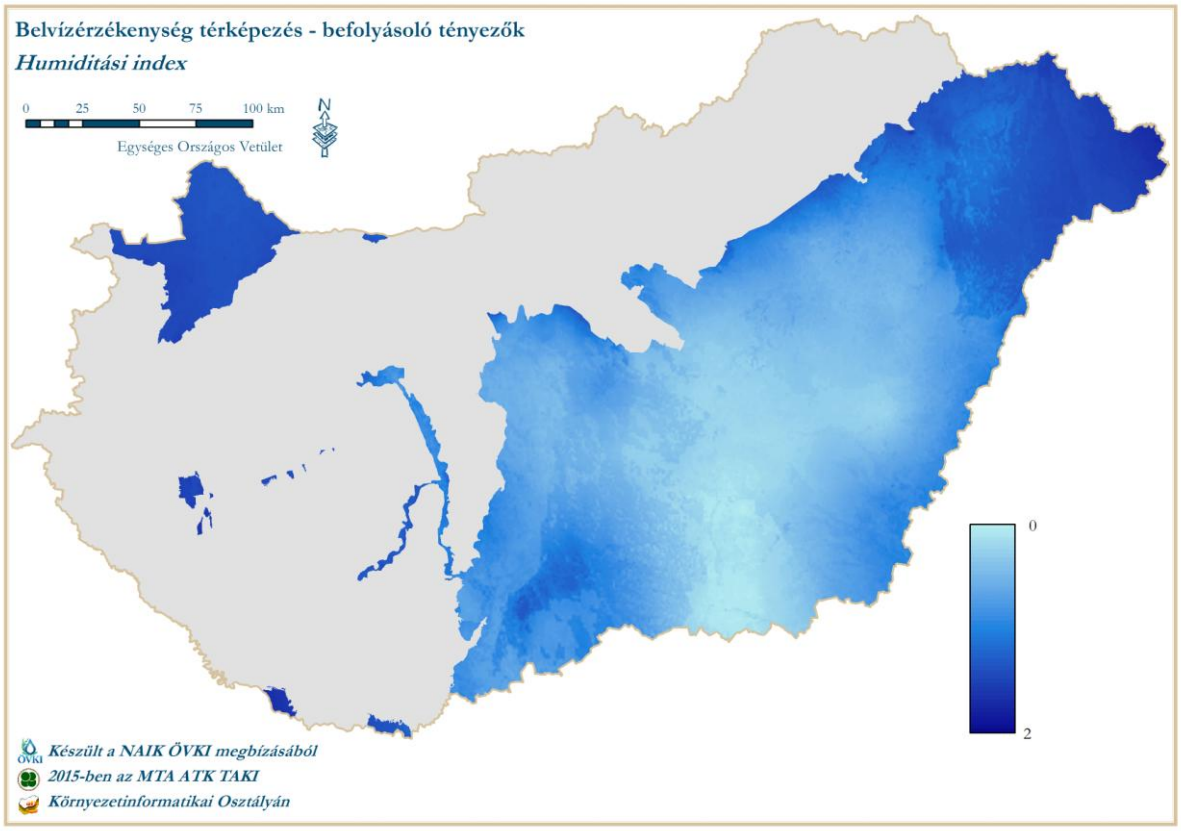
4. táblázat: A P, E, PET és a HUMI éves értékei (részlet)

	Ásotthalom				**Baja**			
Év	**P**	**E**	**PET**	**HUMI**	**P**	**E**	**PET**	**HUMI**
1961	677	827	578,9	1,17	667	937	655,9	1,02
1962	600	806	564,2	1,06	693	793	555,1	1,25
1963	643	862	603,4	1,07	706	899	629,3	1,12
1964	599	780	546	1,10	587	863	604,1	0,97
1965	824	748	523,6	1,57	765	803	562,1	1,36
1966	693	789	552,3	1,25	761	845	591,5	1,29
1967	635	883	618,1	1,03	740	923	646,1	1,15
1968	463	828	579,6	0,80	490	840	588	0,83
1969	634	793	555,1	1,14	662	795	556,5	1,19
1970	762	789	552,3	1,38	997	785	549,5	1,81
1971	460	808	565,6	0,81	528	840	588	0,90
1972	504	853	597,1	0,84	613	796	557,2	1,10
1973	413	742	519,4	0,80	560	838	586,6	0,95
1974	508	715	500,5	1,01	616	801	560,7	1,10
1975	603	763	534,1	1,13	720	855	598,5	1,20
1976	433	701	490,7	0,88	438	764	534,8	0,82
1977	698	746	522,2	1,34	705	826	578,2	1,22
1978	630	653	457,1	1,38	572	733	513,1	1,11
1979	515	756	529,2	0,97	641	842	589,4	1,09
1980	562	673	471,1	1,19	604	733	513,1	1,18
1981	663	768	537,6	1,23	702	845	591,5	1,19
1982	723	807	564,9	1,28	685	893	625,1	1,10
1983	399	884	618,8	0,64	568	936	655,2	0,87
1984	483	680	476	1,01	491	730	511	0,96
1985	503	766	536,2	0,94	554	760	532	1,04
…								
…								
…								
…								
…								
2014	596	894	625,8	0,95	635	858	600,6	1,06



3. ábra: A P, E, PET és a HUMI éves értékei (részlet)

A 10 %-os előfordulási valószínűségű (1 – p = 0,9) értékeket interpolációval határoztuk meg. A HUMI 10 %-os táblázatban (*1b. melléklet*) szereplő értékeiből szerkesztettük meg azt a digitális térképet, felparametrizálás és lineáris krigelés segítségével, amely a nevességi index területi eloszlását szemlélteti (*4. ábra, 1. térkép melléklet*). Nyilvánvaló, hogy a belvízi veszélyeztetettség arányos a humiditási index-szel, azaz annál nagyobb, minél nagyobb az index értéke. A HUMI éves értékei a teljes vizsgálati időszakot tekintve – a kiugróan csapadékos 2010-es esztendő ellenére – némileg csökkenő trendet mutatnak, ami lényegében az őszi-téli-tavaszi csapadék csökkenéséből ered, de ehhez az 1980-as évektől kezdve hozzájárul a hőmérséklet, és ilyenformán a párolgás növekvő trendje is.



4. ábra: A hidrometeorológiai tényező területi eloszlása

Az *1. GIS melléklet* tartalmazza a hidrometeorológiai tényező ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

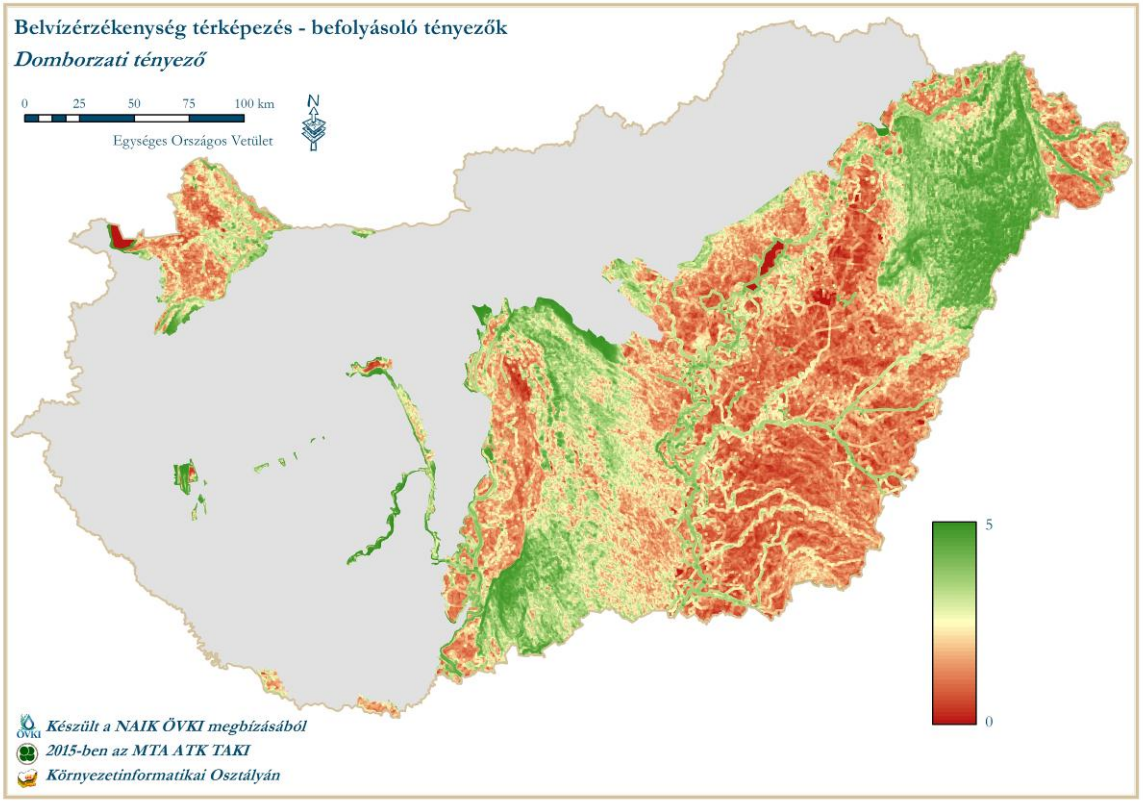
4.2 Domborzati tényező

A vízügyi adatbázisokhoz való nagyobb kompatibilitás érdekében az ÁKK-hoz kidolgozott HIDRODEM domborzati modellt alkalmazzunk vizsgálatainkhoz. Az ország teljes területét Egységes Országos Vetületi (EOV) rendszerben lefedő digitális képi adatbázis létrehozásához szükséges 25x25 m rácsméretű, ±1 m magassági pontosságú digitális domborzat modellt az 1:10000 méretarányú topográfiai térképek domborzati fedvényein ábrázolt szintvonalak vektorizálásával és LIDAR felmérések eredményeinek feldolgozásával hozták létre.

A digitális terepmodell és az elemzéshez használt 50x50 m-es rácsháló segítségével meghatározzuk az egyes cellákra a reliefenergia értéket, vagyis az 1/4 km^2-en belüli magassági szintkülönbséget méterben kifejezve. Minél nagyobb ez a szintkülönbség, általában annál kisebb lehetőség van a belvíz kialakulására. A domborzati mutató kialakításához a kapott értékeket a diszkrét pontok tengerszint feletti magasságával és az előforduló legkisebb magasságértékkel korrigáljuk (*5. ábra, 2. térkép melléklet*).

A domborzati tényezőt a következőképpen számítottuk Magyarország síkvidéki területein:

Domborzati tényező = (tengerszint feletti magasság / 75) * relief energia



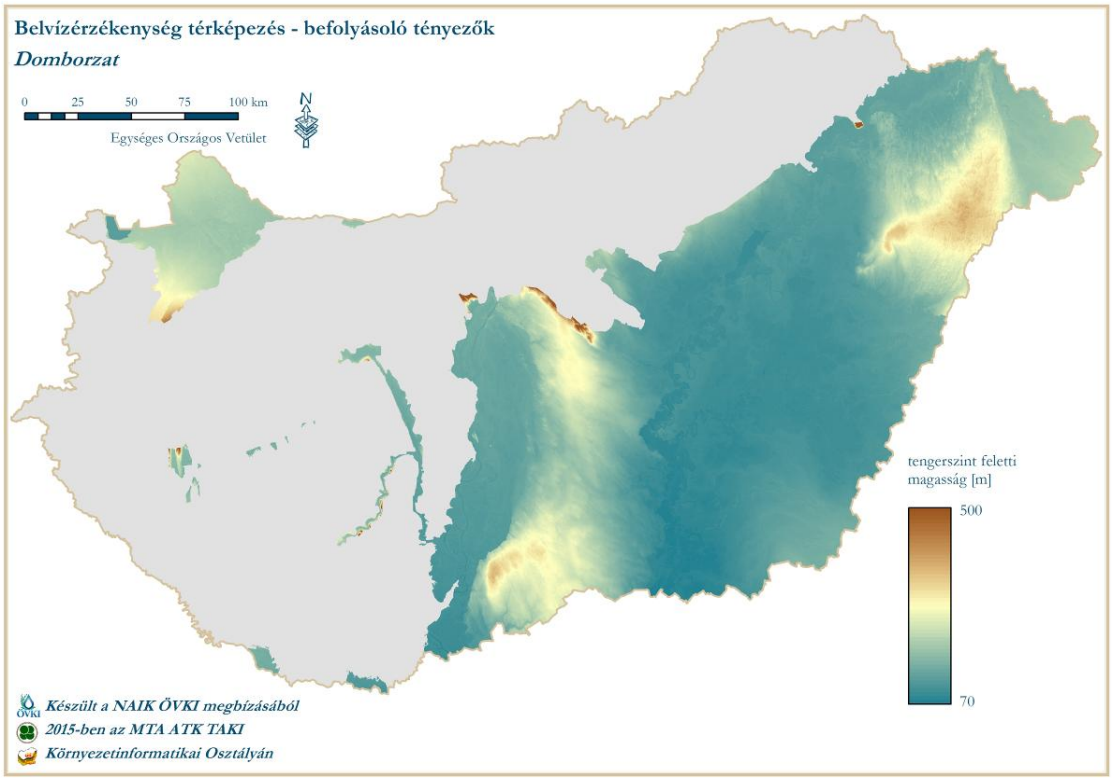
5. ábra: Domborzati tényező térkép (1:10000)

A regresszió krigelés környezeti segédváltozóiként a domborzat esetén a következőket használjuk fel (8 db nagyfelbontású digitális domborzat modell (DDM) alapján származtatott elsődleges, illetve másodlagos paraméterek):

- tengerszint feletti magasság (elevation);
- relief intenzitás (relief intensity);
- lefolyás hálózati alapszint (channel network base level);
- lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság (vertical distance to channel network);
- zárt mélyedések (closed depressions);
- anyagmérleg index (mass balance index);
- topográfiai nedvesség index (topographic wetness index);
- SAGA nedvesség index (SAGA wetness index).

Tengerszint feletti magasság

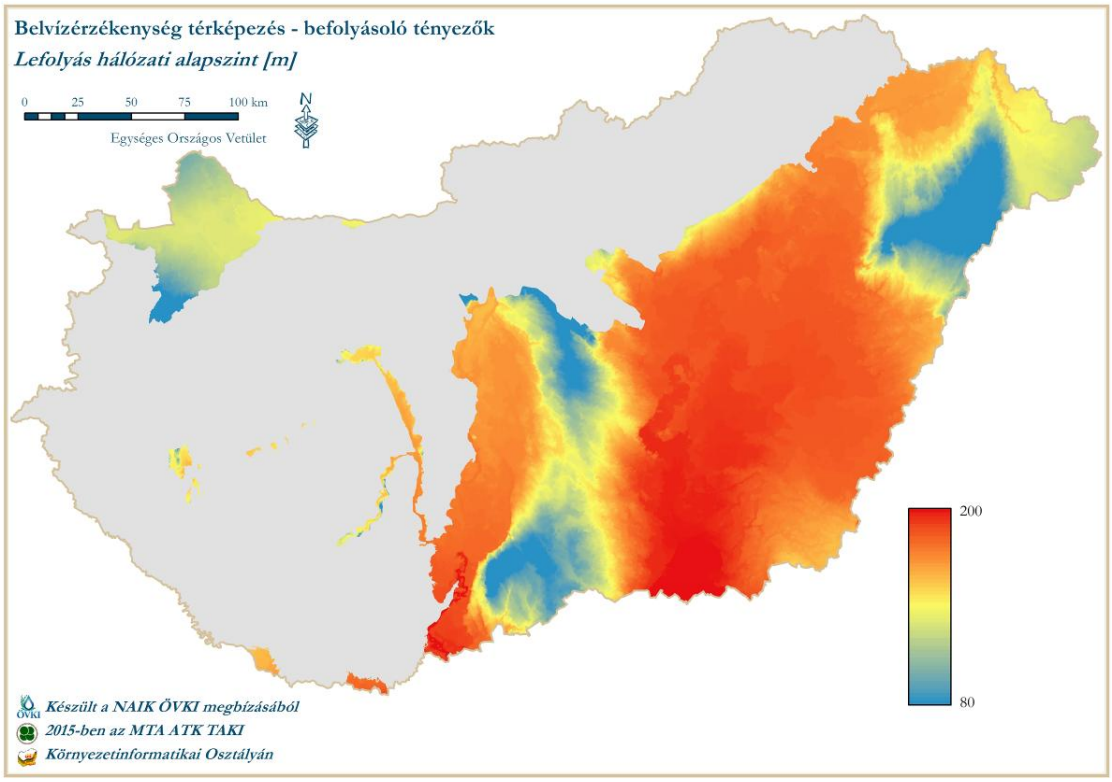
A domborzat legáltalánosabb jellemzője. A tengerszint feletti magasság alapján megállapítható, hogy hol találhatók azok a mélyebb fekvésű területek, ahol lehetőség van a nem beszivárgó víz összegyülekezésére, ez által a belvíz által is veszélyeztetettek lehetnek, illetve a magasabb fekvésű területek is kijelölhetők, amik belvíz elöntéssel kevésbé vagy egyáltalán nem veszélyeztetettek (*6. ábra, 3. térkép melléklet*).



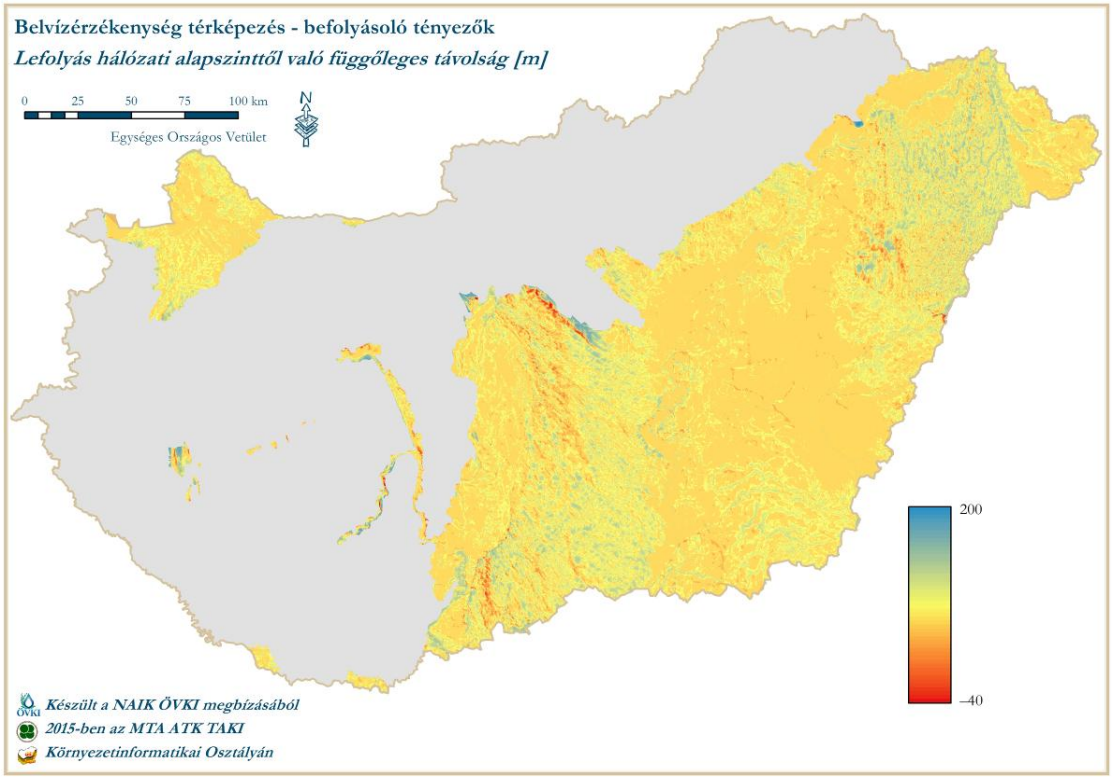
6. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Tengerszint feletti magasság

Lefolyás hálózati alapszint és Lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság

A lefolyás hálózati alapszint a vízhálózat tengerszint feletti magasságának interpolálásával számítható, míg a lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság a tengerszint feletti magasság és az előzőleg kalkulált alapszint függőleges különbsége. Mindkét két segédváltozó a terület felszíni lefolyási viszonyairól ad tájékoztatást, tehát a lefolyás iránya és célterületei határozhatók meg ezek alapján (*7., 8. ábra, 4., 5. térkép melléklet*).



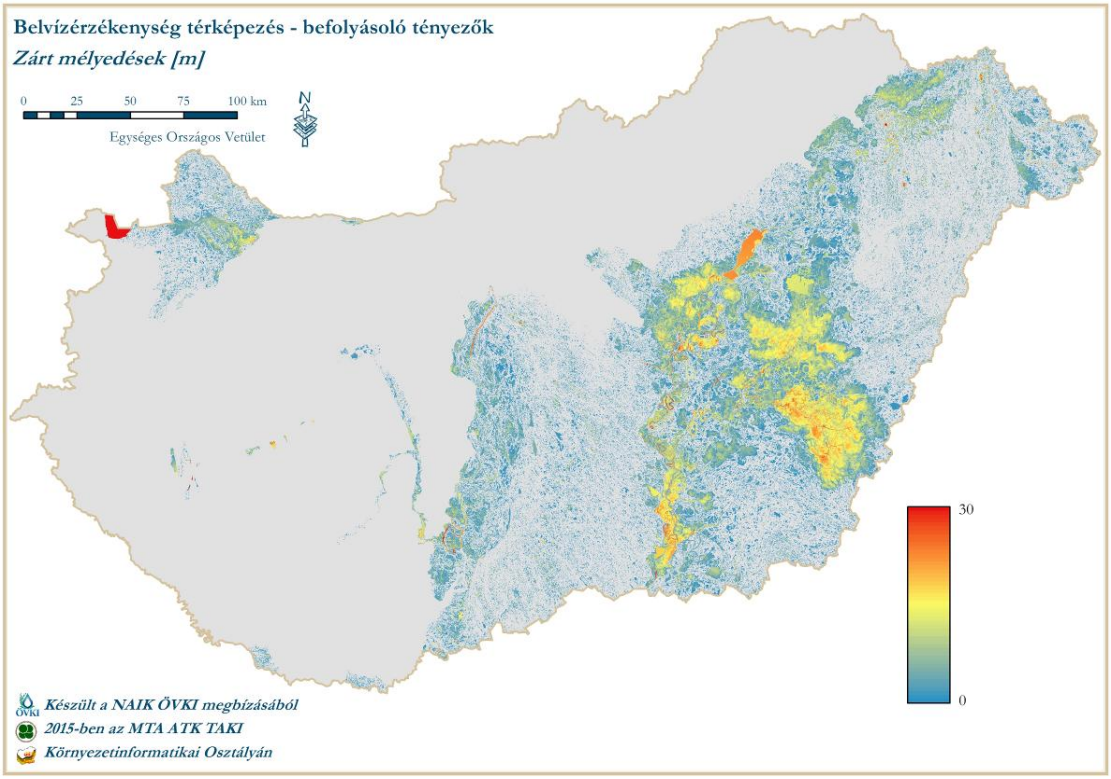
7. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Lefolyás hálózati alapszint



8. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság

Zárt mélyedések

A zárt mélyedések olyan felszínformák, amelyeknek nincs felszíni lefolyásuk, az ott összegyűlő víz csak párolgás vagy beszivárgás útján távozhat, így a belvízképződés szempontjából is kockázatos helyszíneket jelölnek (*9. ábra, 6. térkép melléklet*).



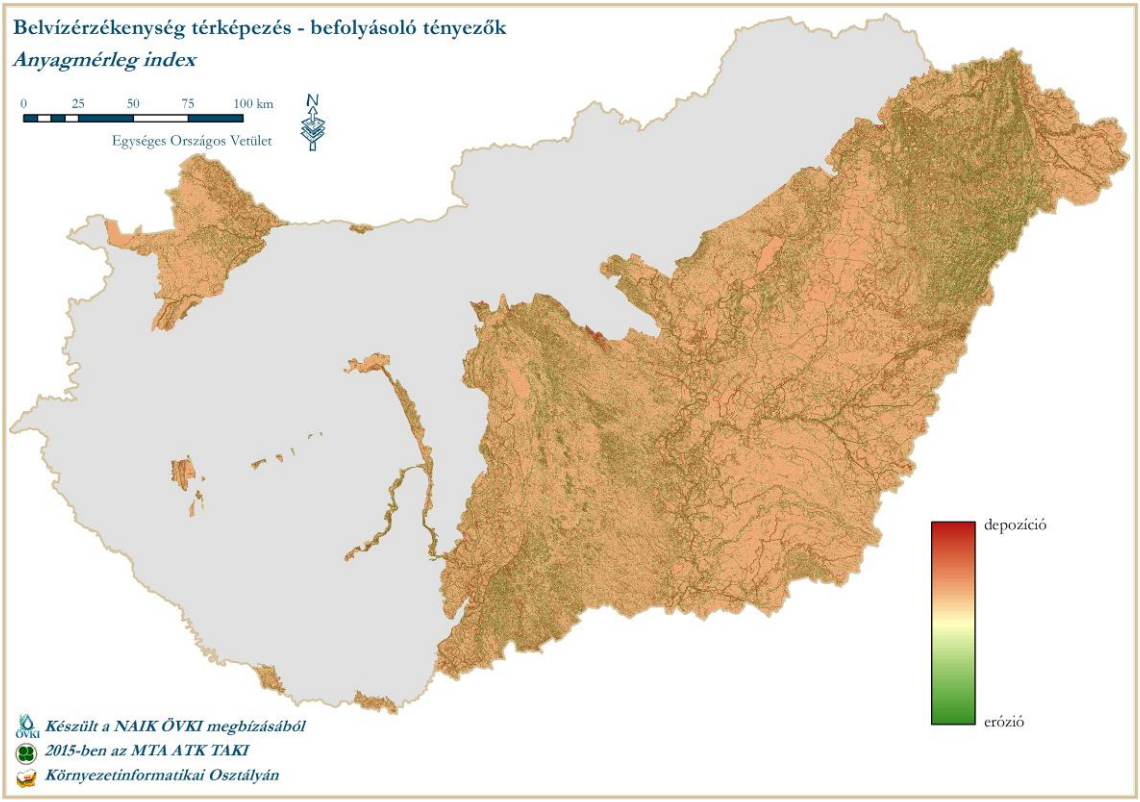
9. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Zárt mélyedések

Anyagmérleg index

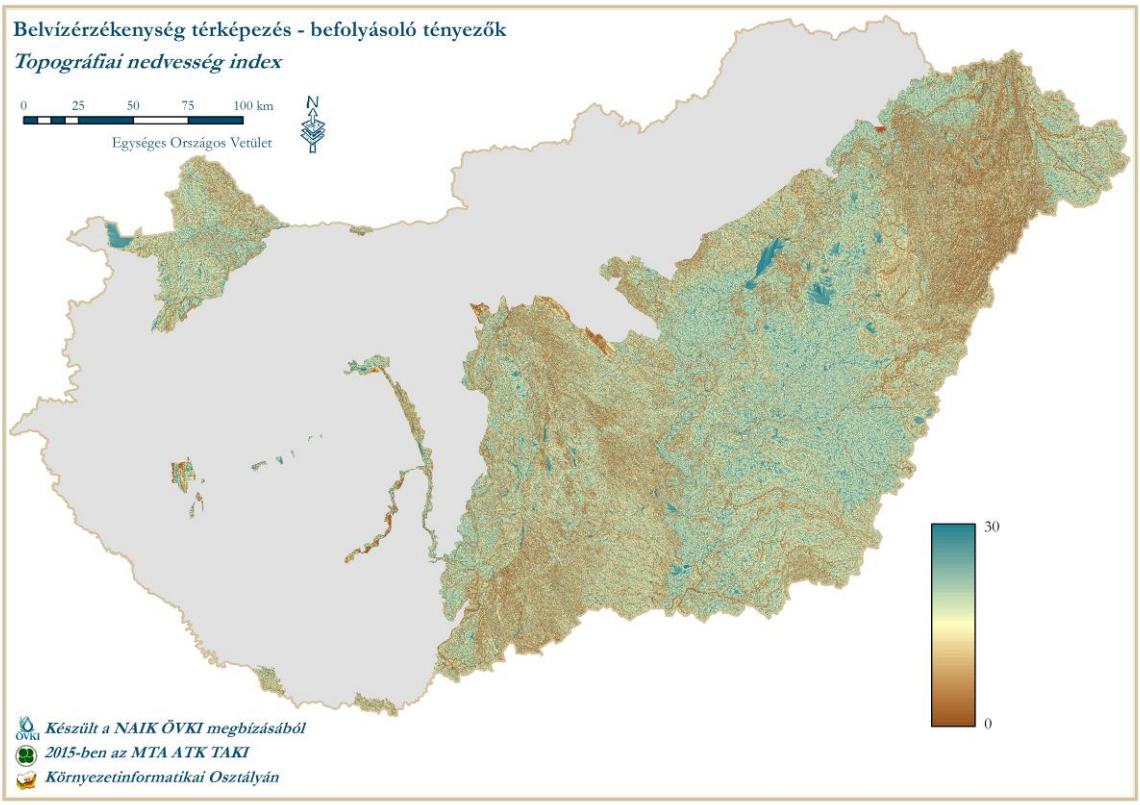
Az anyagmérleg index egy adott felszíni pontban a jellemző erózió és akkumláció egymáshoz viszonyított arányát jellemzi. Ha az anyagmérleg index értéke pozitív, akkor eróziós területről van szó, ha negatív, akkor felhalmozódási területet jelöl, 0 körüli érték esetén a két folyamat egyensúlyban van. Az index segítségével kijelölhetők a víz- és anyagmozgás szempontjából összegyülekezési területek, amik a belvizek szempontjából kockázatot jelenthetnek (*10. ábra, 7. térkép melléklet*).

Topográfiai nedvesség index és SAGA nedvesség index

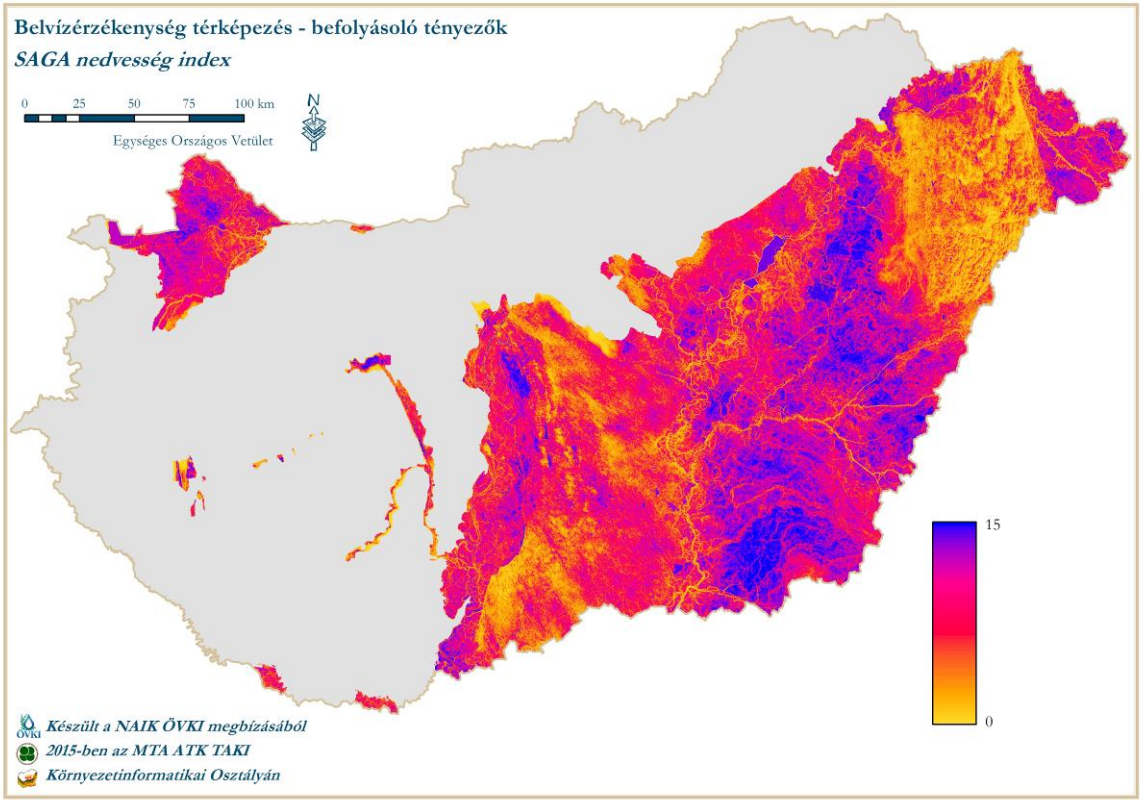
A nedvesség indexek a topográfia lefolyási viszonyokra gyakorolt hatását jellemzik. Számításuk az adott pontban mért lejtőszög és a ponthoz tartozó részvízgyűjtő alapján történik. A topográfiai nedvesség index és a SAGA nedvesség index közötti különbséget a részvízgyűjtő meghatározásában lévő eltérés jelenti. A topográfiai nedvesség index inkább a nagyobb domborzati változékonyságú területek vizsgálatára alkalmas, míg a SAGA nedvesség index a völgyek és síkságok területén is realisztikus értéket ad (*11., 12. ábra, 8., 9., térkép melléklet*). Mindkét index szoros kapcsolatban áll a talajnedvességgel.



10. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Anyagmérleg index



11. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – Topográfiai nedvesség index



12. ábra: Domborzati környezeti segédváltozó – SAGA nedvesség index

A *2. GIS melléklet* tartalmazza a domborzati tényező, valamint a segédváltozók ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

4.3 Talajtani tényező

Adott területen áradás, vagy jelentős csapadékesemény után keletkező víztöbblet – legyen az mezőgazdasági szempontból akár hasznosítható, akár káros mennyiségű – utánpótlódás híján bizonyos idő elteltével természetes úton (felszíni lefolyás, beszivárgás, párolgás) távozik a felszínről. Alapvetően mezőgazdasági hasznosítású területen, közel sík, vagy kevéssé tagolt felszínen elsősorban a talajok *vízgazdálkodási tulajdonságai* határozzák meg a terület víznyelő és vízvezető, valamint vízraktározó és víztartó kapacitását, mely jelentős hatással van a vízborítás időtartamára.

A talajtani tényező előállítása nem más, mint a talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak megfelelő numerikus indikátorral történő jellemzése. A feladat megoldásához térbeli és tematikus alapként a Kreybig-féle talajismereti térképsorozat térinformatikai feldolgozásaként épülő Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer (KDTiR) geometriai állományait használjuk. Az Alföld teljes területére összeállt KDTiR digitális talajfolt rendszere magába foglalja a feldolgozott térképszelvények tematikus és térbeli illesztését, határmenti korrekciókat, megfelelő téradat infrastruktúrán alapuló digitális reambuláció révén elért bizonyos szintű aktualizálást, illetve a szintén a Kreybig-

féle talajismereti térképsorozat korábbi tematikus generalizálásaként elkészült 1:75.000-es méretarányú tájtermesztési térképlapok információanyagának KDTiR-be integrálását.

A Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszert használjuk fel a belvíz-érzékenységi indikátor kidolgozásához, amihez a tájtermesztési térképlapok ismeretanyagát is integráljuk. Az 1:25000-es méretarányú Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképezés képezte az 1:75000-es léptékű tájtermesztési térképek alapját, amelyek szerkesztése már az alap felvételezés befejezése előtt. Ezen térképek egy-egy nagyobb terület, ún. mezőgazdasági táj értékelése céljából születtek, a tudományos ismeretek gyakorlati alkalmazásának érdekében az átnézetes talajismereti térképek anyagának összevonása révén. A tájtermesztési térképek a talajismereti térképek generalizálásval születtek és olyan levezetett információkat tartalmaznak, amelyek a talajismereti térképek nyers feldolgozásával nem állnak rendelkezésre. A tájtermesztési térképek digitalizálása és KDTiR-be integrálása után az egységes térinformatikai környezet lehetőséget ad az értékhozzáadott információk részletesebb térbeli felbontás melletti hasznosítására.

A Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszert használtuk fel a belvíz-érzékenységi indikátor kidolgozásához, amihez a tájtermesztési térképlapok ismeretanyagát is integráltuk. Az 1:25000-es méretarányú Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképezés képezte az 1:75000-es léptékű tájtermesztési térképek alapját, amelyek szerkesztése már az alap felvételezés befejezése előtt. Ezen térképek egy-egy nagyobb terület, ún. mezőgazdasági táj értékelése céljából születtek, a tudományos ismeretek gyakorlati alkalmazásának érdekében az átnézetes talajismereti térképek anyagának összevonása révén. A térképek kategóriarendszere a következő:

- *Savanyú televényben szegény homok.* A felszínben savanyú, az altalajban, helyenként már közel a felszínhez meszes, laza homokok. Csapadék-fogható képességük köbméterenként 50-100 mm. Vízvezető-képességük óránként 40-60 mm. Televénytartalmuk kisebb, mint 1%. Táplálóanyagokban igen szegények.
- *Savanyú televényben gazdag homok.* A felszínben savanyú, az altalajban helyenként már közel a felszínhez meszes, kötöttebb homokok. Csapadék-fogható képességük köbméterenként 100-200 mm. Vízvezető-képességük óránként 20-40 mm. Televénytartalmuk 1%-nál nagyobb, helyenként 4-5%. Televényrétegük vastagsága 50-150 cm. Táplálóanyagokban gazdagok.
- *Meszes, televényben szegény homok.* Semleges és gyengén lúgos, már a felszínben is szénsavas mésztartalmú laza homokok. Csapadék-fogható képességük köbméterenként 50-100 mm. Vízvezető-képességük óránként 40-60 mm. Televénytartalmuk kisebb, mint 1%. Táplálóanyagokban igen szegények.
- *Meszes televényes homok.* Semleges és gyengén lúgos, már a felszínen is szénsavasmész tartalmú kötöttebb homokok. Csapadék-fogható képességük köbméterenként 100-200 mm. Vízvezető-képességük óránként 20-40 mm. Televénytartalmuk 1%-nál nagyobb, helyenként 4-5%. Televényrétegük vastagsága 50-150 cm. Táplálóanyagokban igen gazdagok.
- *Kitűnő vályog és öntésiszaptalajok.* Semleges és gyengén lúgos, már a felszínben is sokszor szénsavasmész tartalmú, kitűnő vályog és öntésiszaptalajok. Csapadék-fogható képességük köbméterenként 250-500 mm. Vízvezető-képességük óránként

15-30 mm. Televénytartalmuk 2-6%. Televényrétegük vastagsága 50-200 cm. Táplálóanyagokban igen gazdagok.

- *A felszínben savanyú, kitűnő minőségű vályog- és agyagtalajok.* Az 5-ös típusú talajoktól abban különböznek, hogy a felszínben savanyúak, kötöttebbek, valamivel gyengébb vízvezető-képességűek, néha esetleg mészigényesek. Nyers táplálóanyagokban gazdagok.
- *Igen erősen kötött savanyú mészigényes agyagok és vályogok.* Csapadék-fogható képességük igen nagy, de erősen duzzadók és repedezők. Vízvezető-képességük óránként 5-15 mm. Televénytartalmuk 3-6%. Televényrétegük vastagsága 80-200 cm. Táplálóanyagokban gazdagok.
- *Sekély termőrétegű talajok.* Az altalajban közel a felszínhez a növényi gyökerek által hasznosíthatatlan szikes vagy mérgező anyagokat tartalmazó vályog és agyag talajok.
- *Tőzeg és kotustalajok.*
- *Mezőgazdasági termelésre alkalmas szikes talajok.*
- *Mezőgazdasági termelésre feltételesen alkalmas szikes talajok.*
- *Mezőgazdasági termelésre alkalmatlan szikes talajok.*
- *Időszakosan vízjárta területek.*
- *Erdők.*
- *Tavak, nádasok, folyóvizek.*
- *Települések.*

Az 1:25000-es és a tájtermesztési térképek foltrendszere, illetve felépítésének logikája hasonló, bár kategóriarendszerük némileg eltér. A tájtermesztési térképek a talajismereti térképek generalizálásval születtek és olyan levezetett információkat tartalmaznak, amelyek a talajismereti térképek nyers feldolgozásával nem állnak rendelkezésre. A tájtermesztési térképek digitalizálása és KDTiR-be integrálása után az egységes térinformatikai környezet lehetőséget ad az értékhozzáadott információk részletesebb térbeli felbontás melletti hasznosítására.

A Várallyay- és a Kreybig féle vízgazdálkodási kategóriák korreláltatása

A Kreybig-féle csoportosítás 10 talajfizikai osztályt különböztet meg a Várallyay-féle 9 kategóriával szemben. A Kreybig-féle talajismereti térképsorozat adataival elsősorban a szántóföldi növénytermesztés támogatását célozta, a gazdáknak kívánt gyakorlati információkkal szolgálni, s bár talajfizikai alapról indul, szempontrendszere ezért a másik osztályozástól kissé eltérő.

A Kreybig-féle osztályok egy része – fizikai talajféleségük meghatározása alapján – jól korreláltatható a Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriákkal - *a homok (1.), a homokos vályog (2.), a vályog (3.), az agyagos vályog (4.), az agyag (5.), illetve a tőzeges talaj (8.) kategóriák egy az egyben megfeleltethetők egymásnak.*

A Kreybig-térképeken a szikes talajok mezőgazdasági alkalmasságuk alapján 3 csoportba vannak sorolva, ez megközelítőleg a különböző mértékben (gyenge, közepes, erős) szikes talajoknak feleltethető meg. Mivel a Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriák közül csak kettő a szikes (enyhén, illetve erősen szikes talajok) kategória, a Kreybig-féle

szikes osztályokat meg kellett osztani. A Kreybig-féle rendszerben mezőgazdasági művelésre alkalmas, vagy feltételesen alkalmas szikes talajokat az *enyhén szikes (6.)*, míg a mezőgazdasági művelésre alkalmatlan szikeseket az *erősen szikes (7.)* Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriáknak feleltettük meg.

A Kreybig-féle „köves, kavicsos talajok" szántóföldi gazdálkodási szempontból kevéssé értékes területeket jelölnek, s habár a „sekély termőrétegű" (nyomtatásban vízszintes vonalkázással jelölt) talajoktól eltérő felületkitöltő mintázat (apró háromszögek) jelöli, mindkettő besorolható a Várallyay-féle *sekély termőrétegű talajok (9.)* vízgazdálkodási kategóriába. A sekély termőrétegűség általában a gyengén fejlett, vagy erősen erodált, esetleg fejlődésében klimatikusan korlátozott talajok jellemzője, s vízgazdálkodási tulajdonságait a talajképző kőzet nagymértékben meghatározza.

A szerves talajok csoportjába tartozó tőzeges (Kreybig-féle osztály), illetve tőzeg és kotus talajok (Várallyay-féle kategória) egymásnak megfeleltethetők, kibővítve még a Kreybig-féle térképeken szereplő időszakosan vízállásos, vízjárta területekkel, ahol szintén jelentősebb szervesanyag-felhalmozódás valószínű.

A Kreybig-féle rendszerezés külön kitér a magnéziumos talajokra. A Mg talajfizikai szerepének megítélése nem teljesen egységes. *Blaskó és Karuczka (2001)* különböző kicserélhető Mg-tartalmú talajokat vizsgálva megállapította, hogy „a kedvezőtlen fizikai tulajdonság kimutatható romlása a Na és Mg együttes hatásaként következik be és a Mg hatása nem jelentős, ha a rendszerben elegendő mennyiségű kicserélhető Ca is van". Vizsgálataik során azt találták, hogy a Mg-kezelés hatására a humusz minősége lényegesen romlott. Kreybig úgy találta, hogy a Mg növeli a talajok vízmegkötő képességét, ezzel tovább növelve a kötött talajok egyébként is nagy holtvíztartalmát (*Kreybig, 1956*). A fentiek alapján a Kreybig-féle osztályozásban magnéziumosként jelölt talajokat a Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriákon belül elsősorban az *erősen szikes* kategóriába soroltuk, nem zárva ki annak a lehetőségét, hogy – kisebb kicserélhető Mg és Na tartalom mellett – részben a gyengén szikes, részben az agyag fizikai féleségű talajok csoportjának tulajdonságait is hordozhatja (ezeket az *5. táblázatban* zárójelben tüntettük fel).

5. táblázat: Az egymásnak megfeleltetett, *Várallyay et al. (1980)* által kidolgozott vízgazdálkodási kategóriák, valamint a Kreybig-féle talajféleségi osztályok a belvízképződésre való hajlam feltüntetésével. A növekvő belvízképződési hajlam sorrendjében * a terület a belvízképződésre: nem hajlamos, gyengén hajlamos, közepesen hajlamos, hajlamos, nagyon hajlamos.

A 9 talaj-vízgazdálkodási kategória *fizikai talajféleségük szerint*	*Víznyelési sebesség* (IR) mm/óra	Megfeleltethető *Kreybig-féle osztályok*	A terület vízborítás után *hajlamos-e belvízképződésre?* *
(*Várallyay et al., 1980*)			
(1.) homok	> 500	V.	nem hajlamos
(2.) homokos vályog	150-500	IV.	gyengén hajlamos
(3.) vályog	100-150	I.	közepesen hajlamos
(4.) agyagos vályog	70-100	II.	hajlamos
(5.) agyag	50-70	III. (VI.)	erősen hajlamos
(6.) enyhén szikes, v. pszeudoglejes t.	10-50	VII./1-2.; (VI.)	igen erősen hajlamos
(7.) erősen szikes t.	< 10	VII./3.; VI.	szélsőségesen hajlamos
(8.) tőzeg, kotu	-	VIII., XI.	*eleve belvizesnek vett*
(9.) sekély termőrétegű t.	-	X.; IX.	*talajképző kőzettől függ*

Numerikus talajvíz tényező levezetése a Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer alapján:

A talajok belvíz-érzékenységének jellemzése

A Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriarendszer és a Kreybig-féle talajfizikai osztályok korrelációja után a kategóriákat jellemző tulajdonságok alapján következtetni lehet az egyes csoportok belvíz-érzékenységére. A Várallyay-féle talaj-vízgazdálkodási kategóriák általános jellemzői között szerepel a *víznyelési sebesség* (IR), s így az egyes csoportok víznyelési sebességük (*Várallyay et al., 1980*) figyelembevételével jellemezhetők és ez alapján belvíz-érzékenységi szempontból kategorizálhatók (*5. táblázat*). Hét belvíz-érzékenységi kategóriát vezettünk be, melyek a növekvő belvízképződési hajlam sorrendjében: *a terület belvízképződésre nem hajlamos, gyengén hajlamos, közepesen hajlamos, hajlamos, erősen hajlamos, igen erősen hajlamos, szélsőségesen hajlamos*.

A talajok belvíz-érzékenységének numerikus indikátorai

A Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriarendszer és a Kreybig-féle talajfizikai osztályok korrelációja lehetővé tette a DKTiR térképi talajfoltjainak a becsült víznyelési sebességgel való jellemzését. Első közelítésben ezt a becsült víznyelési sebesség értéket választottuk a talaj belvíz-érzékenységi indikátoraként.

A talaj fizikai féleségén, illetve a víznyelési sebességen alapuló csoportosítás nem tudja figyelembe venni a talajok kiindulási nedvességállapotát (a csapadékesemény kezdetén), ami viszont döntő hatású a talaj ún. *infiltrációs (beszivárgási) kapacitásának* kiindulási értékére. Vízzel telített, vagy fagyott talajfelszínre érkező csapadék nem tud beszivárogni még abban az esetben sem, ha a talaj mechanikai összetétele és a talaj szerkezete ezt egyébként lehetővé tenné. Ekkor a felszín horpadásainak ún. *depressziós tározási kapacitásának* túllépése után gyakorlatilag azonnal megindul a felszíni lefolyás. Korán jelentkezhet felszíni lefolyás abban az esetben is, ha a csapadék intenzitása az esőzés kezdetén jelentősen és tartósan meghaladja a talaj kiindulási infiltrációs kapacitását. Ebben az esetben, a felszín horpadásaiban összegyűlő víz egy része a talaj felső rétegeibe szivárog, míg másik része lefolyik a felszínről.

Szikes talajok esetén a talajvíz terepalatti mélysége általában kicsi (ún. kritikus talajvízszint jellemzi), e talajoknál a beszivárgás korlátai jelentik a szélsőséges vízgazdálkodás alapvető okát (*Várallyay et al., 1980*). Az ide tartozó talajok általában lokális, vagy regionális topográfiai mélyedésekre, völgytalpakra jellemzőek, a víz felszínalatti horizontális migrációját kedvezőtlen fizikai-kémiai tulajdonságaik mellett térszíni helyzetük is akadályozza.

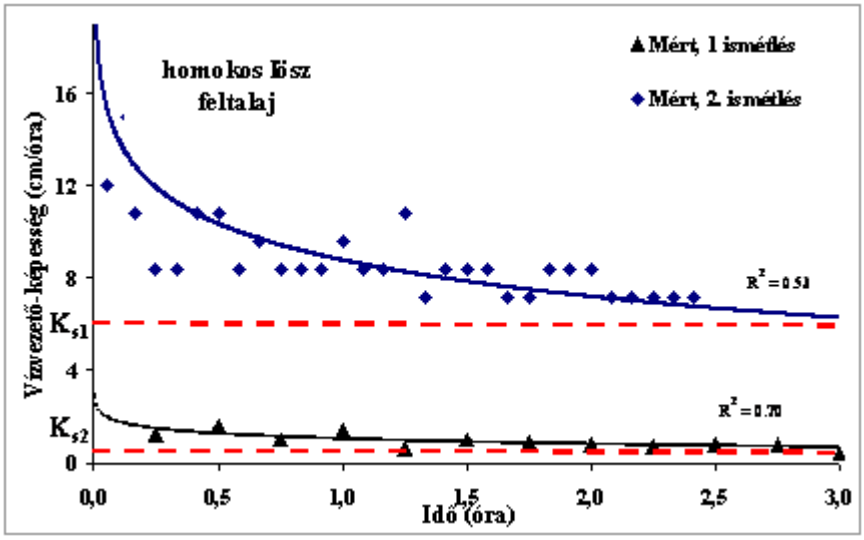
Sekély termőrétegű talajok esetén a belvízképződésre való hajlam a talajképző kőzet függvénye, ez a talajcsoport nem sorolható be egyértelműen egyik belvíz-érzékenységi kategóriába sem. *Tőzeges, kotus talajok* esetében az alkalmazott belvíz-érzékenységi kategóriák víznyelés sebességgel való összefüggése félrevezető lenne, mert ezek a területek elsősorban a szervesanyag dúsulására igen kedvező nedves élőhelyek, tehát már

„eleve belvizesek”, míg víznyelési sebességük száraz állapotban igen nagy lehet (e tekintetben tehát a homokhoz „közelítenek”).

A tájtermesztési térképek jelkulcsa feltünteti az egyes kategóriákba tartozó talajok „csapadék-fogható képességét (mm/m^3)”, illetve vízvezető-képességét (mm/óra). A „csapadék-fogható képesség” meghatározásának módszere egyelőre nem áll rendelkezésünkre, a korabeli módszerkönyv (*Ballanegger, 1953*) „vízfoghatósági szám” alatt az Arany-féle kötöttséget érti, ez viszont egészen más értékű. A „csapadék-fogható képesség” számadatai alapján valószínű, hogy értékei az adott fizikai féleségű, szántóföldi vízkapacitásig telített talaj összes víztartalmára vonatkoznak.

A talajok vízvezető-képességi értékéről azonban megállapítottuk, hogy a talajok belvíz-érzékenységi tulajdonságának leírása szempontból a víznyelési sebességnél jobban hasznosítható, pontosabban kvantálható információnak tűnik. Mivel erre vonatkozó információ csak a tájtermesztési térképeken található, ezért csak ezek feldolgozása után adódott lehetőség ezen indikátor alkalmazására.

A feltüntetett vízvezető-képességi érték a telített (kétfázisú) talajállapotra vonatkozik. Ideális esetben a beszivárgás során a vízbefogadás sebessége idővel elér egy egyensúlyi állapotot, s az állandósult vízáteresztés értéke a telített állapotra vonatkozó vízvezető-képességi értékhez (K_s) közelít (*13. ábra*). Ennek alapján a jelkulcsban feltüntetett vízvezető-képességi értékeket a belvíz-érzékenység numerikus indikátorának tekinthetjük.



13. ábra: Mért és illesztett beszivárgás-görbék egy magyarországi termőhelyen

Ahhoz, hogy a készülő belvíz-veszélyeztetettségi térkép ne veszítse el kapcsolatát a korábban kidolgozott, Várallyay-féle 9 talaj-vízgazdálkodási kategóriával összhangba hozott 1:25000-es adatállománnyal, a tájtermesztési térképek kategóriarendszerét néhány összevonással, illetve kiegészítéssel hozzákapcsoltuk a Várallyay-féle osztályokhoz (*6. táblázat*). Azokra a kategóriákra, melyekre a jelkulcsban nem volt érték, becsült értékeket adtunk. A becsléssel elsősorban az adott csoportnak a többi kategóriához való viszonyát igyekeztünk számszerűsíteni.

6. táblázat: Kapcsolat a Várallyay-féle talaj-vízgazdálkodási kategóriával

Várallyay-féle 9 talaj-vízgazdálkodási kategória, *fizikai talajféleség szerint*	Korábbi vizsgálat során figyelembe vett víznyelési sebesség, IR (mm/óra)	Megfeleltethető ún. Tájtermesztési kategória	Megadott vízvezető képesség, mm/óra (Tájterm. jelkulcs alapján)	Átlagolt, illetve *becsült* vízvezető-képesség érték mm/óra
(1.) homok	500	(1.,3.) savanyú/karbonátos, nem humuszos homok	40-60	50
(1.) homok	500	(2.,4.) savanyú/karbonátos, humuszos homok	20-40	30
(2.) homokos vályog	325	-	-	*(23-30) 26*
(3.) vályog	125	(5.) kitűnő vályog és öntésiszap-talajok	15-30	23
(3.) vályog	125	(6.) felszínben savanyú, kitűnő minőségű vályog- és agyagtalajok	-	*15**
(4.) agyagos vályog	85	-	-	*(10-15) 13*
(5.) agyag	60	(7.) Igen erősen kötött, savanyú mészigényes agyagok és vályogok	5-15	10
(6.) enyhén szikes, v. pszeudoglejes t.	30	(10.) enyhén szikes talajok, mezőgazd.	-	*11***
(6.) enyhén szikes, v. pszeudoglejes t.	30	(11.) enyhén szikes talajok, feltételesen mezőgazd.	-	*5*
(7.) erősen szikes t.	10	(12.) erősen szikes talajok	-	*1****
(8.) tőzeg, kotu	0	(9.) tőzeg és kotus talajok	-	-
(9.) sekély termőrétegű t.	-1	(8.) sekély termőrétegű talajok	-	-

* Az 5. kategóriához tartozó alsó érték.
** Az A és B szintben a művelés keverő hatása érvényesülhet.
*** A mérés a gyakorlatban nagy szórást mutat, a duzzadás és a felszíni repedezettség bizonytalanná teszi.

A további vizsgálatok számára előkészített talajtani tényező (numerikus indikátor) végeredményben a területeire vonatkozóan a *14. ábrán (10. térkép melléklet)* látható. Minél kisebb a belvízi veszélyeztetettség, annál nagyobb a talajtani tényező értéke. A talajtani mutató meghatározásához környezeti segédváltozókat (3) használtunk, melyek az alábbiak:

- talajok fizikai (*15. ábra, 11. térkép melléklet*);
- kémiai (*16. ábra, 12. térkép melléklet*) és
- tájtermesztési besorolása (*17. ábra, 13. térkép melléklet*) a Kreybig térképezés módszertana alapján.

Fizikai tulajdonságok térkép

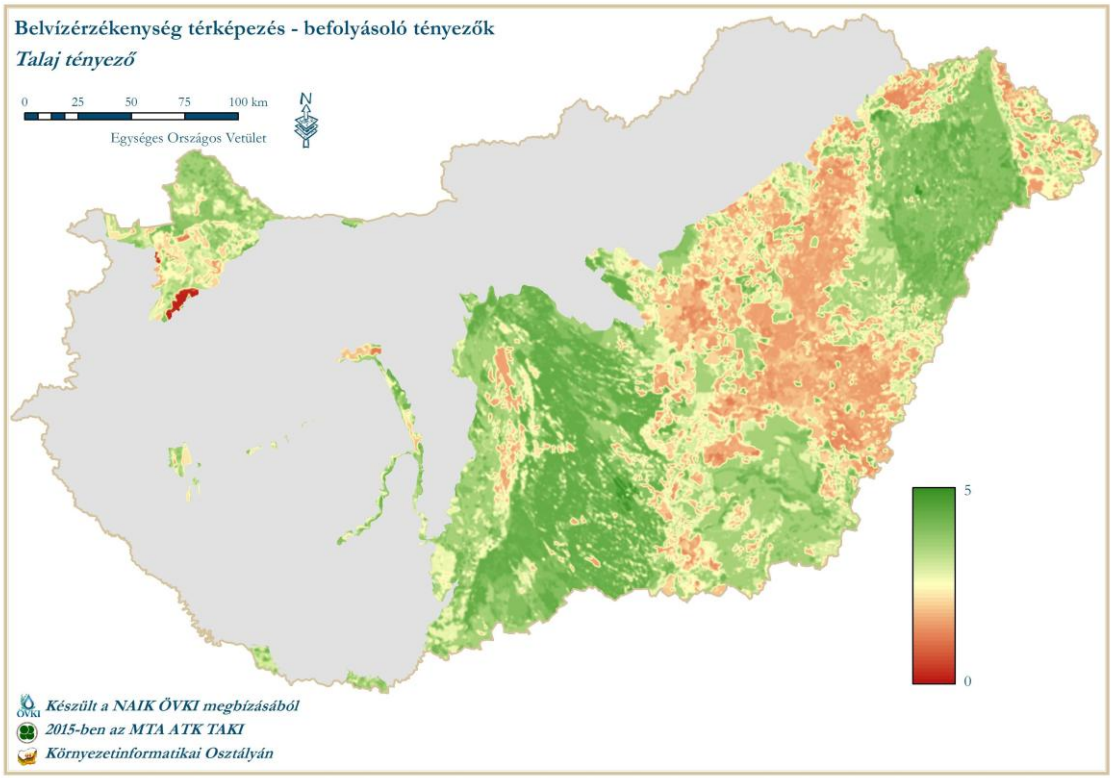
A közelítőleg 1:25000-es méterarányú, Kreybig-féle térképezés során lehatárolt, homogénnek tekintett egységeket (talajfoltokat) a szelvényadatok alapján a területre jellemző vízvezető- és víztartó képességi osztályba sorolták. A megnevezések, melyek egy adott terület vízzel szembeni viselkedését írják le a gazdálkodók számára (pl. „jó víztartó- és vízvezető képességű vályog talajok”) egy-egy területet általánosságban jellemeznek. A szelvényekben feltárt esetleges rétegzettségnek a terület vízgazdálkodási tulajdonságaira való hatását integráltan, csak az osztály megnevezésében érzékeltették.

Kémiai tulajdonságok térkép

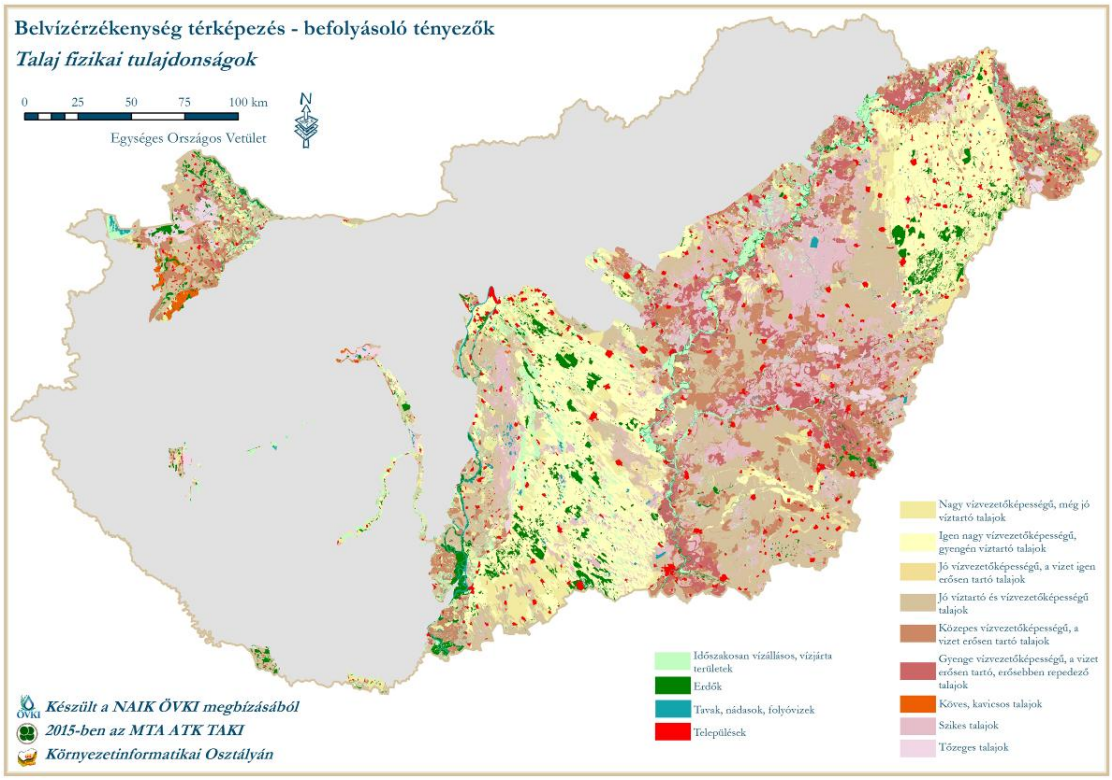
A közelítőleg 1:25000-es méterarányú, Kreybig-féle térképezés során lehatárolt, homogénnek tekintett egységeket (talajfoltokat) hat, a szelvényadatok alapján a területre jellemzőnek ítélt osztályba sorolták. Három mésztartalom- és kémhatás kategóriát (meszes vagy semleges, gyengén savanyú, savanyú talajok), ill. három, a szikesség mértéke szerinti (gyengén-, erősebben-, igen rossz szikes) osztályt különítettek el.

Tájtermesztési térkép

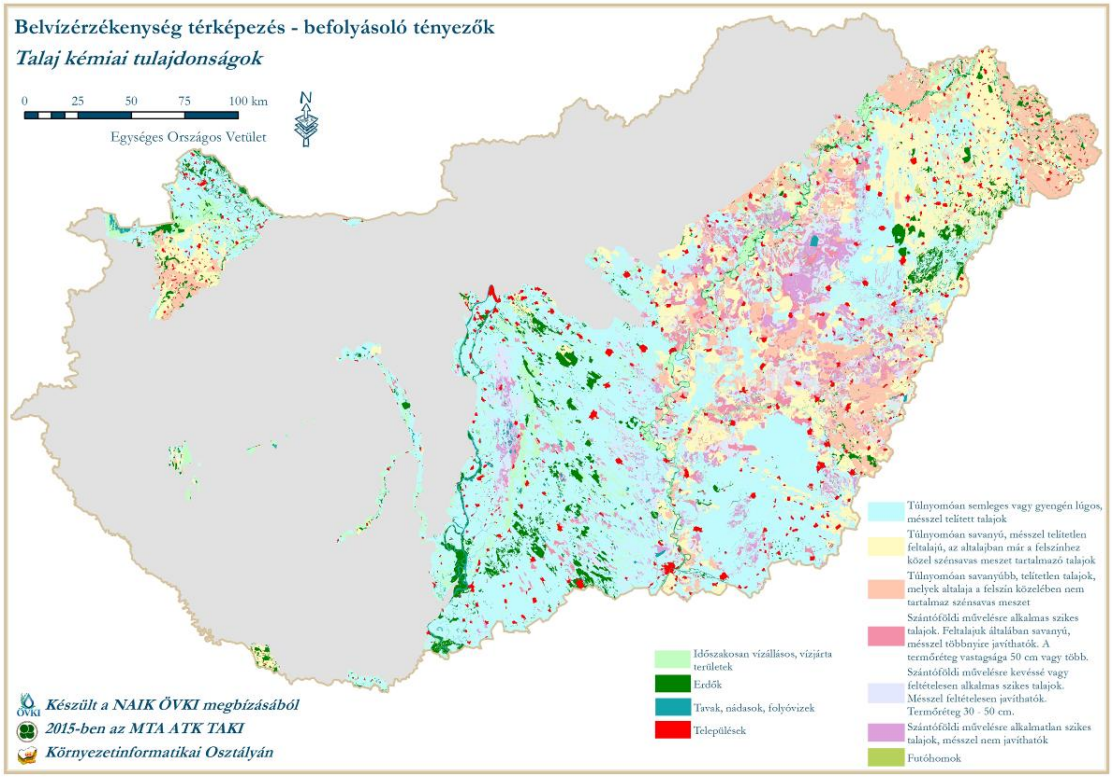
A közelítőleg 1:75000-es méretarányú tájtermesztési térképek a Kreybig-féle talajismereti térképek tartalmi összevonásával, generalizálásával és a humusztartalomra, kötöttségre, illetve a sekély termőrétegűségre vonatkozó ismeretekkel bővített jelkulccsal készültek és gyakorlati célú földhasználati talajkategóriákat különböztetnek meg (pl. savanyú humuszszegény homoktalajok, erősen kötött, savanyú, mészigényes agyag- és vályogtalajok, stb.).



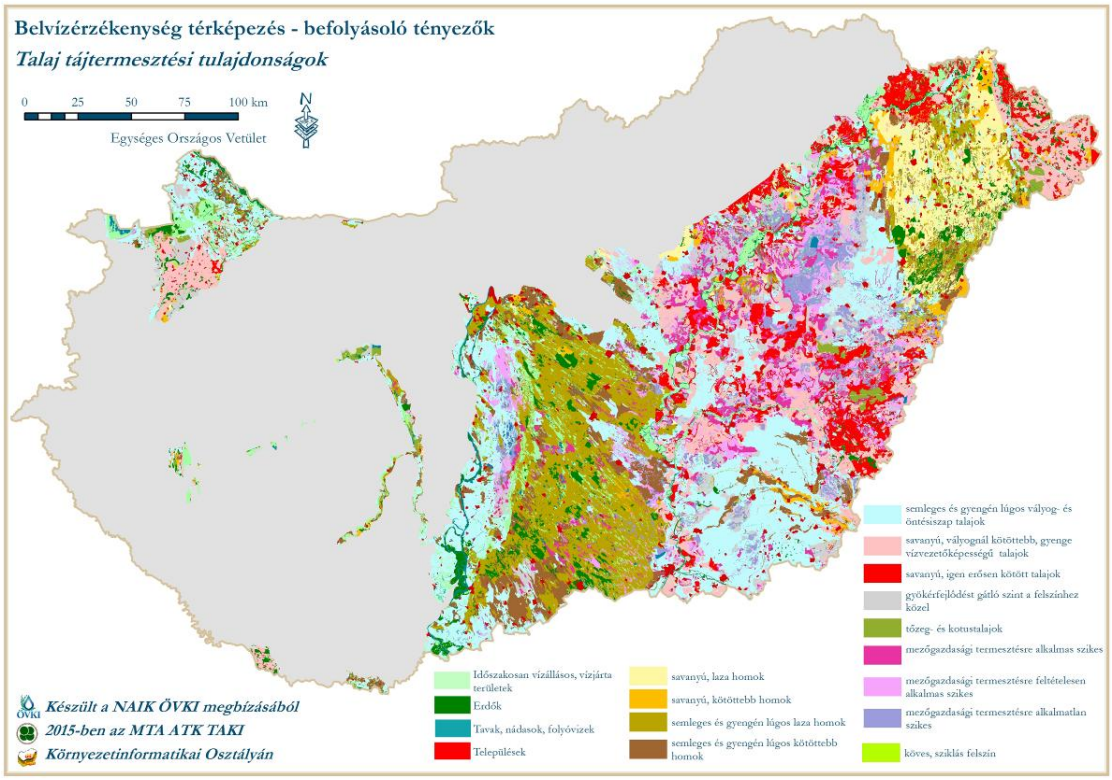
14. ábra: A talajtani tényező területi eloszlása



15. ábra: Talajtani környezeti segédváltozó – Talajfizika



16. ábra: Talajtani környezeti segédváltozó – Talajkémia



17. ábra: Talajtani környezeti segédváltozó – Tájtermesztési tulajdonságok

A *3. GIS melléklet* tartalmazza a talajtani tényező ArcGIS Shape és GeoTiff állományait. A talajtani segédmutatók adatai a regresszió krigeléshez felhasználásra kerültek, azonban az MTA ATK TAKI tulajdonát képezik, így nem kerülnek átadásra.

4.4 Földtani tényező

A térképeket Magyarország komplex földtani térképezése során mélyített sekélyfúrások terepi leírásainak és laboratóriumban elemzett adatainak, valamint megszerkesztett térképeinek feldolgozásával készítettük el.

Első lépésként a területen lemélyített a fúrásoknak a rétegsorait és a fúrások anyagából készült vizsgálatok szemcsevizsgálati, valamint a kalcium-karbonát tartalom adatokat válogatjuk le, hogy segítségükkel megállapítsuk az egyes fúrások által feltárt kőzetkifejlődés vízáteresztő képességét. Ezt a rendelkezésünkre álló adatokból minden egyes fúrásszelvényben külön-külön megtesszük, hogy segítségükkel a vízzáró képződmények horizontális és vertikális kiterjedésé le tudjuk határolni.

Az egyes képződmények vízáteresztő képességét a Rónai András által kidolgozott ú.n. agyagossági százalék megállapításával végezzük el. Ennek lényege, hogy minden egyes mintában megállapítjuk az agyag és finomkőzetliszt tartalmat, vagyis a 0,02 mm szemcseátmérő alatti frakció súlyszázalékát. Ez a viszonylag egyszerű módszer lehetővé teszi, hogy bonyolult számítások helyet pontos laboratóriumi adatok alapján állapíthassuk meg az egyes képződmények vízáteresztő képességét. A módszer alkalmazhatóságát, Kerék Barbara korrelációs számításai egyértelműen igazolták. E vizsgálatok egyértelmű

korrelációt mutattak ki az egyes üledékekre vonatkozóan a finom anyag tartalom és a mérnöki gyakorlatban előszeretettel használt szivárgási tényező (K-tényező) között.

A számítások során, a Rónai-féle módszer előírásainak megfelelően, a 20 százaléknál kevesebb finom anyagot tartalmazó képződményeket vízáteresztőnek, a 20-60 százalék közötti finom anyagot tartalmazó képződményeket vízfelvevő, víztartónak és 60 súlyszázaléknál nagyobb finom anyag tartalmú képződményeket vízzárónak tekintjük. Ennek megfelelően azt vizsgáljuk, hogy az így megállapítható első vízzáró réteg milyen mélységben helyezkedik el a felszínhez viszonyítva, és mekkora a vastagsága. A számítások során, a Rónai-féle módszer előírásainak megfelelően, a 20 százaléknál kevesebb finom anyagot tartalmazó képződményeket vízáteresztőnek, a 20-60 százalék közötti finom anyagot tartalmazó képződményeket vízfelvevő, víztartónak és 60 súlyszázaléknál nagyobb finom anyag tartalmú képződményeket vízzárónak tekintettük. Ennek megfelelően azt vizsgáltuk, hogy az így megállapítható első vízzáró réteg milyen mélységben helyezkedik el a felszínhez viszonyítva, és mekkora a vastagsága. (*7. táblázat*)

7. táblázat: A vízáteresztő képesség az agyagfrakció (0,000-0,02 mm Ø) %-ban kifejezve, Rónai A. szerint

A 0,02 mm szemcseátmérő alatti frakció súlyszázaléka	Az áteresztő képesség jellege	
0 - 10	Vízáteresztő	Telesen vízáteresztő
10 - 20		Gyengén víztartó
20 - 40	Víztartó	Jó vízfelvevő és jó víztartó
40 - 60		Erősen víztartó
60 - 80	Vízzáró	Repedező
80 -100		Erősen repedező

Következő lépésben kialakítottuk a megszerkesztendő térképek jelkulcsát. Eszerint a mélység térképnél a következő szinteket különítettük el:

1. A vízzáró réteg a felszínen van.
2. A vízzáró réteg 2 méternél kisebb mélységben van a felszín alatt.
3. A vízzáró réteg 2-4 méter közötti mélységben van a felszín alatt.
4. A vízzáró réteg 4-10 méter közötti mélységben van a felszín alatt.
5. 10 méterig nincs vízzáró réteg.

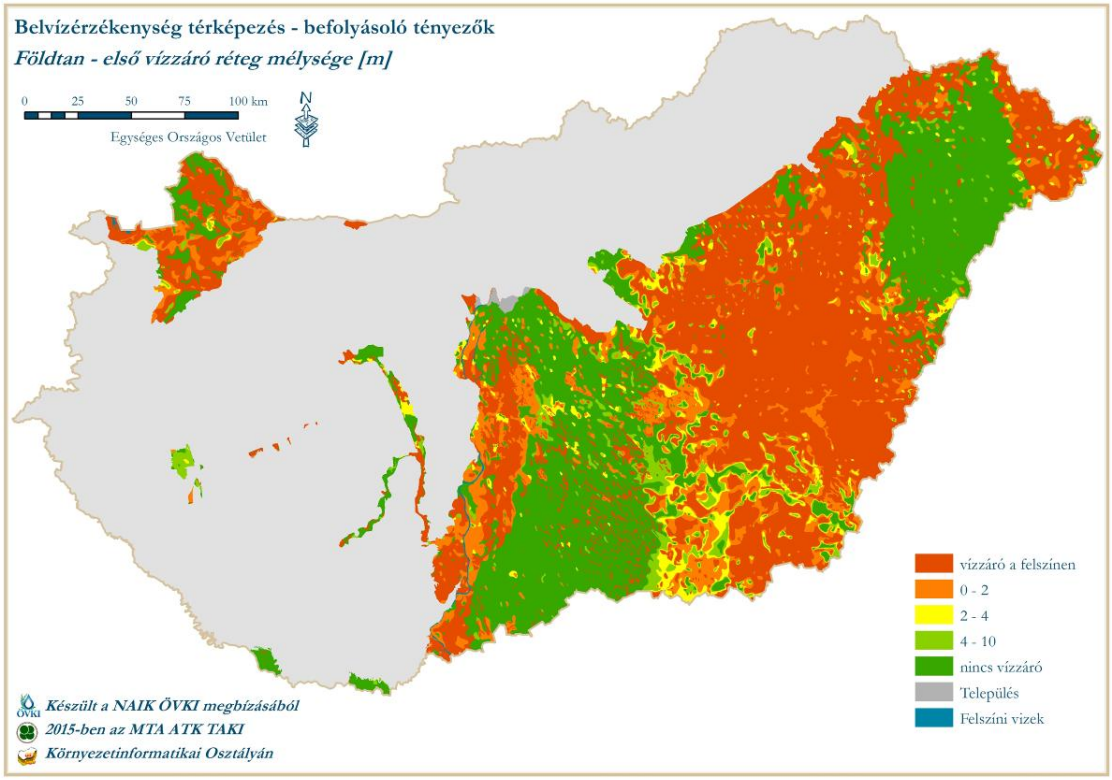
A vastagsági térképeknél a következő vastagság határokat állapítottuk meg:

1. Nincs vízzáró réteg a szelvényben
2. A vízzáró réteg vastagsága kisebb, mint 1 méter.
3. A vízzáró réteg vastagsága 1-2 méter közötti.
4. A vízzáró réteg vastagsága 2-4 méter közötti.
5. A vízzáró réteg vastagsága nagyobb, mint 4 méter.

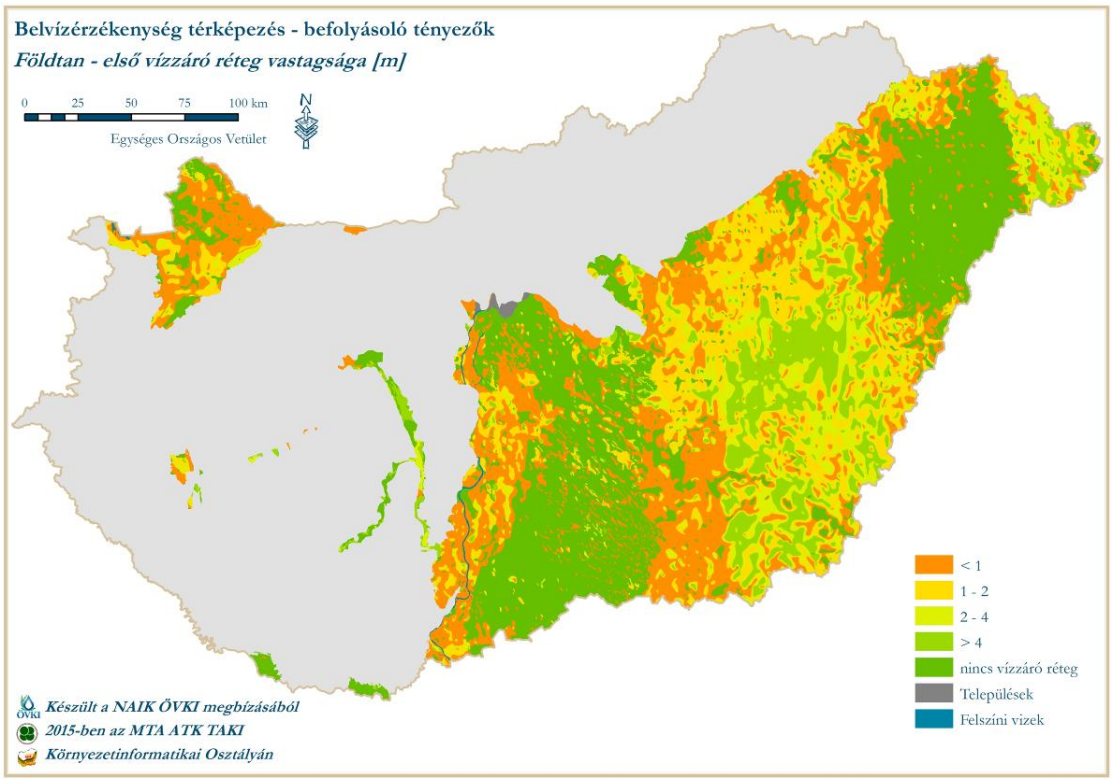
E jelkulcsok segítségével kéziratos formában külön-külön megszerkesztettük a két térképet, majd elvégeztük digitalizálásukat.

Ezek után következik a térképek végső előállítása, a digitalizált vonalmű tisztítása, a térképi foltok színezése. Az így elkészülő egyik térképen színekkel jelöljük a felszíntől számított első vízzáró réteg előfordulási mélységét, és a másikon ugyanezen rétegnek a vastagságát. A belvíz előfordulásának valószínűségét a legfelső vízzáró réteg felszínhez viszonyított helyzete és vastagsága növelheti, vagy csökkentheti. A belvíz előfordulásának a legnagyobb a valószínűsége, ha a legfelső vízzáró réteg a felszínen található, és jelentős vastagságú. Ugyanis a felszínen lévő vastag rossz vízáteresztő képességű üledék megakadályozza vagy jelentősen gátolja a felszínre kerülő csapadék mélybe szivárgását,

míg egy 1 m-nél vékonyabb réteg, különösen, ha könnyen repedező agyag könnyebben átengedi a vizet a mélység felé. A két tematikus térképet környezeti segédváltozóként használtuk fel (*18-19. ábra, 14., 15. térkép melléklet*), melyből levezetésre kerül a sekélyföldtani tényező.



18. ábra: Sekélyföldtani környezeti segédváltozó – első vízzáró réteg mélysége (m)



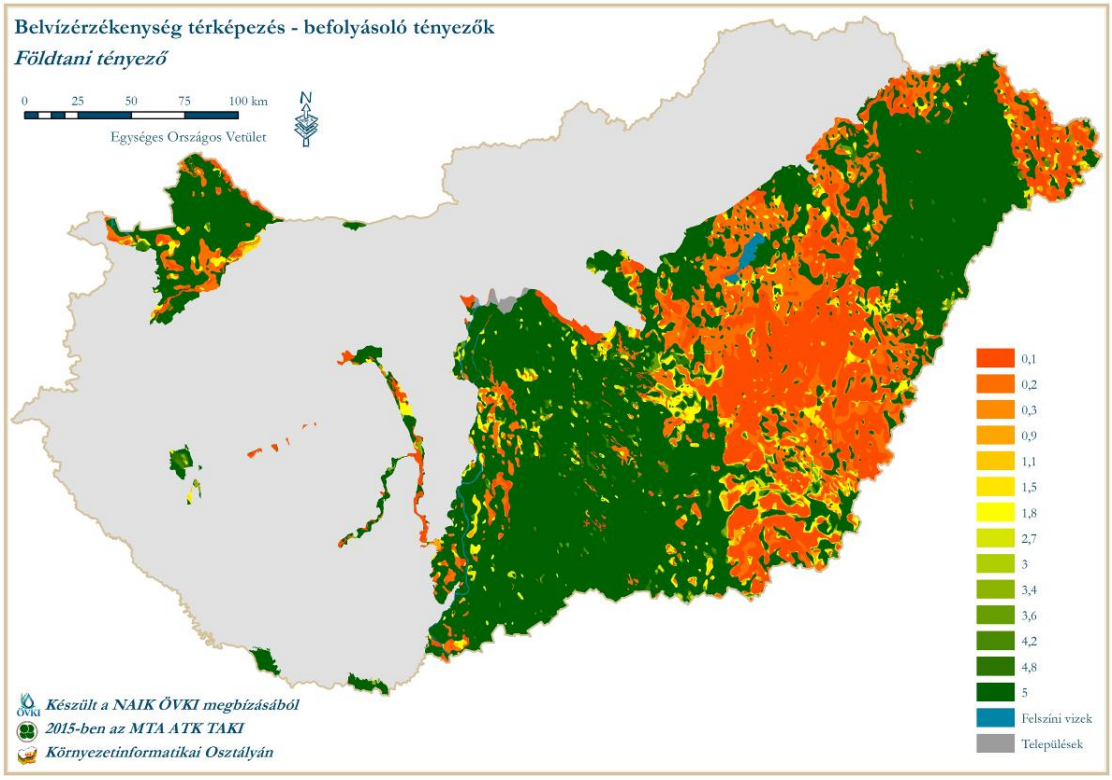
19. ábra: Sekélyföldtani környezeti segédváltozó – első vízzáró réteg vastagsága (m)

A földtani tényező térképét a *8. táblázatban* közölt értékek felhasználásával, a többi tényezővel azonos rácshálózatra illesztve szerkesztettük meg, melynek területi eloszlását a *20. ábra* szemlélteti (*16. térkép melléklet*). Minél nagyobb a földtani mutató értéke, annál kisebb a belvízképződés lehetősége.

8. táblázat: A földtani tényező a legfelső vízzáró réteg felszínhez viszonyított helyzete és vastagsága alapján

Vastagság	Mélység				
	Vízzáró a felszínen	<2 m	2-4 m	4-10 m	>10 m
<1 m	0,2	1,8	3,6	4,8	5
1-2 m	0,1	1,5	2,7	4,2	5
2-4 m	0,1	0,9	1,8	3,4	5
>4 m	0,1	0,3	1,1	3,0	5

A *4. GIS melléklet* tartalmazza a földtani tényező, valamint a segédváltozók ArcGIS Shape és GeoTiff állományait. Magyarország síkvidéki területeinek földtani jellemzőit a *2. melléklet* tartalmazza.



20. ábra: Földtani tényező térkép

4.5 Talajvíz tényező

Talajvíz tényező kialakításánál a VGT adatbázisában létrehozott hosszú idősoros talajvízszint adatok kerültek felhasználásra. 1531 db talajvíz kút adatsorát feldolgoztuk a vizsgálati területre vonatkozólag (*21. ábra*), melyhez kellő puffer zónát szelektáltunk a tényezőtérkép interpolációjához. A leválogatott talajvízkutak közül az interpolációhoz mintegy 1115 db talajvízkút adatsor rendelkezett megnyugtatóan hosszú idősoros adattal,

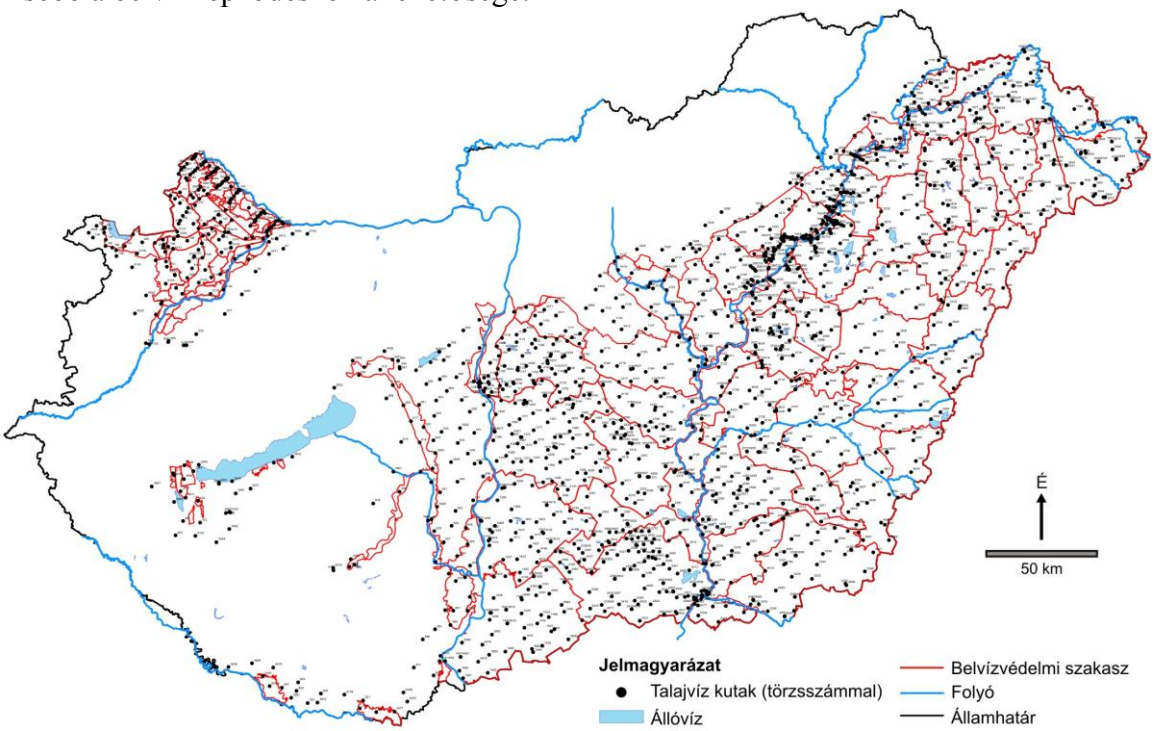
míg 182 db kút adatsora csak egy-egy vizsgált időintervallumot (1961-1990, 1991-2014) számszerűsített megfelelően (*3a., 3b. melléklet*), így az utóbbiak mintegy korrekciós tényezőkent kerültek alkalmazásra a területi interpoláció során. A fennmaradó 234 db talajvízkút esetén a rendelkezésre álló rövid és rendkívül hiányos adattartalom miatt kizárásra kerültek a vizsgálatokból.

Korábbi tapasztalataink szerint a talajvíz-adatsorok statisztikai megbízhatósága kétséges, ami valójában azt jelenti, hogy habár az adatsorok vizsgálata statisztikai módszerekkel elvégezhető, ellenben a megbízhatósági faktorok alacsony értékeket mutatnak. Ezért a talajvízállások jellemző NV értékeit – ami egyben a talajvíz tényező értékei is – egy részletesebb vizsgálattal alátámasztott módszerrel igyekszünk meghatározni, miszerint kiválasztunk kutanként az 1961 és 2014 közötti adatsorból négy NV értéket, mégpedig külön-külön az 1961-1990-es és az 1991-2014-os időszakra vonatkozólag. A kérdéskörre vonatkozó módszertani leírásokat, vizsgálatokat és következtetéseket az alábbiakban ismertetjük.

Korábbi vizsgálatainknak megfelelően a Duna-Tisza közi hátság problematikája miatt – tekintettel a korábban említett egész Alföldre vonatkozó komplett térképezésére – kettébontjuk adatsorainkat, miszerint az 1961-1990-ig és az 1991-2014-ig terjedő időszakból is leválogatunk két-két évi maximumot, melyet végül átlagolunk. Ez az érték méterben fejezi ki a talajvíz tényező értékét.

$$\text{Talajvíz tényező } (LNV_{átlag}) = LNV_{1\,(1961\text{-}1990)} + LNV_{2\,(1961\text{-}1990)} + LNV_{3\,(1991\text{-}2014)} + LNV_{4\,(1991\text{-}2014)} / 4$$

Minél nagyobb a mutató értéke, vagyis minél mélyebben van a talajvíz, annál kisebb a belvízképződésnek a lehetősége.



21. ábra: A vizsgálatba vont talajvízkutak

A talajvíz tényező értékeit a *4. melléklet* tartalmazza a *9. táblázat* szerinti formátumban.

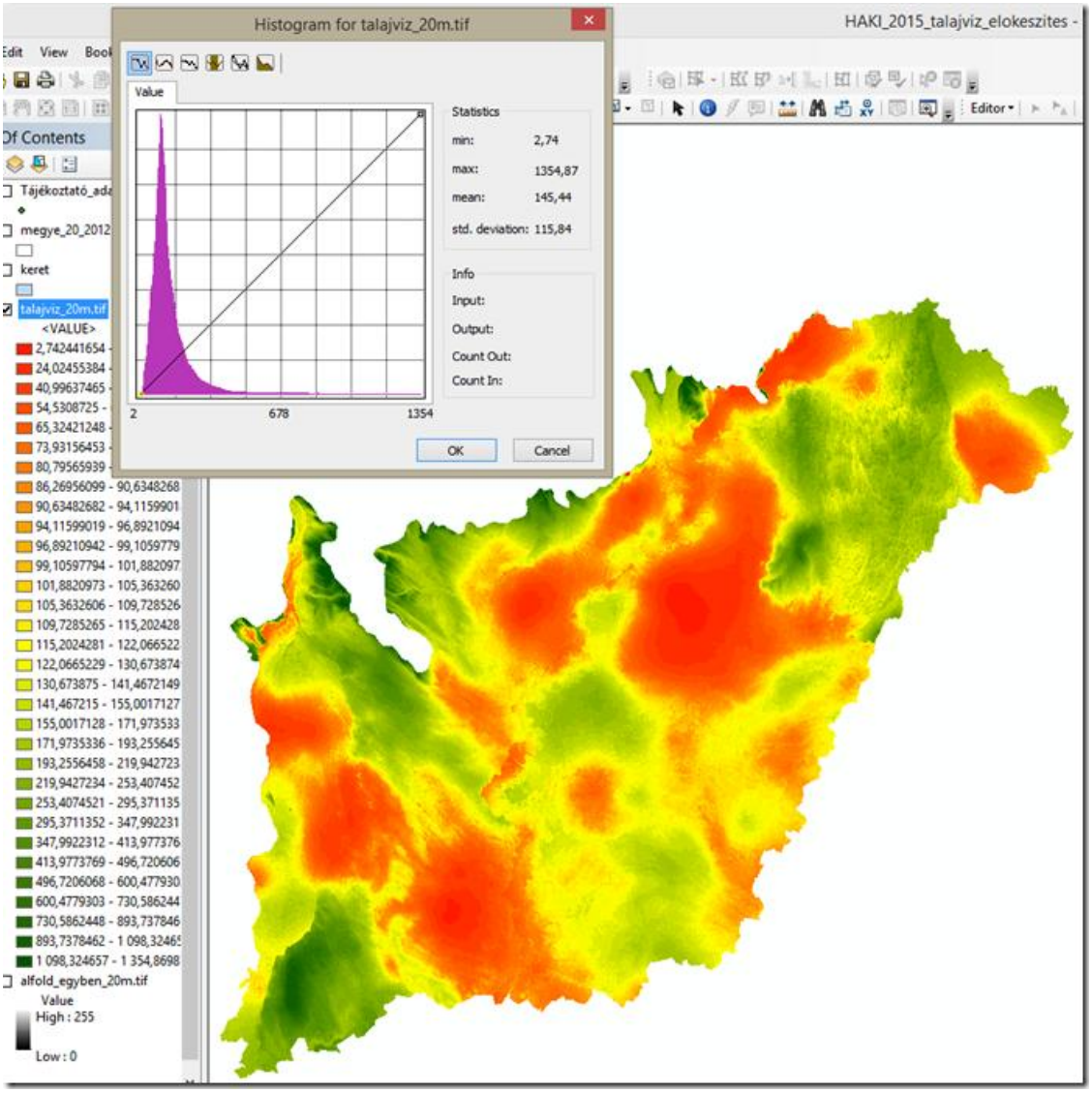
9. táblázat: A talajvíz tényező LNV értékei, cm (részlet)

Törzsszám	Településnév	EOVy	EOVx	LNV1 (1961-1990)	LNV2 (1961-1990)	LNV3 (1991-2014)	LNV4 (1991-2014)	LNV átlag
54	Darnózseli	280052	529035	147,93	191,55	230,90	243,61	**203,50**
58	Magyarkimle	277170	527064	49,40	117,39	203,60	212,71	**145,77**
59	Magyarkimle	277035	526972	180,70	252,58	252,52	258,26	**236,01**
62	Győrladamér	272062	540822	9,20	21,84	65,13	72,00	**42,04**
63	Vámosszabadi	273172	542180	11,69	21,32	205,27	210,03	**112,08**
64	Győrzámoly-Vámosszabadi	273069	542144	1,00	2,00	6,44	10,00	**4,86**
66	Győrladamér-Vámosszabadi	272631	541223	39,43	45,13	39,46	40,03	**41,02**
71	Győrladamér	268716	538267	56,37	192,65	177,50	193,23	**154,94**
72	Győrladamér	268624	538220	57,13	156,06	244,57	257,90	**178,92**
73	Kisbajcs	267277	546812	17,56	58,23	96,45	99,47	**67,93**
77	Nagybajcs	269136	548812	0,00	0,00	8,71	28,63	**9,33**
79	Győr	261094	542017	0,29	2,48	178,07	184,23	**91,27**
80	Győr	262372	543989	73,41	106,87	134,41	140,63	**113,83**
86	Győr	259692	544581	146,87	147,13	163,52	167,75	**156,32**
87	Töltéstava	256506	550927	125,40	129,83	167,20	173,57	**149,00**
92	Ikrény	257486	535572	155,59	169,03	194,60	224,60	**185,96**
94	Uraiújfalu	227384	494206	6,22	8,92	66,73	83,00	**41,22**
95	Répcelak	232726	496787	8,05	14,19	119,97	146,30	**72,13**
97	Kapuvár	257871	497508	14,71	39,70	44,20	81,42	**45,01**
99	Kapuvár	250989	498630	99,52	106,00	100,87	133,44	**109,96**
100	Kapuvár	257419	499640	46,81	104,71	155,77	219,33	**131,66**
…								
…								
…								

Igazítás a domborzathoz (módosított talajvíz tényező)

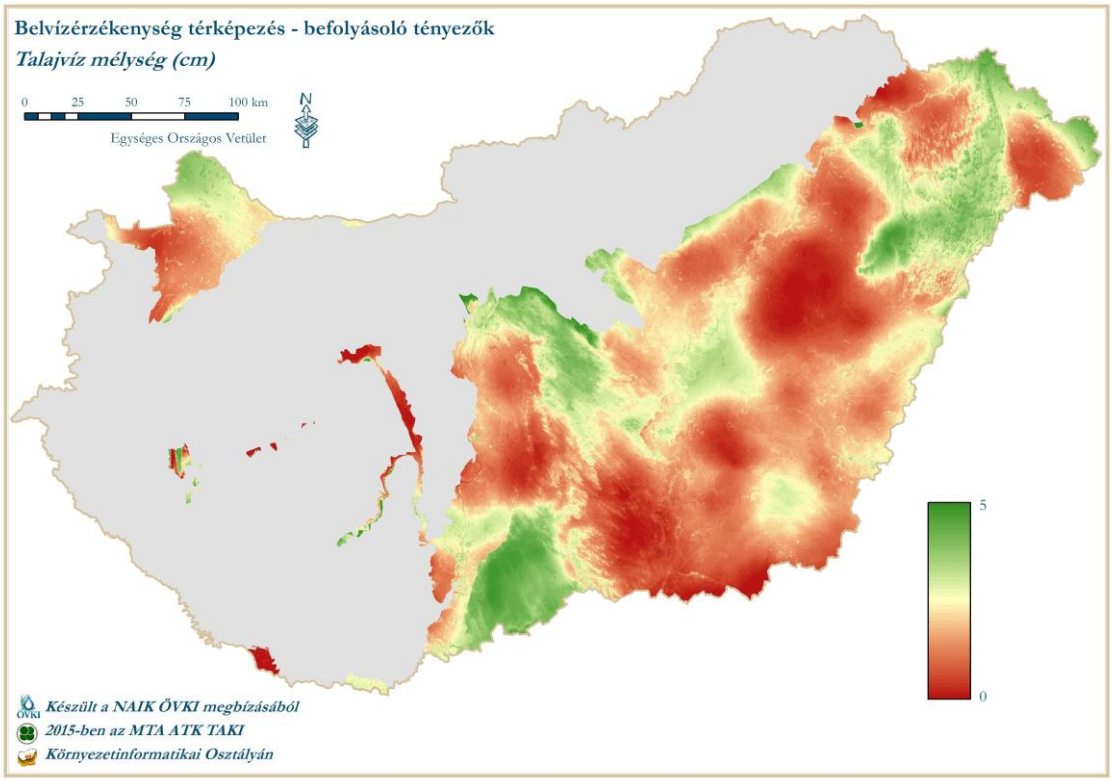
A térbeli interpoláció során egy adott pontban a vizsgálandó paraméter értékének meghatározásához a környező pontokban mért adatokat használjuk föl, melynek során a különböző távolságú pontokat nem ugyanakkora súllyal, és a hatástávolságon kívüli pontokat egyáltalán nem vesszük figyelembe. A geostatisztikában, a feltalálójáról krigelésnek nevezett súlyozott átlag képzésen alapuló módszert alkalmazzák az ismeretlen attribútum értékű pontok attribútum értékeinek meghatározására a más pontokban mért, azaz ismert, attribútum értékek alapján. A krigelés úgy kívánja meghatározni valamely geometriai pont ismeretlen attribútum értékét, hogy olyan súlyozott átlagot képez a más pontokban ismert (mért) attribútum értékekből, mely szórása minimális. A becslés súlytényezőit a fél-variogram felhasználásával azzal a feltétellel számítjuk, hogy összegük 1, a becslési szórásnégyzet minimális, maga a becslés pedig torzítatlan legyen. Számos krigelési eljárást különböztetünk meg (egyszerű-, indikátor-, univerzális-, lognormális-, diszjunktív-, valószínűség-, ko-krigelés), melyek közül a ko-krigeléses eljárást alkalmaztuk (*22. ábra*). A ko-krigelés olyan matematikai eljárás, amely lehetővé teszi, hogy egyszerre

két, egymástól függő paraméterrel végezzünk becslést, a kettő közül az egyik paraméterre. Általában olyankor alkalmazzuk, amikor viszonylag kisszámú mintával rendelkezünk egyik vagy másik paraméterről. A ko-krigelés során lényegében valamely tulajdonság térbeli becslését egy másik tulajdonsággal való regressziós kapcsolatával javítjuk.



22. ábra: Ko-krigelés fél-variogrammok felhasználásával

A mi esetünkben az a cél, hogy a talajvíz általunk meghatározott talajvízkutak $LNV_{átlag}$ értékei közötti területeken az egyszerű lineáris interpoláció helyett a domborzathoz igazítsuk az értékeket. Ezzel a módszerrel kiküszöböltük azt a hibát, ami a lineáris interpoláció hibájából adódhat, miszerint keletkezhetnek olyan pontok, illetve területek a talajvíz térképen, ahol a talajvíz szintek meghaladják indokolatlanul a terepszintet, tehát nem a valóságot tükrözik. Más szóval a talajvízszint követi a terepszintet, mivel a ko-krigelési eljárás során a digitális domborzati modell és a talajvíz értékeinek regressziós kapcsolatával határozzuk meg a kutak közötti területeken uralkodó talajvíz szinteket (*23. ábra, 17. térkép melléklet*). Minél nagyobb a talajvíz tényező értéke, vagyis minél mélyebben van a talajvíz, annál kisebb a belvízképződésnek a lehetősége.



23. ábra: Ko-krigeléssel módosított talajvíz tényező térkép

Az *5. GIS melléklet* tartalmazza a talajvíz tényező ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

4.6 Földhasználati tényező

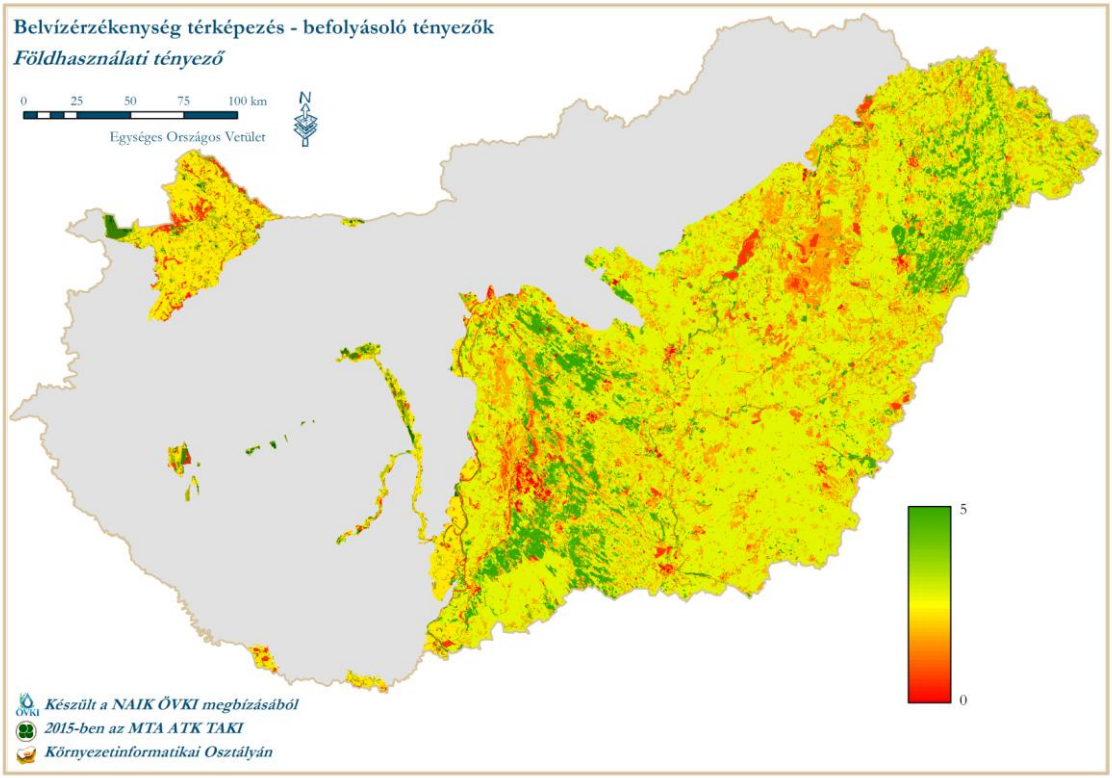
A földhasználati kategóriák a CORINE adatbázis alapján különíthető el, melynek segítségével osztályozhatjuk őket a belvízképződésben betöltött szerepük fontossága szerint. A belvíz-veszélyeztetettségi szintézistérkép szerkesztéséhez az egyes földhasználati kategóriák a *10. táblázat* szerinti értékekkel jellemezhetők. A számértékek nagyságrendjét úgy választottuk meg, hogy az illeszkedjen a többi tényező értékéhez. Minél kisebb a belvízi veszélyeztetettség, annál nagyobb a földhasználati tényező értéke. A földhasználati tényező területi eloszlását a *24. ábra* (*18. térkép melléklet*) szemlélteti.

10. táblázat: A földhasználati tényező értékei a földhasználati kategória szerint

Földhasználati kategória	Földhasználati tényező
1. Mesterséges felszínek	
1.1. Lakott területek	
1.1.2.2. Nem összefüggő, családi házas és kertes beépítés	0,6
1.1.2.3. Erdei környezetben lévő, nem-összefüggő beépítés	0,6
1.2. Ipari, kereskedelmi területek és közlekedési hálózatok	
1.2.1.1.2 Agrár létesítmények	0,6
1.2.2.1. Úthálózat és csatlakozó területek	0,3
1.2.2.2. Vasúthálózat és csatlakozó területek	0,3
1.2.4.2. Füves kifutópályájú repülőterek	0,6
1.4. Mesterséges, nem mezőgazdasági zöldterületek	
1.4.1.1. Parkok	1,0
1.4.1.2 Temetők	1,0

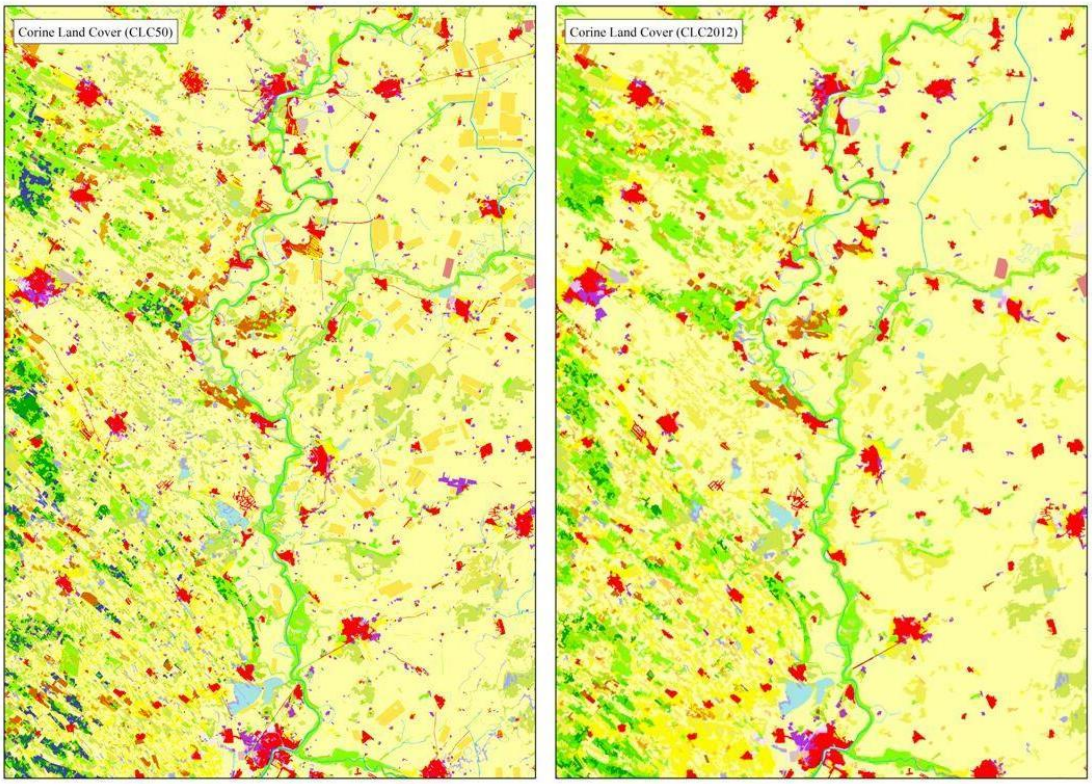
1.4.2.1 Sport létesítmények	0,6
1.4.2.2 Szabadidő területek	0,6
1.4.2.3 Üdülő települések	0,6
2. Mezőgazdasági területek	
2.1. Szántóföldek	
2.1.1.1 Nagytáblás szántóföldek	1,0
2.1.1.2 Kistáblás szántóföldek	1,0
2.1.1.3 Melegházak	1,0
2.1.2.1 Állandóan öntözött szántó területek	0,85
2.1.3.1 Rizsföldek	0,3
2.2. Állandó növényi kultúrák	
2.2.1.1 Szőlők	2,5
2.2.1.1.1 Nagytáblás szőlők	2,5
2.2.2.1 Gyümölcsfa ültetvények	2,5
2.2.2.2. Bogyós ültetvények	2,5
2.2.2.3 Komló ültetvények	2,5
2.2.2.6 Fűzfa ültetvények	2,5
2.3. Legelők	
2.3.1.1. Intenzív legelők és erősen degradált gyepek bokrok és fák nélkül	0,6
2.3.1.2. Intenzív legelők és erősen degradált gyepek fákkal és bokrokkal	0,6
2.4. Vegyes mezőgazdasági területek	
2.4.2.1. Komplex művelési szerkezet épületek nélkül	1,0
2.4.2.2. Komplex művelési szerkezet szórt elhelyezkedésű épületekkel, tanyák	1,0
2.4.2.2.1 Komplex művelési szerkezet épületekkel	1,0
2.4.2.2.2 Tanyák	1,0
2.4.3.1. Mezőgazdasági területek túlsúlyban szántókkal és jelentős természetes vegetációval	1,0
2.4.3.2. Mezőgazdasági területek túlsúlyban intenzív legelőkkel és jelentős természetes vegetációval	0,6
2.4.3.3. Mezőgazdasági területek túlsúlyban szórt megjelenésű természetes vegetációval	1,0
2.4.3.4. Mezőgazdasági területek kis tavak jelentős részarányával és szórt természetes vegetáció előfordulásával	0,5
2.4.3.5. Mezőgazdasági területek állandó kultúrák jelentős előfordulásával, és szórt megjelenésű természetes vegetációval	2,0
3. Erdők és természetközeli területek	
3.1. Erdők	
3.1.1.1. Zárt lombkoronájú természetes lombhullató erdők nem vizenyős területen	5,0
3.1.1.2 Zárt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, vizenyős területen	1,0
3.1.1.3. Nyílt lombkoronájú természetes lombhullató erdők nem vizenyős területen	5,0
3.1.1.4 Nyílt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, vizenyős területen	1,0
3.1.1.5 Lombos erdő ültetvények	5,0
3.1.2.1. Zárt lombkoronájú természetes fenyőerdők	5,0
3.1.2.5 Tűlevelű ültetvények	5,0
3.1.3.1. Szálanként elegyes természetes (lombos és fenyő) erdők zárt lombkoronával	5,0
3.1.3.5. Csoportosan elegyes természetes erdők lombos és fenyő állományokkal, zárt lombkoronával	5,0
3.1.3.9. Elegyes ültetvények	5,0
3.2. Cserjés és/vagy lágyszárú növényzet	
3.2.1.1. Természetes gyep fák és cserjék nélkül	0,6
3.2.1.2. Természetes gyep fákkal és cserjékkel	1,0
3.2.4.1. Fiatalos erdők és vágásterületek	3,0
3.2.4.3. Spontán cserjésedő-erdősödő területek	3,0
3.2.4.4. Csemetekertek, erdei faiskolák	3,0
3.2.4.5. Károsodott erdők	3,0
3.3. Növényzet nélküli, vagy kevés növényzettel fedett nyílt területek	
3.3.3.1. Ritkás növényzet homokon vagy löszön	0,6
3.3.3.2. Ritkás növényzet kőzetkibúvásokon	0,3
3.3.3.3. Ritkás növényzet szikes területeken	0,3
4. Vizenyős területek	

4.1. Szárazföldi vizenyős területek	
4.1.1.1. Édesvizű mocsarak	0,1
4.1.1.3. Szikes mocsarak	0,1
4.1.2.1. Tőzeglápok kitermelés alatt	0,1
4.1.2.2. Természetes tőzeglápok bokrok és fák szórványos előfordulásával	0,1
5. Vízfelületek	
5.1. Kontinentális vizek	
5.1.1.1. Folyóvizek	0,1
5.1.1.2. Csatornák	0,1
5.1.2.1. Természetes tavak	0,1
5.1.2.1.1. Állandó vizű természetes tavak	0,1
5.1.2.1.2 Természetes, időszakos, szikes tavak	0,1
5.1.2.2. Mesterséges tavak, víztározók, halastavak	0,1
5.1.2.2.1 Mesterséges tavak, víztározók	0,1
5.1.2.2.2 Halastavak	0,1



24. ábra: Földhasználati tényező térkép

A térinformatikai elemzéshez a FÖMI által 1999-2003 között készített 1:50000 térbeli felbontású területhasználati kategória térképet használtuk fel. Az Európai Unió megbízásából az adatállomány többszöri frissítésen esett át (2006, 2010, 2012), de a méretarány az egységes uniós előírás miatt 1:100000-re módosult. A területhasználati kategóriák is generalizáláson estek át, így jóval kevesebb kategória került megjelenítésre. A nagyobb felbontás és a belvíz keletkezés szempontjából releváns kategóriák miatt a régebbi adatbázis használata mellet döntöttünk. A *25. ábrán* bemutatjuk szemléltetésképpen a két adatbázis közötti felbontásbeli különbséget. A MEPAR rendszeren belül elkészült egy területhasználati fedvény is (nagy felbontásban), de ehhez az adatbázishoz jelenleg nincs hozzáférésünk.



25. ábra: A CLC50 és a CLC2012 közötti felbontásbeli különbség

A *6. GIS melléklet* tartalmazza a földhasználati tényező ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

4.7 Belvíz-gyakoriság

Az elöntésekre vonatkozó területi adatok alapvetően két, jelentősen eltérő forrásból származhatnak: terepi felvételezésből, illetve távérzékelésből.

A terepi felvételezés során az elöntéseket, illetve azok reprezentatív és/vagy maximális kiterjedését topográfia vagy kataszteri alaptérképeken segítségével, illetve azok felhasználásával foltszerűen próbálták lehatárolni. Jellemző hiba, hogy az elöntési folthatárok csupán közelítő jellegűek. A jelenleg rendelkezésre álló technológia, a terület GPS segítségével történő körbejárása, sajnos a korábbi időszakban nem állt rendelkezésre, geodézia felmérésre pedig nem volt lehetőség ekkora nagyságendben. Kisebb hibaforrást jelent a foltok dinamikájának (kialakulás, felszívódás) követése, ugyanis a területen való folyamatos jelenlét lehetővé tette az egyes foltok jellemző méretének meghatározását. A terepi felvételezésen alapuló elöntési térképek hosszú időszakot fednek le, viszont analóg voltuknak köszönhetően elérhetőségük korlátozott, illetve időbeli fedettségük egyenetlen és/vagy gyakran hiányos.

A távérzékelésen alapuló elöntés térképezés nagy előnye annak viszonylag gazdaságos kivitelezhetősége. A felhasznált digitális alapadatok panoráma tulajdonságából adódóan egyszerre nagy kiterjedésű területek értékelhetők ki egységes módszerekkel. Az

elöntési határok meghatározásának bizonytalanságát jelen esetben a dinamika nehezebb követhetősége okozza. A nagy területekre történő folyamatos adatgyűjtést ugyanis sok tényező nehezíti (meteorológiai tényezők, az elöntés és nedvesség állapot detektálhatósága, távérzékelt alapanyag hiánya, feldolgozás erőforrás igénye, etc.). Emiatt a távérzékelésből származó információk általában pillanatfelvételként értékelendők. A távérzékelésből származó vízborítások azonosításakor nem feltétlenül tesznek különbséget a természetes módon vízzel borított természetes, illetve természetközeli vizes élőhelyek valamint a belvízzel átitatott/borított szántóföldi területek közt, ami gondot jelenthet az elöntési adatok interpretációjánál. A nagy pontosság, illetve a területi lefedettség gyakran az erőforrások racionalizáláshoz vezet, azaz általában egy adott időszakban nem egy teljes, országos felmérés történik, hanem koncentráltan, célirányosan kijelölt (belvízzel sújtott) területekre fókuszálva. És ne feledjük a távérzékelt adatok igazából csak terepi adatfelvétel mellett tekinthetők megbízhatónak.

Mindkét forrásból származó adatsorok felhasználhatók egy terület (illetve az ország) elöntési gyakoriságának jellemzésére, de mindenképpen a fenti korlátozó tényezők figyelembevételével. A terepi felvételezésből származó adatsorok, teljes és körültekintő feldolgozás után szinte bizonyosan jobb becslést adhatnak egy vízügyileg egységesen kezelt területi egység belvízelöntési gyakoriságára, viszont szinte reménytelen vállalkozás egy homogenizált, országos alapállományt összeállítani belőlük (csak hatalmas erőforrás igényű és nagy körültekintéssel megvalósított feladat végrehajtás esetén lehet erre remény). A távérzékelésből származó adatsorok szintén nem tekinthetők sem területileg, sem időben homogénnek és nem is túlságosan hosszú távúak. A FÖMI viszont mintegy másfél évtizede integrálja egy országosan egységes állományban az ezen témakör kapcsán gyűjtött adatokat, amely ennek köszönhetően egyre jobb közelítését adja az elöntési gyakoriságnak (feltételezve egyrészt az adatminőség folyamatos javulását és a hibás interpretációs adatok hosszabb távon történő eliminálódását).

Az elöntések gyakoriságának becslése mindazonáltal mindkét esetben komoly kihívás. Egyrészt mindkét esetben viszonylag rövid távú megfigyelési adatsorok állnak rendelkezésre. A terepi felvételezés esetén ezek ráadásul gyakran hiányosak, illetve digitális feldolgozást igényelnek egy megfelelő elemző munkához. Nagy kihívást jelent mindezeken túl a különböző területekre rendelkezésre álló belvíz elöntési adatok homogenizálása. A FÖMI elöntési adatsor viszont nem fedi a felvételezés egyes időszakaiban a teljes országot. Így a ki nem értékelt területeken előforduló esetleges vízborítottság feldolgozatlan maradhat, ami mindenképpen torzítja az elöntési gyakoriság becsült értékét.

A belvíz-gyakorisági térkép előállítása során a fentiekben ismertetett problémákra tekintettel alapvetően három lehetséges adatforrásból tudtunk dolgozni. Egyrészt a VIZIG-ek által regisztrált belvízelöntési folttérképek alapján végeztük el a térképszerkesztést, mely az Alföld majd egészére megfelelő adatállománnyal bírt, azonban az Alföld É-i peremvidéke (Pest, Heves és Borsod-Abaúj-Zemplén megyék síkvidéki területei), illetve a Dunántúli területekre igen hiányos adatsor áll rendelkezésre. Mindebből kifolyólag

egyrészt a homogenizált belvíz-elöntési adatsor kialakítása érdekében alkalmaztuk a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térképet, másrészt pedig a FÖMI által készített belvíz-gyakorisági adatbázisból (az adatbázis nem áll rendelkezésünkre) egy irányított lekérdezést kértünk az adathiányos területek belvíz-gyakorisági értékeinek pontosításához (Dunántúli területek). Az alábbiakban ismertetjük a belvíz-gyakorisági térkép előállításához felhasznált adatok forrását, a homogenizált belvíz-gyakorisági térkép előállításának menetét, a random mintavételezési eljárásból nyert információk alkalmazási módszertanát, illetve bemutatjuk a végleges belvíz-gyakorisági térképet.

Elöntési térképek feldolgozása

A relatív belvíz-gyakorisági térkép előállításához a vizsgálati területen működő Vízügyi Igazgatóságok által regisztrált belvízi elöntési maximum értékek kontúrjait ábrázoló térképi állományokat dolgozzuk fel (*11. táblázat, 5. melléklet*). Feldolgozásra kerültek továbbá az OVF által rendelkezésre bocsájtott műhold képek kiértékeléséből származó elöntés maximum térképek is.

A papírtérképek elkészítéséhez a VIZIG-ek, a belvízi elöntések észlelését végző csatornaőrök megfigyelései alapján készült rajzokat veszik alapul. A jelentős belvizes időszakokban az elöntések maximális mértékét mérik fel. A felméréseket hagyományosan a térképen is azonosítható tereptárgyakhoz viszonyítva végezik. Az elöntések kiterjedését ezek alapján 1:10000-1:500000 méretarányú térképeken manuálisan rögzítik. A belvíz-gyakorisági térkép elkészítéséhez először a papír alapú elöntési térképek feldolgozását kell elvégeznünk, melynek első lépése a papír térképek szkennelése. A szkennelés során a papír térképről egy digitális alapú „fénymásolat” készül. A szkennelés előkészítő fázisaként a térképeket „alakilag” kell feldolgozható formában hozni. Ki kell javítani a „szakadásokat”. A szkennelés után 300 dpi felbontásban digitális formátumban jönnek létre az elöntési térképek. A raszteres térképek vektorizálása a következő lépés. A vektorizálás során a raszteres állományokból, az elöntések kontúrvonalainak töréspontí koordinátáit határozzuk meg, a kontúrt alkotó sokszögvonal töréspontí koordinátáival. A feldolgozás következő fázisa az elöntések kontúrjainak egységes koordináta rendszerben történő illesztése. Ebben a fázisban az elöntési térképeken előzetesen kijelölt, ismert EOV koordinátával rendelkező illesztési pontokhoz viszonyítva transzformáljuk a kontúrvonalakat az Egységes Országos Vetületi Rendszerbe. A művelet során az illesztési pontok digitalizált megfelelőit beillesztjük az aktuális koordináta értékre, oly módon, hogy a közbenső pontok transzformációját is elvégezzük az ún. „gumilepedő”-eljárás alkalmazásával. Ennek eredményeként abszolút EOV töréspontí koordinátákkal ellátott elöntési térképek jönnek létre. A műveletet valamennyi - fellelhető - elöntési térkép esetében végrehajtjuk. Az eljárás eredményeként a belvízi szituációkhoz kapcsolódóan előállnak az azonos viszonyítási rendszerrel rendelkező belvízi elöntési térképek. A digitális formátumban kapott adatokat is az egységesen használt formátumba hozzuk. Mivel nem homogén az adatelérhetőség a teljes területre, ezért a regressziós elemzéshez külön választjuk a tanuláshoz felhasználható, illetve fel nem használható részt. Azokon a területeken ahol semmilyen adat nem fellelhető, térinformatikai alapú adatgenerálást hajtunk végre

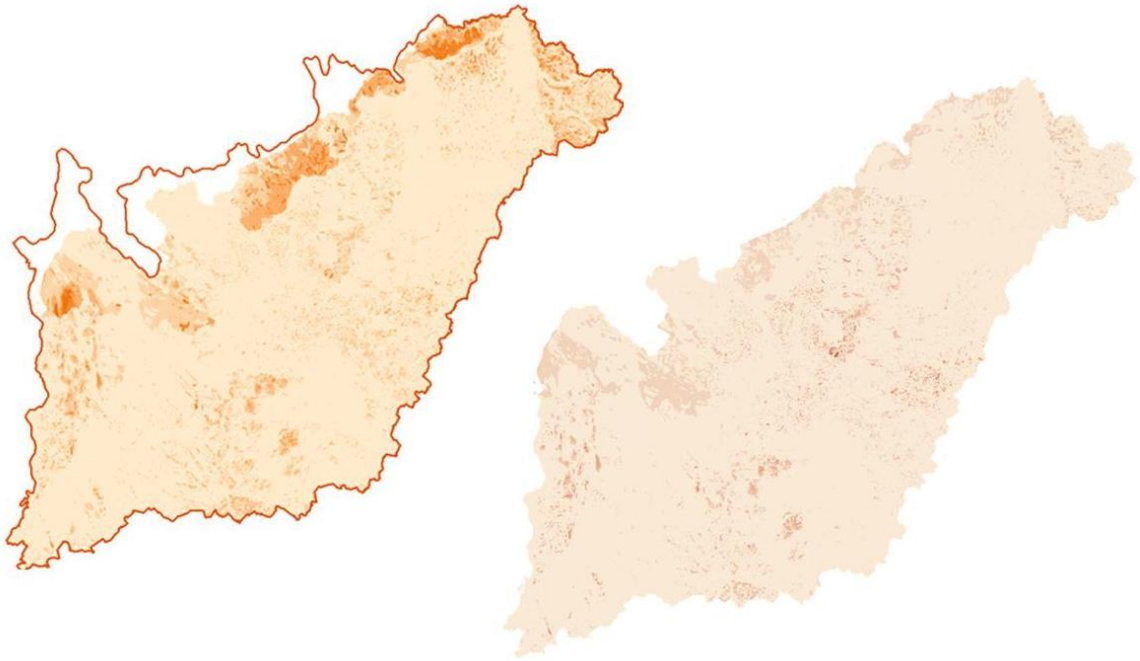
tanulóterületek kijelölésével. Az így előállt vektoros állományok alapján meg lehet kezdeni a gyakorisági összesítő térkép elkészítését. Az évenkénti elöntéseket tartalmazó digitális állományokat, mint rétegeket egy közös állományban dolgozzuk fel.

11. tátblázat: A VIZIG-ek által rendelkezésre bocsájtott belvízelöntési térképek

ATI-VIZIG	KÖ-VIZIG	KÖTI-VIZIG	TI-VIZIG	FETI-VIZIG	ÉM-VIZIG	ADU-VIZIG	ÉDU-VIZIG	NYUDU-VIZIG	DD-VIZIG	KDT-VIZIG	KDV-VIZIG
1957	1957										
1958	1958										
1959											
1962	1962			1962							
1963	1963					1963					
						1964					
1965	1965			1965		1965					
	1966					1966					1966
1967	1967		1967	1967							
1968											
1969						1969					1969
1970			1970			1970					1970
1971						1971					1971
1972						1972					
1973											
1974						1974					1974
1975						1975					
1976											
	1977		1977			1977					1977
1978	1978										
1979	1979	1979		1979							
1980	1980	1980		1980							
1981	1981	1981		1981							
1982		1982									
	1985	1985									
1986	1986	1986									
1987	1987	1987									
		1988									
			1989								
	1991										
1993											
	1996	1996	1996								1996
	1997		1997	1997							
	1998		1998	1998							
1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999				1999	1999
2000	2000	2000	2000	2000		2000					2000
2001		2001	2001								
			2002								
2003	2003	2003				2003					
2004		2004	2004			2004					
	2005	2005	2005			2005					
2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
			2008								
			2009								
2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	
2013	2013	2013	2013	2013	2013						
2014	2014		2014			2014	2014	2014	2014	2014	
2015		2015									

Homogenizált belvízi elöntés gyakoriság

Magyarország síkvidéki területeire referenciaként egy egységes, homogenizált belvízi elöntés relatív gyakoriság térképet kell előállítani. A korábbi megyei állományok nem azonos referencia adatsorok alapján készültek, ezért a legnagyobb kihívást a belvíz elöntések homogenizálása jelenti. A kiindulási alap, hogy az eloszlásokat szűrőfüggvények segítségével áttranszformáljuk egymásba. Ehhez referenciának a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térképet vesszük. Megvizsgáltuk, hogy az egyes régiókban a négy Pálfai-kategóriával jegyzett területek statisztikailag hogyan oszlanak meg, melyet követően vettük az átlagokat. Egy súlyfüggvénnyel variálva a széttartó átlagokat nem sikerült közös mederbe terelni, így a levezetett átviteli függvényt a korábban előállított becsült gyakorisági adatokra vezettük oly módon, hogy a kvartilisekbe eső értékeket beszoroztuk a megfelelő becsült korrekciós értékekkel (*26. ábra, 6. melléklet*).



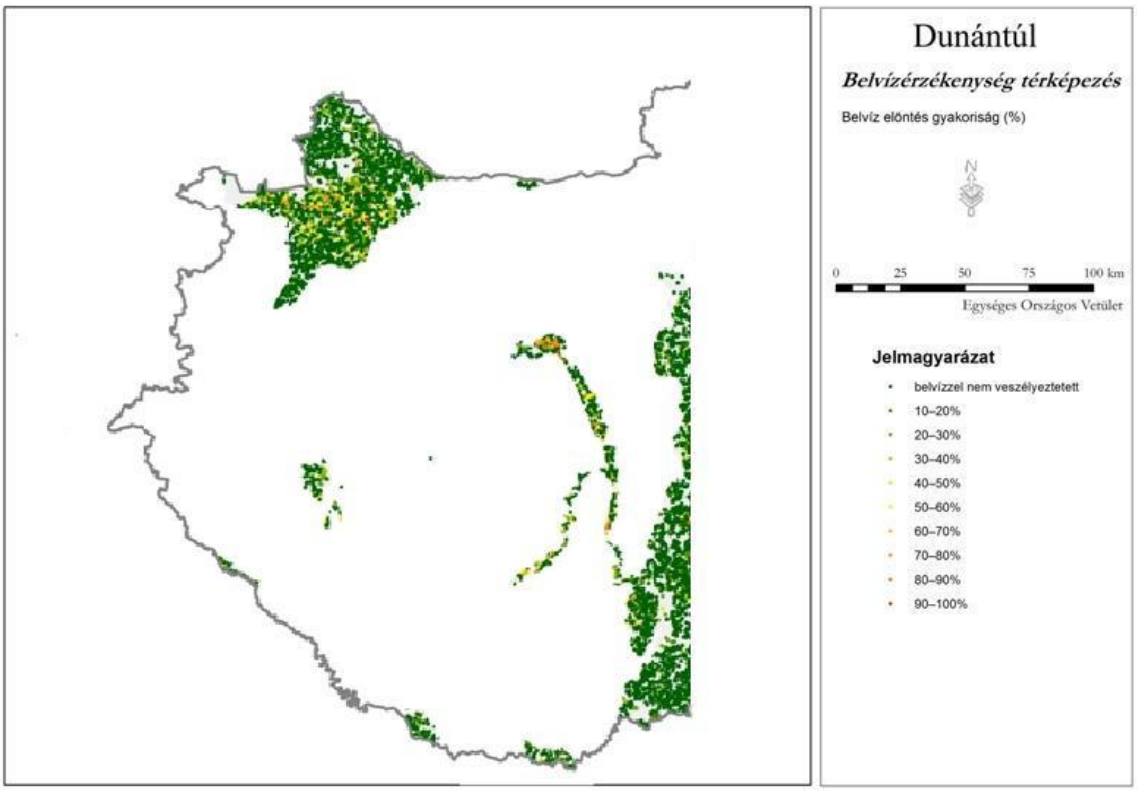
KOD	HB	SzSZB	JNSz	D-A	É-A
1	1	0,5	1	0,6	1,4
2	0,9	0,3	1	0,7	0,15
3	0,85	0,3	1	0,55	0,12
4	1	0,3	1	0,52	0,08

26. ábra: Homogenizált elöntés térképek

Random mintavételi eljárás

A Dunántúl területére eső belvíz-védelmi szakaszok esetében a gyakorisági térkép szerkesztésének egy eltérő módszerét kellett alkalmazni. Ezeken a területeken csak kisszámú elöntési eseményről készült folttérkép a vízügyi igazgatóságokon. A meglévő anyagok is területileg elszórtak, és nem fedik le a teljes vizsgálati területet. A legutóbbi mértékadó belvíz elöntésekről készült a FÖMI által szerkesztett műhold kép kiértékelés. A szórványos adatok nem tették lehetővé, hogy az Alföldhöz hasonló homogenizálási eljárást alkalmazzuk.

A problémára a megoldást a FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekről készült műholdkép kiértékelések alapján készült adatbázis jelentette. A relatív gyakorisági értékeket tartalmazó digitális térbeli adatbázisból a regresszióhoz általunk random kijelölt tanulópontokban gyakorisági értéket rendeltek (*27. ábra*).

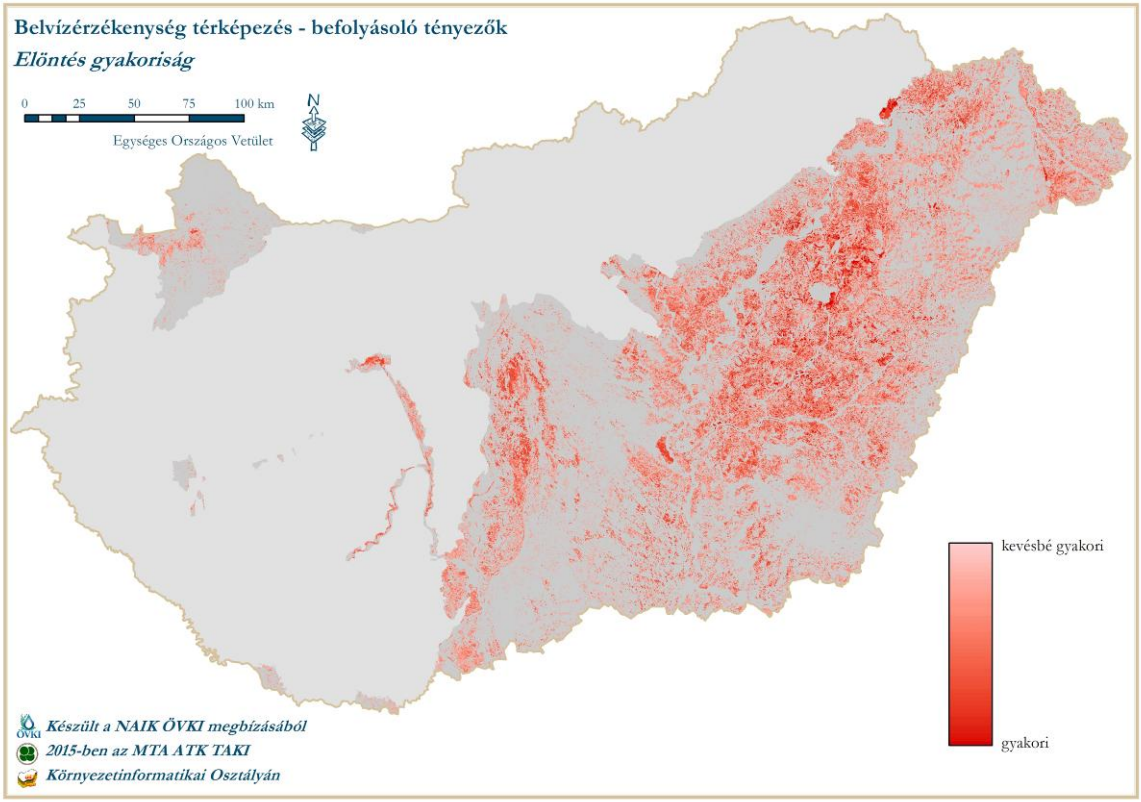


27. ábra: Random tanulópontok a FÖMI adatbázisából

A kapott ponthalmaz térbeli kiterjesztése krigeléses módszerrel történt. Ezen módszer alkalmazásával az Alföldi területek normalizált gyakorisági térképéhez hasonló minőségű térképet kaptunk a lineáris regresszió elvégzéséhez.

Belvíz-gyakorisági térkép

A belvíz-gyakorisági térkép megszerkesztése komoly kihívást jelentett, amelynek végső eredményét az *28. ábra* szemlélteti (*19. térkép melléklet*). Gyakorlati tapasztalat, hogy a rendelkezésre álló információk számos hibával terheltek, amelyek egységes kiküszöbölése, szinte vállalhatatlan feladatot jelent. A műholdfelvételek egységes metodikai alapokon nyugvó kiértékelése lehet jövőbeli irány, azonban a terepi felvételezések (kézi, drón) elhagyása hibás következtetésekhez vezethetnek.



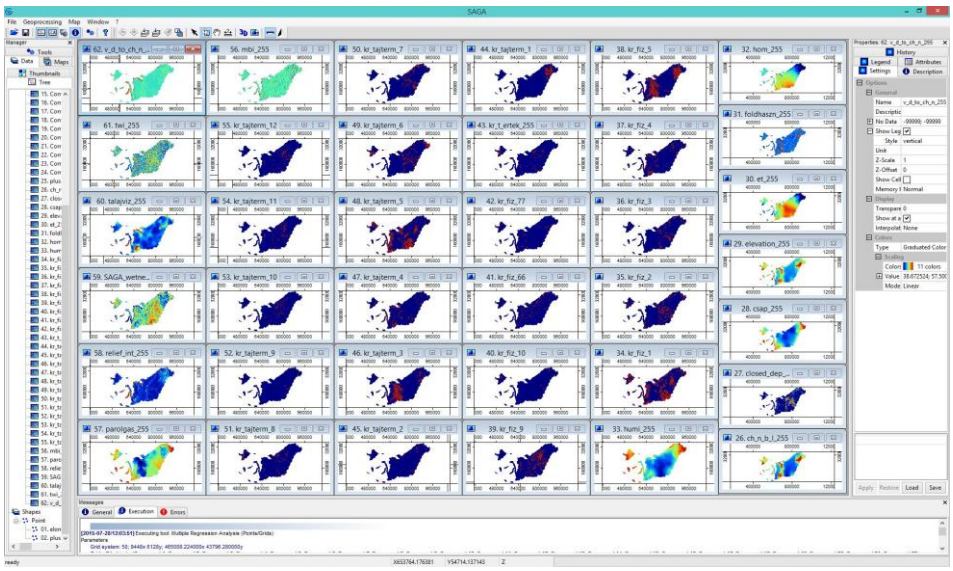
28. ábra: Belvíz-gyakorisági térkép

A *7. GIS melléklet* tartalmazza a belvíz-gyakorisági térképezés során felhasznált alap és származtatott adatok ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

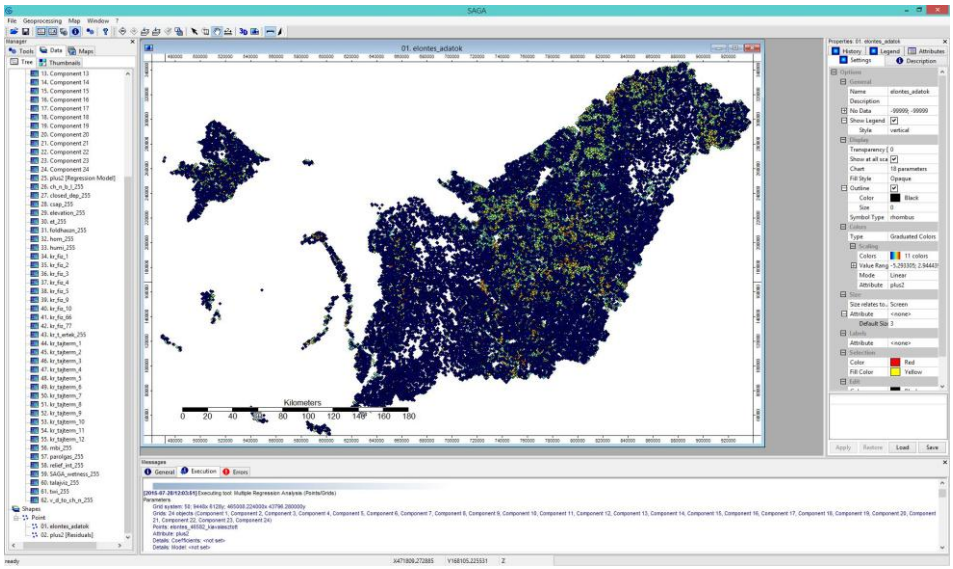
5. KOMPLEX BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI VALÓSZÍNŰSÉG (KBV)

A területi regressziós vizsgálatok során megvizsgáljuk, hogy a befolyásoló tényezők milyen súllyal vesznek részt a belvíz-veszélyeztetettség kialakításában. Ehhez alkalmazunk kétváltozós, illetve többváltozós regressziós vizsgálatokat, ahol a „függő” változók minden esetben a belvíz-gyakorisági értékek.

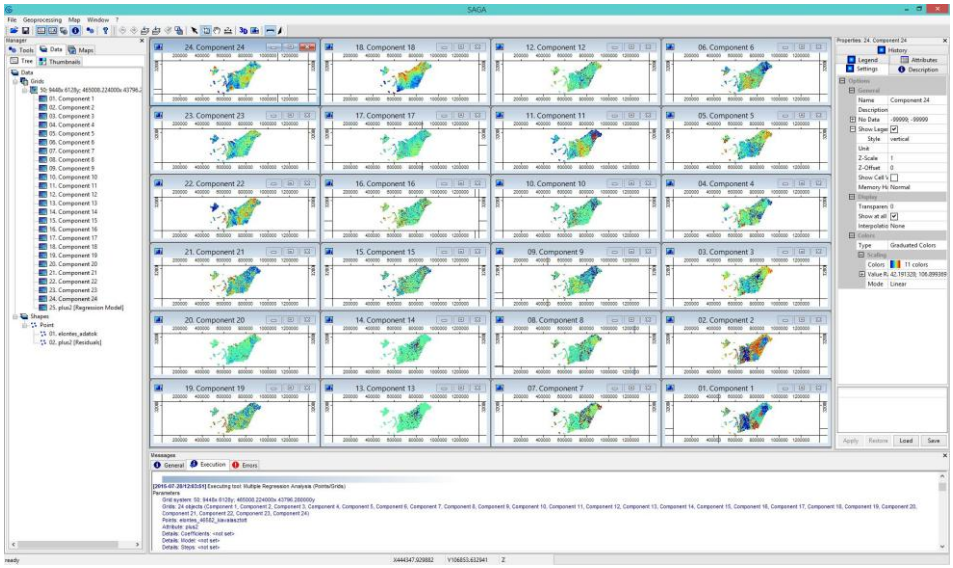
Módszertanunk alapján 100.000 véletlenszerűen elszórt pontban nézzük meg az egyes tényezők értékeit (*29. ábra*), illetve az elöntési adatot (*30. ábra*). A 100.000 pontban vett mintasokaság képezte a statisztikai elemzés alapját. Egy főkomponens elemzés (*31. ábra*) előzi meg a többváltozós lineáris regressziót (*32. ábra, 7. melléklet*), ami az adatok multikollinearitása miatt szükségszerű. Ezzel lineárisan függetlenné tettük a regressziós elemzésbe beléptetett független (az eredeti tényezők szintén lineáris kombinációjaként előálló) változókat, ami annak alkalmazhatóságának elvi feltétele.



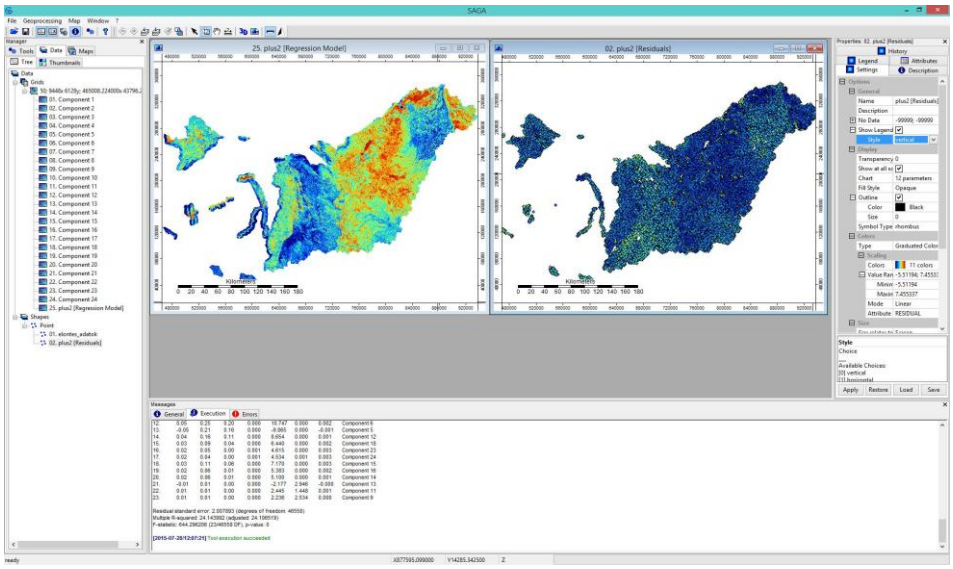
29. ábra: Transzformált környezeti segédváltozók



30. ábra: Elöntési adatok mintavételezése



31. ábra: Főkomponensek



32. ábra: Többváltozós lineáris regresszió

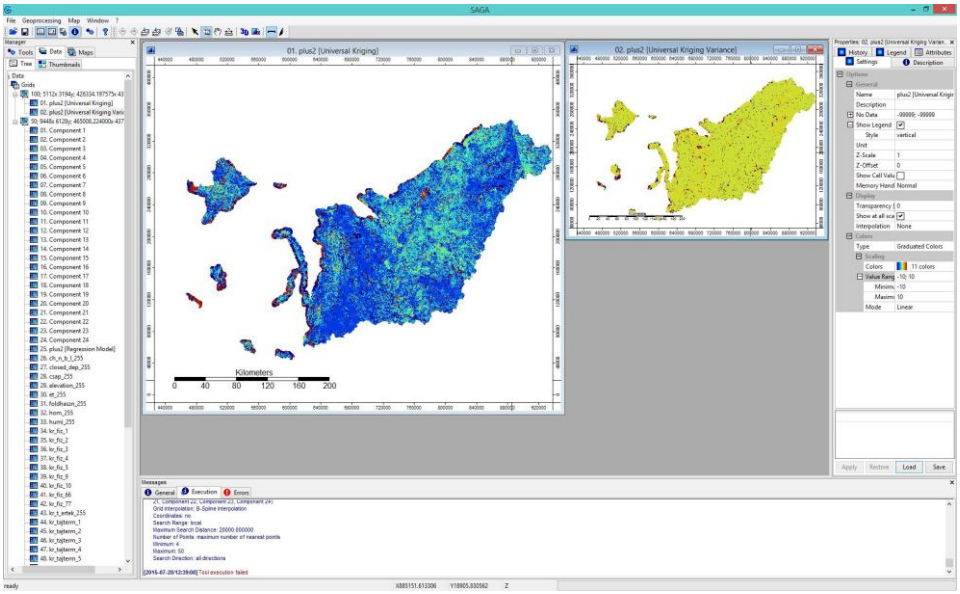
Referenciaként egy egységes, konzisztens belvízi elöntés relatív gyakoriság állományra volt szükség. Ehhez egyrészt a rendelkezésre álló homogenizált belvíz-gyakorisági értékeket vettük alapul (Alföld), másrészt pedig a FÖMI által másfél évtizede távérzékeléses alapon gyűjtött adatok integrált állományát vettük igénybe, mivel ez egy országosan egységes közelítését adja az elöntési gyakoriságnak (elsősorban a Dunántúli területeken).

A regresszió krigelés elvégzéséhez szükséges pontszerű, numerikus, referencia adatokat többszörös, virtuális mintavétel segítségével állítottuk elő az Alföldön. A Dunántúli területeket illetően a FÖMI adatbázis egyszeri lekérdezése alapján eloszlás mintázatot generáltunk. A mintavételezés feltételrendszere a következő volt:

- első közelítésben 100.000 mintavételi pont kiszórását tűztük ki;
- referenciaként figyelembe vettük az OVF által átadott, négy évre vonatkozó elöntési adatok összegzése alapján elkészült állományt;

- az ezen állomány által azonosított, egyes elöntési gyakoriságú területeket azok területi eloszlása alapján mintáztuk;
- kizártuk, hogy 100 méternél közelebb essenek mintavételi pontok;
- kizártuk a települések belterületét, illetve a nyílt vízfelszíneket (folyók, tavak, stb.).

A referencia elöntési gyakoriság adatsort két részre bontottuk egy tanuló (90%) és egy validáló állományra. A tanuló állományon végeztük el a regresszió krigelést először 100 méteres felbontású segédadatokkal, majd az eredmény kiértékelése után nagyobb felbontásban is (50 méteres gridekre). A végső elemzéshez összesen 10 referencia és 5 validáló pontkészletet használunk. Az elemzéshez a regresszió krigelést alkalmazzuk (*33. ábra*), melynek eredménye a belvízi elöntés gyakoriságára becslést adó, 50x50 méter cellaméretű térkép. Minden teszt adatrendszerrel elvégzett regresszió krigelést minden validáló adatsorral ellenőrzünk. Ezek összesítése alapján választhatjuk ki a végelegesnek tekintendő térképi állományt, amelynek térbeli megbízhatóságára is mindjárt becslést kaptunk.



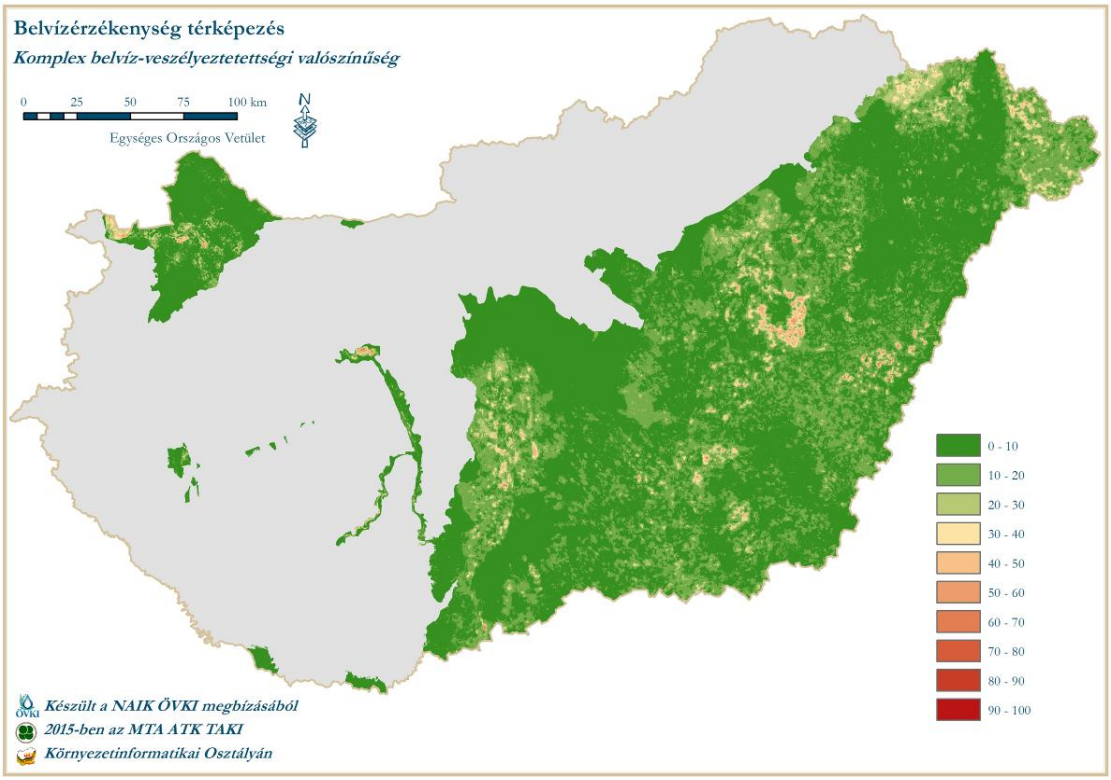
33. ábra: Regresszió krigelés eredménye és varianciája

Az ÁKK szimulációs metodika alapján párhuzamot vonva az árvízi veszélyeztetettség fogalmával a belvíz-veszélyeztetettség alatt azt a valószínűségi változót értjük, ami statisztikailag értelmezhető formában megadja, hogy adott területen (pl. térképi cellában) mekkora eséllyel következik be a vizsgált hidrológiai szélsőség. Tehát ebben a felfogásban a belvíz-veszélyeztetettség egy százalékosan megadott valószínűségi számérték.

A regresszió krigelés eredménye a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség (KBV) térkép (*34. ábra, 20. térkép melléklet*), mely alapján megállapítható, hogy az ország síkvidéki területeinek igen jelentős hányadát veszélyezteteti belvízi elöntés.

A belvízzel leginkább veszélyeztetett területek kisebb-nagyobb foltokban szétszórva, de főleg a folyóvölgyek legmélyebb részein helyezkednek el. Igen jelentősen veszélyeztetett térség az Alföldön a Felső-Tisza környéki tájak (Bereg, Tisza-Szamos köz, Szamos-Kraszna köz, Rétköz, Bodrogköz, Taktaköz), továbbá a Hortobágy melléke, a

Jászság és a Nagykunság tekintélyes része, a Körösök vidéke, az Alsó-Tisza völgye, valamint a Duna-Tisza közi hátság nyugat pereme (a Duna-völgyi főcsatorna melléke). Megfigyelhető az egyezés a folyószabályzás előtti vízjárta területekkel. A Kisalföldön a Fertő-Hansági táj tartozik ide, míg a Dunántúl többi részén csak egészen kis területek, pl. a Sárvíz mentén. Belvízzel kevésbé veszélyeztetett zónát találunk elsősorban a hátsági jellegű területeken (Duna-Tisza közi hátság, Nyírség), azonban pl. a Békés-Csanádi löszhát esetén foltszerűen kialakulhatnak belvízi elöntések a talajvízfeltörés (földárja) jelenségének köszönhetően. Ez a jelenség az Északi középhegység hegylábi térszínein is jelentkezik.



34. ábra: Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség

A Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség területi arányait a *12. táblázat* szemlélteti.

12. táblázat: A KBV területi arányai

KBV	terület (km^2)	területi arány (%)
0-10%	29402	63,56
11-20%	13642	29,49
21-30%	2169	4,69
31-40%	655	1,42
41-50%	279	0,60
51-60%	90	0,20
61-70%	17	0,04
71-80%	2	0,00
81-90%	0	0,00
91-100%	0	0,00
Összesen	46257	100,00

A *8. GIS melléklet* tartalmazza Magyarország belvízvédelmi szakaszaira vonatkozó belvíz-veszélyeztetettségi térképének ArcGIS Shape és GeoTiff állományait.

6. ÖSSZEGZÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen feladat, alvállalkozási szerződés keretében az „Árvízi kockázati térképezés és stratégiai kockázatkezelési terv készítése" (KEOP-2.5.0/B/09-12-2013-0001) pályázathoz kapcsolódóan került kidolgozásra. Az ÁKK 2014 Konzorcium a korábbi egyeztetéseknek megfelelően felterjesztette a tárgyi feladatrész tematikai javaslatát, amit a megbízó OVF 2015. március 5-én jóváhagyott. A jóváhagyott tematika megvalósítására az ÁKK 2014 Konzorcium részéről a VIZITERV Environ Kft. szerződést kötött 2015. március 11-én a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központtal (NAIK) „Kedvezőtlen vízgazdálkodási állapotú mezőgazdaságilag művelt területek nagy felbontású belvíz-veszélyeztetettségi térképezése Magyarország síkvidéki területein (Alföld, Kisalföld, szórvány területek)" címmel. Felelős: NAIK Öntözési és Vízgazdálkodási Önálló Kutatási Osztály (NAIK ÖVKI, 5540 Szarvas, Anna-liget 8.). Teljesítési határidő: 2015. augusztus 3.

Magyarország belvíz-veszélyeztetettségi térképének elkészítéséhez a következő 6 fő tényezőt, illetve segédváltozóit választottuk ki: hidrometeorológiai tényező, domborzati tényező + 8 segédváltozó, talajtani tényező + 3 segédváltozó, földtani tényező + 2 segédváltozó, talajvíztényező, földhasználati tényező. Minden tényezőt egyetlen számértékkel jellemeztünk, olyan számmal, amely véleményünk szerint legjobban kifejezi az adott tényezőnek a belvízképződésben játszott szerepét.

Hidrometeorológiai tényezőként a humiditási indexet alkalmaztunk, amely a téli félévi csapadékok súlyozott figyelembevételével számított évi csapadékösszeg és a lehetséges párolgás arányának, illetve ½-ik arányának 10%-os előfordulási valószínűségi értéke. A belvízi veszélyeztetettség arányos a humiditási index-szel, azaz annál nagyobb, minél nagyobb az index értéke.

A *domborzati tényező* előállításához 1:10000-es HIDRODEM-et használtunk és meghatároztuk az egyes cellákra a reliefenergia értéket, vagyis az 1 km^2-en belüli magassági szintkülönbséget méterben kifejezve. Minél nagyobb ez a szintkülönbség, általában annál kisebb lehetőség van a belvíz kialakulására. A domborzati tényező kialakításához a kapott értékeket a diszkrét pontok tengerszint feletti magasságával és az előforduló legkisebb magasságértékkel korrigáltuk. Környezeti segédváltozóként alkalmaztuk a következő fedvényeket: tengerszint feletti magasság; lefolyás hálózati alapszint; lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság; zárt mélyedések; anyagmérleg index; topográfiai nedvesség index; SAGA nedvesség index.

A *talajtani tényező* a talaj víznyelőképességével arányos szám, melynek meghatározásában és pontosításában nagy előrelépést jelentett a teljesen elkészült Kreybig-féle digitális talajtérkép. A Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriarendszer és a Kreybig-féle talajfizikai osztályok korrelációja lehetővé tette a DKTiR térképi talajfoltjainak a becsült víznyelési sebességgel való jellemzését. Ahhoz, hogy a készülő belvíz-érzékenységi térkép ne veszítse el kapcsolatát a korábban kidolgozott, Várallyay-féle 9 talaj-vízgazdálkodási kategóriával összhangba hozott 1:25000-es adatállománnyal, a tájtermesztési térképek kategóriarendszerét néhány összevonással, illetve kiegészítéssel hozzákapcsoltuk a Várallyay-féle osztályokhoz. A talajtani mutató meghatározásához

használt környezeti segédváltozók (3): a talajok fizikai, kémiai és tájtermesztési besorolása a Kreybig térképezés módszertana alapján. Minél kisebb a belvízi veszélyeztetettség, annál nagyobb a talajtani tényező értéke.

A *földtani tényezőt* két szempont, a vízzáróréteg vastagsága és a vízzáróréteg felszíntől való mélységének függvényében határoztuk meg, melyeket egyben környezeti segédváltozóként is alkalmaztunk. A belvíz előfordulásának valószínűségét a legfelső vízzáró réteg felszínhez viszonyított helyzete és vastagsága növelheti, vagy csökkentheti. A belvíz előfordulásának a legnagyobb a valószínűsége, ha a legfelső vízzáró réteg a felszínen található, és jelentős vastagságú. Minél nagyobb a földtani mutató értéke, annál kisebb a belvízképződés lehetősége.

A *talajvíz tényező* meghatározásának módszertanát kissé módosítottuk, ugyanis a statisztikai vizsgálatok „korlátozottságára" tekintettel a kutak egyenkénti átvizsgálása jelentette a megoldást. Ezzel az igen aprólékos módszerrel ki tudtuk szűrni az ún. működési zavarokat, melyeket mérlegelve döntöttük el a kútadatsor vizsgálatba vonását, esetenként az adatsor elvetését. Meghatároztuk a 40 éves adatsorok 4 maximális LNV értékeinek átlagát. Ezt követte a talajvízértékek domborzathoz való igazítása, melyet egy ko-krigelésnek nevezett eljárással hajtottunk végre. Minél nagyobb a talajvíz tényező értéke, vagyis minél mélyebben van a talajvíz, annál kisebb a belvízképződésnek a lehetősége.

A *földhasználati tényezőt* a CORINE Landcover CLC50 területhasználati kategóriáiból vezettük le és használtuk fel a földhasználati tényező előállítására. Minél kisebb a belvízi veszélyeztetettség, annál nagyobb a földhasználati tényező értéke.

Egy homogén adatbázissal rendelkező *belvíz-gyakorisági térkép* megszerkesztése komoly kihívást jelentett. Alapvetően három lehetséges adatforrásból tudtunk dolgozni. Egyrészt a VIZIG-ek által regisztrált belvízelöntési folttérképek alapján végeztük el a térképszerkesztést, mely az Alföld majd egészére megfelelő adatállománnyal bírt, azonban az Alföld É-i peremvidéke (Pest, Heves és Borsod-Abaúj-Zemplén megyék síkvidéki területei), illetve a Dunántúli területekre igen hiányos adatsor áll rendelkezésre. Mindebből kifolyólag egyrészt a homogenizált belvíz-elöntési adatsor kialakítása érdekében alkalmaztuk a Pálfai-féle belvíz-veszélyeztetettségi térképet, másrészt pedig a FÖMI által készített belvíz-gyakorisági adatbázisból (az adatbázis nem áll rendelkezésünkre) egy irányított lekérdezést kértünk az adathiányos területek belvíz-gyakorisági értékeinek pontosításához (Dunántúli területek). Gyakorlati tapasztalat, hogy a rendelkezésre álló információk számos hibával terheltek, melyek egységes kiküszöbölése szinte vállalhatatlan feladatot jelent. A műholdfelvételek egységes metodikai alapokon nyugvó kiértékelése lehet jövőbeli irány, azonban a terepi felvételezések (kézi, drón) elhagyása hibás következtetésekhez vezethetnek.

Módszertanunk alapján a *belvíz-veszélyeztetettségi térkép* szerkesztéséhez alkalmazott regressziós eljárás során a „független" változók a belvízképződést befolyásoló kiválasztott tényezők, míg a „függő" változó a tényleges belvíz-elöntési adatok alapján szerkesztett belvíz-gyakorisági térkép, más szóval az elöntés relatív gyakorisága. A dunántúli sík vidéki területek esetén nem állt rendelkezésre megfelelő számú elöntési

térkép, ezért az összesített elöntés térképi állománya egyrészt a rendelkezésre álló elöntés adatokból, illetve a Pálfai-féle felparametrizált elöntési adataiból, másrészt pedig a FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekből készített műholdkép kiértékelések alapján készült adatbázis általunk kijelölt random tanulópontokban mért elöntés gyakorisági értékekből adódik. A belvíz-veszélyeztetettségi térképezés (Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató továbbfejlesztett változata => Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség, KBV) jelen munka során egy, a környezeti modellezésben egyre több területen bizonyító geostatisztikai módszer, a regresszió krigelés alkalmazásával történt. Ennek során a vizsgált tényező térbeli változását a térbeli interpoláció mellett a vele közvetett vagy közvetlen kapcsolatban álló segédváltozók figyelembe vételével modellezzük. A regresszió krigelés során a térképezendő tulajdonságot először a környezeti változók többváltozós regressziójával becsüljük, majd a modellezett értékek és az adatok közötti eltérések térbeli kiterjesztése krigelési eljárással történik. A regressziós modellek, illetve a reziduumokon alapuló krigelési becslő eljárás eredőjeként kaptuk meg Magyarország síkvidéki területeire vonatkozóan az elöntés-gyakoriság térbeli becsléseit, azaz a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűséget (KBV).

Az ÁKK szimulációs metodika alapján párhuzamot vonva az árvízi veszélyeztetettség fogalmával a belvíz-veszélyeztetettség alatt azt a valószínűségi változót értjük, ami statisztikailag értelmezhető formában megadja, hogy adott területen (pl. térképi cellában) mekkora eséllyel következik be a vizsgált hidrológiai szélsőség. Tehát ebben a felfogásban a belvíz-veszélyeztetettség egy százalékosan megadott valószínűségi számérték.

A regresszió krigelés eredménye a Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség (KBV) térkép, mely alapján megállapítható, hogy az ország síkvidéki területeinek igen jelentős hányadát veszélyezteteti belvízi elöntés.

A belvízzel leginkább veszélyeztetett területek kisebb-nagyobb foltokban szétszórva, de főleg a folyóvölgyek legmélyebb részein helyezkednek el. Igen jelentősen veszélyeztetett térség az Alföldön a Felső-Tisza környéki tájak (Bereg, Tisza-Szamos köz, Szamos-Kraszna köz, Rétköz, Bodrogköz, Taktaköz), továbbá a Hortobágy melléke, a Jászság és a Nagykunság tekintélyes része, a Körösök vidéke, az Alsó-Tisza völgye, valamint a Duna-Tisza közi hátság nyugat pereme (a Duna-völgyi főcsatorna melléke). Megfigyelhető az egyezés a folyószabályzás előtti vízjárta területekkel. A Kisalföldön a Fertő-Hansági táj tartozik ide, míg a Dunántúl többi részén csak egészen kis területek, pl. a Sárvíz mentén. Belvízzel kevésbé veszélyeztetett zónát találunk elsősorban a hátsági jellegű területeken (Duna-Tisza közi hátság, Nyírség), azonban pl. a Békés-Csanádi löszhát esetén foltszerűen kialakulhatnak belvízi elöntések a talajvízfeltörés (földárja) jelenségének köszönhetően. Ez a jelenség az Északi középhegység hegylábi térszínein is jelentkezik.

A tanulmányban bemutatott valamennyi térkép digitális ArcGIS Shape és GeoTiff állománya a Megrendelő részére átadásra került, illetve a NAIK ÖVKI archívumában is megtalálható.

7. A BELVÍZ-VESZÉLYEZTETETTSÉGI TÉRKÉP FEJLESZTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

A belvíz-veszélyeztetettségi térképezés még számos fejlesztési lehetőséget rejt magában. Az egyes tényezők és környezeti segédváltozók meghatározásánál és térképre szerkesztésénél az adatok megbízhatósága nagymértékben függ az adatok forrásától és a feldolgozás módszerétől. A szintézistérképünket elsősorban megyei léptékű vizsgálatok elvégzésére alkalmazzuk, azonban az alapadatok finomításával lokális szintű vizsgálatok elvégzésére is alkalmassá tehető. A NAIK ÖVKI által kialakított módszertanban megvan a lehetőség új tényezők alkalmazására megfelelő minőségű adatbázisok esetén, azonban „újabb" adatbázisok felhasználására a következő ütemben kerülhet sor.

Hidrometeorológiai tényező

A hidrometeorológiai tényező igen jól kifejezi a területek humiditási jellemzőit, azonban további segédváltozók integrálásával növelhető a veszélyeztetettségi térkép érzékenysége, úgymint csapadék minimumok és maximumok (március-áprilisi, április-júniusi, novemberi-februári), a középhőmérsékleti minimum és maximum értékei, a november-februári hőösszeg minimuma és maximuma, a november-februári összegzett hő hiánya, az éves átlagos párolgás és az éves átlagos evapotranspiráció. A tényező térbeli kiterjesztésében is van lehetőség a fejlesztésre. Jelenleg a HUMI 68 állomás adatsorának extrapolálására épül, de bevonhatók olyan országos, nagy felbontású adatbázisok, melyek egy nagyságrendekkel nagyobb jobb eredményt adnak. Az Országos Meteorológiai Szolgálat 4 szögperces felbontású hőmérséklet és csapadék adatainak felhasználásával és a jelenleg is nagy hatékonysággal használt felparametrizálási eljárással, egy nagy részletességű térbeli adatbázist lehet létrehozni.

Domborzati tényező

A FÖMI által forgalmazott 1:10000-es Digitális Domborzati Modell, illetve az OVF által korrigált és fejlesztett HIDRODEM alkalmas arra, hogy lokális vizsgálatokat végezzünk. Azonban meg kell jegyeznünk, hogy a regionális vizsgálatok esetében is a DDM-ből levezetett domborzati tényező meghatározó jelentőségű, ugyanis arra kell törekednünk, hogy a befolyásló tényezők minél pontosabb meghatározásával a lehető legpontosabb belvíz-veszélyeztetettségi térképet állítsuk elő. Ilyen megfontolásból lokális vizsgálatok esetén érdemes LIDAR felvételekkel tovább pontosítani a DDM-et. A belvíz összegyülekezés szempontjából a subdeciméteres felbontás lenne az ideális, de a nagy tömegű adat miatt ez elsősorban a lokális vizsgálatok során kerülhet előtérbe.

Talajtani tényező

A talajtani paraméterek a regressziós vizsgálatok során igen jó eredményt adtak. A további pontosításukra a lokális léptékű felmérések esetén van lehetőség, a talajtani térképezés során vizsgált talajszelvények fizikai és kémiai eredményeinek és rétegsor adatinak figyelembe vételével.

Földtani tényező

A földtani tényező térképnél, az osztályozásnál alkalmazott mutatók számértékeit lehet pontosítani. A jelen felmérés során felmerültek kérdések a földtani térkép egyes elemeinek helyességéről, a sekélyföldtani kutatófúrások térbeli elhelyezkedése és a térképezési módszerek azonban a későbbiek során is hasonló eredményeket adtak. Az anomáliák kiküszöbölésére a terepi felmérés adhat lehetőséget. . Az 1:200000 méretarányú sekélyföldtani térképezés során az előre meghatározott mintasűrűséggel létesült kis mélységű fúrások adatait dolgozták fel. Azonban nem minden fúrás került feldolgozásra, valamint jelentős felmérések készültek a közelmúltban is. A tényezőtérkép felbontása jelentősen javítható ezen fúrások laboratóriumi adatainak bevonásával. Szintén a pontosítást szolgálhatja a felparametrizálási eljárás.

Talajvíz tényező

A talajvíz tényező pontosabbá tétele csak úgy oldható meg, ha felhasználunk minden olyan fellelhető adatbázist, amely viszonylag jól tükrözik a szélsőségeket. Különösen fontos környezeti segédváltozó lehet az áramlási rendszerek integrálása a módszertanba, illetve a feláramlási területek lehatárolása (talajvízfeltörés) és kellő súllyal történő figyelembe vétele. Mindezeken túl a talajvíz adatsorok statisztikai vizsgálata bizonyította, hogy segédváltozóként alkalmazható a talajvíz évi átlag minimum értéke, illetve a havi maximum és minimum értékek (február, március, április, június, július).

Földhasználati tényező

A földhasználati tényező szerkesztéséhez a CORINE LANDCOVER 1:50000-es állományát használtuk fel mely 1999-2003 között került felmérésre. Vizsgálataink során megnéztük a 2012-es CORINE adatbázis használhatóságát is, azonban a felbontása az EU-s előírásoknak megfelelően 1:100000-re módosult, így a belvíz-veszélyeztetettségi térképezés szempontjából a részletesebb CLC50-es adatbázissal dolgoztunk. A MEPAR parcella alapú támogatási rendszerhez használt ortofotó térképek egyrészt jelentősen jobb felbontást eredményezhetnek a területhasználati típusok térképezésénél – melyhez jelenleg nincs hozzáférésünk –, másrészt pedig a területhasználatok változásának nyomon követését is biztosítaná. A formálódó Öntözési Kataszter Program adatbázisa mindenképpen komoly előrelépést jelenthet a rendszeresen öntözött, illetve az öntözésre berendezett területek vizsgálatba vonásában. Szükségszerű a meliorált területek adatainak feldolgozása is, melynek adatbázisa jelenleg még nem egységes, így a művek állapota és jelenlegi hatásfoka nem ismert, ami csak részletes terepi megfigyelésekkel lehetne pontosítani. A belvízelvezető, öntöző és kettős funkciójú csatornák a belvízi elöntések területi kialakulását jelentősen befolyásolhatja, mivel a gyakorisági értékek a nyomvonalak mentén megnőttek. A csatornák aktualizált fedvényét alkalmazhatjuk a területhasználati térkép módosítására is. Ennek alapján érdemesnek látjuk az ideiglenes belvíztározók hatását is vizsgálatba vonni. A területi vízháztartás szempontjából meghatározó jelentősége van a természetvédelmi és NATURA2000-es területek vizsgálatba vonásának is. Az agrotechnikai beavatkozások (lazítás, mélyszántás) számbavétele és területi interpretációja mindenképpen meghatározó jelentőségű a belvíz-veszélyeztetettségi térképezésben.

Belvíz-gyakoriság

Az elöntés-gyakorisági térkép hagyományosan a vízügyi igazgatóságok terepi felmérései alapján készült. A felszíni vízborítás nagyságrendi becslésére alkalmas, azonban a módszer igen szubjektív, és csak a nyílt vízfelületeket képes ábrázolni. A távérzékelés, elsősorban a légifényképezés és a műholdas távérzékelés lehetőséget teremt a vízfoltok pontos felmérésére, és a növénytermesztés korlátozó nedvességtartalmú (kétfázisú) területek elkülönítésére is (pl.: FÖMI által a Mezőgazdasági Kárenyhítési Program keretében 1998-2014 közötti elöntési eseményekről készült műholdkép kiértékelése). A LANDSAT műholdak TM képalkotó rendszere és rövid visszatérési ideje (azonos terület két egymás követő felvételezése közötti idő) miatt elemzésre alkalmas képeket készít. A térbeli felbontása 30x30 méter, ami inkább középszintű feldolgozást tesz lehetővé. A lokális vizsgálatokhoz felhasználhatóak az IKONOS, SPOT és a QUICKBIRD holdak felvételei, de ezek igen költségesek. Nagy előnye a műholdfelvételeknek a könnyű feldolgozhatóság (digitális formátumban is hozzáférhetőek) térinformatikai és képelemző szoftverekkel. A légifényképezés során készített kézi és mérőkamarás felvételek digitalizálás és megfelelő transzformálás után szintén alkalmasak a belvízelöntések pontos felmérésére. Nagy előnye a műholdakkal szemben egyrészt a gazdaságosság, másrészt pedig pontosan, a maximális elöntés idején készíthető a felvételezés. Az ilyen módszerrel készült belvízelöntés térképek összevetése a digitális domborzati modellel lehetőséget teremthet a korábbi kéziratos térképek pontosítására és az elöntések területváltozási tendenciáinak felismerésére is. A rendszer produktivitása korlátozott ezért leginkább a lokális vizsgálatok során lehet felhasználni. A belvíz-gyakorisági térkép pontosítása elsősorban a regresszió krigelési eljárás során alkalmazott random mintavételezés során nyújthatna pontosabb információkat (gyakorisági értékeket). Mindezek alapján egy egységes, országos elöntési adatbázis kialakítása szükségszerű követelmény. Ebben egyesíteni kellene a kétféle módszerrel gyűjtött (terepi felvételezésből, illetve távérzékelésből származó) elöntési adatokat. Ehhez szükség lenne a terepi felvételezésből származó elöntési térképek koordinált, harmonizált, egységes módszertanon alapuló, digitális feldolgozására. További lehetőség lenne az elöntési adatok gyűjtésének kibővítése. A Komplex Mezőgazdasági Kockázatkezelési rendszer keretében például a belvizek területi megjelenésére vonatkozó kárbejelentések hosszabb távú gyűjtése is jól hasznosítható referencia adatállományt szolgáltathat. Fontos kutatási feladat lenne a három különböző forrásból származó adatok egységesítésének kidolgozása.

Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Valószínűség

A KBV alapvetően a közelmúltbeli állapotokat tükrözi. Az adatmodell (elsősorban a peremfeltételek és a paraméterezés) módosításával a jelenlegitől lényegesen eltérő viszonyok vizsgálata is lehetséges. Így mód van beavatkozások hatásainak vagy a vízkészletek jövőjére vonatkozó feltételezések elemzésére is. A vízkészletek jövőbeli állapotát számos különböző hatótényező alakítja. Ezek elsősorban az éghajlati viszonyokhoz, a vízgazdálkodáshoz (vízkormányzás) és a területhasználathoz köthetőek.

Előrejelzések egy-egy tényező esetében is csak jelentős bizonytalansággal tehetőek, így a hidrológiai viszonyokra tett egyértelmű predikció értelmetlen. Ugyanakkor a „mi történne, ha…" jellegű felvetések megválaszolása elősegítheti a tervezést. Leegyszerűsítve az ilyen kérdések, azaz a hatótényezők jövőbeli alakulására tett feltevések összessége értelmezhető vízgazdálkodási forgatókönyvként. *Éghajlati szempontból* több variáns kidolgozása indokolt, úgymint a közelmúlt adataira épülő becslés (jelen állapot, KBV), illetve az IPCC által javasolt forgatókönyvekre támaszkodva (*IPCC SRES, 2000*). A *vízkormányzás*sal kapcsolatban három lehetőséget vetünk fel: (1) a jelenlegi, alapvetően vízelvezetésre alapuló megközelítés, (2) az aktív védekezés egyik legköltségesebb elemét jelentő szivattyús átemelés elhagyása (gravitációs elvezetés megmarad), valamint (3) aktív belvízvédelem megszüntetése/jelentős vízvisszatartás megvalósítása. A vízvisszatartásos forgatókönyvekben feltételezhető a karbantartás hiánya is. A területhasználat tekintetében számos forgatókönyv elemzése lehetséges, melynek adatbázisa képzi a legtöbb bizonytalanságot. A korábban ismertetett földhasználati tényező fejlesztési lehetőségei közül a következők változásának figyelembevétele megfontolandó: területhasználat változásának nyomon követése, öntözött területek változása, meliorációs művek fejlesztése, csatornák és ideiglenes tározók hatása, szennyvíz elhelyezések, természetvédelmi területek változása, aktuális növénykultúra fejlettségi állapota, agrotechnikai beavatkozások (lazítás, mélyszántás) területi interpretációja, stb.

A regresszió krigelés olyan térbeli becslési módszer, amely kombinálja a tematikus és a térbeli becslést. Mint alkalmazott térbeli becslő eljárás további fejlesztési lehetőségeket rejt magában. Vannak olyan továbbfejlesztési irányok, ahol például a regressziós tagot adatbányászati módszerek, a krigelést pedig egyéb interpolációs technikák helyettesítik. További kutatásokat generál ezen módszerek hatékonyságának tesztelése.

A regressziós krigeléshez használt környezeti segédváltozók egymásra hatása további kutatásokat követel, ugyanis meg kell határoznunk, hogy az alkalmazott változók egymástól milyen mértékben függetlenek (statisztikai szempontból). Erre alkalmas az ún. kollinearitás vizsgálat, amely segítséget nyújthat abban, hogy melyik tényező van jelentős hatással a belvíz-veszélyeztetettség kialakulására, illetve mely tényező vagy tényezők hatása nem jelentős, így azok elhagyása nem okoz lényegi változást a végső térkép szerkesztésénél, és nem utolsó sorban nem szükséges a segédváltozó elkészítéséhez szükséges numerikus állomány összeállítása. A vizsgálat alkalmas arra is, hogy meghatározzuk a tényezők közül azokat, melyek a legnagyobb többletinformációval rendelkeznek a modell számára.

Belvízvédelmi szakaszokon kívül eső területek belvíz-veszélyeztetettségi térképezésének lehetőségei

A belvíz-veszélyeztetettségi térkép készítése jelen esetben a belvízvédelmi szakaszokra korlátozódik, de igény esetén a vizsgálatok térbeli kiterjesztése megoldható, azonban arra a következő ütemben kerülhet sor.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM, TERVEK ÉS DOKUMENTUMOK JEGYZÉKE

Bakacsi, Zs., Kuti, L., Pásztor, L., Vatai, J., Szabó, J., Müller, T. 2010. Method for the compilation of a stratified and harmonized soil physical database using legacy and up-to-date data sources, Agrokémia és Talajtan, 59 (1).

Ballanegger R. 1953. Talajvizsgálati módszerkönyv, szerk., Mezőgazdasági kiadó, Budapest, pp. 410.

Blaskó L. és Karuczka A. 2001. Különböző kicserélhető magnézium-tartalmú talajok néhány fizikai tulajdonsága, Agrokémia és Talajtan, Tom. 50. No. 3-4.

Dajka, I., Bacskai, A., 2012. A belvízvédekezés tapasztalatai 2009-2011 között, a FETIVIZIG működési területén. MHT 30. Országos Vándorgyűlése, Kaposvár, 2012. július 4-6. ISBN 978-963-8172-29-7

Ijjas, I., 2002. Területi vízgazdálkodás. In: Somlyódy, L. (Szerk.) A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. ISBN: 963 508 333 5

Kozák, P. 2006. A belvízjárás összefüggéseinek vizsgálata az Alföld délkeleti részén, a vízgazdálkodás európai elvárásainak tükrében. Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2006.

Kozák, P. 2009. Belvízi kockázat térképezés végrehajtásának eddigi tapasztalatai. MHT 27. Országos Vándorgyűlés, Baja. ISBN 978-963-8172-23-5

Kozma, Zs., 2013. Belvízi szélsőségek kockázatalapú értékelésének és modellezési módszertanának fejlesztése. Doktori értekezés, Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2013.

Kozma, Zs., Koncsos, L., 2011. Methodological Overview of a Coupled Water Resources Management Model System – Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, B.H.V. Topping and Y. Tsompanakis, (Editors), Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, paper 157, 2011. doi:10.4203/ccp.96.157.

Kreybig L. 1937. A M. Kir. Földtani Intézet talajfelvételi, vizsgálati és térképezési módszere. M. Kir. Földtani Intézet Évkönyve. 31. 147-244.

Kreybig L. 1938. Általános magyarázó a talajtérképekhez. M. Kir. Földtani Intézet, Budapest.

Kreybig L. 1946. Mezőgazdasági természeti adottságaink és érvényesülésük a növénytermesztésben, Magyar Mezőgazdasági Művelődési Társaság kiadványa, Budapest.

Kreybig L. 1956. Az agrotechnika tényezői és irányelvei, Akadémiai Kiadó, Budapest.

Mados (Kotzmann) L., 1938. A higroszkópos nedvesség, mint a talaj kötöttségi állapotának jellemzője. Mezőgazdasági Kutatások, Budapest, XI. évf. p. 217-229.

Marosi S. és Somogyi S. 1990. Magyarország kistájainak katasztere I. MTA Földrajztudományi Kutató Intézete, Budapest.

Pálfai I. 1992. Belvízzel veszélyeztetett területek az Alföldön. Kézirat. Környezetgazdálkodási Intézet, Környezetvédelmi Tájékoztató Szolgálat. Budapest, 83.

Pálfai, I., 2004. Belvizek és Aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok. VITUKI, Budapest

Pásztor L., Szabó J., Bakacsi Zs., Csökli G. és Zágoni B. 2001. '1:25.000-es méretarányú talajtani-földrajzi mintázat az ország egyes területein a Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer alapján (in Hungarian)', In: G. Dormány, F. Kovács, M. Péti, J. Rakonczai (eds.) 'A földrajz eredményei az új évezred küszöbén', CD-ROM (ISBN 963 482 544 3), Szegedi Tudományegyetem TTK Természeti Földrajzi Tanszék.

Pinke, Zs. 2012. Aszály-, belvízkárok és az árvízvédelmi ökoszisztéma szolgáltatás értékelésének szerepe a belvizes területek vizes élőhellyé alakításában. Tájökológiai Lapok 10. (2): 271–286.

Rakonczai, J., Csató, Sz., Mucsi, L., Kovács, F., Szatmári, J., 2003. Az 1999. és 2000. évi alföldi belvízelöntések kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. In: Szlávik, L. (szerk.), Vízügyi Közlemények Különszám: Tiszavölgyi árvizek és belvizek a XX. és XXI. század fordulóján, VITUKI 2003, 4. 317-336.

Rakonczai, J., Mucsi, L., Szatmári, J., Kovács, F., Csató Sz. 2001. A belvizes területek elhatárolásának módszertani lehetőségei. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged 2001. ISBN 963 482 544 3

Rónai A. 1961. Az Alföld talajvíztérképe, Magyarázó a talajvíztükör felszínalatti mélységének 1:200.000-es méretű térképéhez. A térkép az Országos Vízügyi Főigazgatóság támogatásával a Magyar Állami Földtani Intézetben készült az országos kútkataszter adatai alapján. Budapest.

Somlyódy, L. 2011. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia, Köztestületi Stratégiai Programok.

Szabó J., Pásztor L., Bakacsi Zs., Csökli G. és Zágoni B. 2001. 'Nagyléptékű talajtani térinformatikai rendszerek építésének tapasztalatai'. In: G. Dormány, F. Kovács, M. Péti, J. Rakonczai (eds.) 'A földrajz eredményei az új évezred küszöbén', CD-ROM (ISBN 963 482 544 3), Szegedi Tudományegyetem TTK Természeti Földrajzi Tanszék.

Szabó J., Pásztor L., Bakacsi Zs., Zágoni B. és Csökli G. 2000. 'Kreybig Digitális Talajinformatikai Rendszer (Előzmények, térinformatikai megalapozás) (in Hungarian with English summary)', Agrokémia és Talajtan, Vol. 49, No. 1-2, p: 265-276.

Vámosi, S. 2002. A belvizek hatása az alföldi régiók fejlesztésére. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2002.

van Leeuwen, B., 2012. Mesterséges neurális hálózatok és földrajzi információs rendszerek használata a belvízosztályozásban. Doktori (PhD.) értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2012.

Várallyay Gy. 1985. Magyarország talajainak vízháztartási és anyagforgalmi tipusai. Agrokémia és Talajtan, 34 (3-4): 267-300.

Várallyay Gy. 2001. Vizes élőhelyek visszaállításának és fenntartásának talajtani alapjai. Készült a CT-028 KöM nyilvántartási számú megbízás alapján, MTA-TAKI, Budapest.

Várallyay Gy., Szűcs L., Rajkai K., Zilahy P. és Murányi A. 1980. Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100.000-es méretarányú térképe, Agrokémia és Talajtan, Tom. 29. No. 1-2.

Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (VKKI), 2011. Tájékoztató a 2010-2011 évi belvízi helyzetről. http://www.vizugy.hu/index.php?module=content&programelemid=1&id=280