



**3-1 háttéranyag:
Felszíni víztestek tápanyagterhelésének modellezése
MONERIS modell alkalmazása Magyarország víztesteit érő diffúz
eredetű növényi tápanyag emisszió becslésére**



Tartalom

1	Bevezetés	2
2	Módszertan	2
2.1	Bemeneti adatok	3
2.1.1	Hidrometeorológia	3
2.1.2	Víz hőmérséklet adatok	5
2.1.3	Területhasználati adatok	5
2.1.4	Talajveszteség számítás	6
2.1.5	Légköri kiülepedés	9
2.1.6	Népeség, csatornázási adatok	11
2.1.7	Pontszerű kibocsátások alakulása	11
2.1.8	Növényi tápanyagmérleg számítása víztestekre	13
2.1.9	Lefolyás becslés	21
3	Eredmények	23
3.1	Modell validáció	23
3.2	Lefolyás	26
3.3	Lokális emissziók	27
4	Előrejelzés	30
4.1	Népeség	30
4.2	Pontszerű kibocsátások	30
4.3	Területhasználati változások	31
4.4	Tápanyagmérleg	32
4.5	Az agrártámogatási rendszerből eredő változások figyelembevételének vizsgálata	35
4.6	Klíma	36
4.7	Eredmények	36
5	Összegzés	39
	Hivatkozások	39



Rövidítések

VGT – Vízgyűjtőgazdálkodási terv

AKG – Agrár Környezet Gazdálkodás

SAPS – egységes területalapú támogatás

JFGK - jogszabályban foglalt gazdálkodási követelményekből

HMKÁ - Helyes Mezőgazdasági és Környezeti Állapot

TIM – Talaj információs monitoring rendszer

1 Bevezetés

Jelen munka két munkarészre tagolódik: a VGT víztesteire a 2016-2018-as időszak átlagos tápanyagterhelésének meghatározása, másrészt a Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv következő felülvizsgálati periódusára vonatkozó előrejelzés készítése, mely 2027-re esik, így a vizsgálatot a 2025-2027 közti időszakra végeztük el.

2 Módszertan

A vizsgálatot a VGT2 vizsgálati időszakára (2009-2012), valamint a Nitrát Direktívának való megfelelés érdekében végzett tanulmányban szereplő vizsgálati időszakra (2013-2016) használt MONERIS modellel végeztünk el, melynek számítási módszerében nem végeztünk változást. A módszer részletes ismertetését a modell használati utasításában lehet megtalálni (Venohr, 2009). A modell paramétereinek kalibrációját a hazai körülményekre a korábbi vizsgálatok során elvégeztük (Jolánkai Z. K., 2020). A korábbi modellezési időszakban (2013-2016) alkalmazott néhány változtatást jelen tanulmányban is átvettünk (Jolánkai Z. K., 2018).

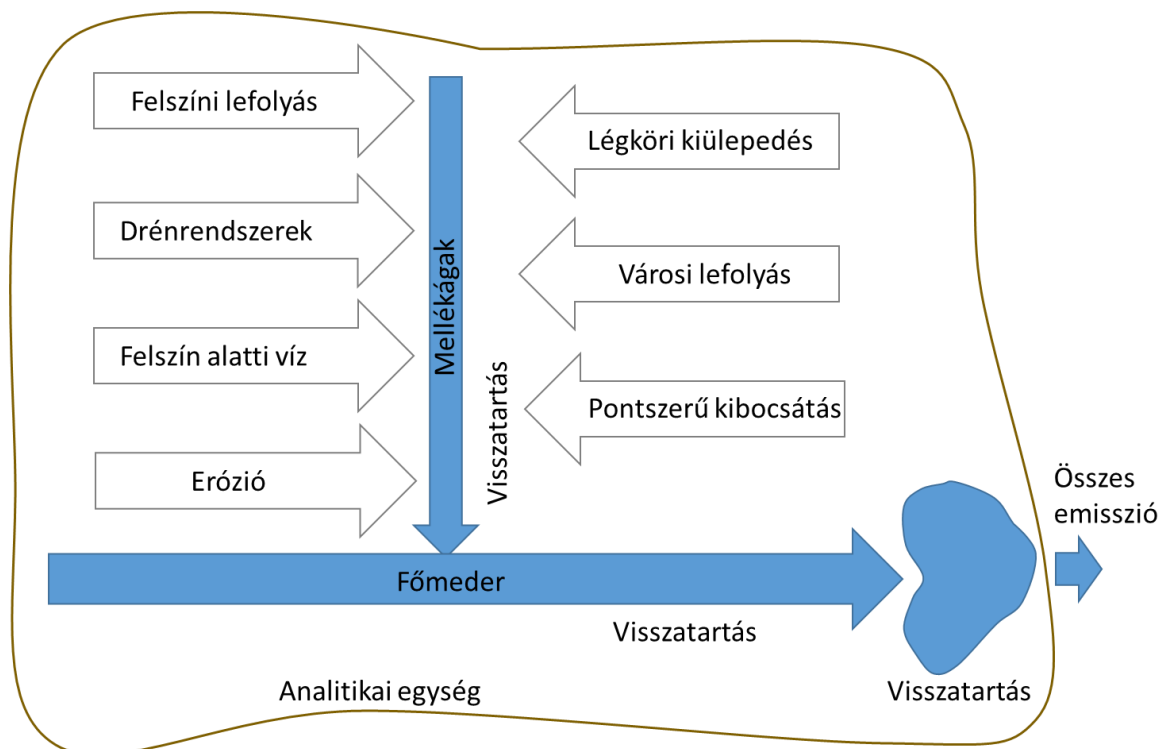
A MONERIS egy fél-empirikus, koncepcionális modell, melyet alapvetően összes foszfor és összes nitrogén emissziók becslésére fejlesztettek ki és hét különböző szennyezés terjedési útvonalat vesz számba (Venohr, 2009):

- légköri kiülepedés (száraz és nedves kiülepedés nitrogénre és száraz kiülepedés foszforra)
- pontszerű terhelések (kommunális és ipari szennyvíztisztítók és direkt kibocsátások)
- talajvízben oldott állapotban
- talaj drénen keresztül
- városi burkolt felületekről
- erózió által (partikulált formában)
- felszíni lefolyásban (oldott formában)

Ezen útvonalakon az input adatokat és a figyelembe vet változókat, valamint folyamatokat az (1. ábra) mutatja.



1. ábra: A Moneris modell elvi sémája



A modell térbeli léptéke nem változott, a vízgyűjtőgazdálkodási tervhez kijelölt víztestek adják a modell számítási egységeit, melyekből a korábbi 1079-hez képest jelen vizsgálati időszakban 1075 van. A modell időbeli léptéke is változatlan, azaz több év (2016-2018) átlagos értékeit számítja a modell, így az input adatok is erre az időszakra kerültek legyűjtésre.

A modell a fent megnevezett számú analitikai egységre számítja ki az adott vízgyűjtő lokális emisszióit, azaz a felszíni víztestet elért terhelést, majd ezt (valamint a pontszerű terhelésből származó hozamot) a lefolyási hierarchia szerint továbbítja a folyó hálózaton. A folyó hálózaton a tápanyagok egy része visszatartásra kerül, melynek mértéke a modell a hidraulikus terheléstől és a víz hőmérséklettől függően számítja ki (Venohr, 2009). Az így görgetett tápanyagterhelés a vízminőségi monitoring pontokon kerül ellenőrzésre.

Néhány változtatást a bevitt adatok becslése tekintetében azonban elvégeztünk: Legfontosabb változás a foszfor tápanyagmérlegek tekintetében történt, ugyanis a megyei tápanyagmérlegek hosszú idejű számításából eredményezett akkumulálódott foszfor mennyiség térbeli eloszlása nem áll összhangban a TIM adatbázisban szereplő mérési eredményekkel (2.1.4). Emiatt a talajban tárolt összes foszfor tekintetében a TIM mérési eredményeire hagyatkoztunk, mely véleményünk szerint pontosabb képet fest a valós helyzetről, mint ami a tápanyagtöbbletekből adódik.

2.1 Bemeneti adatok

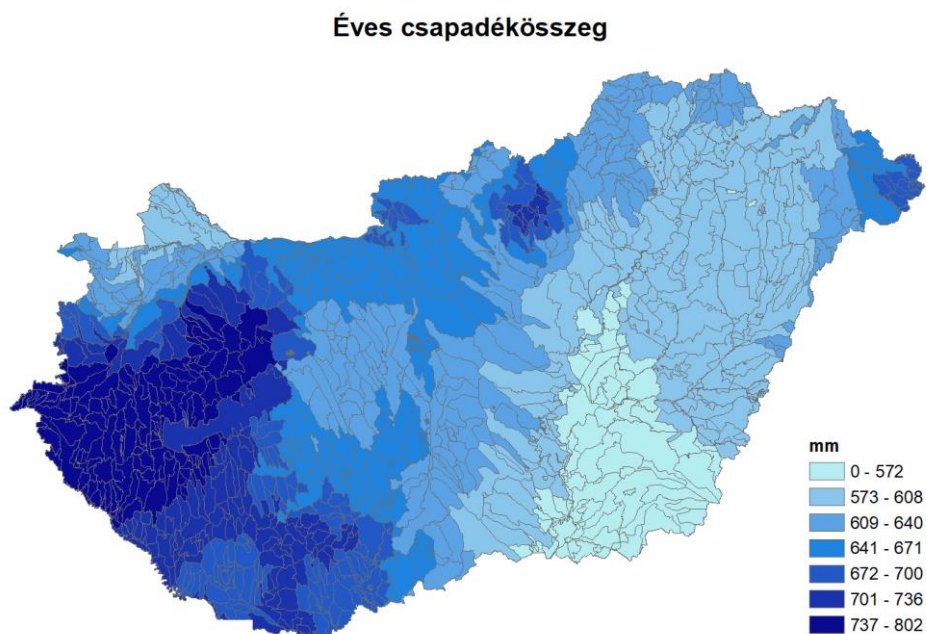
2.1.1 Hidrometeorológia

A modell két input adatot igényel a modellezési időszakra vonatkozóan, a nyári félév csapadék összegét és az éves csapadékösszeget. Mindkét adat esetében az OVF által átadott pontszerű havi csapadékösszeg adatokból indultunk ki, melyből a hiányzó adatok kiszűrése után kriegelés (ordinary spherical kriging, ArcMap, spatial analyst toolkit) módszerével

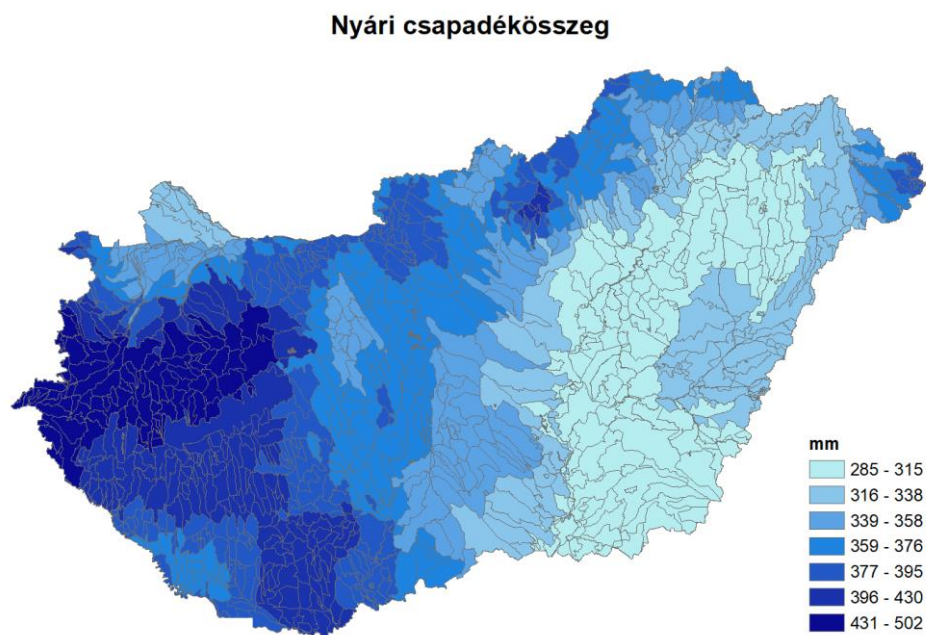


állítottuk elő a csapadék területi eloszlását (2. ábra). Az így készített eloszlás raszterből az egyes vízgyűjtőkre számítottunk átlagot. Jól látható a területi eloszlás egyenetlensége a nyári félévben (3. ábra).

2. ábra: 2016-2018-as időszak átlag csapadékösszegének országos eloszlása



3. ábra: 2016-2018-as időszak átlag nyári csapadékösszegének országos eloszlása





2.1.2 Vízhőmérséklet adatok

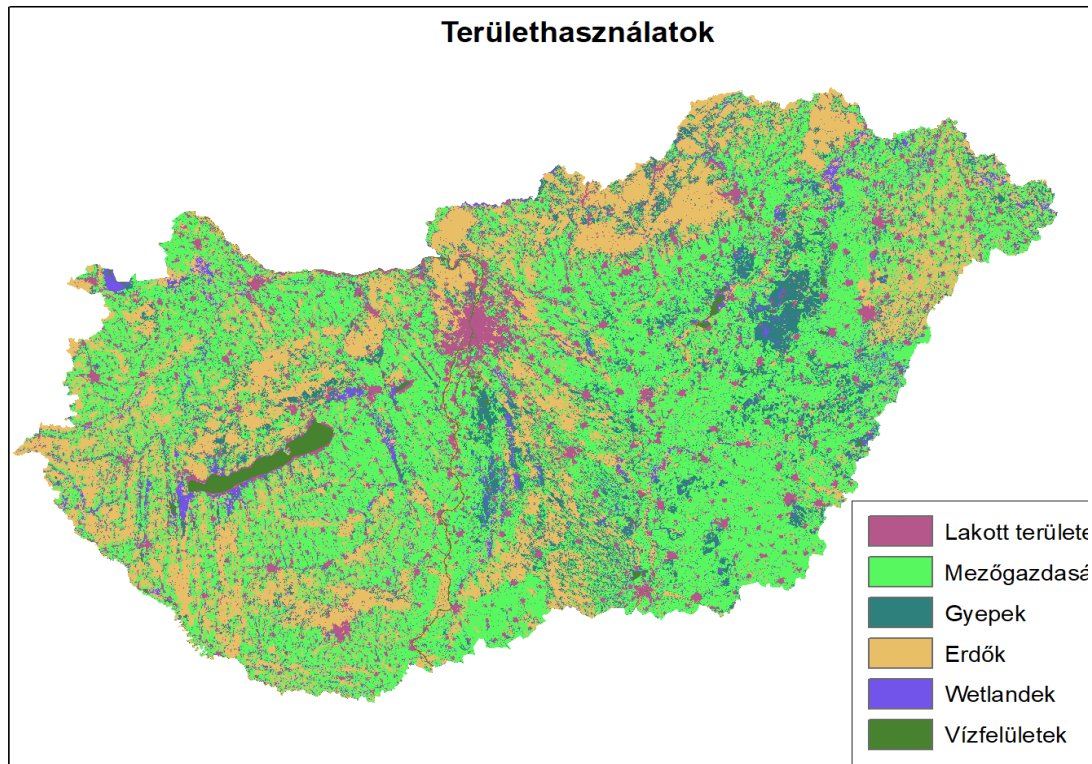
A vízhőmérséklet adatokat 161 állomásra kaptuk meg, melyek közül jó néhány állomáson felszín közeli és mederközeli leolvasás adatok álltak rendelkezésre. Ahol az adatpár hiánytalanul rendelkezésre állt, ott a kettő átlagát vettük havonta, majd ebből képeztünk éves átlag hőfokokat. Hiányos adatok esetében lineáris regressziós illesztéssel (a felszín közeli és a fenék közeli pontok között) pótoltuk a hiányzó adatokat, majd ezt követően végeztük el az átlagszámítást. Több hiányzó havi adat esetében polinom illesztéssel pótoltuk a hiányzó adatokat (A polinomot az éven belüli szezonális eloszlásra illesztettük).

A térbeli kiterjesztéshez kriging-spherical (Oliver, 1990.) interpolációs módszert alkalmaztunk, mely hasonló esetben a legpontosabbnak bizonyult (Wenjing Cao, 2009).

2.1.3 Területhasználati adatok

A korábbi elemzésekhez képest (Jolánkai Z. K., 2018) a területhasználati adatok jelentős finomítására nyílt lehetőség, mivel időközben elkészült a NÖSZTÉP projekt (Tanács E., 2019) keretein belül az Ökoszisztéma alaptérkép, melynek a felbontása 20 m. Ennek alapkódolása (Kód1) gyakorlatilag megfeleltethető a MONERIS kategóriáinak, egyedül a bányaterületek nem szerepelnek ebben a térképben, ezeket a korábbi CORINE 2012 (EEA, 2017) adatokból pótoltuk, illetve korrigáltuk a számokat. Az így elkészített területhasználati térkép az (4. ábra) látható

4. ábra: Területhasználati térkép a MONERIS modell kódolása szerint. Forrás: Nösztép élőhely alaptérkép.



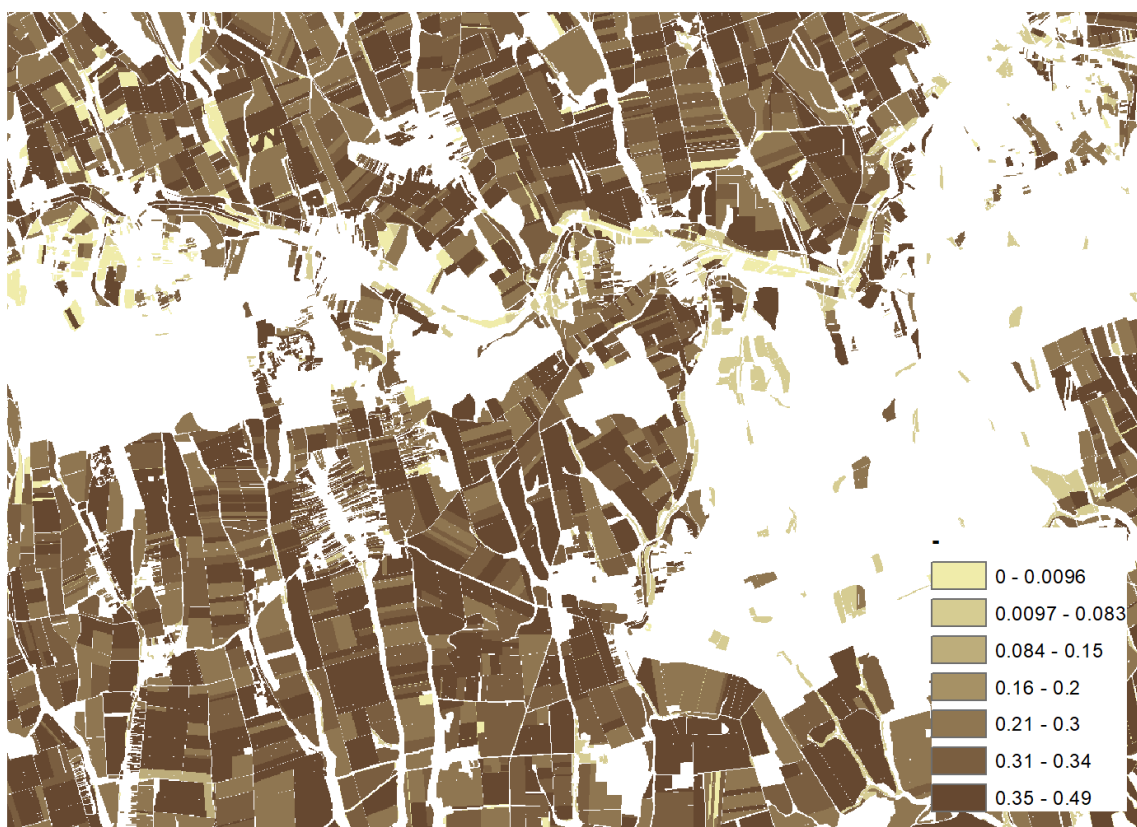


2.1.4 Talajveszteség számítás

A Moneris modell a talajveszteséget bemenő adatként kezeli, a hordalék továbbítását (hordalék továbbítási ráta) és a tápanyag feldúsulását számítja. A talajveszteség számítása egy fontos momentuma a tápanyagterhelés számításának, hiszen mindkét tápanyagforma kötődik a talajhoz, a nitrogén a talaj szerves készletében van jelen, a foszfor ezen kívül a finom szemcsés talaj felületén adszorbeálódva van jelen. Az elhordott talajból így meg lehet becsülni, hogy mekkora a lemosódott tápanyag, feltéve, ha ismerjük a talaj tápanyag készletét. A talajveszteség számítását az USLE (Wischmeier, 1978) módszerrel határozzuk meg, mely ebben a területi léptékben a legelterjedtebb módszernek számít. Az USLE módszert a korábbi elemzések során már kiszámítottuk az akkori legjobb adatokkal. A mostani adatellátottság azonban megkövetelte (lehetővé tette) a talajveszteség pontosítását, újra számítását. Ez a tábla szintű növénytermesztési adatok miatt vált lehetővé, mely a számítási időszak minden évére lehetővé tette a növényekhez kötött C tényező kiszámítását (*Hiba! A hivatkozási forrás nem található.*). Ehhez az egyes növénytípusokhoz, a hozzájuk tartozó éves átlagos C tényező értékeket rendeltük (

1. táblázat), melyeket az ide vonatkozó szakirodalomból vettünk ki (Wischmeier, 1978) (Panagos, 2015). Így mindhárom modell évre kiszámoltuk az adott évre vonatkozó C tényező értékeket, majd ezeket átlagoltuk a három éves időszakra. Ezt megelőzően a szántóföldi kultúrák egységes számmal jelentek meg, azaz országosan egy átlagos értékkel voltak figyelembe véve. Ez az újítás tehát a területi változékonyságot jobban megjeleníti, ezáltal várhatóan jobban visszaadja a valós emisszió értékeket is.

5. ábra: Tábla szintű C tényező térkép (Koppány-patak völgye, részlet)



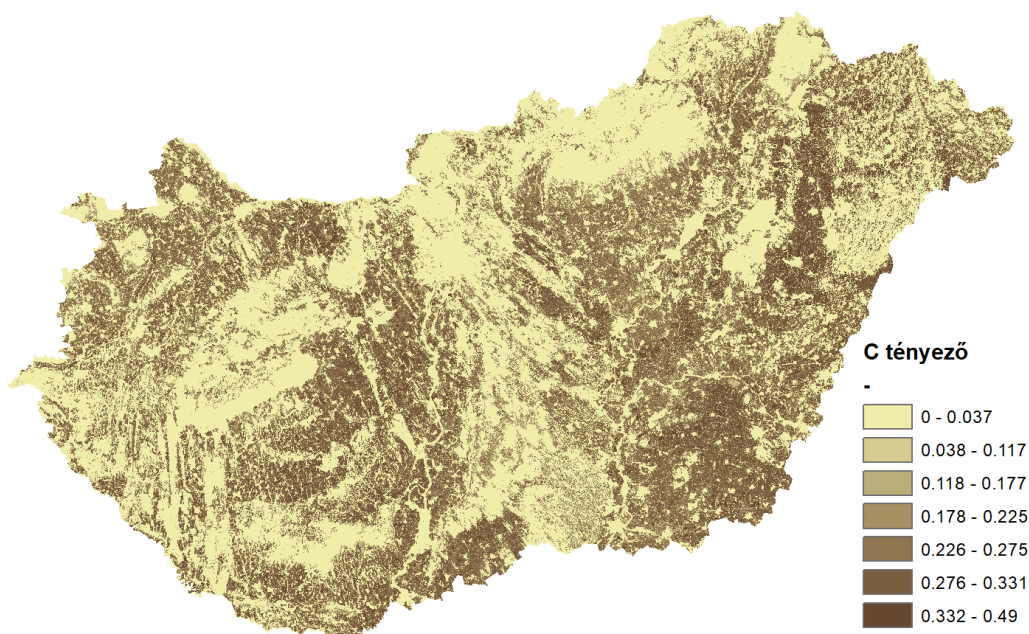
1. táblázat: A többéves C tényező számításához felhasznált éves átlagos növényenkénti C tényező értékek

Növény	Kód	C-faktor
Búza félék	1	0.2
Kukorica	2	0.38
Rizs	3	0.15
Hüvelyesek	4	0.32
Burgonya	5	0.34
Szója	6	0.28
Repce	7	0.3
Napraforgó	8	0.32
Len	9	0.25
Dohány	10	0.49
Szőlő	11	0.35
Gyümölcsös	12	0.22
Zöldséges	13	0.14
Energiaerdők	14	0.084
Gyep	15	0.013
Erdők	16	0.01
Ültetvény erdők	17	0.03

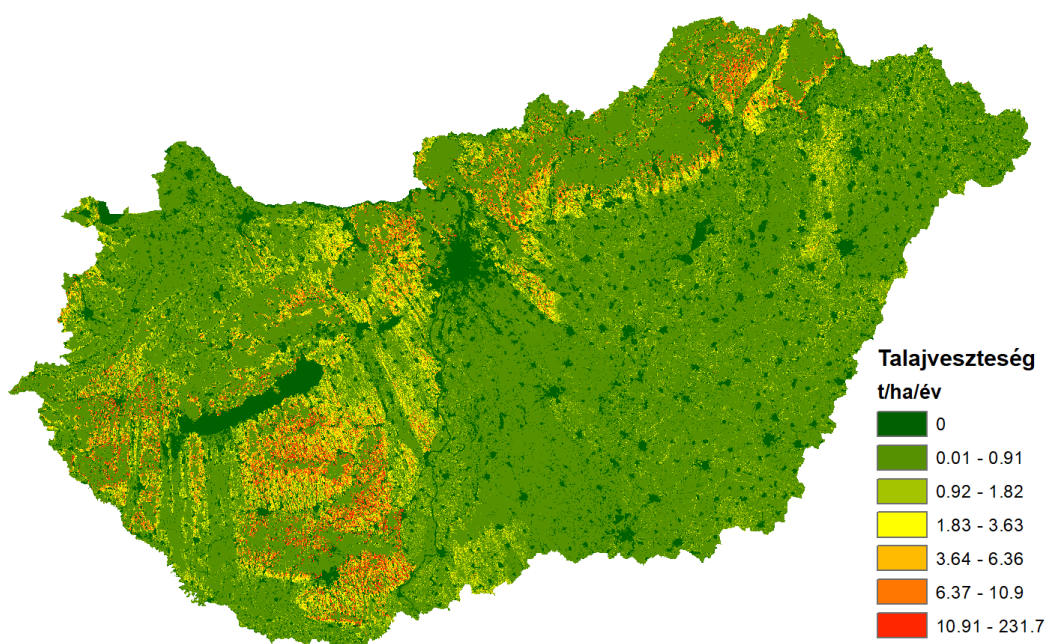


Az így kiszámított mezőgazdasági C tényező értékeit geoinformatikai eszközökkel (ArcGIS 10.1) kombináltuk a Nösztep alaptérképből származtatott területhasználati kategóriákhoz kötött értékekkel (**6. ábra**). Ez utóbbiak a korábbi elemzésekben is felhasznált JRC által készített értékek voltak, hiszen az ott használt módszertannál, nem konstans értékeket használtak erdőkhöz, hanem műholdas érzékeléssel finomították a térbeli varianciát (Panagos, 2015). Az így előállított C tényező térképpel, valamint a Nösztep alaptérképből újraszámolt kategória arányokkal előállítottuk az országos talajveszteség térképet (**7. ábra**).

6. ábra: MEPAR blokkkép alapján újraszámolt C tényező térkép



7. ábra: Újraszámolt talajveszteség térkép



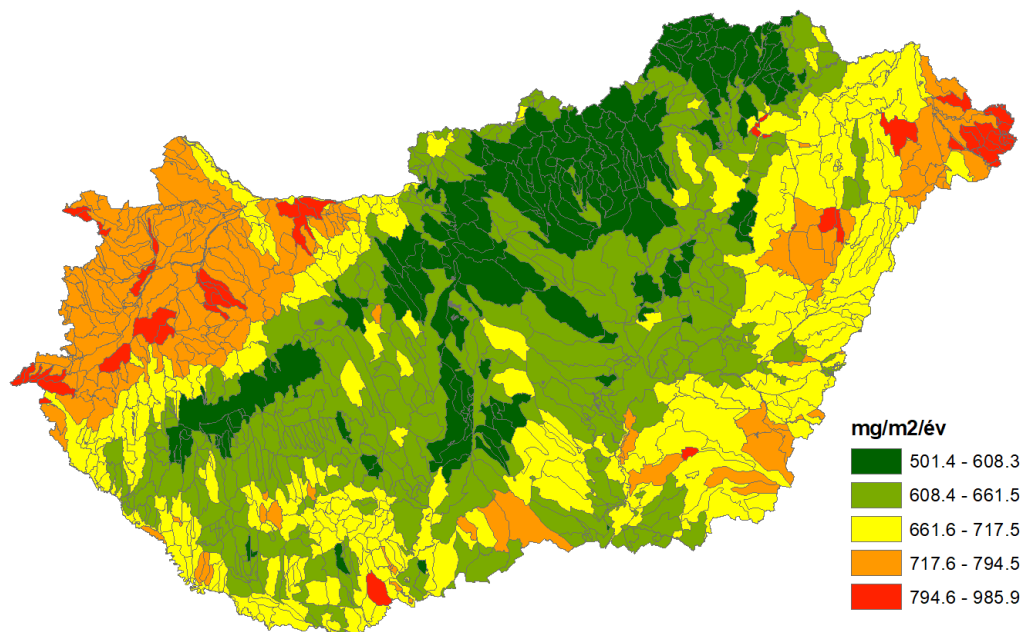
2.1.5 Légekori kiülepedés

A légkörből eredő terhelés nedves és száraz kihullás révén éri el a talaj és vízfelszínt. Az Európai országok területére egy nemzetközi együttműködés keretében a kiülepedés mértékét monitorozzák és modellezik (EMEP, <https://www.emep.int/>). A kiülepedés oxidált és redukált formáit külön mérik és számolják, ezeket összegeztük víztest vízgyűjtőkre a vizsgált három éves időszakra (8. ábra, 9. ábra).



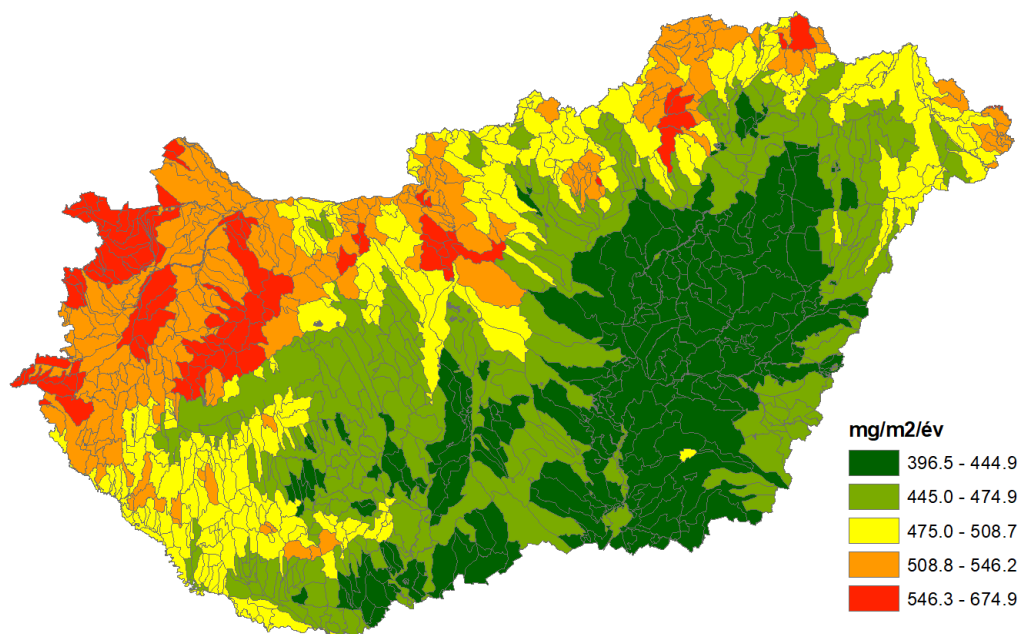
8. ábra: 2016-2018-as időszak átlag légköri kiülepedése redukált nitrogén formákra.

Redukált N kiülepedés



9. ábra: 2016-2018-as időszak átlag légköri kiülepedése redukált nitrogén formákra.

Oxidált N kiülepedés





2.1.6 Népeség, csatornázási adatok

A MONERIS az alábbi adatokat igényli a számítási egység (esetünkben víztest) szintjén (zárójelben a mértékegység)

- Népeség (fő)
- Csatornarendszerre csatlakoztatott lakosok száma (fő)
- A szennyvíztisztító telepre kötött lakosok száma (fő)
- Egyedi szennyvízkezelő berendezéssel vagy szennyvíztartállyal ellátott lakosok száma (fő)
- Elválasztott csatornarendszer területaránya (%)
- Egyesített csatornahálózat területaránya (%)

A népeségi adatokat a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) bocsátotta rendelkezésünkre; a tárgyévi lakosszámokat a tárgyévét követő évi (tárgyévét követő év január 1-jére dátumozott) helységnévkönyvből / helységnévtárból vettük. A lakosszámokból a VGT2 geoadatbázis „Belterület” fedvénye (OVF, 2016) alapján népsűrűséget számoltunk minden településre (fő / hektár). Ezután a „Belterület” fedvényt összemetsztük a VGT3 „Víztest-összevont-vízgyűjtője” fedvénnyel: így megkaptunk, hogy egy-egy víztest vízgyűjtőjére mely településeknek mekkora területe esik. Ezt a területet végül az adott település népsűrűségével szoroztuk, és az eredményt víztestenként összesítettük. A fenti műveletet mind az össznépeség, mind pedig a csatornarendszerre csatlakoztatott népeség tekintetében elvégeztük.

2.1.7 Pontszerű kibocsátások alakulása

A MONERIS az alábbi adatokat igényli a számítási egység (esetünkben víztest) szintjén (zárójelben a mértékegység)

- Szennyvízkibocsátás a kommunális szennyvíztisztító telepekről / ipari szennyvíztelepekről
- Összes N-kibocsátás kommunális szennyvíztisztító telepekről/ipari szennyvíztelepekről főágba / mellékágba
- Összes P-kibocsátás kommunális szennyvíztisztító telepekről / ipari szennyvíztelepekről főágba / mellékágba

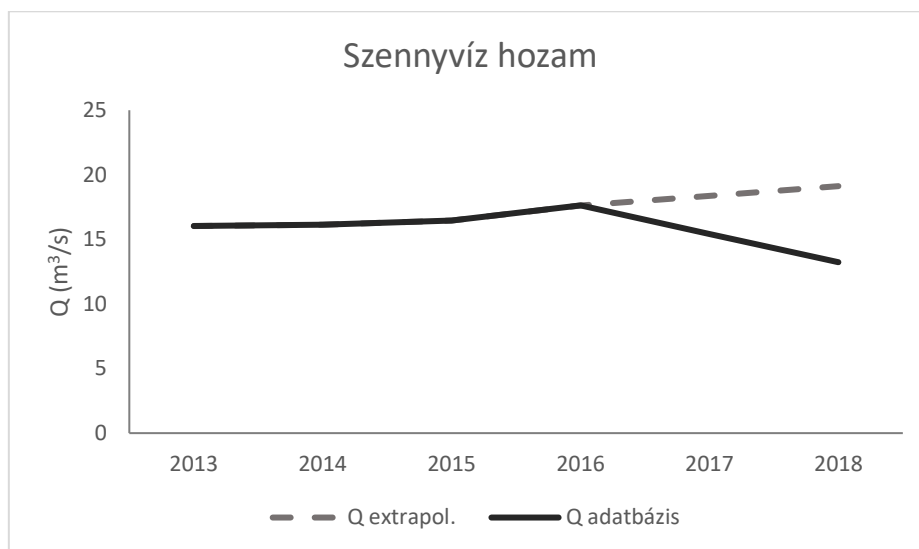
A szennyvíztelepi adatokat (összes elfolyó szennyvíz mennyisége és jellemzői évenként) az OKIR-ból vettük. A nehézséget a szennyvíztelepek víztesthez kapcsolása jelentette. A szennyvíztelepek mellett a kibocsátási pontok is nyilván vannak tartva, a megfeleltetés azonban nem egyértelmű. A legnagyobb segítséget a VGT2 3.1-es melléklete jelentette: ahol a helyzet azóta nem változott, ott ezt a – 6 évvel ezelőtti – adatbázist tudtuk használni. Az újabb telepek víztesthez kapcsolása már nagyobb nehézségbe ütközött. Elsősorban a kibocsátási pont koordinátája alapján történt a párosítás, ezt kevés – magától értetődő alkalommal – bíráltuk felül. Ugyanígy a koordináták alapján történő térképes megjelenítés, a kibocsátási pontok egyesével történő vizsgálata adott lehetőséget annak eldöntésére, hogy az adott telep főágba vagy mellékágba bocsát-e. Ez alapján azonban nem különíthetők el a talajba bocsátó telepek; azok kijelölése csak a VGT2 3.1 melléklete alapján volt lehetséges.

A lakossági kibocsátások a 2016-os évben a korábbi modellezéshez kapott adatok alapján enyhe növekedést (előző évhez viszonyított) mutatott mind szennyvízhozam, mind tápanyag

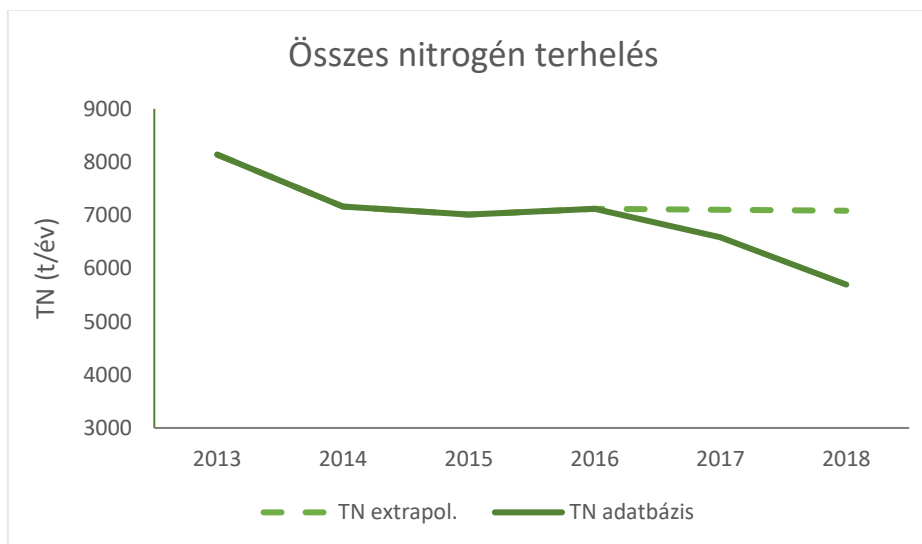


terhelés tekintetében. A 2017-2018-as időszakra kapott adatok drasztikus csökkenést mutatnak (**10. ábra**, **11. ábra**, **12. ábra**), ami a korábbi adatok alakulása tükrében nem reális. Emiatt a korábbi adatokat felhasználva egy extrapolációt készítettünk a megelőző évek tendenciái alapján. Ezt a 2014-2016-os időszak átlagos változás értékének felhasználásával végeztük, hogy konzervatív becslést kapjunk. Mindhárom mennyiség tekintetében tompított növekedés figyelhető meg a számítások alapján.

10. ábra: Országos összes szennyvízhozam alakulás a mérések szerint, valamint extrapolációval 2016-tól

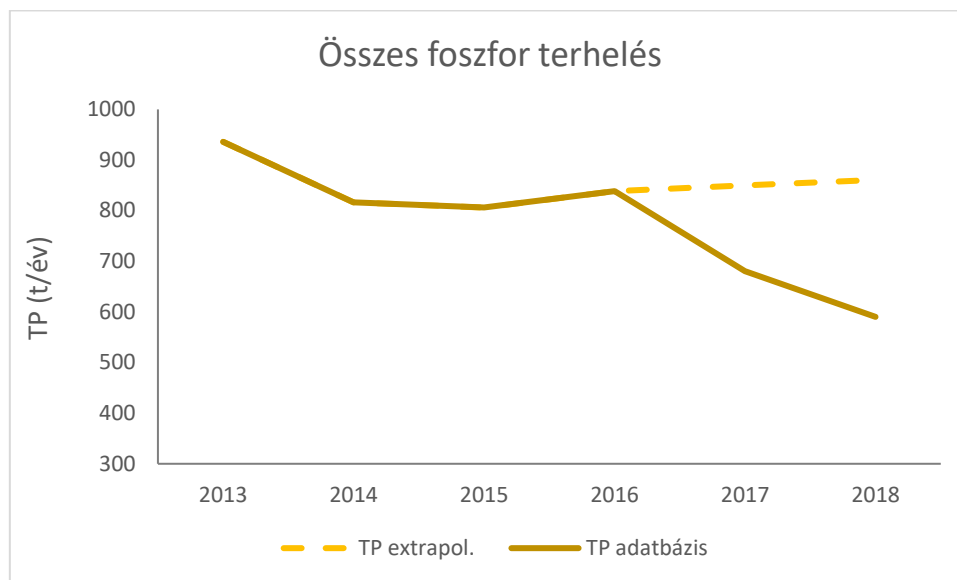


11. ábra: Országos lakossági szennyvíz összes nitrogénterhelés alakulás a mérések szerint, valamint extrapolációval 2016-tól





12. ábra: Országos lakossági szennyvíz összes foszforterhelés alakulás a mérések szerint, valamint extrapolációval 2016-tól



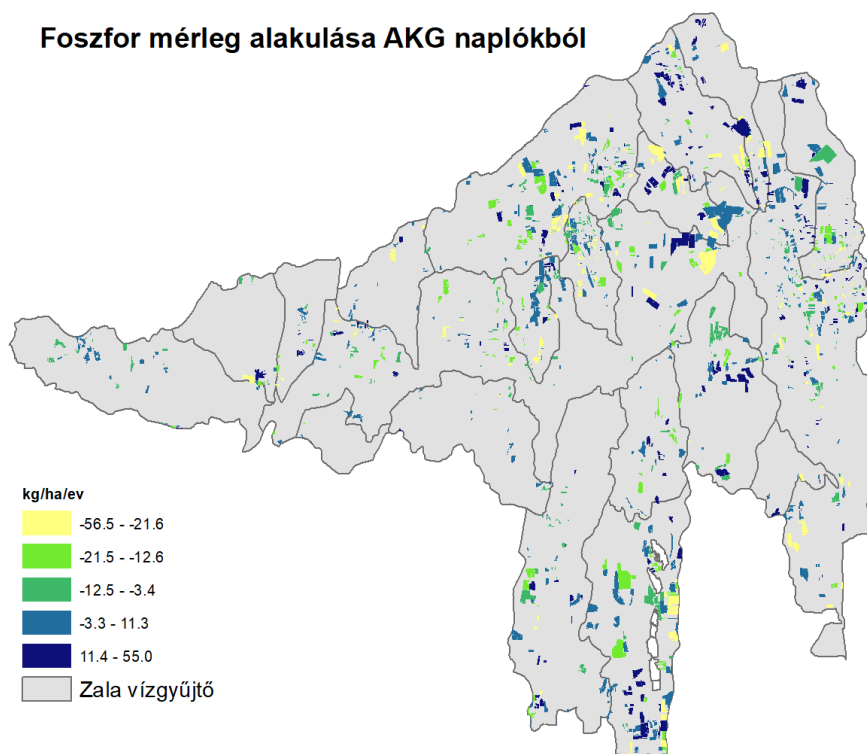
2.1.8 Növényi tápanyagmérleg számítása víztestekre

A Növényi tápanyagmérlegek meghatározásánál egy a korábbinál alaposabb megközelítést alkalmaztunk, mely a tápanyagmérlegek táblaszintű adataiból indul ki (Deák, 2016). Ezek az adatok mindhárom vizsgált évre rendelkezésre állnak az AKG programban résztvevők naplói alapján.

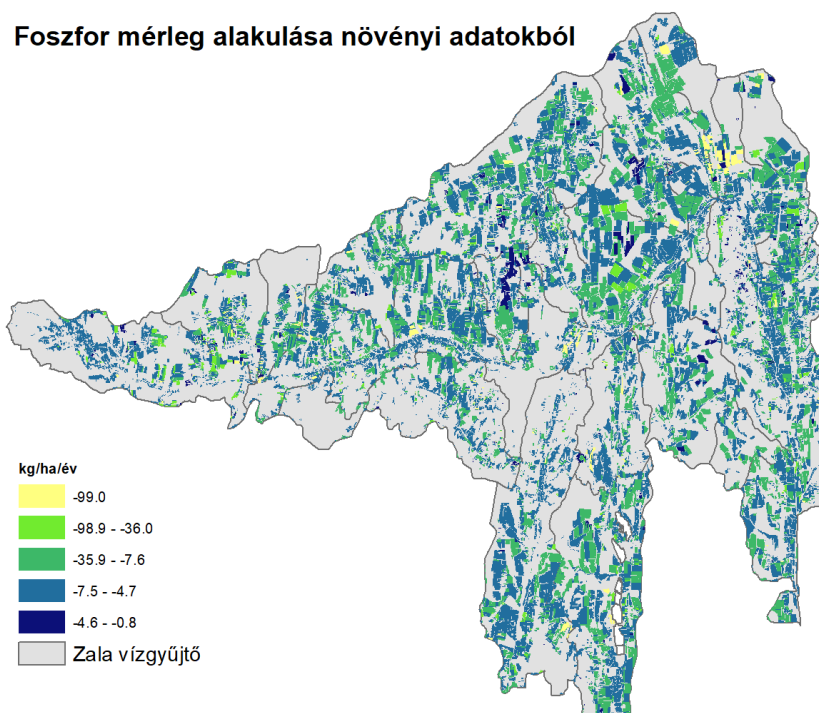
Első lépésként az AKG parcellánkénti mérlegeit a térképi adatbázishoz kapcsoltuk, majd az így keletkezett finom felbontású tápanyagmérleg térképekből (**13. ábra**) víztestekre legyűjtöttük az átlagos értékeket. Az AKG naplók adatai nem minden víztesten adnak reprezentatív területet (Terület 5%-a és minimum 100 tábla adat), mivel eloszlásuk nem egyenletes az országban.



13. ábra: AKG naplók alapján számított foszfor tápanyagtöbbletek a Zala vízgyűjtőn (2018)



14. ábra: Növényi adatokból származtatott tápanyagmérlegek a Zala vízgyűjtőn (2018)

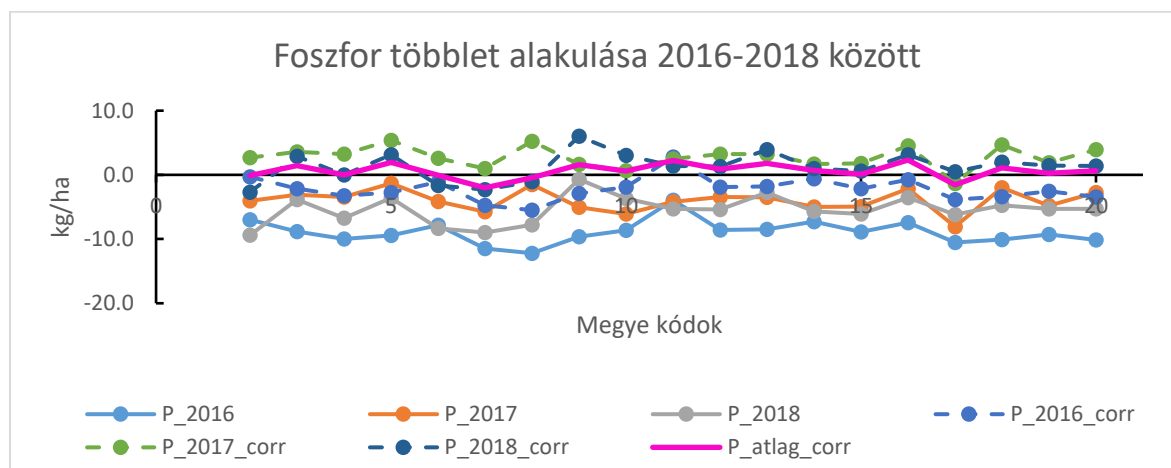




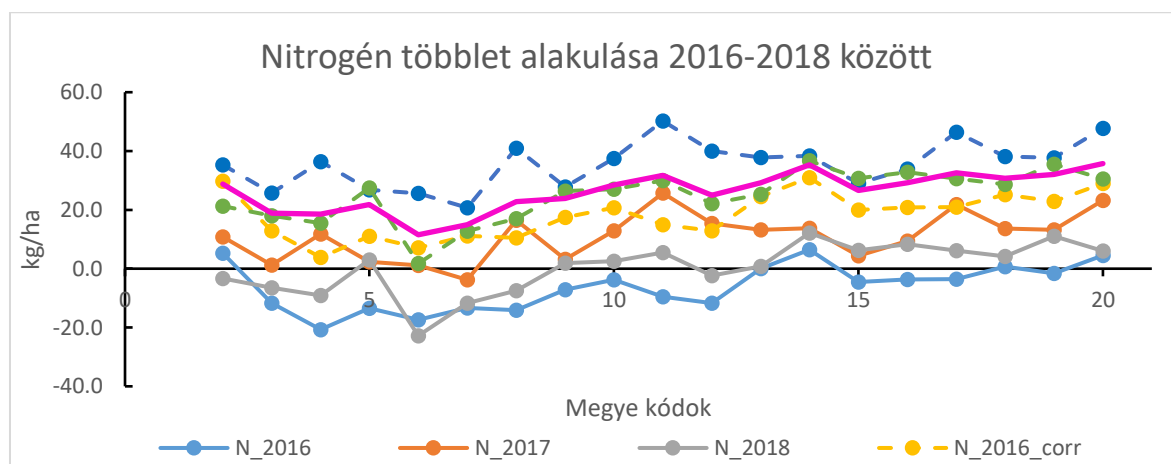
Ennek kiküszöbölésére a naplók adataiból megyénként meghatároztuk a 12 legnagyobb növény (csoport) jellemző tápanyagmérlegét a vizsgált időszak mindhárom évére. Ezekből három éves átlagot számítottunk. Az így kapott növényekre jellemző megyei értékeket hozzákapcsoltuk a teljes parcellaállományhoz (több, min 1.200.000 adat) (**14. ábra**: **Növényi adatokból származtatott tápanyagmérlegek a Zala vízgyűjtőn (2018)**), melyek alapján minden víztestre kiszámoltuk a víztest átlagos tápanyagtöbbletét (ill. deficitét). Ennek megyékre történt átlagolásából a megyék közti eloszlást kaptuk meg (**15. ábra**, **16. ábra**, **2. táblázat**, **3. táblázat**).

Végül a két módszer közül a jobbat alkalmaztuk egy-egy víztest esetében, azaz elegendő adat esetében az AKG mérleget vettük, míg elégtelen adatszám esetén a növények eloszlásából származó adatot alkalmaztuk. A víztestek végleges nitrogén mérlegét a **18. ábra** mutatja.

15. ábra: AKG mérlegekből számolt és a korábbi évekhez korrigált foszfor mérleg megyénként



16. ábra: AKG mérlegekből számolt és a korábbi évekhez korrigált nitrogén mérleg megyénként





2. táblázat: Foszfor mérlegek megyei átlagai az AKG naplók tápanyag többleteiből. A korr. rövidítés arra utal, hogy a korábbi években használt igazított mérlegeredmények szerint korrigáltuk a megyei adatokat.

Megyenév	Megye-kód	'16	'17	'18	átlag	'16 korr.	'17 korr	'18 korr	korr. Átlag
BARANYA	2	-7.0	-4.0	-9.4	-6.8	-0.3	2.7	-2.7	-0.1
BÁCS-K.	3	-8.8	-3.1	-3.8	-5.3	-2.1	3.6	2.9	1.4
BÉKÉS	4	-10.0	-3.5	-6.7	-6.7	-3.3	3.2	0.0	0.0
BAZ	5	-9.4	-1.3	-3.6	-4.8	-2.7	5.4	3.1	1.9
CSONGRÁD	6	-7.8	-4.1	-8.3	-6.8	-1.1	2.6	-1.6	-0.1
FEJÉR	7	-11.5	-5.7	-9.0	-8.7	-4.8	1.0	-2.3	-2.0
GYŐR - M.-S.	8	-12.2	-1.5	-7.8	-7.2	-5.5	5.2	-1.1	-0.5
HAJDÚ - B.	9	-9.6	-5.1	-0.7	-5.1	-2.9	1.7	6.0	1.6
HEVES	10	-8.6	-6.1	-3.7	-6.1	-1.9	0.6	3.0	0.6
KOMÁROM-E.	11	-3.9	-4.2	-5.3	-4.5	2.8	2.5	1.4	2.2
NÓGRÁD	12	-8.6	-3.5	-5.4	-5.8	-1.9	3.2	1.3	0.9
PEST	13	-8.5	-3.5	-2.8	-4.9	-1.8	3.2	3.9	1.8
SOMOGY	14	-7.3	-5.0	-5.7	-6.0	-0.6	1.7	1.0	0.7
SZABOLCS - SZ.-B.	15	-8.9	-4.9	-6.1	-6.6	-2.2	1.8	0.6	0.1
JÁSZ - N.-SZ.	16	-7.5	-2.2	-3.6	-4.4	-0.8	4.5	3.1	2.3
TOLNA	17	-10.5	-8.1	-6.2	-8.3	-3.8	-1.4	0.5	-1.6
VAS	18	-10.1	-2.0	-4.7	-5.6	-3.4	4.7	2.0	1.1
VESZPRÉM	19	-9.3	-4.8	-5.3	-6.4	-2.6	1.9	1.4	0.3
ZALA	20	-10.1	-2.8	-5.3	-6.1	-3.4	3.9	1.4	0.6
ÁTLAG		-8.9	-4.0	-5.4	-6.1	-2.2	2.7	1.3	0.6

3. táblázat: Nitrogén mérlegek megyei átlagai az AKG naplók tápanyag többleteiből. A korr. rövidítés arra utal, hogy a korábbi években használt igazított mérlegeredmények szerint korrigáltuk a megyei adatokat.

Megyenév	Megye-kód	16	17	18	átlag	16 korr.	17 korr	18 korr	korr. Átlag
BARANYA	2	5.3	10.8	-3.3	4.3	29.8	35.4	21.2	28.8
BÁCS-K.	3	-11.7	1.2	-6.5	-5.6	12.9	25.8	18.0	18.9
BÉKÉS	4	-20.7	11.8	-9.1	-6.0	3.8	36.3	15.5	18.5
BAZ	5	-13.5	2.3	2.9	-2.7	11.0	26.8	27.5	21.8
CSONGRÁD	6	-17.4	1.1	-22.8	-13.0	7.2	25.7	1.7	11.5
FEJÉR	7	-13.4	-3.8	-11.7	-9.6	11.2	20.7	12.8	14.9
GYŐR - M.-S.	8	-14.1	16.4	-7.5	-1.7	10.4	41.0	17.1	22.8
HAJDÚ - B.	9	-7.1	3.3	1.9	-0.7	17.4	27.8	26.4	23.9
HEVES	10	-3.8	12.9	2.5	3.9	20.7	37.5	27.1	28.4
KOMÁROM-E.	11	-9.5	25.7	5.5	7.2	15.0	50.2	30.0	31.8
NÓGRÁD	12	-11.7	15.4	-2.4	0.5	12.9	39.9	22.2	25.0
PEST	13	0.0	13.2	0.8	4.7	24.5	37.8	25.3	29.2

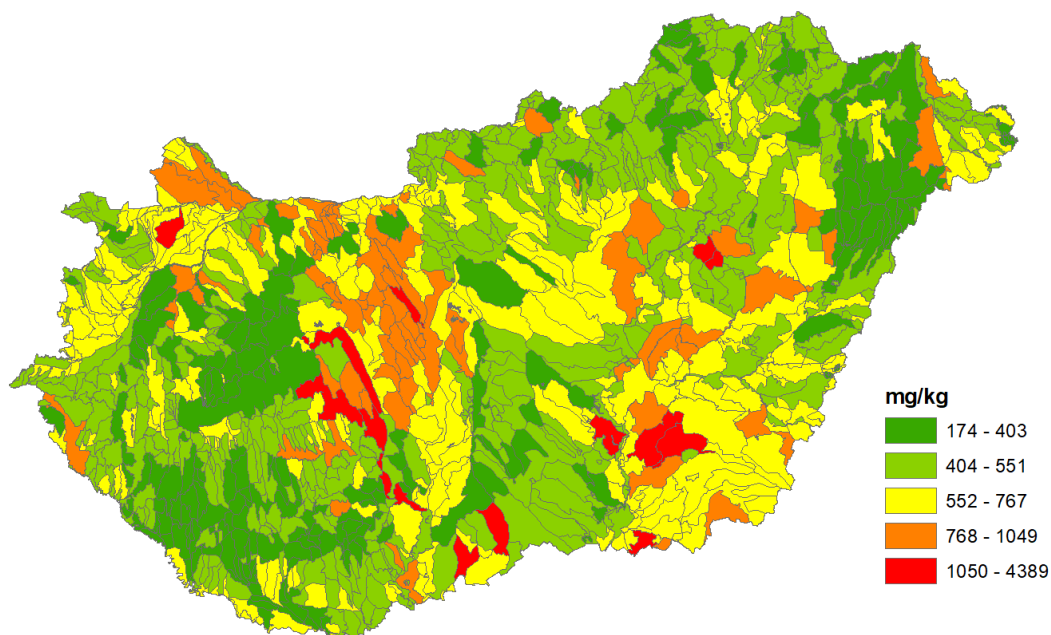


A Duna-vízgyűjtő magyarországi része

SOMOGY	14	6.5	13.8	12.1	10.8	31.0	38.3	36.7	35.3
SZABOLCS - SZ.-B.	15	-4.6	4.5	6.3	2.1	20.0	29.0	30.8	26.6
JÁSZ - N.-SZ.	16	-3.7	9.4	8.3	4.7	20.8	33.9	32.8	29.2
TOLNA	17	-3.6	21.8	6.1	8.1	20.9	46.4	30.6	32.6
VAS	18	0.6	13.7	4.2	6.2	25.2	38.2	28.7	30.7
VESZPRÉM	19	-1.6	13.2	11.0	7.5	22.9	37.7	35.5	32.0
ZALA	20	4.5	23.2	6.0	11.2	29.0	47.7	30.5	35.8
ÁTLAG		-6.3	11.1	0.2	1.7	18.2	35.6	24.8	26.2

17. ábra: Víztestekre számított átlagos összes foszfor tartalom a TIM adatbázis valamint korábbi számítások alapján

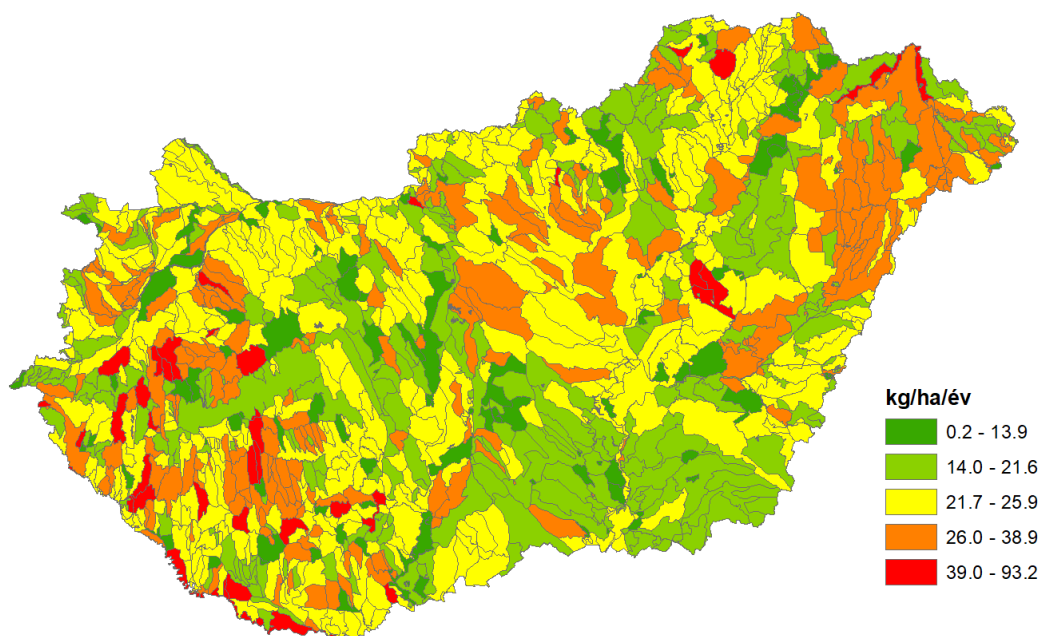
Mezőgazdasági talajok átlagos foszfor tartalma





18. ábra: Víztestekre számított korrigált átlagos nitrogén többlet a 3 éves időszak átlagában az AKG naplók, valamint korábbi számítások alapján

Mezőgazdasági talajok átlagos nitrogén többlete



TIM adatállomány vizsgálata

A tápanyagmérleg számítások évről évre jelentősnek nevezhető különbséget mutatnak attól függően, hogy milyen módszertant követnek. A hazai számítások (Deák, 2016) rendre alacsonyabb tápanyagtöbbletet (leginkább deficitet) mutatnak országos átlagban, míg a KSH által évente elkészített országos mérleg (https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_tal001b.html) illetve az EUROSTAT európai metodika (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agricultural_environmental_indicator_-_gross_nitrogen_balance) szerinti eredmények sokkal inkább a mérsékelt többlet irányába mutatnak (KSH: 2016-2017-es időszakra 31.82 kg/ha a bruttó nitrogén mérleg).

Annak érdekében, hogy a tápanyagmérlegek tartományát ellenőrizzük, a TIM adatbázis (Talajvédelmi Információs Rendszer) adatait szűrés után térképre vittük és elkészítettünk egy megyei összehasonlítást 4 rendelkezésre álló időpontban (1996, 2004, 2010, 2016). A vizsgálat célja annak megállapítása volt, hogy van-e egyértelmű csökkenés a tápanyagszintekben. Ez elsősorban foszfor esetében nyújt jó visszajelzést arról, hogy a tápanyagmérlegek valóban lehetnek-e hosszú távon negatív tartományban, ahogy azt a számítási módszerek kihozzák sok esetben. Úgy véljük, hogy a tartós deficit megmutatkozna az összes foszfor szinteken is, így azoknak csökkenniük kellene tízéves időtávon. A töménysavas pseudo-összes elem tartalomra vonatkozó vizsgálatok eredménye azt mutatja, hogy országos szinten nincs egyértelmű trend a foszfortartalom alakulásában, bár némi csökkenés tapasztalható a 2004-2016-os időszakot nézve (2-3 kg/éves csökkenés). Somogy, Vas és Komárom-Esztergom megyében tapasztalható nagyarányú visszaesés, míg Győr-Moson-Sopron, Bács-Kiskun és

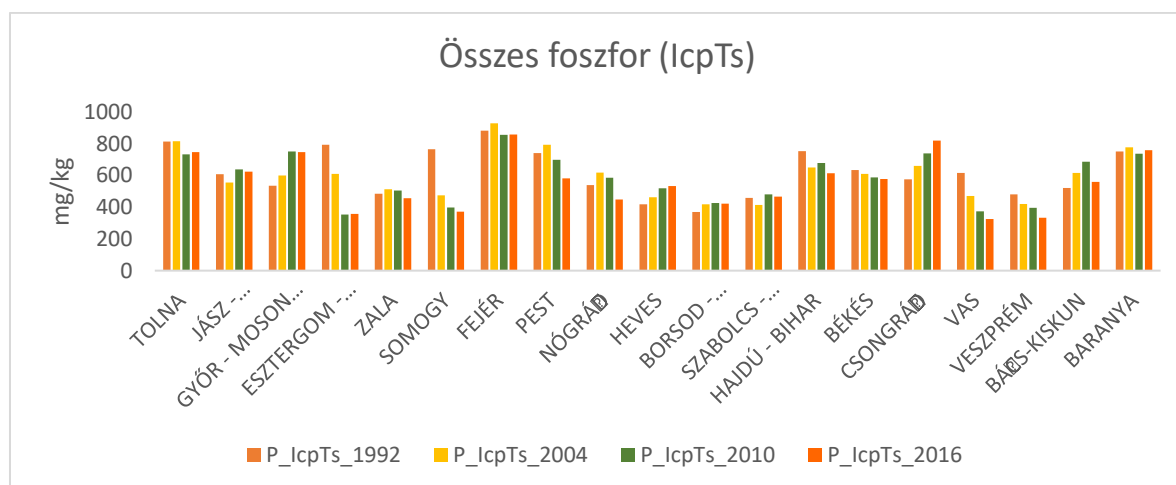


Csongrád megyékben egy egyértelmű növekedés tapasztalható. Az adatokat a vizsgálathoz megszűrtük, a 20 mg/kg-nál kisebb értékű pontokat, valamint a 2000 mg/kg-nál nagyobb értékű pontokat kihagytuk az analízisből, illetve medián értékeket használtunk a számításokhoz az esetleges hibás szélsőértékek torzító hatásának kiküszöbölése érdekében. Megállapítható tehát, hogy a tartós jelentős (6-9 kg/ha/év) negatív foszformérleg (minden megyére, lásd **13. ábra**, *Hiba! A hivatkozási forrás nem található.*) nem tekinthető reálisnak, országos átlagban egy nulla közeli, vagy enyhén negatív mérleg jobban tükrözi a TIM adatbázis méréseit.

Megnéztük ugyanakkor az ammónium-laktát oldószeres foszfortartalom alakulását is, mely a növények számára elérhető foszfor mennyiségét hivatott megmutatni. Ez az adat érzékenyebb a szezonálisra és a klimatikus hatásokra és a termés hozamra. Az egyedi mérési hibák okozta bizonytalanságot ellensúlyozza az országra, valamint megyére történő összegzés. A szélsőséges értékek kiküszöbölésére a mediánt (is) mutatják az alábbi ábrák (**19. ábra**, **20. ábra**, **21. ábra**). Országos értékek tekintetében nem megfigyelhető meg jelentős változás (a 2016-os év adatai hiányosak, 4 megyéből nincs adat). Az összes foszforhoz hasonlóan eltérés mutatkozik megyénként az elérhető foszfor tartalom időbeli alakulása tekintetében. Egyértelmű, fokozatos növekedés egyik megyében sem látható, míg Jász-Nagykun-Szolnok és Bács-Kiskun megyékben egy fokozatos csökkenés figyelhető meg.

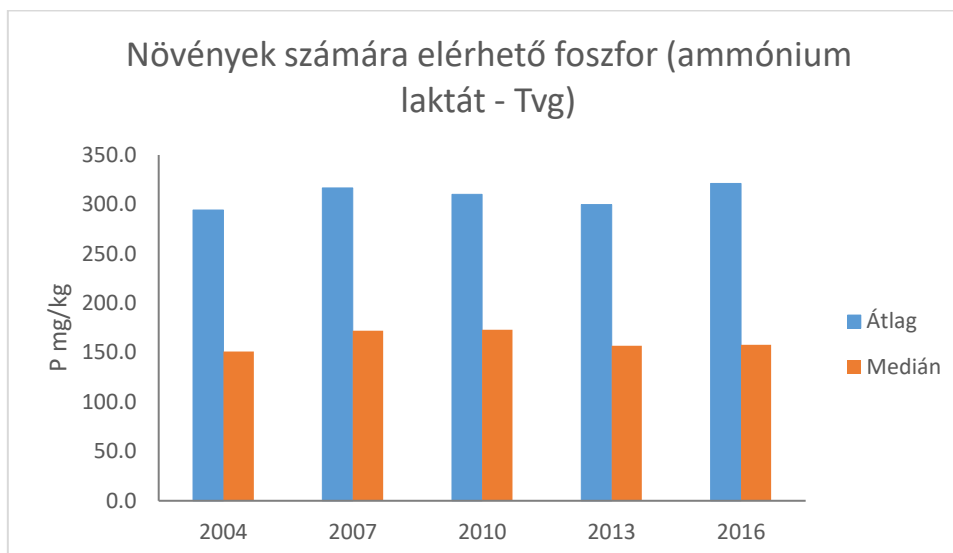
Mindezek tükrében az AKG naplókban származó tápanyagmérlegek negatív értékeit túlzónak találjuk és korrigáljuk oly módon, hogy tükrözzék az elmúlt időszakban megfigyelhető tápanyagszinteket (**2. táblázat**, **3. táblázat**). A tápanyagmérlegek területi eloszlását természetesen nem korrigáljuk. A korrekciót a korábbi elemzések (Clement, 2018) szerint számított elemzések segítségével végeztük el, ahol a 2016 évre történtek számítások, így ez az év szolgált a korrekció bázisaként. Az átlagos eltérést számítottuk ki országos átlag tekintetében, majd ezzel korrigáltuk az egyes víztestekre vonatkozó értékeket, mely matematikailag egy egyszerű eltolást jelent.

19. ábra: TIM adatbázisból számolt megyei összes foszfor (töménysavas eljárással kinyert - IcpTs) koncentrációk időbeli alakulása 1992-2016 között

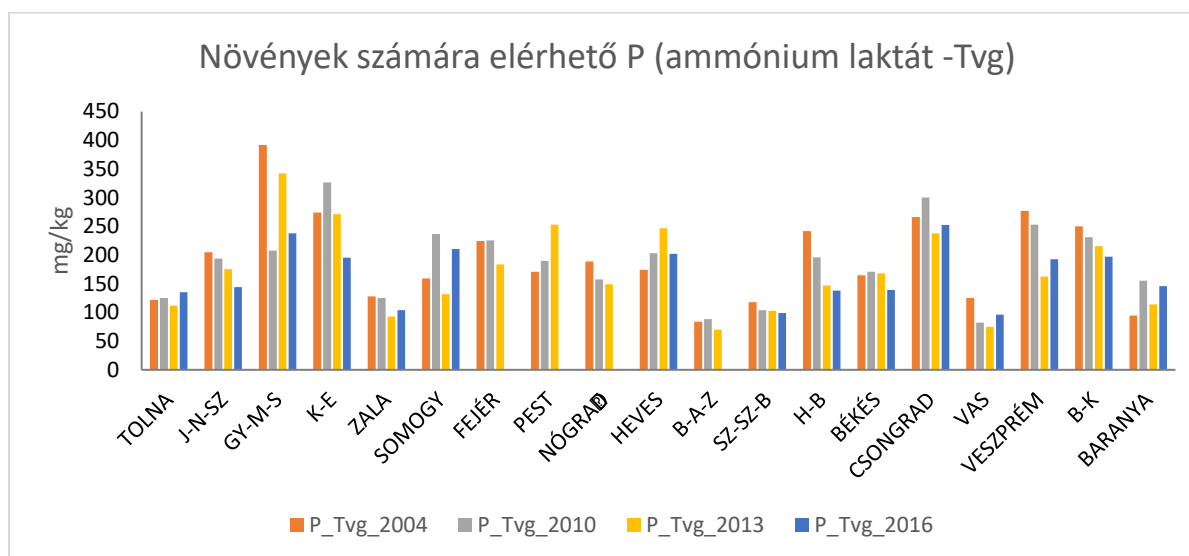




20. ábra: Ammónium laktátos foszfor mennyiség országos átlag és medián értékei a TIM adatbázis adatai alapján



21. ábra: TIM adatbázisból számolt megyei ammónium laktátos foszfor koncentrációk időbeli alakulása 1992-2016 között



4. táblázat: Az összes foszformérési adatainak leíró statisztikái

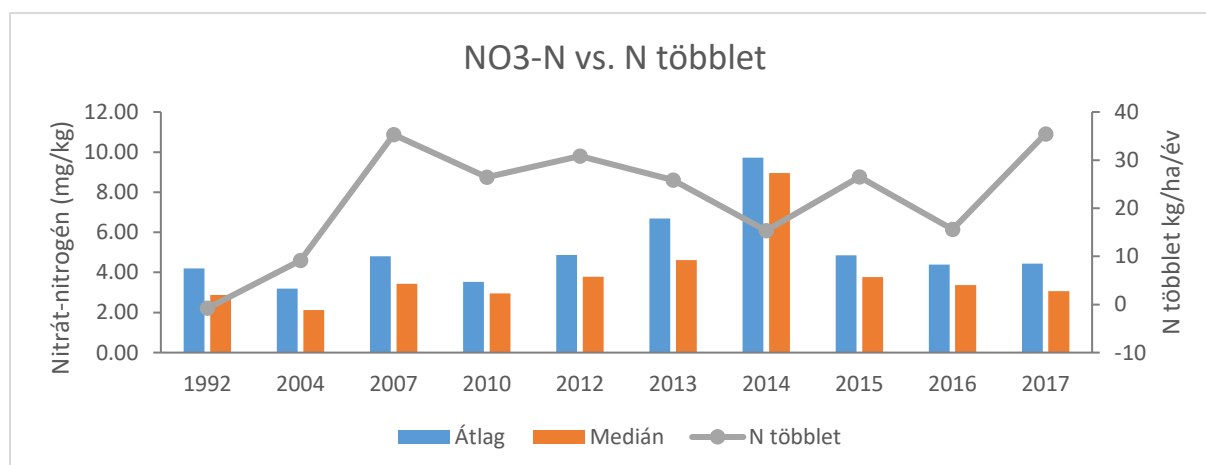
Statisztika	1992	2004	2010	2016
Mintaszám (n)	1021	1021	1021	1014
Minimum	19.9	23.4	2.1	22.6
Maximum	1998.0	1873.0	1890.0	1991.0
1. kvartilis	392.8	395.5	390.0	351.2
Medián	580.1	541.0	558.0	518.4
3. kvartilis	812.5	749.3	769.0	746.2



Átlag	632.7	596.9	598.3	579.0
Variancia (n-1)	110354.7	83400.2	75783.8	95540.7
Szórás (n-1)	332.2	288.8	275.3	309.1

Nitrogén esetében a többlet illetően értékelése nem lehetséges, hiszen az aktuálisan mért nitrát koncentrációk nem válthatók át nitrogén többletre. Ugyanakkor modellezési szempontból a nitrogén deficit sem értelmezhető, hiszen a beszivárgó vízben mindig van nitrogén. Ennek koncentrációja mindig a felső termőréteg aktuális nitrát koncentrációjától függ, mely éven belül változik a tápanyag kihelyezéstől a növényi felvétellel arányosan. A **4. táblázat** mutatja a nitrogén koncentrációk alakulását az elmúlt évtizedekben. Bár nem következtethetünk a tápanyagmérlegekre ebből, azt azonban jól láthatjuk, hogy jelentős trendszerű csökkenés nem tapasztalható az átlagos koncentrációkban (**22. ábra, 5. táblázat**). Ebből az adatból inkább az tükröződik, hogy egyes években az alacsonyabb terméshozam (illetve egyéb klimatikus tényezők) miatt nagyobb többlet adódik a talajban (2014).

22. ábra: Nitrát nitrogén alakulása a felső talajrétegben 1992 óta.



5. táblázat: nitrát nitrogén koncentrációk és a nitrogén többlet országos alakulása 1992-2017 között

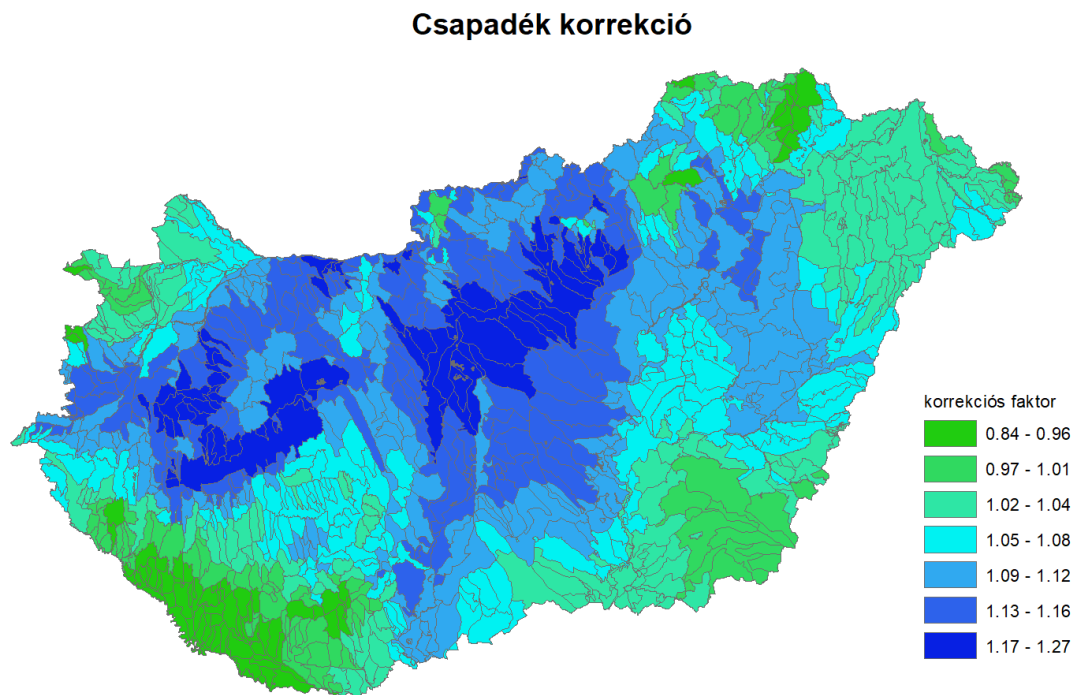
NO ₃ -N	1992	2004	2007	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Átlag	4.19	3.19	4.81	3.52	4.87	6.69	9.72	4.85	4.39	4.44
Medián	2.87	2.12	3.43	2.96	3.78	4.62	8.95	3.77	3.36	3.07
N többlet	-0.79	9.16	35.28	26.45	30.84	25.88	15.33	26.55	15.61	35.47

2.1.9 Lefolyás becslés

A lefolyás számításánál a korábbi Nitrát Jelentésben leírt módon jártunk el (Jolánkai Z. K., 2018). A vízmércék feletti vízgyűjtőkön a sokéves csapadék-párolgás különbség osztja szét a területi lefolyást. Más víztesteken vagy egy csatornahosszon alapuló regressziós becsléssel történik a becslés, vagy a sokéves lefolyás csapadékkal történő korrekciójával történik a lefolyás meghatározása. Ez utóbbi esetben egy csapadék arányos korrekciót alkalmaztunk, mely a 2016-2018 és a 1981-2010 közti időszak átlagos éves csapadékösszeg adatainak összevetéséből adódik (**23. ábra**). A területi fajlagos lefolyást a **24. ábra** mutatja.



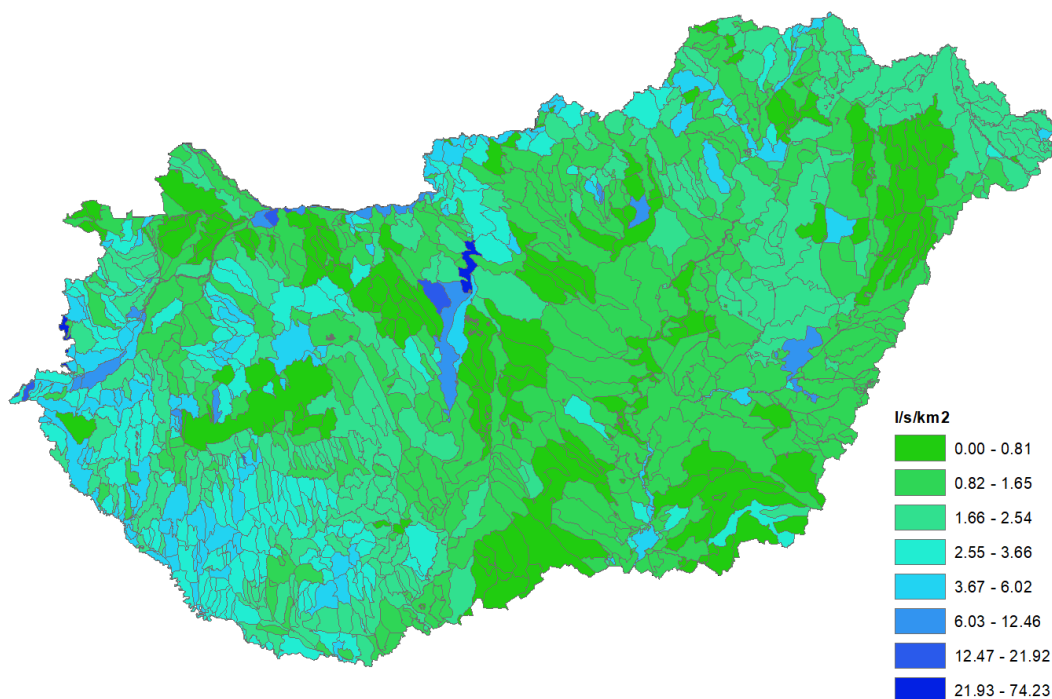
23. ábra: Csapadék korrekciós tényező területi eloszlása. (három éves átlag osztva a harminc éves átlaggal)



A modellezési időszakra számított éves átlagos lefolyás alakulását a **23. ábra** mutatja.

24. ábra: A vízgyűjtők éves átlagos összes lefolyásának területi eloszlása (m³/s)

Éves átlagos fajlagos lefolyás



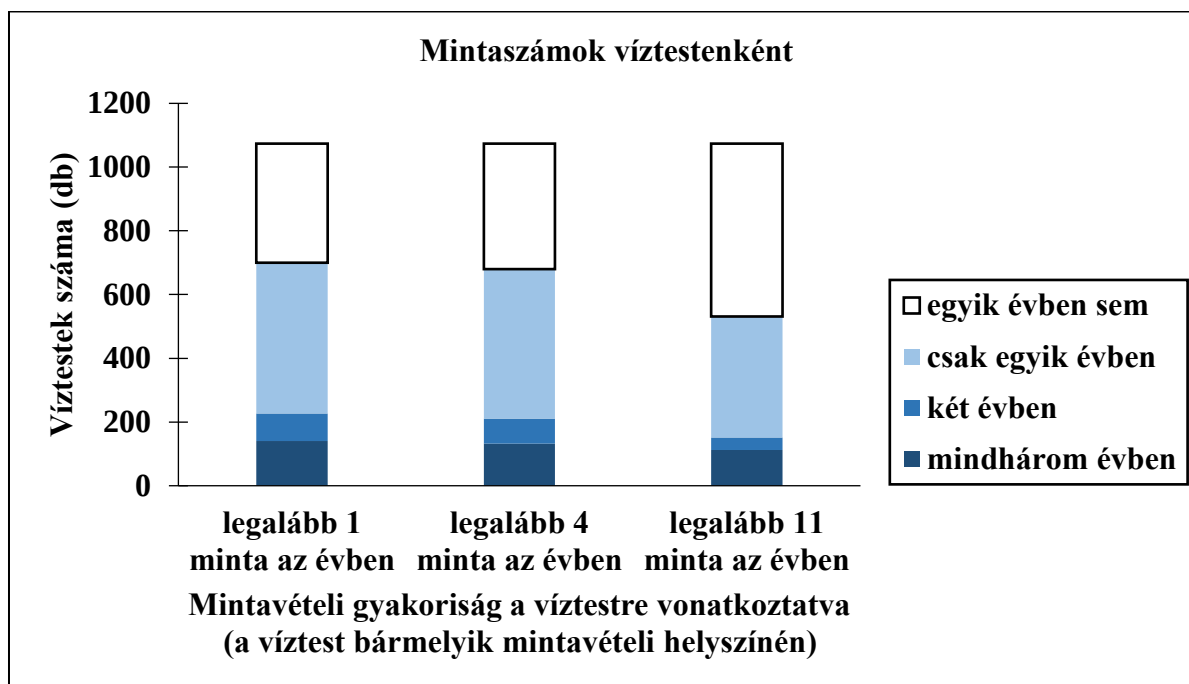
3 Eredmények

3.1 Modell validáció

A modell teljesítményének mérését a mért vízminőségi monitoring pontok adataival lehet ellenőrizni. Bár több száz monitoring pont van országosan, csak 30-40 olyan pont adódik az országban, amely érdemes az összevetésre. A validációs pontok kiválasztásának elsőszámú szempontja, hogy tisztán hazai vízgyűjtője legyen, a hazánkon kívüli területekről nincs információnk sok tekintetben. Az ezen feltételnek megfelelő mérési pontok közül azokat választottuk be a validációs adatbázisba, melyeknél van vízhozam mérési pont. Bár a FEVI adatbázisban sok vízhozam mérési adat is van, azokat a valós éves átlag lefolyással összevetve nagy eltéréseket tapasztaltunk, mely a lefolyásban és a terhelésben egyaránt nagy hibát okoz. Harmadik feltétel, hogy a modellezési időszak mindhárom évéből származzon legalább évi 6 mérési adat. A szűrések után 26 validációs monitoring pontot hagytunk az adatbázisban. A vízminőségi adatok mintaszámaira vonatkozó statisztikát a **(1. ábra)** mutatja.



25. ábra: Víztesteken végzett vízminőségi mintavételek száma



A validációs eredmények elfogadhatóak a korábbi vizsgálatok (Hazai: VGT2, Nemzetközi: DRBMP) tükrében. A korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan, a nitrogén számítás pontosabb eredményeket hoz (6. táblázat, 26. ábra), a foszfor nagyobb szórást mutat (27. ábra), elsősorban a kis terhelés tartományokban. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy a foszfor retenciós képleteinek kalibrációja minimális visszatartást hozott, ami annak köszönhető, hogy a nagyobb vízgyűjtőkön rendre alacsony értékeket számított a modell (Jolánkai és mtsi. 2020). A nagyobb vízgyűjtőkre igazított modell, viszont a kisebb vízgyűjtőkön túlbecslést eredményez. Mindezek ellenére nem tekinthető rossznak a modell eredmény. Legfontosabbnak a hazai nagyobb vízgyűjtőket tekintjük a validáció szempontjából, ezek a vízgyűjtők kielégítő eredményt hoztak. A Kapos, a Zagyva és a Marcal és a Nádor csatorna vízgyűjtők 10 % körüli pontosságot hoztak ÖN tekintetében és 20% körüli pontosságot ÖP tekintetében. Rosszul teljesített a modell a Lónyai csatorna esetében, ahol a foszfort erősen alul, a nitrogént jelentősen felül becsli. Ennek elsődleges oka a pontszerű kibocsátások és a mért összes vízhozam aránytalanságában rejlik (0.49 m³/s-os mért átlag vízhozamhoz 0.43 m³/s-os éves átlagos szennyvízhozam társul, mely irreálisan alacsony területi lefolyást eredményezne. Kisebb vízgyűjtők közül még a Concó, Cuhai-Bakony ér becslési pontossága emelhető ki.

6. táblázat: Validációs pontok mért és számított átlagos terhelés adatai a 2016-2018-as időszakban

Víztest	VT_VOR	Számított terhelések (t/év)				Mért terhelések (t/év)		
		Vízhozam	TN	DIN	TP	TN	DIN	TP
Által-ér alsó	AEP273	0.90	105.88	90.15	10.57	66.27	43.19	5.28
Babócsai-Rinya	AEP288	3.22	210.45	160.26	10.97	179.09	99.04	14.62
Büdösgáti-víz alsó	AEP356	0.08	16.55	11.89	1.34	9.60	7.47	0.24

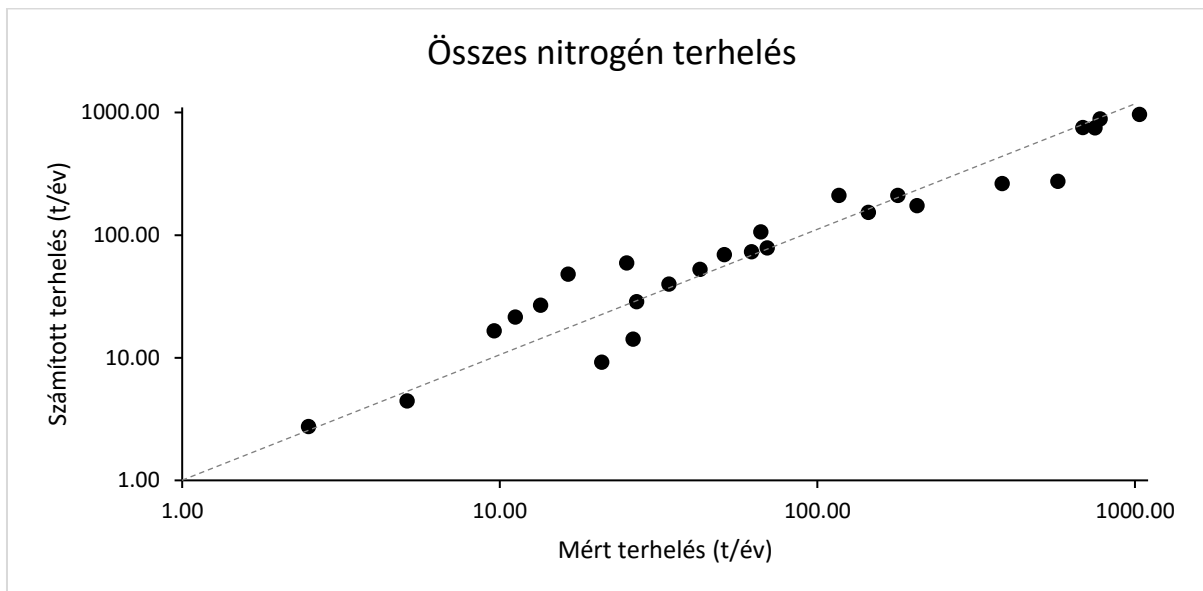


A Duna-vízgyűjtő magyarországi része

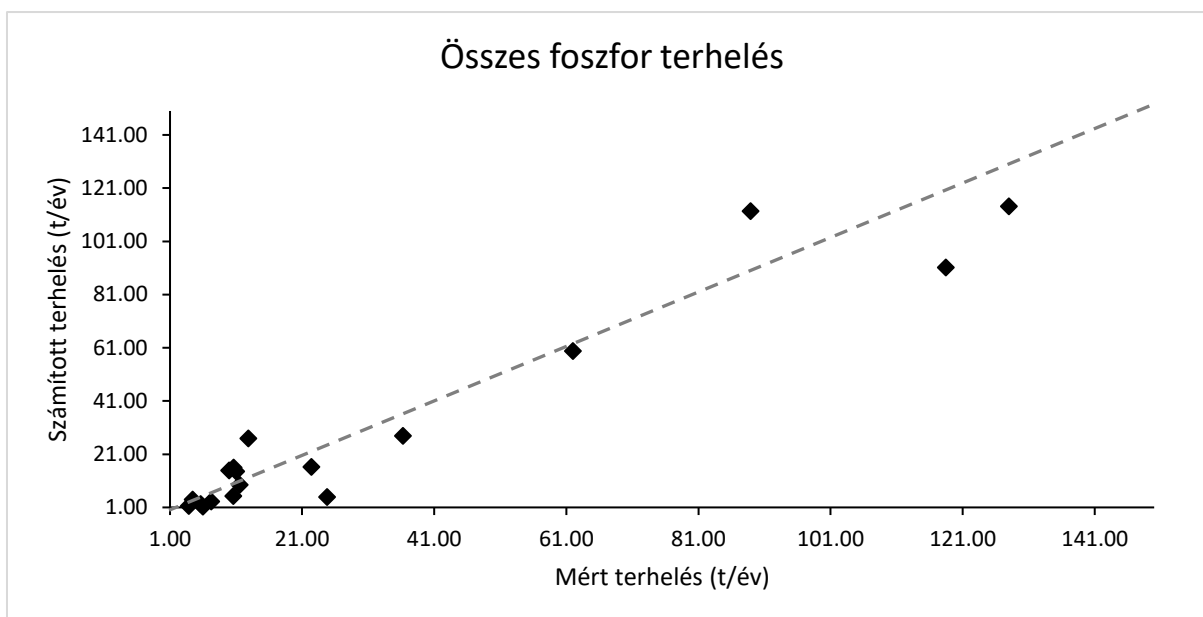
Concó alsó	AEP371	0.34	78.27	55.12	7.20	69.45	58.24	3.30
Cuha (Bakony-ér) alsó	AEP376	1.07	152.51	114.54	9.92	144.69	121.32	14.89
Császár-víz alsó	AEP382	0.17	14.13	10.72	1.33	26.28	15.90	0.58
Dömösi-Malom-patak	AEP436	0.06	2.74	2.64	0.10	2.50	1.85	0.37
Galla-patak alsó	AEP505	0.18	21.42	17.58	2.83	11.17	9.15	0.45
Kapos alsó	AEP631	8.01	961.89	728.44	127.99	1031.66	798.00	114.20
Kapos közép	AEP632	2.43	274.62	223.08	36.23	571.61	373.20	27.92
Kenyérmezei-patak és mellékága	AEP657	0.17	39.72	34.68	4.41	34.05	29.81	3.99
Kígyós-főcsatorna alsó	AEP669	0.37	59.17	31.50	10.62	25.05	12.52	16.01
Koppány és mellékvízfolyásai	AEP704	0.24	69.32	59.14	11.50	50.86	40.73	9.50
Lónyay-főcsatorna	AEP766	1.09	209.59	137.93	12.83	116.68	95.46	26.94
Marcal torkolati része	AEP777	6.37	749.13	585.94	61.97	748.35	535.42	59.85
Nádor-csatorna (Sárvíz) középső	AEP820	5.87	885.13	685.70	118.45	775.48	565.43	91.16
Pécsi-víz alsó	AEP876	1.96	262.91	202.93	22.40	381.39	326.65	16.25
Tapolca-patak	AEQ032	0.32	52.50	44.85	3.84	42.64	37.32	1.54
Tetves-patak	AEQ053	0.16	26.81	21.12	2.06	13.43	10.38	0.38
Torna-patak középső	AEQ075	0.56	73.17	59.61	5.59	61.95	55.20	2.25
Zagyva alsó	AEQ140	7.31	751.88	505.81	88.85	684.57	598.14	112.43
Karasica felső	AOC793	0.09	9.19	5.87	1.28	20.91	18.76	0.31
Karasica közép	AOC794	1.59	172.92	121.13	24.74	205.58	149.93	4.93
Kemence-patak dél	AOC796	0.41	28.50	24.66	0.65	26.92	26.45	1.89
Naszály-Grébicsi-vízfolyás felső	AOC825	0.02	4.43	3.10	0.34	5.10	4.60	0.07
Borza-patak és mellékvízfolyásai	AOH642	0.21	47.82	42.40	5.97	16.39	13.62	1.30



26. ábra: Validációs pontok mért és számított átlagos összes nitrogén terhelés adatai a 2016-2018-as időszakban



27. ábra: Validációs pontok mért és számított átlagos összes nitrogén foszforterhelés adatai a 2016-2018-as időszakban



3.2 Lefolyás

A terhelések változásának nyomon követésére a lefolyás változásának ismerete fontos. Jelen időszak számításai szerint a területi lefolyás (összes diffúz) 8%-al csökkent a 2009-2012-es időszakhoz képest, míg 2.4%-al nőtt a 2013-2016-os időszakhoz képest (**7. táblázat**). Az új területhasználati adatoknak, illetve a városi lefolyás növekedésének következtében változott a számított felszíni és felszín alatti lefolyás aránya, ez hatással van a terhelések változására



is. Az összes szennyvízhozam valamennyit csökkent, de ez az ipari kibocsátások nem egészen konzisztens adatbázisa miatt nem minősül megbízható adatnak.

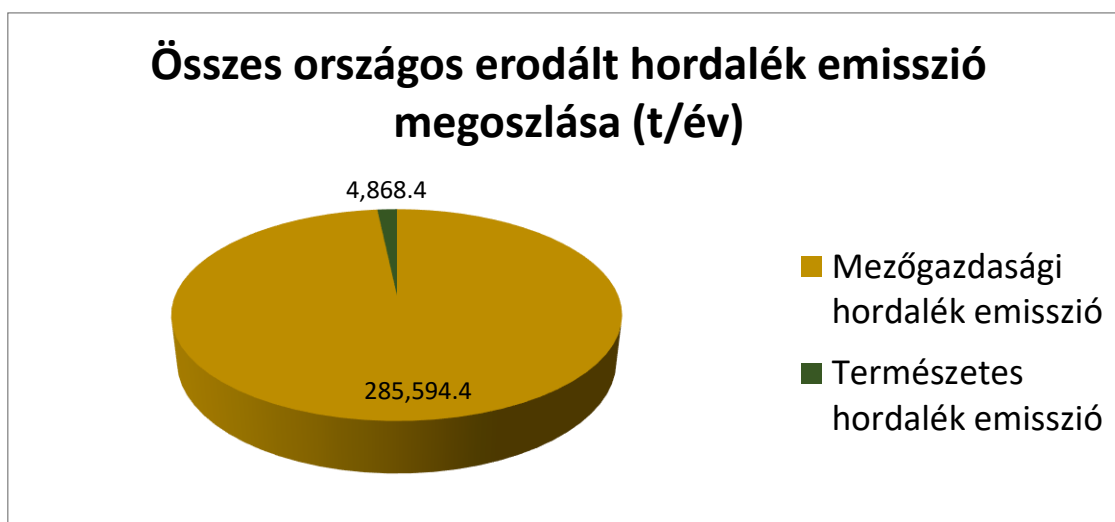
7. táblázat: A modellezési időszak útvonalankénti lefolyásának összevetése a korábbi számításokkal

Lefolyás (m ³ /s)	Légköri lefolyás	Felszíni lefolyás burkolatlan területek-ről	Drén- rendszerek	Talajvíz hozam	Városi lefoly.	Összes diffúz lefolyás	Szenny- víz hozam	Összes hozam
2009- 2012	18.1	23.2	1.6	136.2	9.7	188.7	28.7	217.5
2013- 2016	18.1	18.2	1.6	122.3	9.7	169.8	28.7	198.5
2016- 2018	16.8	19.4	1.5	126.2	10.0	173.9	26.9	200.8
Diff.1	-7.2%	-16.1%	-5.5%	-7.4%	3.2%	-7.9%	-6.4%	-7.7%
Diff.2	-7.2%	6.9%	-5.5%	3.2%	3.2%	2.4%	-6.4%	1.1%

3.3 Lokális emissziók

A korábbi vizsgálatokban a természetes erózió túlzott mértéke volt jellemző, mely területhasználati adatokra volt visszavezethető. Jelen vizsgálatban a pontos élőhely alaptérkép, valamint a tábla szintű C tényező térkép javították az erózióbecslés pontosságát. A mezőgazdasági területekről származó erózió 285 ezer tonnára jött ki, míg a természetes erózió mindössze 4.8 ezer tonnára adódott (**28. ábra**).

28. ábra: Erózió megoszlása



A lokális emissziók országos összegzése jó összevetési lehetőség az időbeli változások követésére. Jelen időszak vizsgálati eredményeit összevetettük a korábbi két vizsgált időszak eredményével (**8. táblázat, 9. táblázat**). Fontos megemlíteni, hogy némi változás az adatfeldolgozási módszerekben volt, így az adatok némi módszertani hatással terheltek,



azonban ezek nem jelentősek, a modell egyenletek változatlanok. Nitrogén esetében a légköri kiülepedésből származó terhelés folyamatos növekedése figyelhető meg, csakúgy, mint a felszíni lefolyás terhelése esetén. A mezőgazdasági erózió mértéke erősen lefolyás függő, így az évről évre változik, nincs egyenletes trend. A talajvízből származó terhelés a legjelentősebb tényező, mely szintén elsősorban a lefolyástól, azaz a klimatikus hatásoktól függ. A városi lefolyás jelentősebb növekedést mutat időszakról időszakra. Az újabb területhasználati adatállományok esetében sok esetben nőtt a belterületek alapterülete a korábbiakhoz képest. A pontszerű kibocsátás enyhe csökkenést mutat a legutóbbi időszakhoz képest és erős csökkenést a VGT2 vizsgálati időszakához képest.

8. táblázat: A vizsgált időszak összes nitrogén emisszióinak összevetése a korábbi modellezési időszakok eredményeivel. (Diff. 1 a korábbi, Diff. 2 a későbbi időszak eredményeivel veti össze a jelen vizsgálat eredményeit)

TN (t/év)	Légg. Kiül.	Felsz. Lefoly.	Mezőg. erózió	Term. erózió	Talaj drén	Talaj- víz	Városi lefoly.	Össz. diffúz	Összes pont- szerű	Össz. kt/év
TN 2009- 2012	1646	894	3535	12	555	13332	1876	21.85	10.31	32.16
TN 2013- 2016	1701	980	4597	18	314	11053	2147	20.81	8.63	29.47
TN 2016- 2018	1768	1177	3704	1	383	12329	2757	22.10	8.84	30.94
Diff. 1	7.5%	31.6%	4.8%	-89.9%	-30.9%	-7.5%	47.0%	1.1%	-14.3%	-3.8%
Diff. 2	4.0%	20.1%	-19.4%	-93.4%	22.1%	11.5%	28.4%	6.2%	2.4%	5.0%

Foszfor esetében a légköri kiülepedés változatlansága egyszerűen abból ered, hogy egy konstans értéket vettük figyelembe minden modell futtatásnál. A felszíni lefolyásból eredő terhelés növekedése a felszíni lefolyás növekedésének tudható be, mely 18.15 m³/s-ról 19.4 m³/s-ra nőtt. A talajvízből eredő terhelés a városi lefolyás növekedésével függ össze, ugyanis a modell vízmérleg megközelítése szerint a talajvízből eredő lefolyás a „maradéktag”, bármely lefolyási útvonal növekménye a talajvízforgalom csökkenését eredményezi. Összességében azonban csökkent a diffúz eredetű kibocsátás, melyet döntően a mezőgazdasági erózió csökkenéséből eredő csökkenés ad ki (Itt viszont az erózió számítási módszer lehet az elsődleges ok).

9. táblázat: A vizsgált időszak összes foszfor emisszióinak összevetése a korábbi modellezési időszakok eredményeivel. (Diff. 1 a korábbi, Diff. 2 a későbbi időszak eredményeivel veti össze a jelen vizsgálat eredményeit)

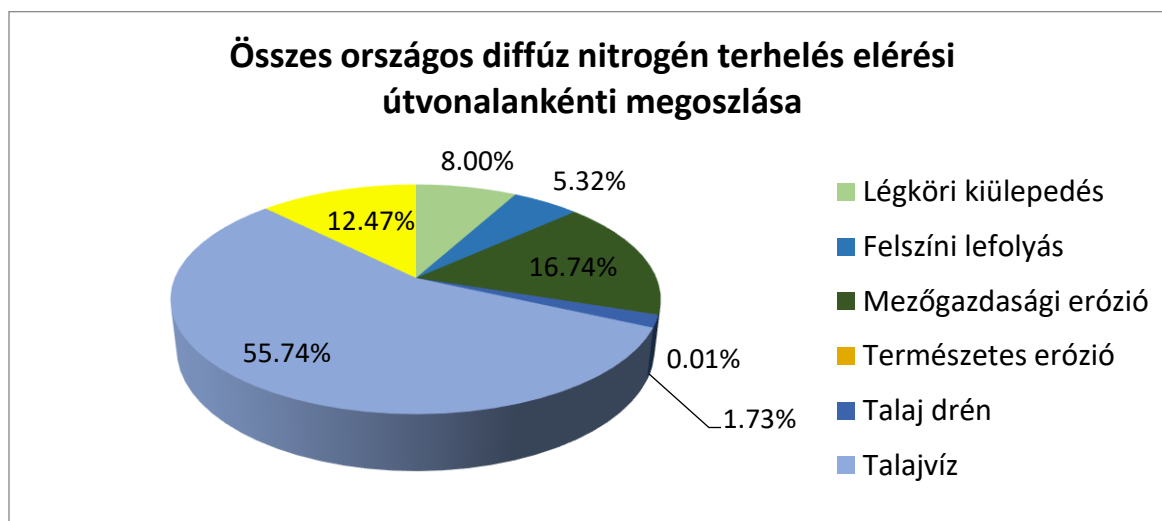
TP(t/év)	Légg. Kiül.	Felsz. Lefoly.	Mezőg. erózió	Term. erózió	Talaj drén	Talaj-víz	Városi lefoly.	Össz. diffúz	Összes pont- szerű	Össz. kt/év



TP 2009- 2012 TP	60	127	1083	7	4	270	460	2010	1253	3.26
2013- 2016 TP	60	123	1279	11	5	282	534	2294	1066	3.36
2016- 2018 TP	60	135	1062	1	4	229	659	2150	1240	3.35
Diff. 1	0.0%	6.0%	-1.9%	-89.9%	12.0%	-15.1%	43.4%	6.9%	-1.0%	-16.7%
Diff. 2	0.0%	9.8%	-16.9%	-93.4%	-4.9%	-18.7%	23.3%	-6.3%	16.3%	-0.3%

Az lefolyási útvonalak közti megoszlást nitrogén, valamint foszfor esetében a (29. ábra, 30. ábra) mutatja. Ez a korábbi vizsgálatokkal nagyon hasonló eloszlást mutat. Míg nitrogén esetében a talajvíz dominál, foszfor esetében a mezőgazdasági eredetű erózió felel az emissziók közel feléért (ez az arány csökkent valamelyest a javított USLE becslésből kifolyólag).

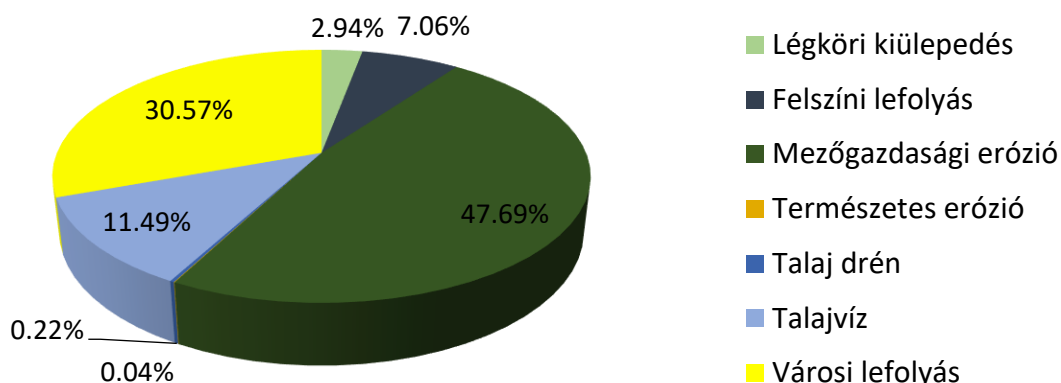
29. ábra: Összes országos diffúz nitrogén terhelés elérési útvonalankénti megoszlása



30. ábra: Összes országos diffúz foszfor terhelés elérési útvonalankénti megoszlása



Összes országos diffúz foszfor terhelés elérési útvonalankénti megoszlása



4 Előrejelzés

Figyelembe vett változók

4.1 Népeség

A népességváltozás forgatókönyv az elmúlt évtized statisztikai adataiból indul ki megyei szinten. A területileg jellemző népességváltozást extrapoláljuk a következő 7 éves időszakra.

Az előrejelzéshez a 2018. évi adatok és a 2013. évi adatok különbségéből éves átlagos változást számoltunk, és ez alapján extrapoláltunk, az alapvető logikai szabályok (pl.: csatornarendszerre csatlakoztatott lakosok száma nem haladhatja meg a népességszámot) betartása mellett. A népesség változása negatív előjelű, 9789635 főről 9603495 főre csökkent.

4.2 Pontszerű kibocsátások

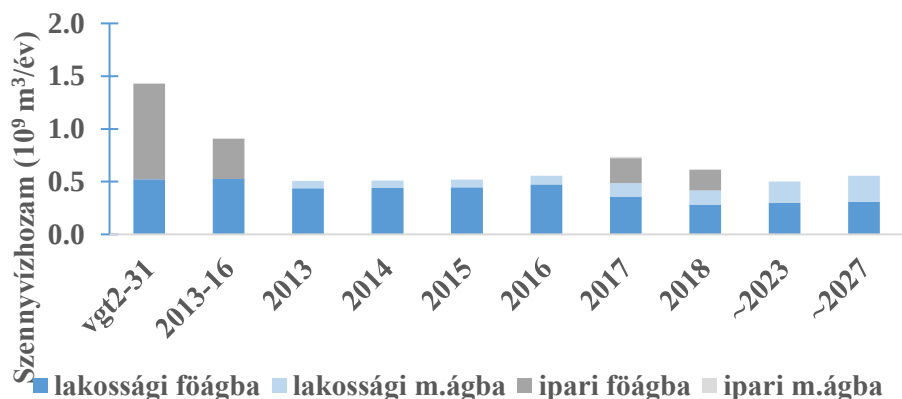
A kommunális kibocsátások esetében mind a vízhozamok, mind a terhelések ingadozása jóval nagyobb (az adatok nagyobb bizonytalansággal terheltek), mint a népességi adatok. Ezért a kommunális kibocsátások esetében két időszakra: a 2013-15 évekre és a 2016-18 évekre átlagot képeztünk; a két időszak különbségét feltételeztük trendnek, és ezt extrapoláltuk 2027-ig (**31. ábra, 32. ábra**).

Az ipari kibocsátások esetében az adatok bizonytalansága még a kommunális terheléseknél is nagyobb. Ráadásul az ipari tevékenységek sokkal inkább ki vannak téve külső tényezők hatásának (gazdasági helyzet, kormányzati intézkedések). Ezért itt extrapolációra nem vállalkoztunk, hanem a 2017-18. évi terhelések állandóságát feltételeztük.

31. ábra: Lakossági és ipari szennyvíz kibocsátások alakulása 2013 és 2027 között

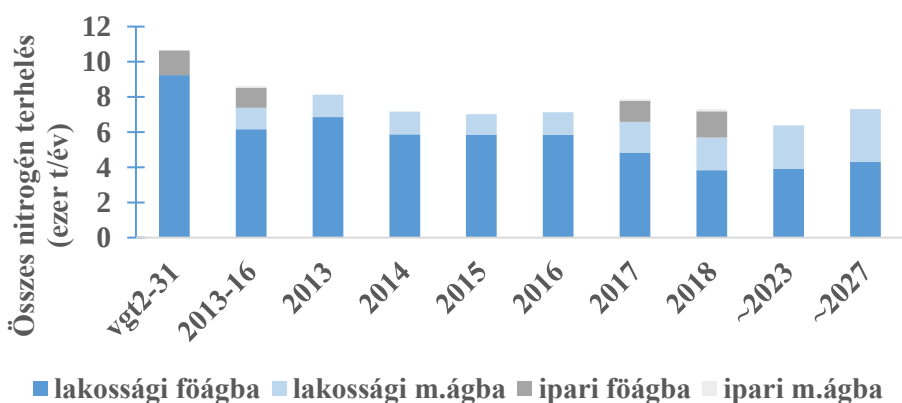


Lakossági és ipari kibocsátások



32. ábra: Lakossági és ipari szennyvíz kibocsátások nitrogén terhelésének alakulása 2013 és 2027 között

Lakossági és ipari kibocsátások



4.3 Területhasználati változások

A területhasználat tekintetében a változás legjobban a CORINE (EEA, 2017) adatbázis változásával követhető, 2006, 2012 és 2018-ból állnak rendelkezésre. Ezt a változást víztest szinten lehet figyelembe venni.

A Corine fedvények adatait konvertáltuk a Moneris adatbázisának megfelelő területhasználati kategóriákra. Ezt követően a területhasználati fedvények zóna statisztikáit számoltuk ki (ArcGIS – Zonal statistics) az egyes víztestekre. Így 3 időpontra kaptunk területhasználati

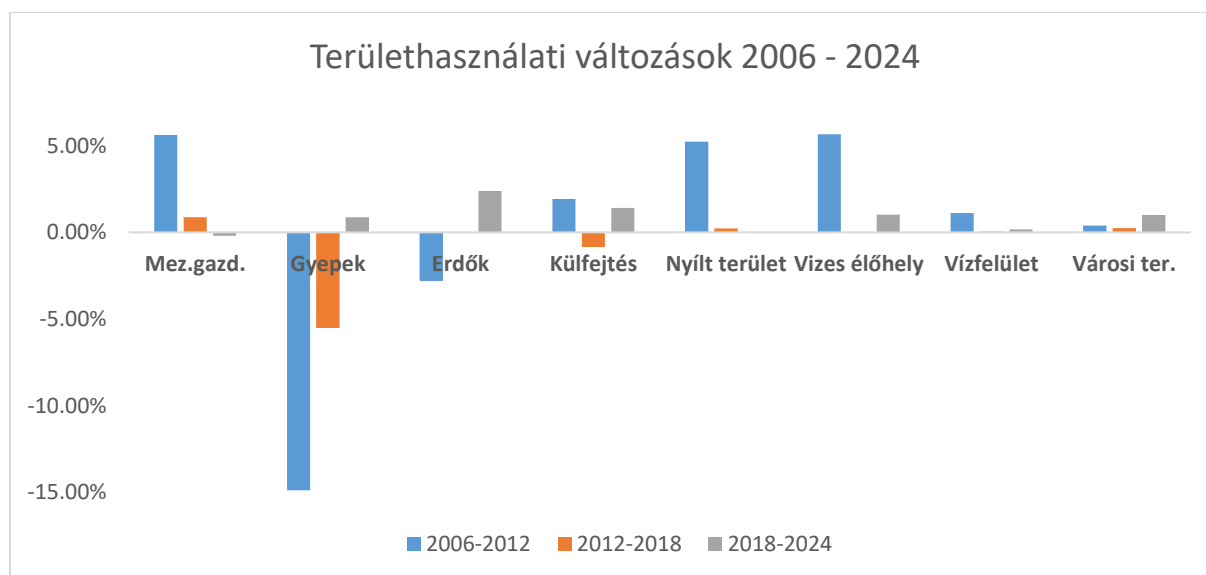


kategóriánként egy összes terület értéket, mely alapján ki lehetett számítani a területhasználatok változását minden víztest vízgyűjtőre. Országos összegzését a **10. táblázat** és a **33. ábra** mutatja.

10. táblázat: Területhasználatok területeinek változása 2006-tól (Országos összegzés), és az előrejelzett változás 2024-ig.

Terület (km ²)	Mez.gazd.	Gyepek	Erdők	Külfejtés	Nyílt terület	Vizes élőhely	Vízfelület	Városi ter.
2006	55,005	9,137	20,563	205	27	862	1,753	5,459
2012	53,460	9,312	21,638	175	28	871	1,760	5,766
2018	53,445	9,233	21,687	165	28	872	1,764	5,817
2024	53,341	9,313	22,207	167	28	881	1,767	5,875
2006-2012	-2.81%	1.92%	5.23%	-14.87%	5.66%	1.12%	0.40%	5.62%
2012-2018	-0.03%	-0.85%	0.23%	-5.51%	0.00%	0.04%	0.25%	0.88%
2018-2024	-0.2%	0.9%	2.4%	1.4%	0.0%	1.0%	0.2%	1.0%

33. ábra: Területhasználati változások 3 időszak vonatkozásában a CORINE adatbázis feldolgozása alapján



4.4 Tápanyagmérleg

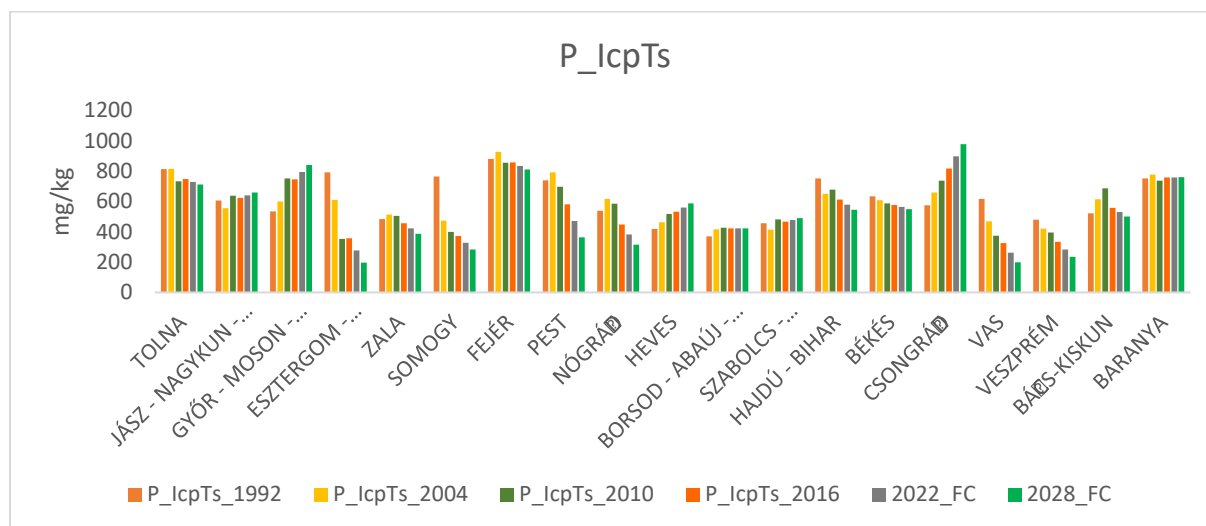
A tápanyagmérleg becslésében a korábban leírtakból is láthatóan jelentős bizonytalanság van (pl. tartós negatív mérlegek nem valószínűek) és a területi változékonysága is bizonytalan, így ennek előrejelzését nem tartjuk kivitelezhetőnek oly módon, hogy a következő 6 éves ciklusra



új kalkulációt készítsünk az aktuális időszakra (2024-2026 például). Ezt az is indokolja, hogy a tápanyagmérlegek régiós szinten az elmúlt évtizedben nem mutatnak trendszerű változást (**14. ábra**, **15. ábra**) egyik tápanyag esetében sem.

A mért összes foszfor értékekre támaszkodva viszont megyei szinten érdemben kimutatható tendenciákat lehet felfedezni, melyek már alkalmasak egy előrejelzés készítéséhez (**34. ábra**). Az elmúlt időszak 3 mérési pontját vettük figyelembe az előrejelzéshez. A mérések közti különbségeket súlyoztuk attól függően, hogy kisebb, vagy nagyobb lett-e a változás mértéke egyirányú változás esetén. Lassuló változás esetén az utóbbi differencia értékét 2-szeres, míg a korábbi 1-szeres súllyal vettük figyelembe. Ellentétes irányú változás esetén nem súlyoztunk, hanem egyszerű átlagszámítást alkalmaztunk. Az 1992-es referenciamérést kihagytuk a számításból. Az előrejelzések esetében tehát a korábbi trendek figyelembevételével számoltuk ki a várható értékeket lineáris extrapolációval. Ez persze nagy bizonytalansággal terhelt, hiszen számtalan tényező befolyásolhatja a tápanyag mennyiség alakulását.

34. ábra – Összes foszfor mérések megyére számolt mediánjai (sárgás színekkel a meglévő, zöldek színekkel az előrejelzett értékek)

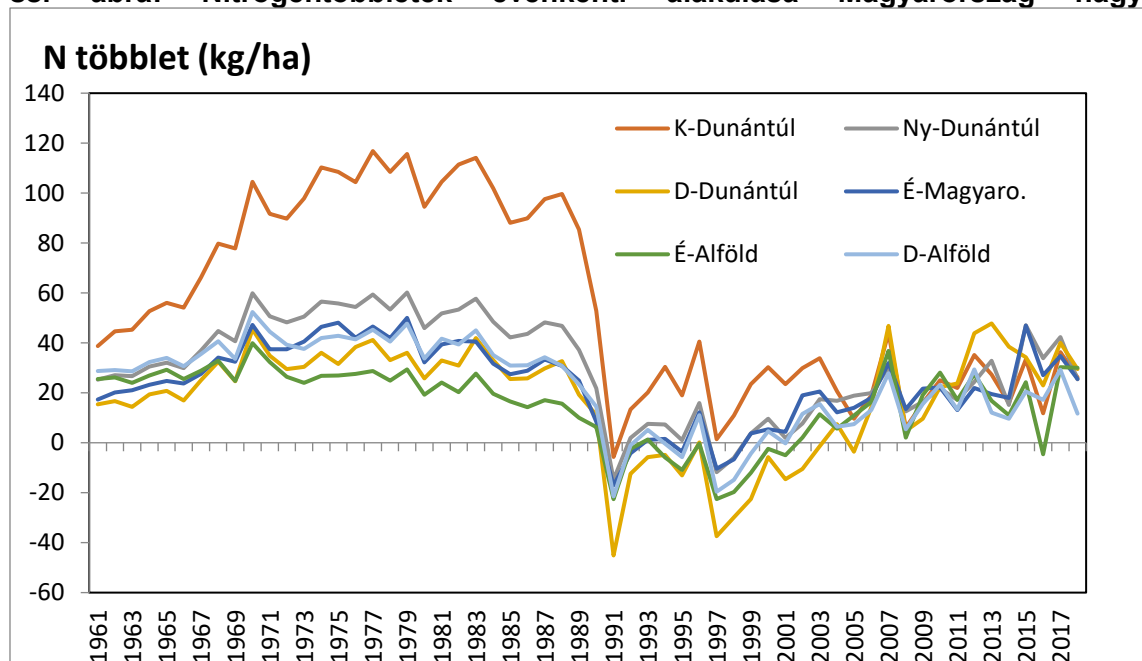


Ezen kívül egy olyan forgatókönyvet vizsgálunk, mely a jelenlegi mérlegek huzamosabb fenntartásának hatását vizsgálják. A tápanyagmérlegeknek ugyanis, főleg nitrogén esetében, elsősorban a felszín alatti útvonalon nyilvánul meg a jelentősége, de a talajvízben a koncentrációk változása nagyon lassú. A felszín alatti víz a vízgyűjtő egyes pontjairól többszáz, akár több ezer év alatt jut el a befogadóba, míg a vízfolyások közelében néhány év alatt lejátszódhat a jelenség. Emiatt érdekes vizsgálati eredményt nyújt, ha a vízgyűjtőre jellemző átlagos tartózkodási idő elteltével a tápanyagterhelés jelenlegi mértékéből fakadó tápanyag



koncentrációkat modellezzük. A gyakorlatban ez a hosszú távú tápanyagtöbblet aktuális tápanyagtöbbletre (35. ábra, 36. ábra) történő lecserélését jelenti. A rövidtávú előrejelzés esetében a hosszú távú tápanyagmérleg változását elhanyagoljuk, mivel ezen az időtávon ez nem érvényesülhet.

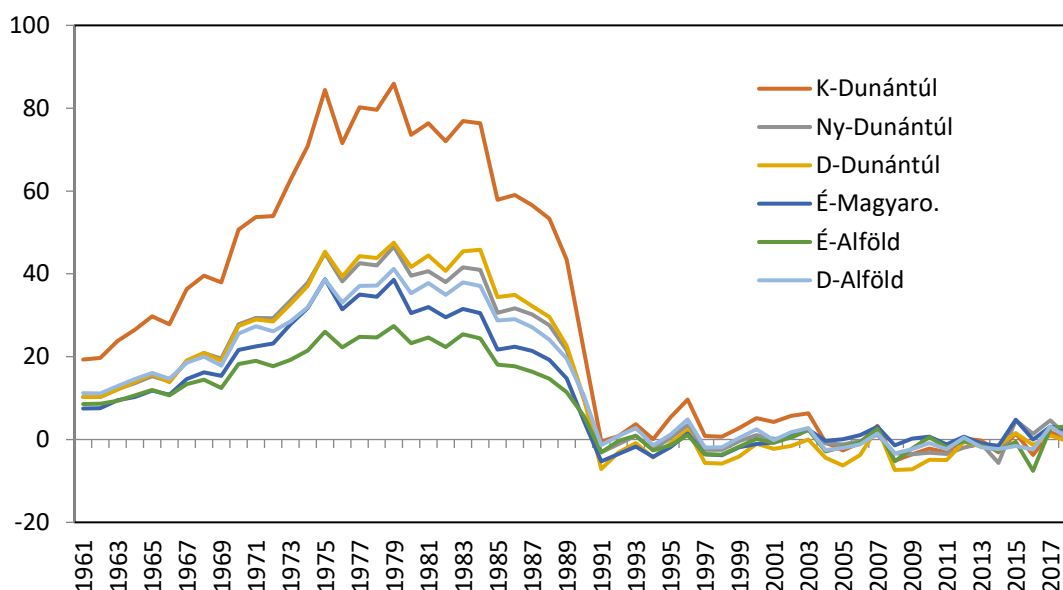
35. ábra: Nitrogéntöbbletek évenkénti alakulása Magyarország nagytájain



36. ábra: Foszfortöbbletek évenkénti alakulása Magyarország nagytájain



P többlet (kg/ha)



4.5 Az agrártámogatási rendszerből eredő változások figyelembevételének vizsgálata

Szűrőszávok alkalmazása

A vízvédelmi szűrőszávok időbeliségére vonatkozó információink nincs, hiszen ez a korábbi CORINE adatbázisokból nem állt rendelkezésre (abban a térbeli felbontásban nem kivethetőek az egyébként jellemzően néhány 10 méteres szávok). Az előhelytérkép (nőstép alaptérkép, hiv) finom térbeli felbontása kirajzolta a vizeket körbevevő dúsabb vegetációs zónákat. Ezek a zónák állandónak tekinthetők, hiszen leginkább a nehéz hozzáférhetőség miatt maradtak meg, és nem tekinthető a mezőgazdasági gyakorlatból eredő zónáknak. Változás leginkább a mezőgazdasági területeken megvalósuló állandó kultúrák megjelenésének (állandó gyepek, erdősítés) lenne köszönhető. Ennek leginkább az AKG területeken van realitása, mivel ezeken a területeken van pénzügyi ösztönzés ilyen területek fenntartására. Horizontális szántók esetében ilyenek a választható csomagok között található tartós zöldugarak (AKG, 1.15., 1.16). Mivel az alapsomagok között (azaz a kötelezően betartandó korlátozások) nincs állandó zöldugár, vagy gyepterület fenntartására vonatkozó előírás, így az AKG területeket nem lehet egységesen figyelembe venni szűrés tekintetében. A választható előírások felhasználásáról viszont nincs információ, így ennek hatását nem tudjuk vizsgálni.

Erózióvédelmi beavatkozások

Erózióvédelem tekintetében is annak lenne igazán jelentősége, ha akár a SAPS területeken, akár az AKG területeken az alapsomagban foglalva jelenne meg olyan előírás, amely az eróziót csökkentené. Az AKG horizontális szántó csomagjában egy olyan intézkedés van, mely az erózió csökkentésében szerepet játszhat, ez pedig a maximalizált táblaméret (40 ha, AKG 1.6). A tábla vagy parcella méret viszont csak abban az esetben fejt ki pozitív hatását, ha a táblák közt olyan vegetáció (esetleg árok), van, mely meggátolja a hordalék továbbítását, illetve, ha ez jóval kisebb méretet jelentene az általánosan kialakult táblaméretektől. Az AKG parcella térkép 2018-as verziója alapján az átlagos parcellaméret 6.8 ha. Ugyanez az adat a SAPS adatbázis szerint 4.1 ha. Ez az érték az összes parcella lekérdezésével állt elő, ami



torzító hatású lehet, ha az AKG területek esetében kiesnek bizonyos parcella típusok. Ennek ellenére kimondható, hogy jelentős parcella méret csökkenés nem jelenik meg az AKG program következtében, azaz ennek eróziócsökkentő hatását nem lehet figyelembe venni.

SAPS területeken három előírás rendszernek kell megfelelni a gazdálkodóknak, mégpedig a JFGK és a HMKÁ-ban foglaltaknak, valamint a zöldítés rendeletben szereplő minimum követelményeknek. Ezek nem tartalmazzak sem erózióvédelemre, sem tápanyag gazdálkodásra vonatkozó előírásokat. Egyetlen pont a zöldítés rendeletben, melynek valamely hatása lehet az erózióra, az állandó gyepterületek túllegeltetés elleni követelmény. A gyepek viszont nagyon kedvezőek erózió tekintetében, így ez legfeljebb egy állagmegőrzési intézkedés, és nem csökkenti az eróziót.

Az AKG rendelet alapkövetelményei között még fellelhető a trágyázási tilalmi időszak (október 31-től február 15-ig), illetve a tápanyag kijuttatás talajminőséghez való kötése, illetve a maximalizált trágyamennyiség (170 kg/ha nitrogén hatóanyag szerves trágyából). Kifejezetten tiltó rendelet a 12%-nál nagyobb meredekségű területeken a hígtrágya kihelyezésének tiltsa, illetve a 17%-osnál nagyobb esésű területekre való trágya kihelyezési tilalom. Ezek az intézkedések valóban csökkentik a tápanyag lemosódást, de az erózióra nincsenek hatással.

Az ültetvények esetében a gypes talajfelszín fenntartása (AKG 3.46) egy érdemi beavatkozás, mely szintén a választható kategóriába esik sajnálatos módon, így nem tudni, hogy hányan élnek ezzel a lehetőséggel, pontosabban, erre vonatkozóan nincs információnk.

4.6 Klíma

A csapadék összegek a modell előrejelzések szerint Magyarországon nem változnak jelentősen 100 éves időtávon sem, így a rövid távú (tízéves) előrejelzésnél sem indokolt a csapadékösszegek számottevő változásával számolni (DMI), (JRC), (Bartholy, 2011).

Az emberi tevékenységek nyomán bekövetkezett változások (területhasználat, népesség, kibocsátások) egyébként is jobban vizsgálhatóak egy változatlanul tekintett klíma mellett, így jelen vizsgálatban is ezt az irányt követjük.

4.7 Eredmények

A fent írt változtatások figyelembe vételével futtatott modell szimuláció változatos eredményeket hozott (**11. táblázat**, **12. táblázat**). A talajvízből eredő nitrogén terhelések enyhe csökkenést mutatnak, míg a városi lefolyás is némi csökkenést hoz, így összességében a diffúz nitrogén terhelések csökkenése jelezhető előre. A pontszerű kibocsátások esetében jelentős növekedést mutat az előrejelzés, ami bizonytalan adatokon alapuló lineáris extrapolációból származó becslés (Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy a TESZIR adatbázisban szereplő erős csökkenés szintén bizonytalan és nem valószínű adat). A 20%-os növekedés talán irreálisan magas, mindenesetre jól mutatja ennek a forrásnak a jelentőségét.

11. táblázat: A VGT 2,3 és 4-es időszak szimulációs eredményei lefolyás komponensekre.



Lefolyás (m ³ /s)	Légköri lefolyás	Felszíni lefolyás burkolatlan területekről	Drén- lef.	Talajvíz hozam	Városi lefolyás	Összes diffúz lefolyás	Szennyvíz- hozam	Összes hozam
2009- 2012	18.1	23.2	1.6	136.2	9.7	188.7	28.7	217.5
2016- 2018	16.8	19.4	1.5	126.2	10.0	173.9	26.9	200.8
2025- 2027	16.8	20.7	1.5	128.7	9.0	176.7	31.7	208.4
Diff. (16- 18)	0.0%	6.7%	0.0%	2.0%	-9.9%	1.6%	17.9%	3.8%

12. táblázat– Az előrejelzést tartalmazó modell-szimulációs eredmények összes nitrogén esetében. A különbség a 2016-2018-as időszakhoz viszonyított értéket jelenti.

TN (t/év)	Légk. Kiül.	Felsz. Lefoly.	Mezőg. erózió	Term. erózió	Talaj drén	Talaj-víz kt/év	Városi lefoly.	Össz. Diffúz kt/év	Összes pont- szerű kt/év	Össz. kt/év
TN 2009- 2012	1646	894	3535	12	555	13.3	1876	21.85	10.31	32.16
TN 2016- 2018	1768	1177	3704	1	383	12.3	2757	22.10	8.84	30.94
TN 2025- 2027	1768	1256	3701	1	383	12.6	2533	22.22	11.17	33.39
Külön- ség	0.0%	6.8%	-0.1%	0.0%	0.0%	2.0%	-8.1%	0.5%	26.4%	7.9%

Foszfor esetében (**13. táblázat**) a talaj foszfortartalmának változásának köszönhetően várhatóan tovább fog csökkenni a mezőgazdasági területekről származó eróziós terhelés (a becslés nem tartalmaz erózióvédelmi beavatkozásokat). A talajvíz által közvetített foszfort elsősorban a víz mennyisége modulálja, mert a talajvíz foszfortartalma rögzített adat a modellben. A városi lefolyás is csökken némileg, ami főleg a lefolyási arányok változásának köszönhető. A pontszerű kibocsátás a nitrogén esetében leírt okok miatt foszfor esetében is erős növekedést mutat.

13. táblázat – Az előrejelzést tartalmazó modell-szimulációs eredmények összes foszfor esetében. A különbség a 2016-2018-as időszakhoz viszonyított értéket jelenti.

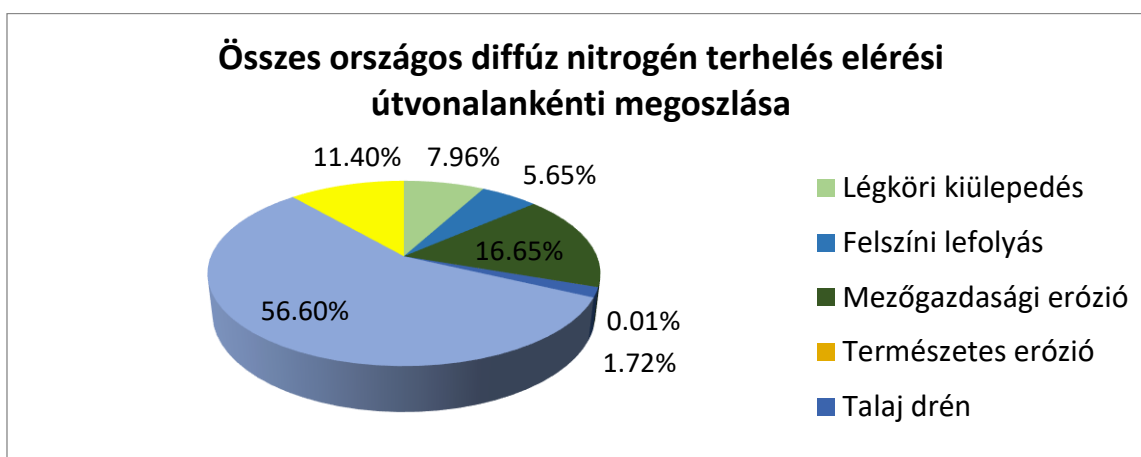
TP (t/év)	Légk. Kiül.	Felsz. Lefoly.	Mezőg. erózió	Term. erózió	Talaj drén	Talaj-víz	Városi lefoly.	Össz. diffúz	Összes pont- szerű	Össz. kt/év
TP 2009- 2012	60	127	1083	7	4	270	460	2010	1253	3.26
TP 2016- 2018	60	135	1062	1	4	229	659	2150	1240	3.35



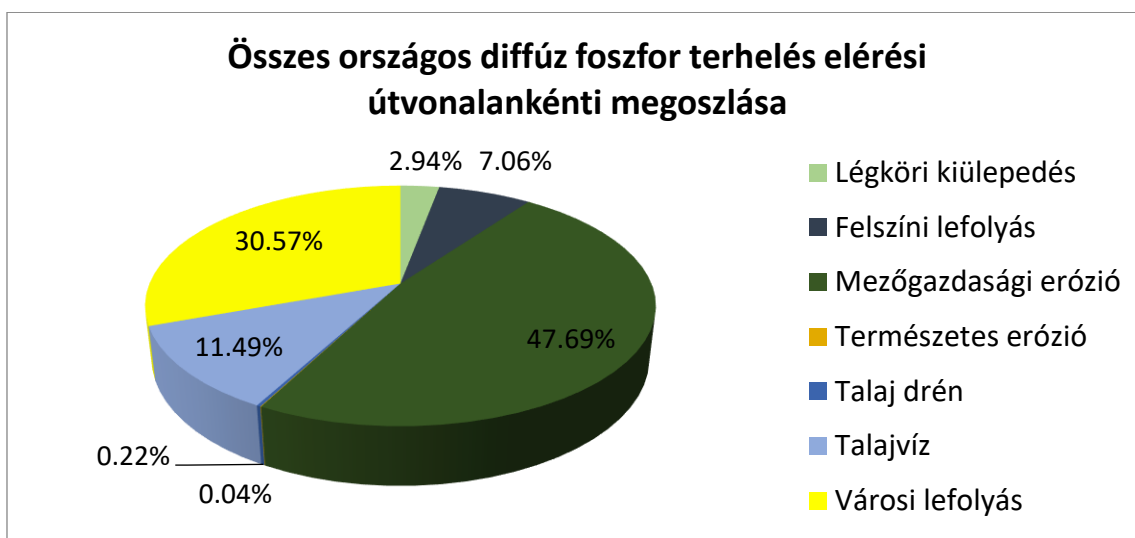
TP 2025- 2027	60	114	1002	1	4	216	639	2037	1443	3.48
Különb ség	0.0%	6.6%	-8.7%	0.0%	0.0%	2.0%	-5.6%	-5.4%	17.9%	4.4%

A terhelési útvonal közti megoszlás nem változik jelentősen a diffúz útvonalak tekintetében (37. ábra, 38. ábra). Nitrogén esetében a városi lefolyás csökkenése és a felszíni lefolyás növekedését jelzi előre a modell, de ez marginális változásokat eredményez. A pontszerű kibocsátások várható növekedése sokkal hangsúlyosabb változásokat hoz. Foszfor esetében gyakorlatilag változatlan a megoszlás.

37. ábra- Összes országos diffúz nitrogén terhelés elérési útvonalankénti megoszlása



38. ábra - Összes országos diffúz foszfor terhelés elérési útvonalankénti megoszlása





5 Összegzés

Foszfor és nitrogén emissziós vizsgálatokat végeztünk 2016-2018, valamint 2025-2027-es időszakra. A vizsgálathoz a hazai viszonyokra adaptált Moneris modellt alkalmaztuk, melynek a bemeneti adataiban végeztünk némi módszertani módosítást, továbbá a feltalaj foszfortartalmának becslésénél a TIM adatbázisból származó eredményeket vettük figyelembe a tápanyagmérlegekből hosszú távon akumulálódott foszfor helyett. A diffúz terhelés országosan nem változott jelentősen a 2009-2012-es időszakhoz képest. A legnagyobb változást a területhasználati térkép pontosításának köszönhető (belterületek növekedése), mely miatt a lefolyási arányok is megváltoztak (növekedett a városi lefolyás, csökkent a felszín alatti lefolyás). Az előrejelzés időszakára egyszerű lineáris extrapolációt alkalmaztunk a népesség, pontszerű kibocsátások, a területhasználatok és foszfor tápanyagtartalom tekintetében. Ezek miatt a mezőgazdasági erózióból eredő foszfor terhelés csökkenése várható (fontos megjegyezni, hogy ez a becslés nem tartalmazza a heves záporok gyakoriságának változását, mely adott esetben jelentősen növelheti az eróziót). Nitrogén esetében a tápanyagmérlegek változása bizonytalan és nem jelezhető előre a közelmúlt tendenciái alapján. Jelen vizsgálatok alapján a rövid és hosszú távú tápanyagtöbbletből (22.8 és 24.3 kg/ha/év) eredő nitrogénkoncentrációk között nem mutatható ki nagy különbség, bár egyes víztestek esetében jelentős lehet az eltérés, országosan azonban alig érzékelhető változást mutatnak a modell eredmények. Ebben azonban jelentős szerepet játszik az AKG naplókából számolt tápanyag mérlegek általunk végzett korrekciója, mely nélkül az országos nitrogénmérleg enyhén negatív lenne ebben az időszakban. Ha ezzel helyettesítenénk be a hosszú távú mérleget, akkor a talajvízből eredő koncentráció is 0 alá esne (a modell módszertanát követve). Ez persze nem értelmezhető mennyiség. Emiatt azt gondoljuk, hogy a modellezés módszerhez kapcsolódó legfontosabb kérdés a nitrogén mérlegek módszertanának átgondolása lehet, hiszen az AKG területeken számolt átlag tápanyag többletek messze elmaradnak az országos (illetve Európai) összesítéstől.

Irodalom

Hivatkozások

- Bartholy, J. B. (2011). *KLÍMAVÁLTOZÁS – 2011Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*. Budapest: A Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke.
- Clement, A. (2018). *Mezőgazdasági területek tápanyagmérleginek meghatározása*. Budapest: Nitrát direktíva éves jelentés.
- Deák, J. S. (2016). Az I-6 hatásindikátor Magyarország mezőgazdasági tápanyag terhelést csökkentő programjainak vízminőségre gyakorolt hatása. . In *UMVP Ex-Post értékelés Zárójelentés, AAM-AKI-Collectivo Konzorcium*. Budapest .
- DMI. (dátum nélk.). *PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects)*. <http://prudence.dmi.dk/>.
- EEA. (2017). *Copernicus Land Service - Pan-European Component Corine Land Cover*. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>: European Environmental Agency.



- Jolánkai, Z. K. (2018). *Moneris modell alkalmazása a diffúz tápanyag terhelések víztest vízgyűjtők szintű meghatározásához a 2013-2016 közti időszakra*. Budapest: munkajelentés - Nitrátdirektíva projekt.
- Jolánkai, Z. K. (2020). Adjustment of the MONERIS nutrient emission model for a lowland country to support River Basin Management Planning. *Water*.
- JRC. (dátum nélk.). *PESETA (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis)*.
<http://peseta.jrc.ec.europa.eu/results.html> .
- Oliver, M. A. (1990.). Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographic Information Systems*, 4: 313–332. .
- Panagos, P. B. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48: 38-50.
- Tanács E., B. M.-F. (2019). Országos, nagyfelbontású ökoszisztéma- alaptérkép: módszertan, validáció és felhasználási lehetőségek. *Természetvédelmi Közlemények*, 34-58.
- Venohr, M. K. (2009). The Model System Moneris Version 2.14. 1 vba Manual. Berlin, Germany.
- Wenjing Cao, J. H. (2009). A study on temperature interpolation methods based on GIS. . *17th International Conference on Geoinformatics.*, (old.: doi:10.1109/geoinformatics.2009.5293422).
- Wischmeier, W. a. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook No. 537*, 58pp.