

Országos, 100 méteres felbontású, háromdimenziós talaj- vízgazdálkodási térképek (HU- SoilHydroGrids)

Szabó Brigitta, Mészáros János , Takács Katalin, Szatmári Gábor, Kolcsár Ronald András,
Laborczi Aannamária, Rajkai Kálmán, Makó András, Bakacsi Zsófia, Pásztor László

HUN-REN Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani Intézet, Budapest

**HUN
REN**

 **ATK**
TALAJTANI
INTÉZET



VÍZTUDOMÁNYI ÉS
VÍZBIZTONSÁGI
NEMZETI LABORATÓRIUM

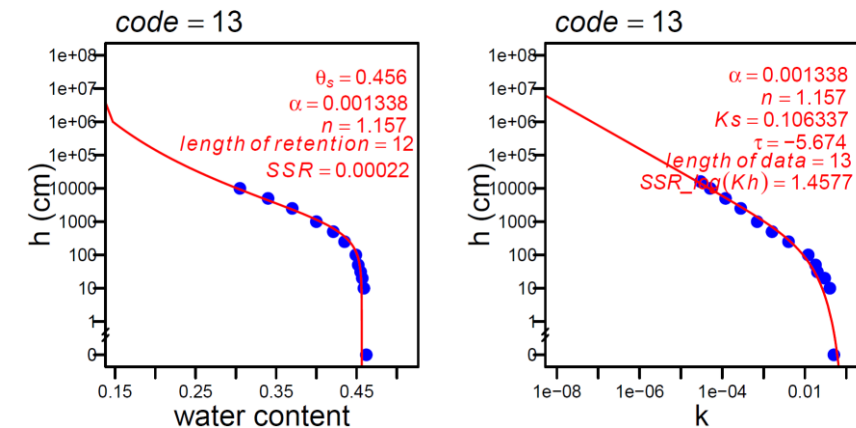


Bevezetés

A talajhidrológiai tulajdonságokról kvantitatív információ szükséges a környezeti modellezéshez.

A leggyakrabban mért talajhidrológiai tulajdonságok:

- a talaj víztartó képessége a nevezetes szívóerő értékeken (maximális vízkapacitás (pF 0), szabadföldi vízkapacitás (pF 2,5), holtvíztartalom (pF 4,2)) és a teljes szívóerő tartományban (víztartóképesség görbe),
- hidraulikus vezetőképesség és telítetlen vízvezetőképesség görbe (HCC).



Mualem-van Genuchten model

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

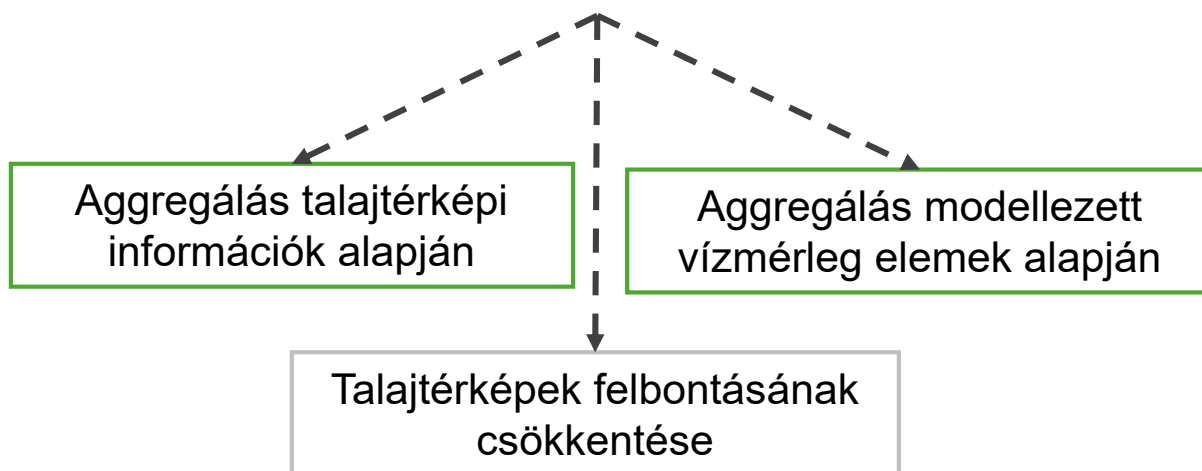
$$K(S_e) = K_0 S_e^L \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2$$

$$S_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

$\theta(h)$: talaj nedvességtartalma ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) h nedvességpotenciál értéken (cm);
 θ_r : maradó víztartalom ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);
 θ_s : telített víztartalom ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);
 α (cm^{-1}), n (-), and m (-), L (-): illesztési paraméterek, $m = 1 - 1/n$,
 K : vízvezető képesség (cm nap^{-1}) S_e az effektív telítettség (-) mellett;
 K_0 : vízvezető képesség (cm nap⁻¹) a telített állapothoz közeli illesztési pontban (cm day⁻¹);

Talajhidrológiai adatok használat

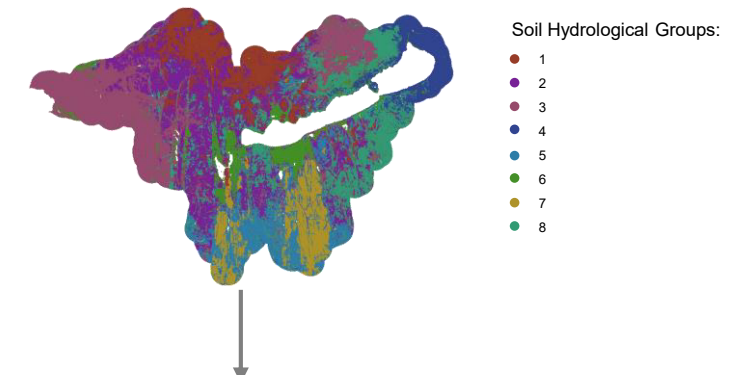
Bizonyos vizsgálatok során szükséges a **bemenő adatok térbeli részletességének csökkentése**. Ilyen esetekben a modellezési folyamatot olyan talajadat-aggregálási módszerrel kell támogatni, amely a bemeneti adatok változatosságát csökkenti, ugyanakkor megőrzi az eredeti adatbázis reprezentativitását.



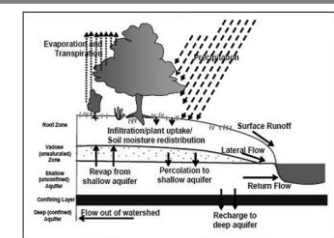
Talajadatok (100 m felbontás, több réteg)



Aggregált talajadatok



Környezeti model



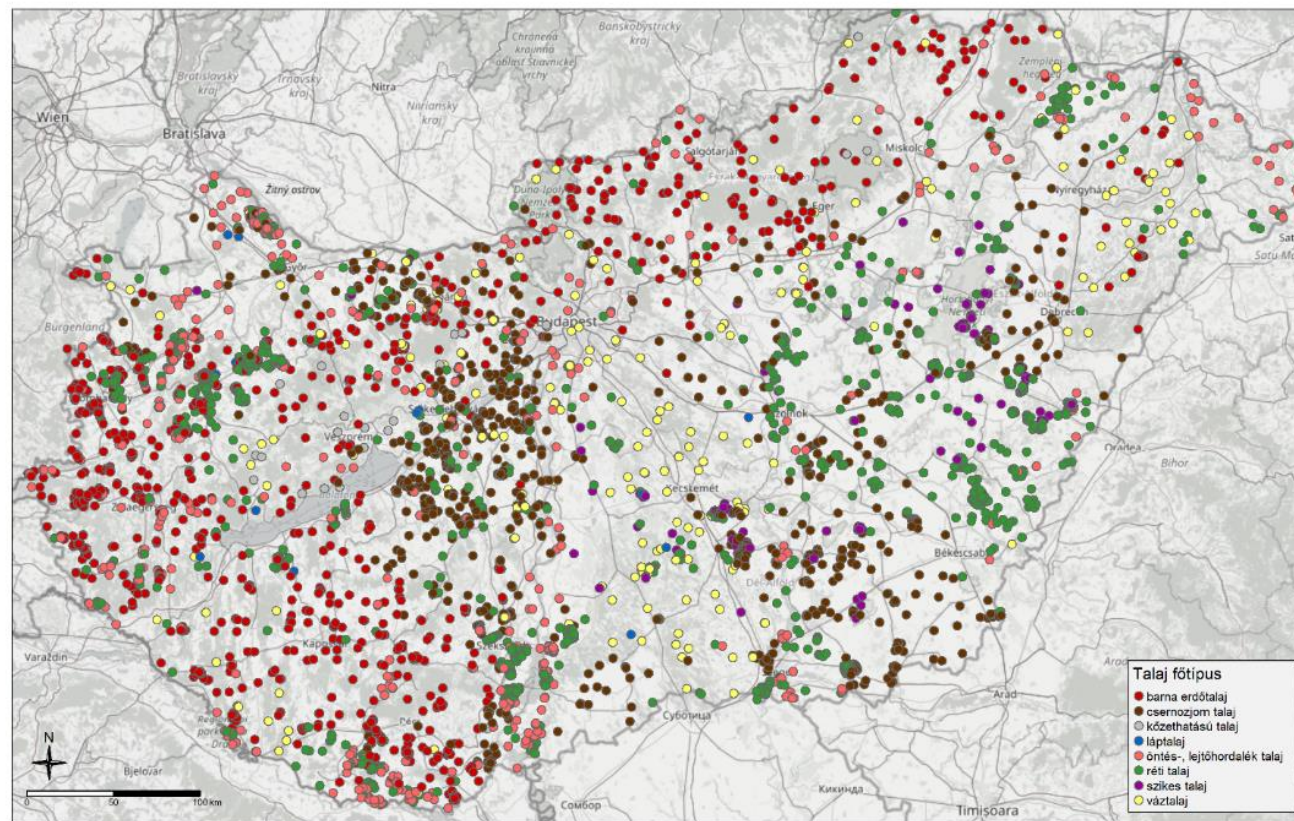
Anyag és módszer

Talajhidrológiai tulajdonságok térképezése

Adatbázis

- Tanításhoz használt adatok:
- MARTHA ver 3.1.4 → HUN-PTFs 2.0
- Bemenő adatok a térképezéshez:
- DOSoReMI.hu + környezeti segédváltozók (összesen 63 bemeneti változó) → bementi adat

| Talajjelölés | Talajjelölés tulajdonság | Tanító | Teszt | Szum |
|--------------|--------------------------|--------|-------|------|
| pF 0 | | 5034 | 2153 | 7187 |
| pF 2,5 | | 4980 | 2143 | 7123 |
| pF 4,2 | | 5021 | 2198 | 7219 |
| KS | | 1308 | 561 | 1869 |
| pF-görbe | | 4956 | 2142 | 7098 |



A MARTHA v3.1.4. adatbázis talajszelvényeinek elhelyezkedése.

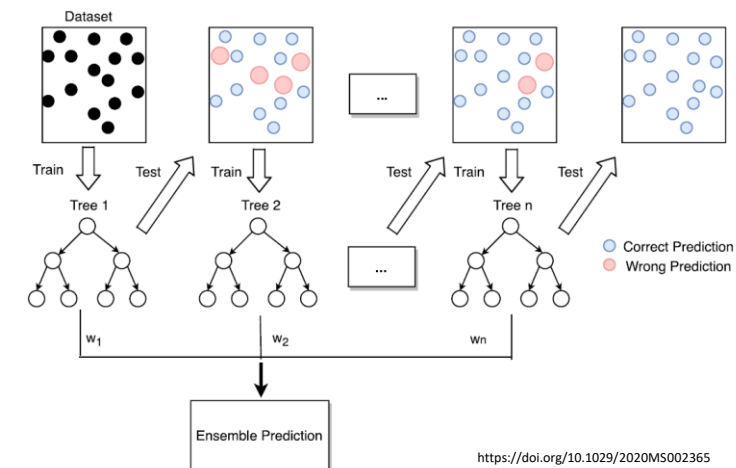
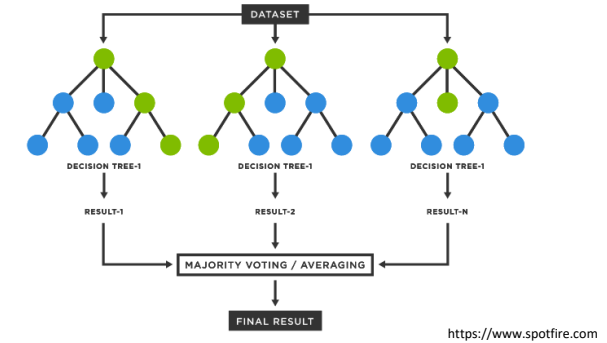
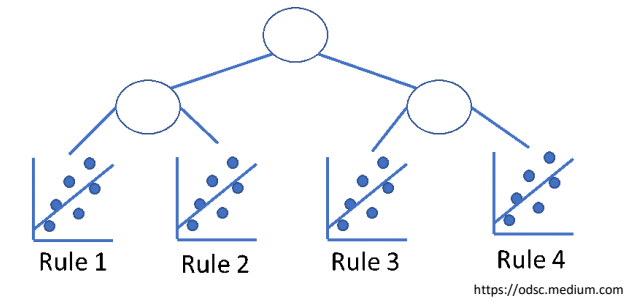
Módszerek

- **Gépi tanulási módszerek (ML):**

- cubist (döntési fa + többváltozós lineáris regresszió)
- random forest (egymástól függetlenül épített fák - bagging)
- catboost (egymásra épülő fák - boosting)
- partial least square regression (parciális legkisebb négyzetek regresszió)

- **Ensemble módszerek:**

- négy ML átlaga (4mean)
- négy ML súlyozott átlaga (4weighted),
- a szignifikánsan legpontosabb ML-ek átlaga (bestmean)
- a szignifikánsan legpontosabb ML-ek súlyozott átlaga (bestweighted)



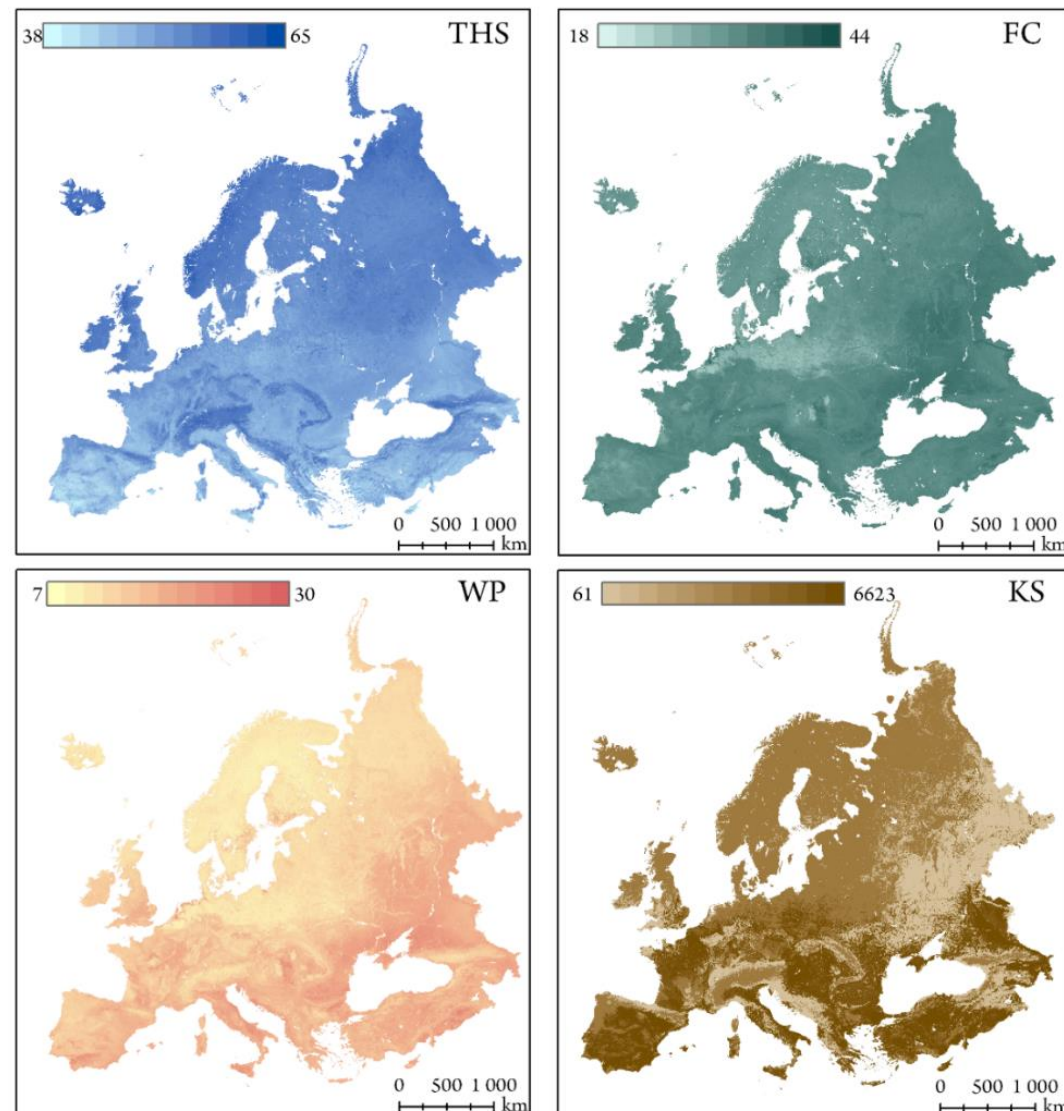
EU-SoilHydroGrids

Európai 3D Talajhidrológiai Adatbázis:

- 250 m felbontás
- SoilGrids térképek + euptfv1 alapján
- felső 2 m 7 standard talajmélységére
- 16 talajhidrológiai tulajdonság: pont és paraméterbecslés
- térképek elérhetősége: ATK TAKI és EC JRC oldaláról:

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/3d-soil-hydraulic-database-europe-1-km-and-250-m-resolution>

http://elkh-taki.hu/en/eu_soilhydrogrids_3d



Tóth B, Weynants M, Pásztor L, Hengl T. 2017. 3D soil hydraulic database of Europe at 250 m resolution. *Hydrological Processes*; 31:2662–2666.

Talajhidrológiai térképek aggregálása

Talajhidrológiai tulajdonságok statisztikai alapú klaszterezése

Bemenő adat:

HU-SoilHydroGrids:

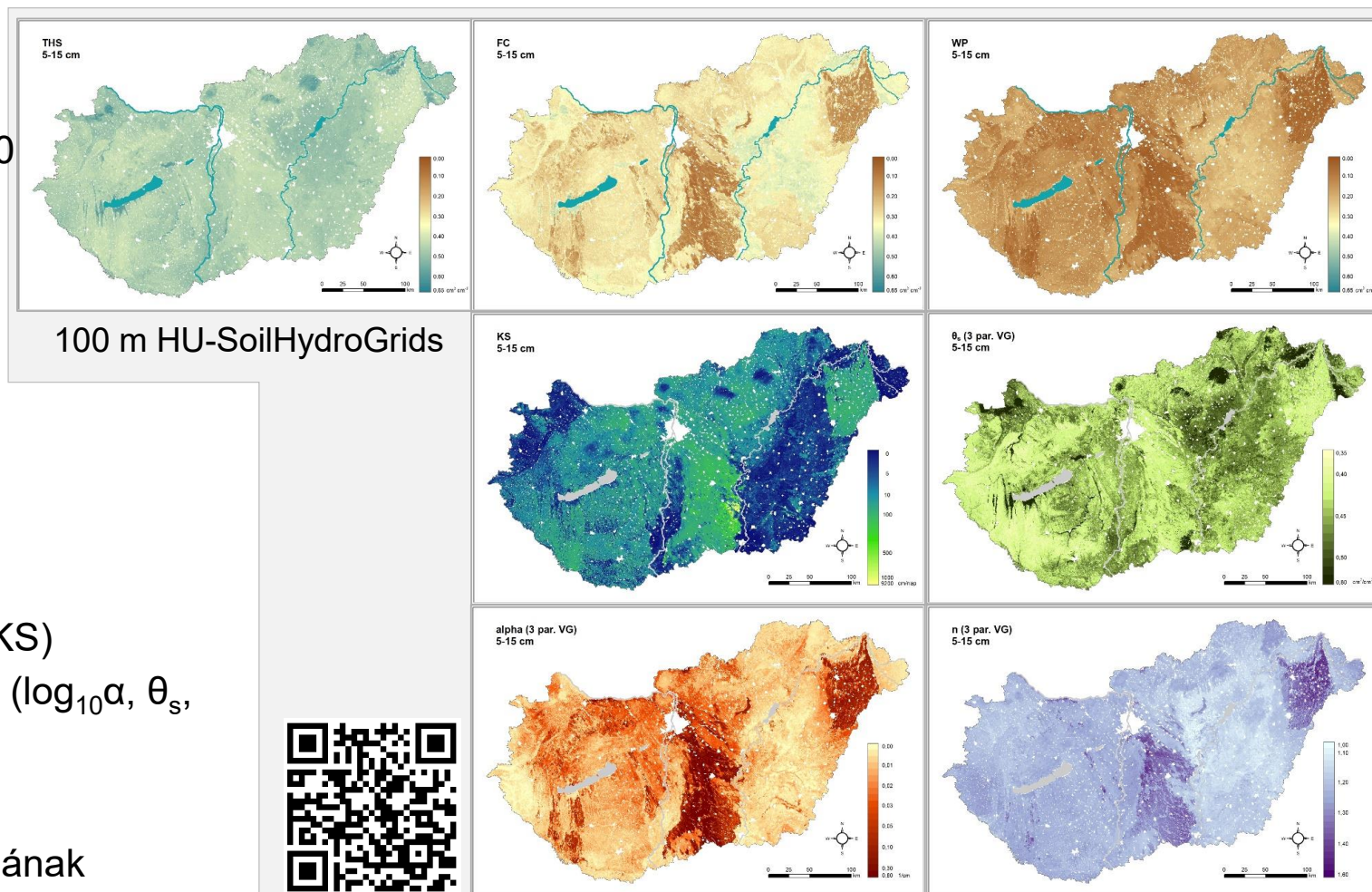
- 6 talajréteg (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200 cm)
- 8 paraméter.

Klaszterezéshez figyelembe vett talajhidrológiai tulajdonságok:

- Maximális vízkapacitás (THS)
- Szabadföldi vízkapacitás (FC)
- Holtvíztartalom (WP)
- Diszponibilis vízkapacitás (AWC)
- Hidraulikus vezetőképesség ($\log_{10}KS$)
- van Genuchten model paraméterei ($\log_{10}\alpha$, θ_s , $\log_{10}(n-1)$)

Módszer:

- K-közép módszer, klaszterek számának optimalizálásával



Statisztikai alapú klaszterek tovább osztása szakértői szabályokkal

Bemenő adatok:

DOSoReMI.hu:

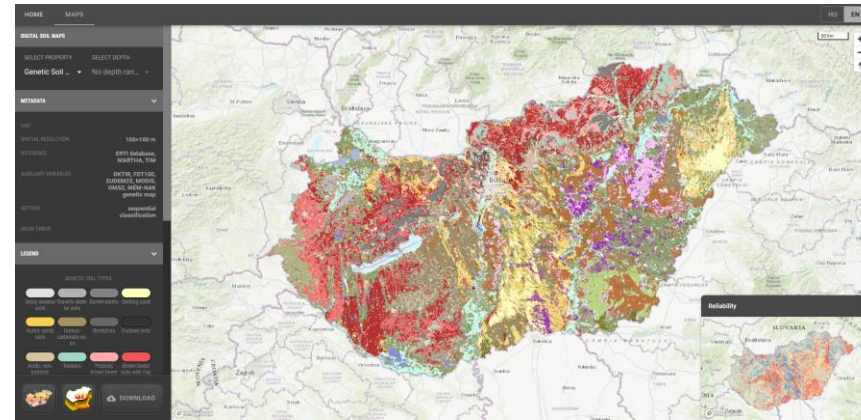
- termőréteg vastagság,
- talajtípus.
- elektromos vezetőképesség (EC),
- kicserélhető nátriumszázalék (ESP).

Módszer:

szakértői szabályok alkalmazása a statisztikai alapú klaszterekre.

Cél:

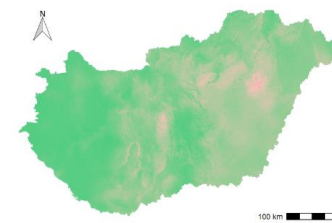
- sekély termőrétegű talajok,
 - szerves talajok,
 - vízhatás alatt álló talajok,
 - szikes talajok
- megkülönböztetése.



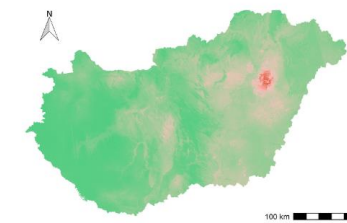
Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary (DOSoReMI.hu)



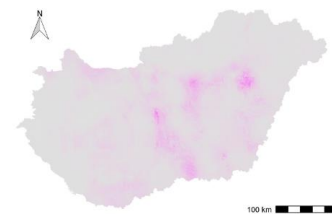
EC topsoil (0-30 cm)



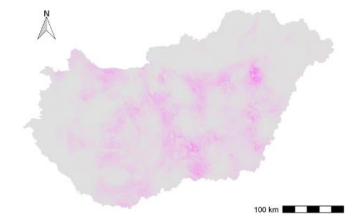
EC subsoil (30-100 cm)



ESP topsoil (0-30 cm)



ESP subsoil (30-100 cm)



Szatmári, et. al, 2020. Elaborating Hungarian Segment of the Global Map of Salt-Affected Soils (GSSmap): National Contribution to an International Initiative *Remote Sensing* 12, <https://doi.org/10.3390/rs12244073>



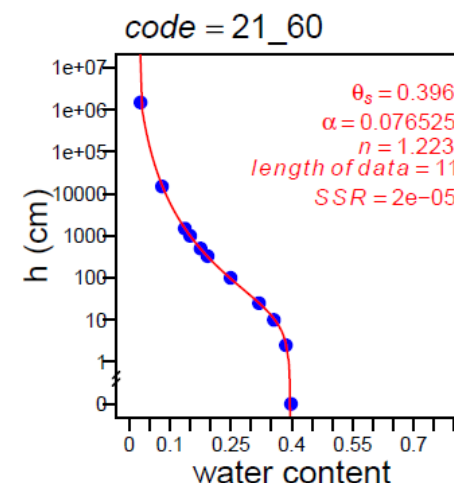
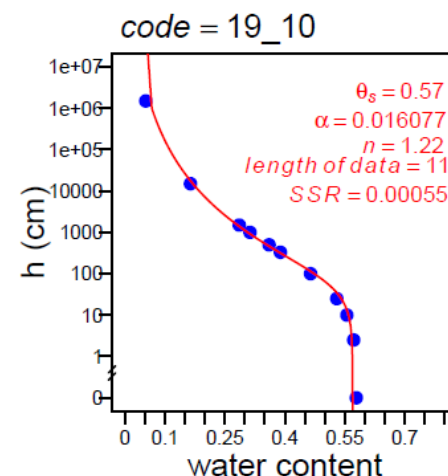
Talajhidrológiai csoportok felparaméterezése

1. Nem szerves és nem szikes talajok esetén:

- HU-SoilHydroGrids térképek alapján – számított értékek,
- 11 víztartóképesség-mátrixpotenciál pár számítása minden pixelre,
- csoportonként és talajmélységenként geometriai átlag számítása a víztartóképesség-mátrixpotenciál párokra,
- van Genuchten függvény illesztése az átlag víztartóképesség-mátrixpotenciál adatokra.

2. Szerves, vagy szikes talajok esetén:

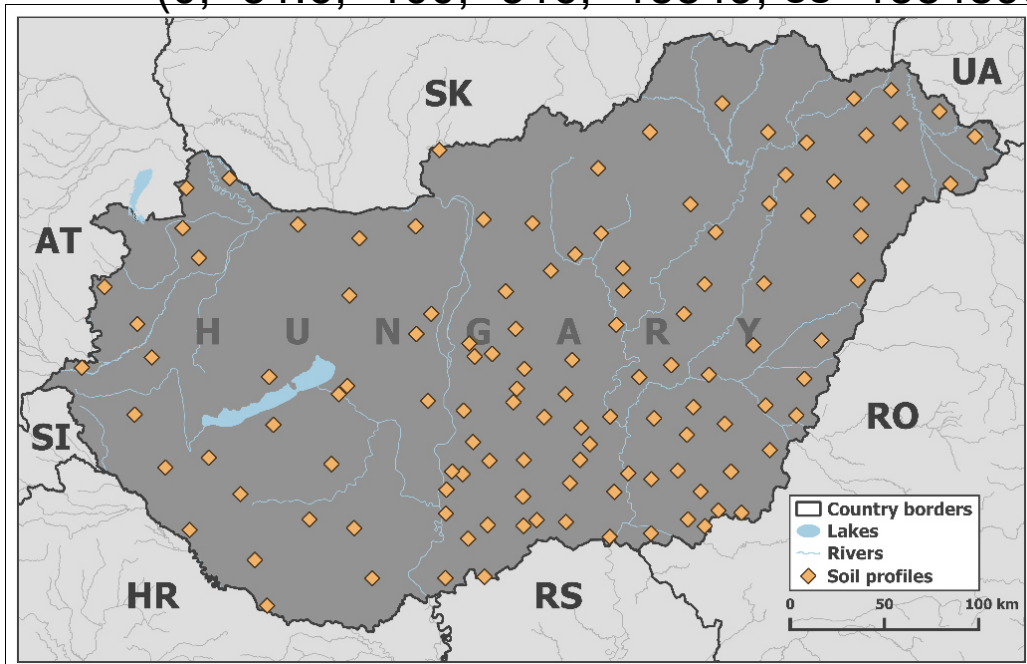
- MARTHA adatbázis alapján – mért értékek,
- MARTHA adatok csoportosítása a szakértői szabályokkal,
- 11 víztartóképesség-mátrixpotenciál pár számítása a szakértői talajcsoportokra,
- van Genuchten függvény illesztése az átlag víztartóképesség-mátrixpotenciál adatokra.



Talajhidrológiai csoportok validálása

Operatív Vízziány Értékelő és Előrejelző Rendszer állomásain mért talajhidrológiai tulajdonságok:

- független a talajhidrológiai térképek létrehozásához használt adatoktól
- 121 talajszelvény 726 talajszintjében mért víztartókéesség adatok hat mátrixpotenciál értéken (0, -31.6, -100, -316, -15849, és -1584893 cm – pF 0, 1.5, 2, 2.5, 4.2, and 6.2)



Operatív Vízziány Értékelő és Előrejelző Rendszer állomásainak elhelyezkedése (<https://vizhiany.vizugy.hu/>).

Operatív Vízziány Értékelő és Előrejelző Rendszer állomásain mért víztartókéesség adatok ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) leíró statisztikája

| Soil water retention* ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) | N | Mean | Min | Max | Range | SD | SE | CV |
|--|-----|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| pF 0 | 726 | 0.4597 | 0.3230 | 0.6290 | 0.3060 | 0.057 | 0.0021 | 0.125 |
| pF 1.5 | 726 | 0.3942 | 0.2400 | 0.5900 | 0.3500 | 0.045 | 0.0017 | 0.114 |
| pF 2 | 726 | 0.3447 | 0.0940 | 0.5790 | 0.4850 | 0.084 | 0.0031 | 0.244 |
| pF 2.5 | 726 | 0.3188 | 0.0800 | 0.5490 | 0.4690 | 0.090 | 0.0034 | 0.283 |
| pF 4.2 | 726 | 0.1240 | 0.0081 | 0.4640 | 0.4559 | 0.066 | 0.0025 | 0.536 |
| pF 6.2 | 726 | 0.0203 | 0.0009 | 0.1100 | 0.1091 | 0.014 | 0.0005 | 0.700 |

Eredmények

Talajhidrológiai tulajdonságok térképezése

Eredmények – pontosság

Térfogattömeg nélküli

| Talajhidr. tulajdonság | Módszer | R ² | RMSE | MEC | CCC | Szign. különbség |
|------------------------|---------------|----------------|--------------|-------|-------|------------------|
| pF 0 | | | | | | |
| N = 2153 | bestweighted | 0.389 | 0.045 | 0.386 | 0.537 | b |
| | bestmean | 0.389 | 0.045 | 0.386 | 0.537 | b |
| | 4weighted | 0.377 | 0.045 | 0.369 | 0.505 | b |
| | ranger | 0.375 | 0.046 | 0.368 | 0.506 | b |
| | 4mean | 0.376 | 0.046 | 0.367 | 0.503 | b |
| | cubist | 0.360 | 0.046 | 0.358 | 0.547 | b |
| | catboost | 0.296 | 0.049 | 0.282 | 0.501 | a |
| | pls | 0.210 | 0.051 | 0.210 | 0.342 | a |
| | pF 2,5 | | | | | |
| N = 2143 | bestweighted | 0.685 | 0.043 | 0.683 | 0.806 | d |
| | bestmean | 0.685 | 0.043 | 0.683 | 0.806 | d |
| | 4weighted | 0.674 | 0.044 | 0.670 | 0.792 | bcd |
| | 4mean | 0.672 | 0.044 | 0.668 | 0.790 | bc |
| | ranger | 0.667 | 0.045 | 0.664 | 0.789 | cd |
| | cubist | 0.659 | 0.045 | 0.657 | 0.800 | cd |
| | catboost | 0.613 | 0.048 | 0.609 | 0.771 | b |
| | pls | 0.534 | 0.052 | 0.534 | 0.693 | a |

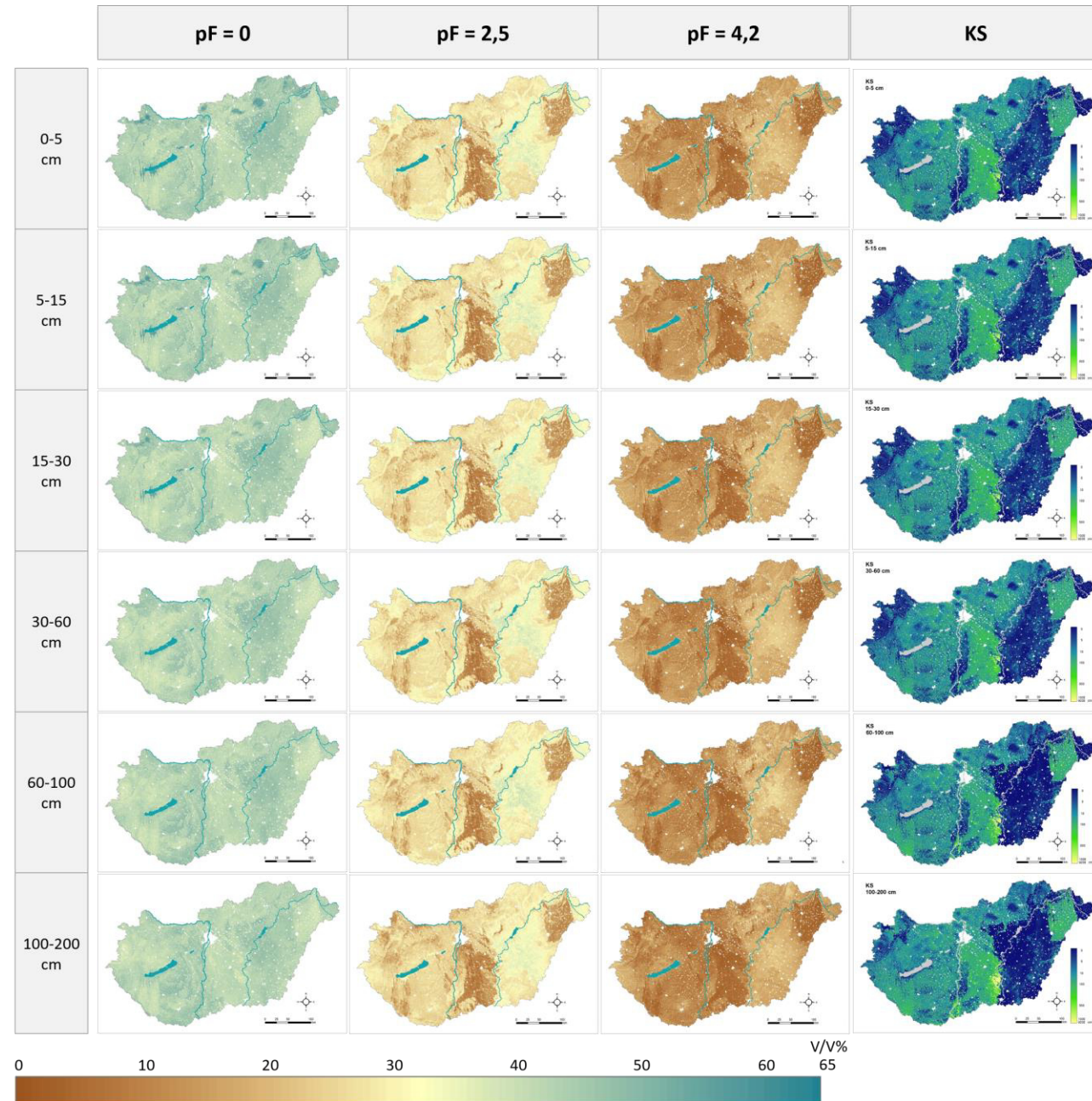
| Talajhidr. tulajdonság | Módszer | R ² | RMSE | MEC | CCC | Szign. különbség |
|------------------------|----------------|----------------|--------------|-------|-------|------------------|
| pF 4,2 | | | | | | |
| N = 2198 | bestweighted | 0.679 | 0.039 | 0.676 | 0.799 | c |
| | bestmean | 0.679 | 0.039 | 0.676 | 0.799 | c |
| | 4weighted | 0.675 | 0.039 | 0.671 | 0.793 | c |
| | 4mean | 0.674 | 0.039 | 0.670 | 0.792 | c |
| | cubist | 0.667 | 0.040 | 0.665 | 0.805 | c |
| | ranger | 0.660 | 0.040 | 0.652 | 0.775 | bc |
| | catboost | 0.626 | 0.042 | 0.620 | 0.782 | b |
| | pls | 0.565 | 0.045 | 0.564 | 0.714 | a |
| | log10KS | | | | | |
| N = 561 | bestweighted | 0.563 | 0.886 | 0.560 | 0.728 | c |
| | bestmean | 0.563 | 0.886 | 0.560 | 0.728 | c |
| | 4weighted | 0.549 | 0.898 | 0.548 | 0.703 | bc |
| | ranger | 0.549 | 0.900 | 0.547 | 0.708 | c |
| | 4mean | 0.547 | 0.901 | 0.546 | 0.701 | bc |
| | cubist | 0.545 | 0.914 | 0.532 | 0.728 | c |
| | catboost | 0.494 | 0.952 | 0.493 | 0.668 | b |
| | pls | 0.379 | 1.062 | 0.368 | 0.583 | a |

| Talajhidr. tulajdonság | Módszer | R ² | RMSE | MEC | CCC | Szign. különbség |
|-----------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| pF-görbe VG | | | | | | |
| N = 2142 θ-h pár = 11300 | bestweighted | 0.924 | 0.047 | 0.923 | 0.961 | d |
| | bestmean | 0.924 | 0.047 | 0.923 | 0.961 | d |
| | 4weighted | 0.921 | 0.047 | 0.921 | 0.959 | c |
| | cubist | 0.921 | 0.048 | 0.920 | 0.959 | cd |
| | 4mean | 0.921 | 0.048 | 0.920 | 0.959 | c |
| | ranger | 0.920 | 0.048 | 0.919 | 0.959 | cd |
| | pls | 0.902 | 0.053 | 0.901 | 0.950 | b |
| | catboost | 0.895 | 0.055 | 0.894 | 0.946 | a |

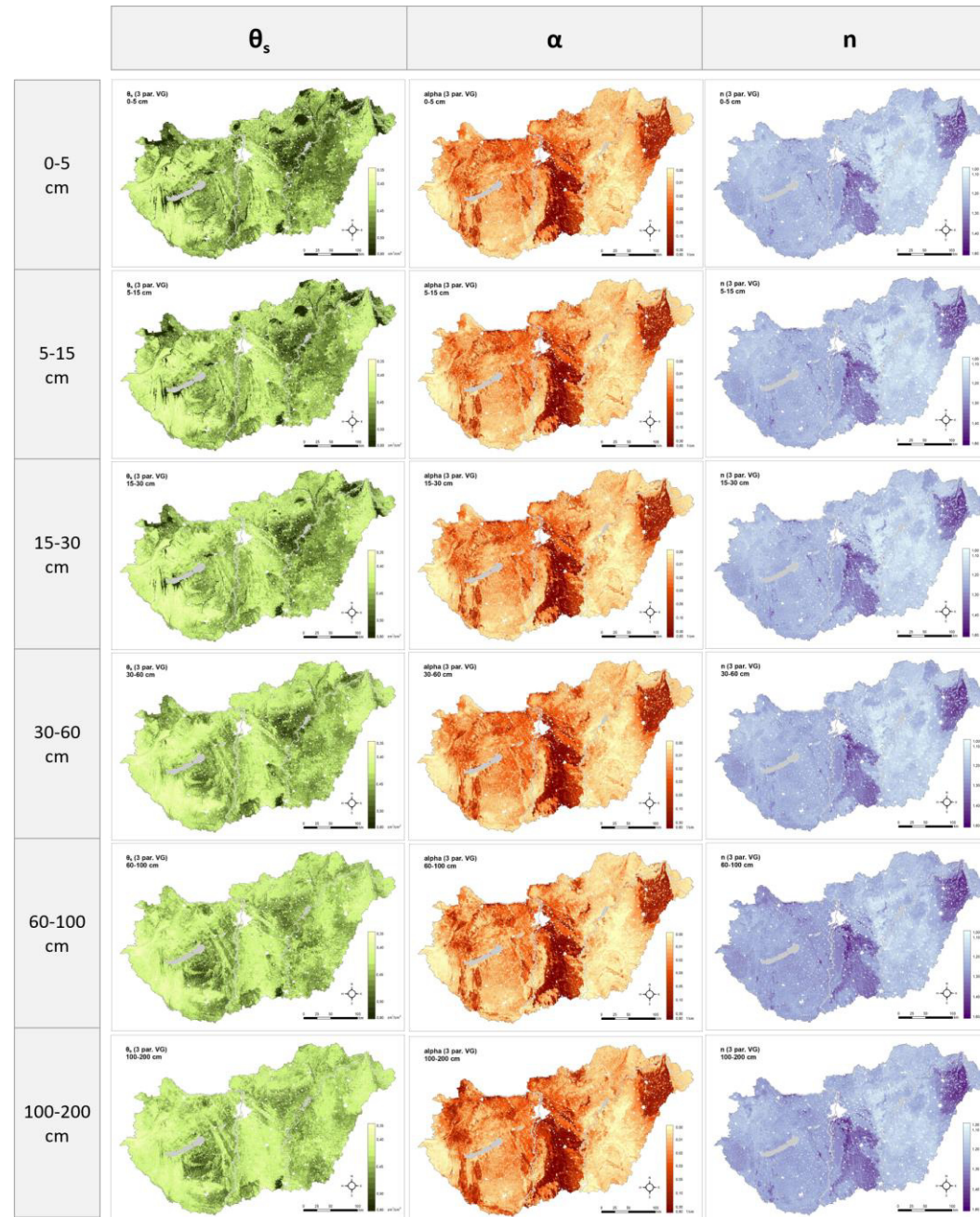
HU-PTF v2

HU-SoilHydroGrids térképek

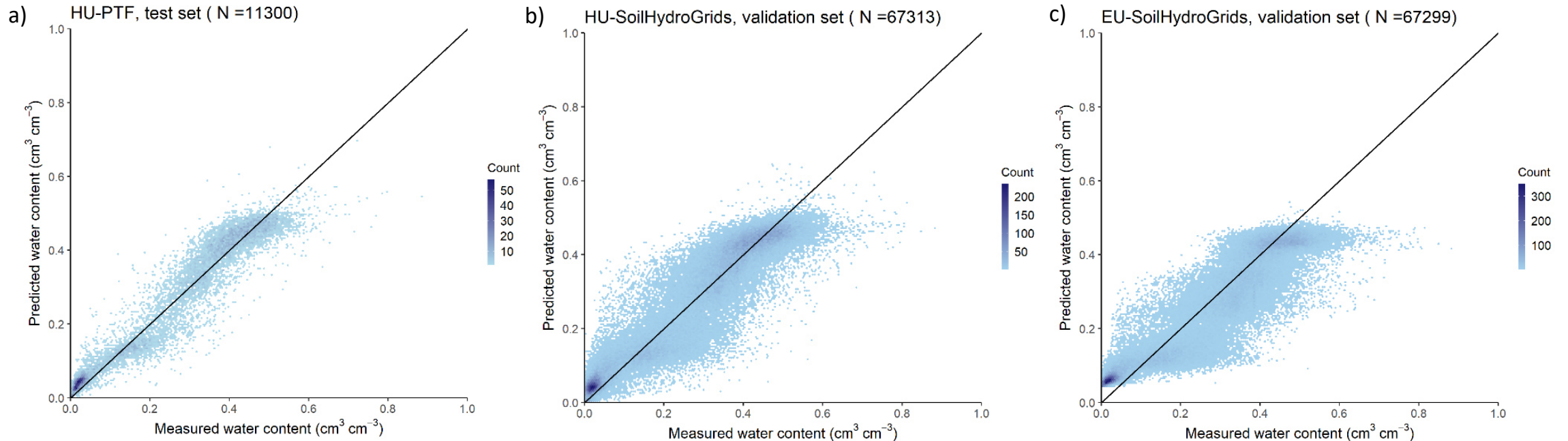
Eredmények – térképek



Eredmények – térképek



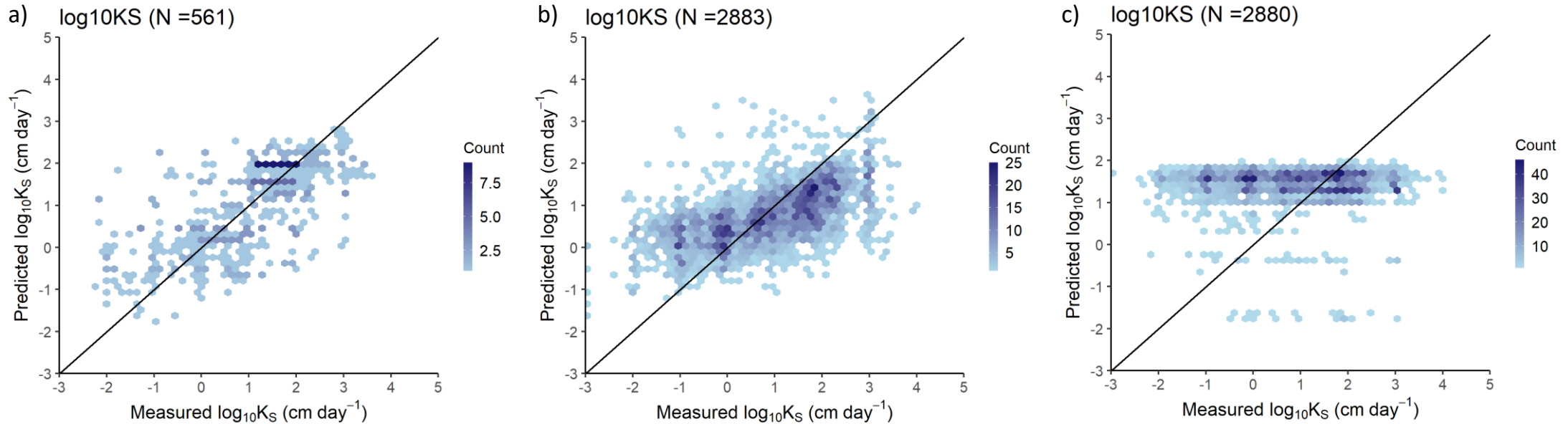
Összevetés EU-SoilHydroGrids térképekkel



A pF-görbe becslési hatékonysága a van Genuchten függvény paramétereinek becslése alapján:

- a) a pedotranszfer függvények (HU-PTF v2) esetén a MARTHA adatbázis tesztrészén (2142 talajminta, 11.300 θ -h pár),
- b) a HU-SoilHydroGrids térkép esetén a MARTHA adatbázison (12.593 talajminta, 67.313 θ -h pár) és
- c) az EU-SoilHydroGrids térkép esetén a MARTHA adatbázison (12.594 talajminta, 67.299 θ -h pár)

Összevetés EU-SoilHydroGrids térképekkel



A hidraulikus vezetőképesség becslési hatékonysága:

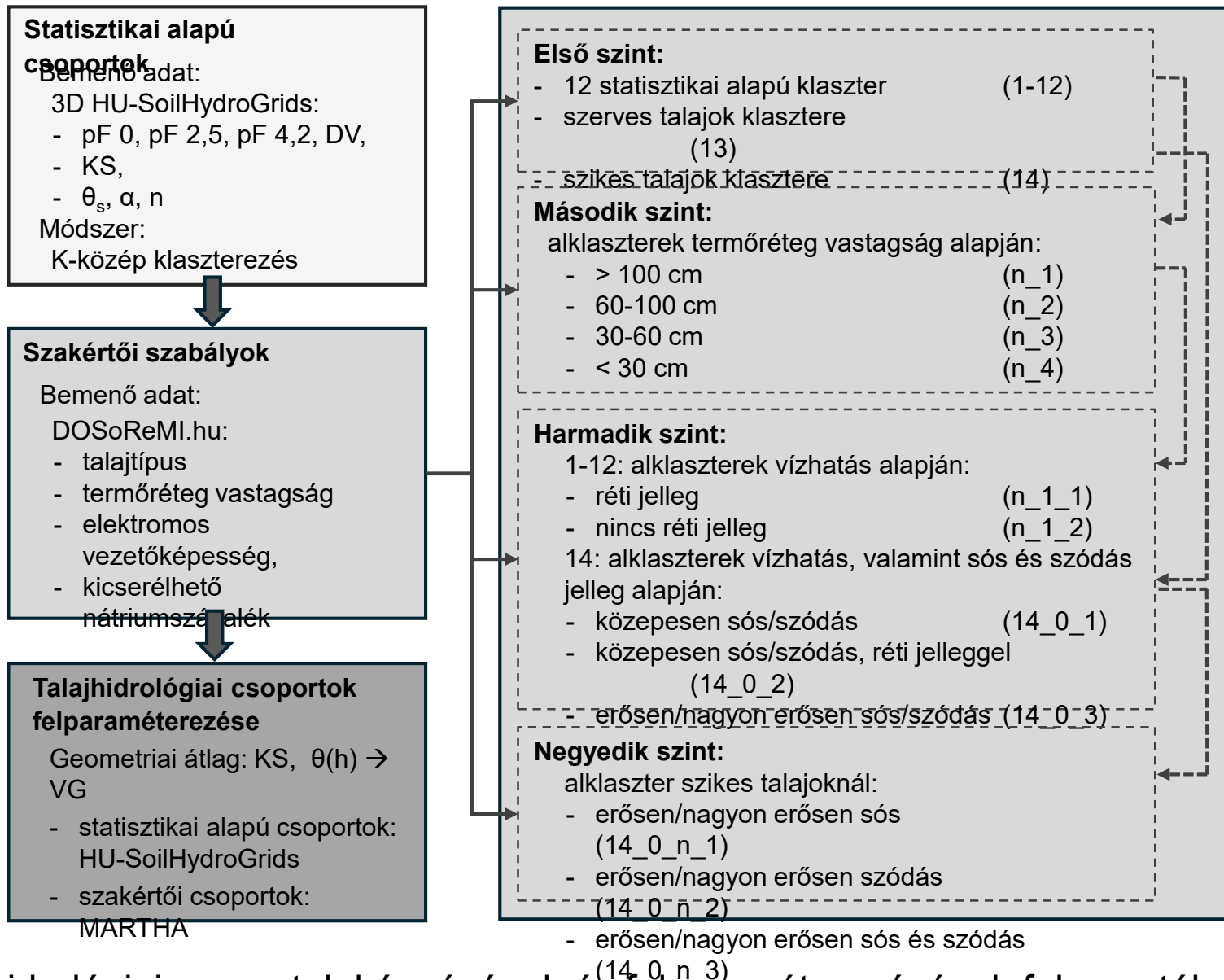
- a) a pedotranszfer függvények (HU-PTF v2) esetén a MARTHA adatbázis test részén (591 talajminta),
- b) a HU-SoilHydroGrids térkép esetén a MARTHA adatbázison (2883 talajminta) és
- c) az EU-SoilHydroGrids térkép estén a MARTHA adatbázison (2880 talajminta)

Összevetés EU-SoilHydroGrids térképekkel

| Talajhidrológiai tulajdonság | Map | N | R ² | RMSE | MEC | CCC | Sign. diff. |
|------------------------------|-----|-------|----------------|-------|--------|--------|-------------|
| pF 0 | HU | 12685 | 0.195 | 0.059 | -0.003 | 0.286 | a |
| | EU | 12686 | 0.039 | 0.059 | 0.010 | 0.123 | a |
| pF 2,5 | HU | 12611 | 0.404 | 0.074 | 0.250 | 0.526 | a |
| | EU | 12612 | 0.292 | 0.076 | 0.202 | 0.385 | a |
| pF 4,2 | HU | 12701 | 0.422 | 0.061 | 0.357 | 0.577 | b |
| | EU | 12702 | 0.352 | 0.063 | 0.320 | 0.436 | a |
| log10KS | HU | 2883 | 0.351 | 1.04 | 0.346 | 0.496 | b |
| | EU | 2880 | 0.000 | 1.48 | -0.332 | -0.010 | a |
| pF-görbe | HU | 12593 | 0.873 | 0.060 | 0.873 | 0.933 | b |
| | EU | 12594 | 0.853 | 0.068 | 0.837 | 0.907 | a |

Térfogattömeg szerepe?

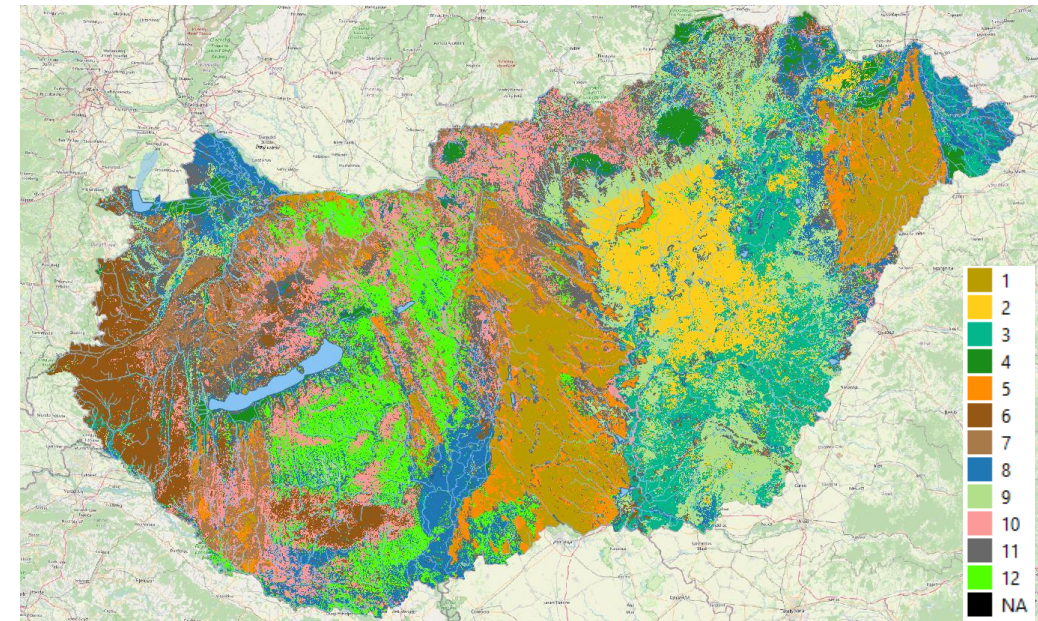
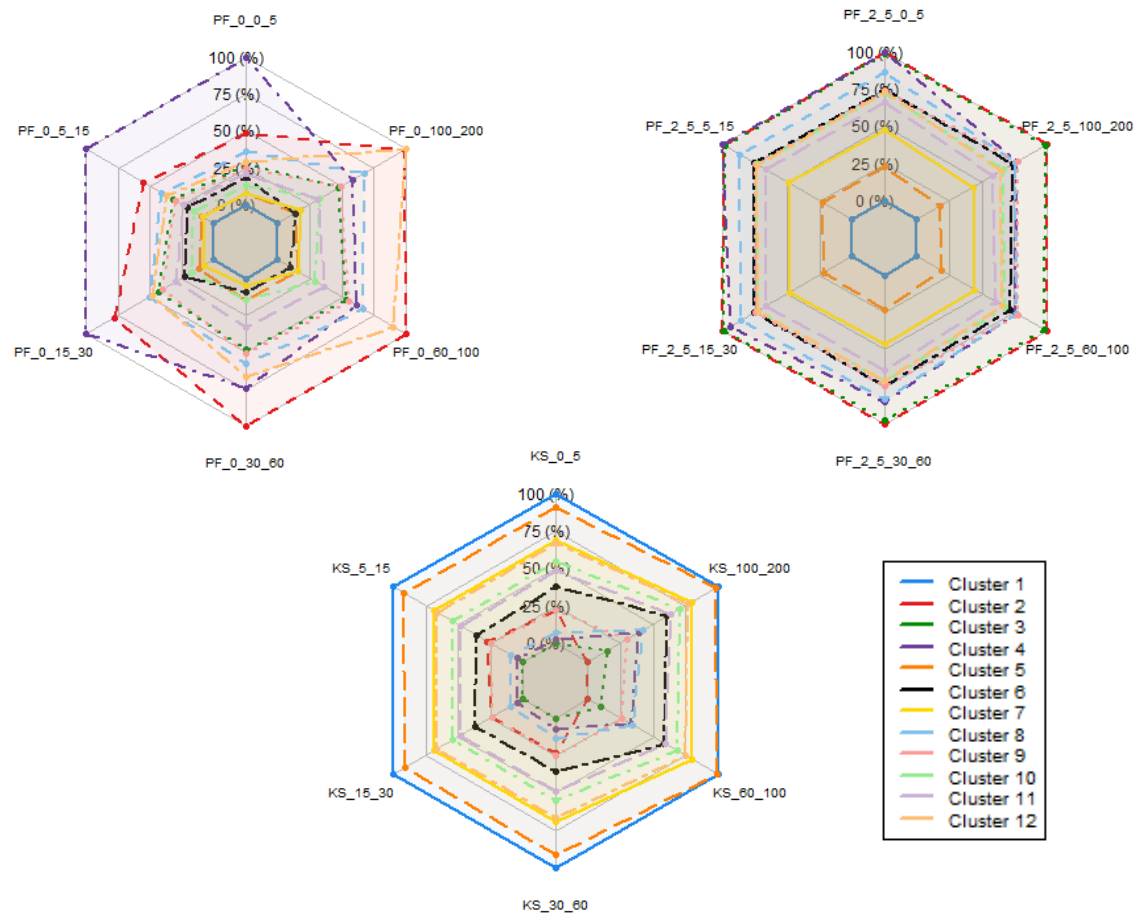
Talajhidrológiai térképek aggregálása



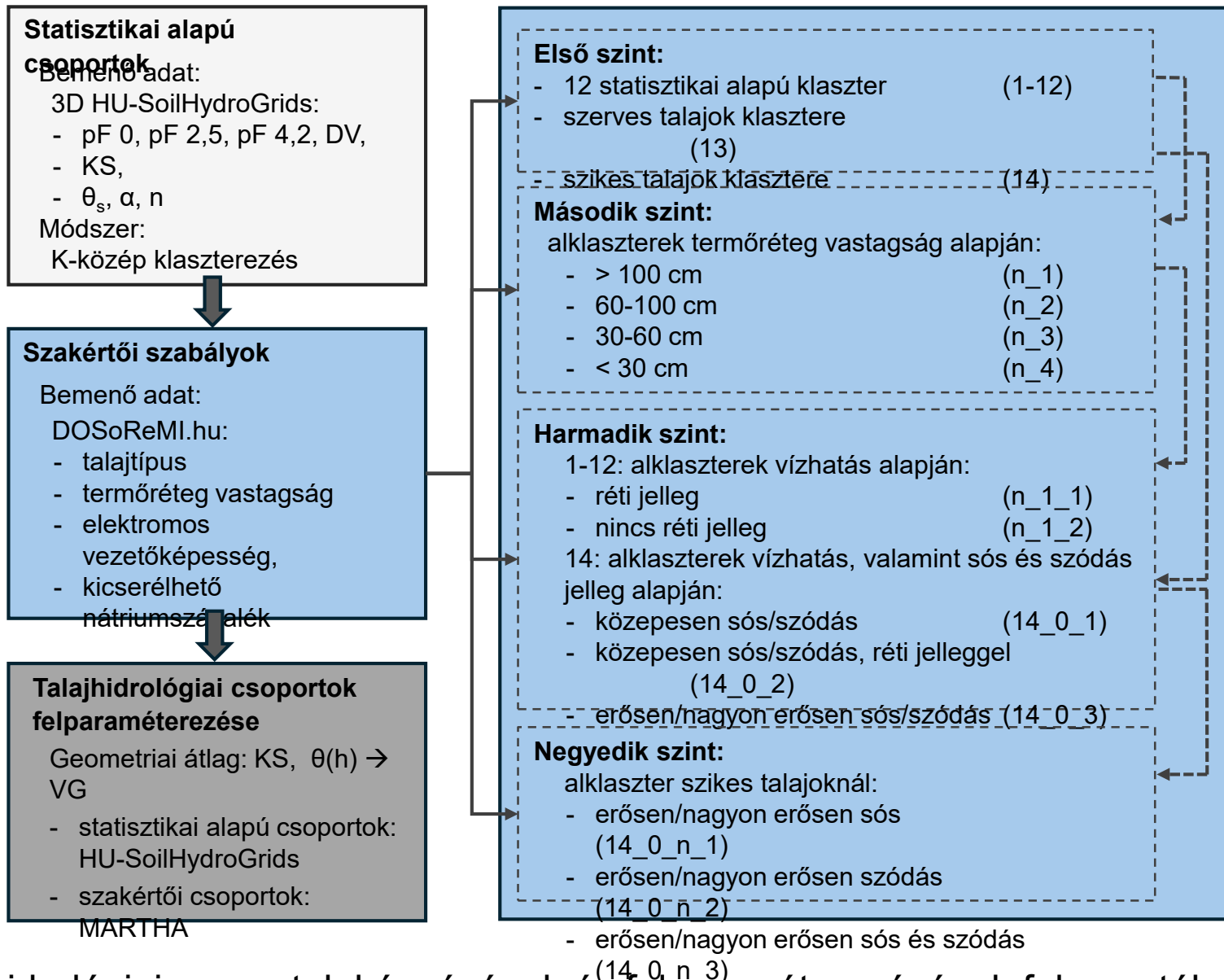
Talajhidrológiai csoportok képzésének és felparaméterezésének folyamatábrája.

Talajhidrológiai tulajdonságok statisztikai alapú klaszterezése

Klaszterek száma (optimalizálás alapján): 12



A tizenkét klaszter térképe.



Talajhidrológiai csoportok képzésének és felparaméterezésének folyamatábrája.

Szakértői szabályok – első szint

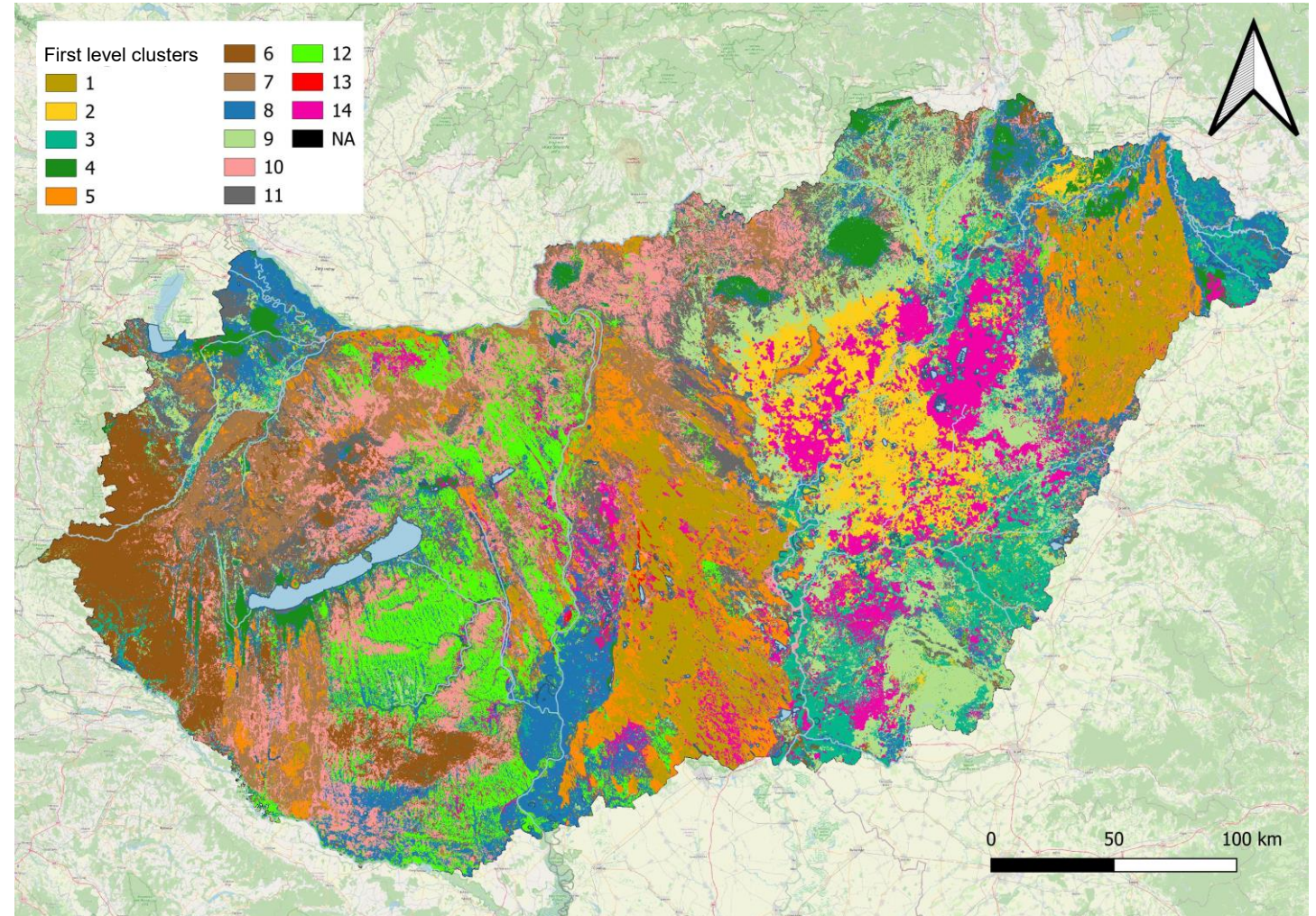
Szerves, vagy szikes talajok külön csoportot képezzenek. Leválogatás:

- talajtípus térkép
- ESP, EC térkép alapján



14 első szintű klaszter

Első szintű klaszterek térképe.



Szakértői szabályok – második szint

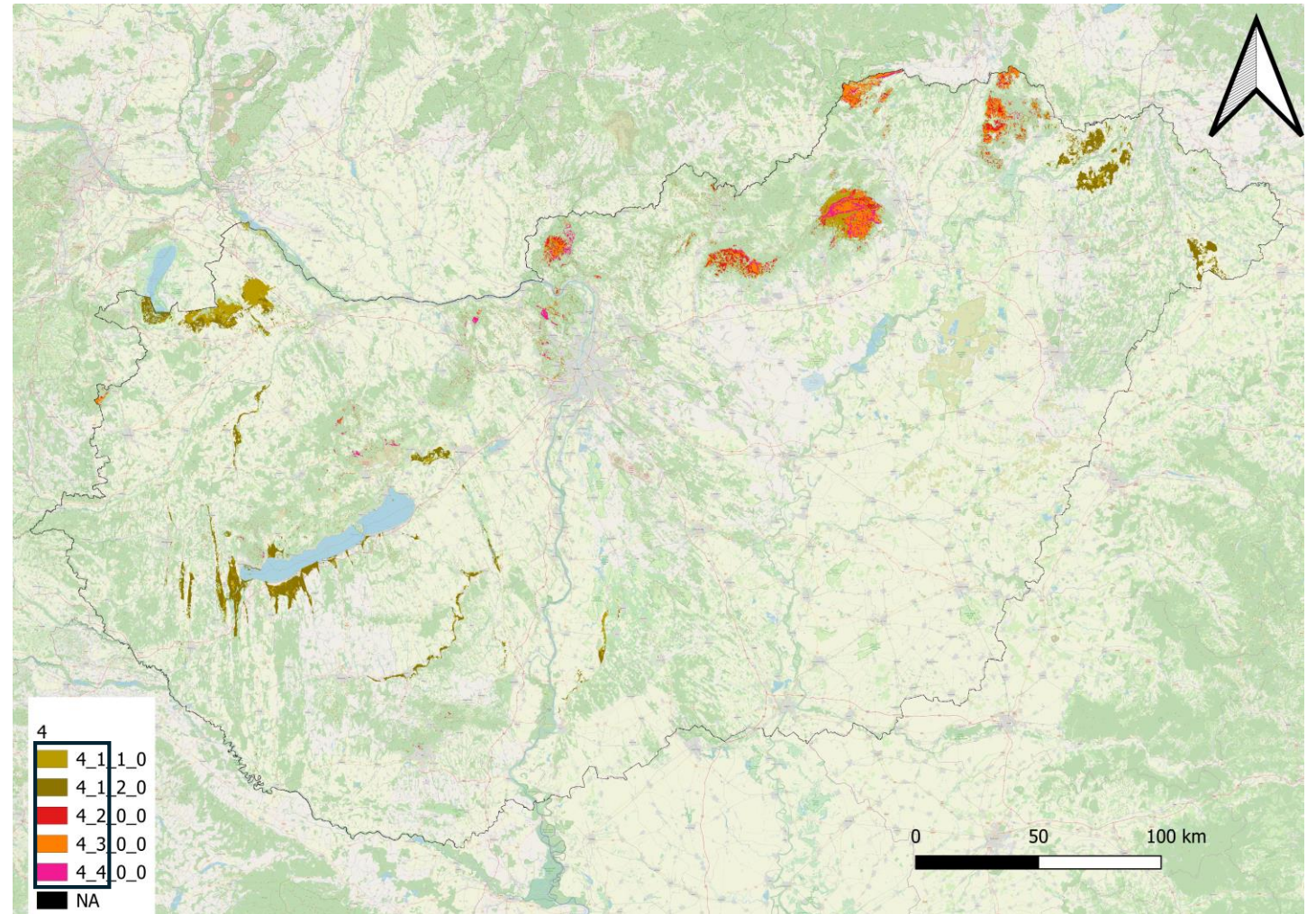
Csoportok képzése termőréteg vastagság alapján. Leválogatás:

- statisztikai alapú klaszterekben (1-12),
- termőréteg vastagság térkép (< 30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm and > 100 cm) és
- talajtípus térkép alapján.



48 második szintű klaszter

Negyedik klaszter térképe, alklasztetek megkülönböztetésével.



Szakértői szabályok – harmadik szint

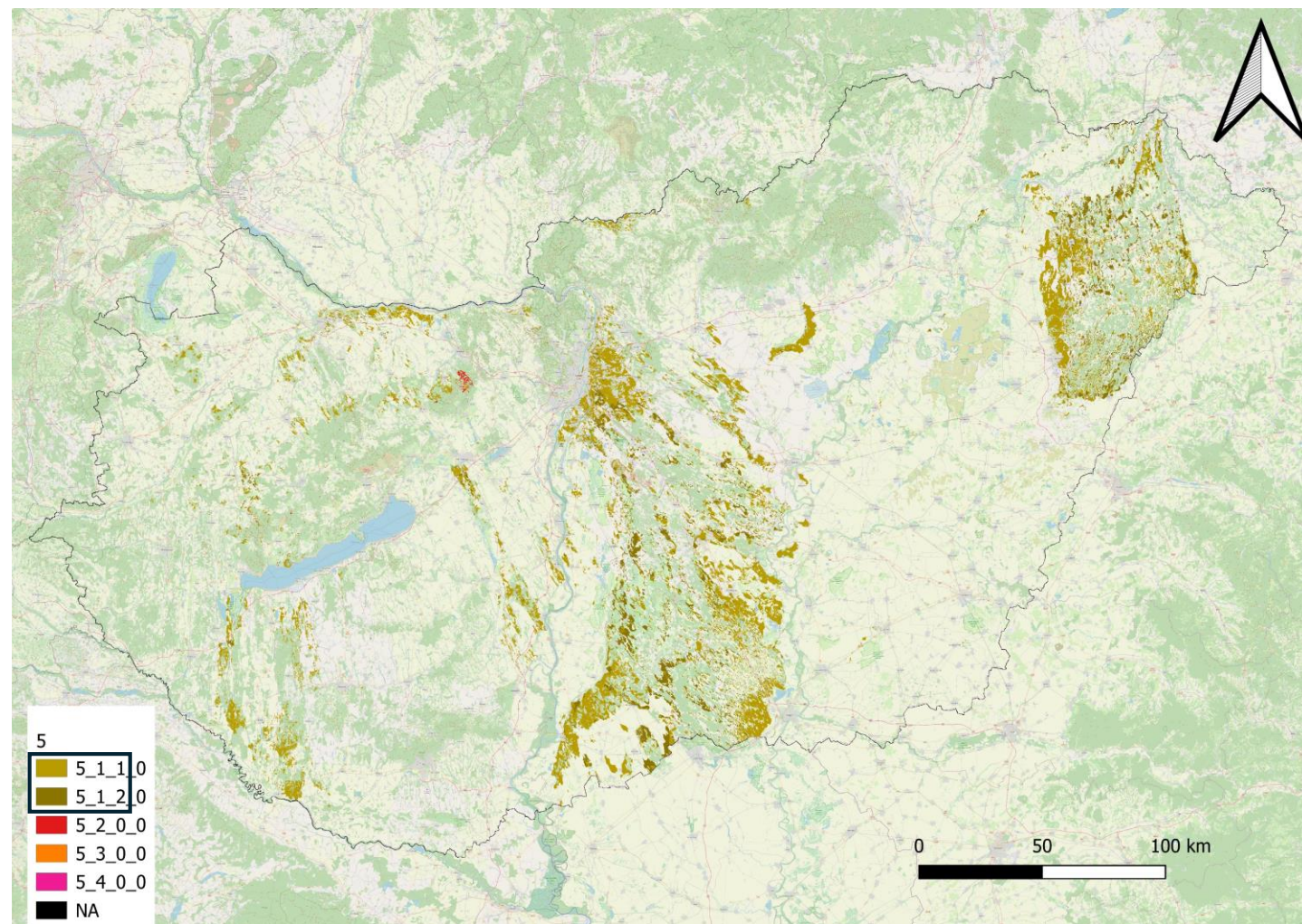
Csoportok képzése talajvízhatás alapján. Leválogatás:

- talajtípus térkép alapján,
- a 100 cm-nél mélyebb termőréteggel rendelkező talajokat.



62 harmadik szintű klaszter

Ötödik klaszter térképe, alklaszterek megkülönböztetésével. Talajvízhatás alapján megkülönböztetett talajok 100 cm-nél mélyebb termőréteg esetén: 5_1_1, 5_1_2.



Szakértői szabályok – negyedik szint

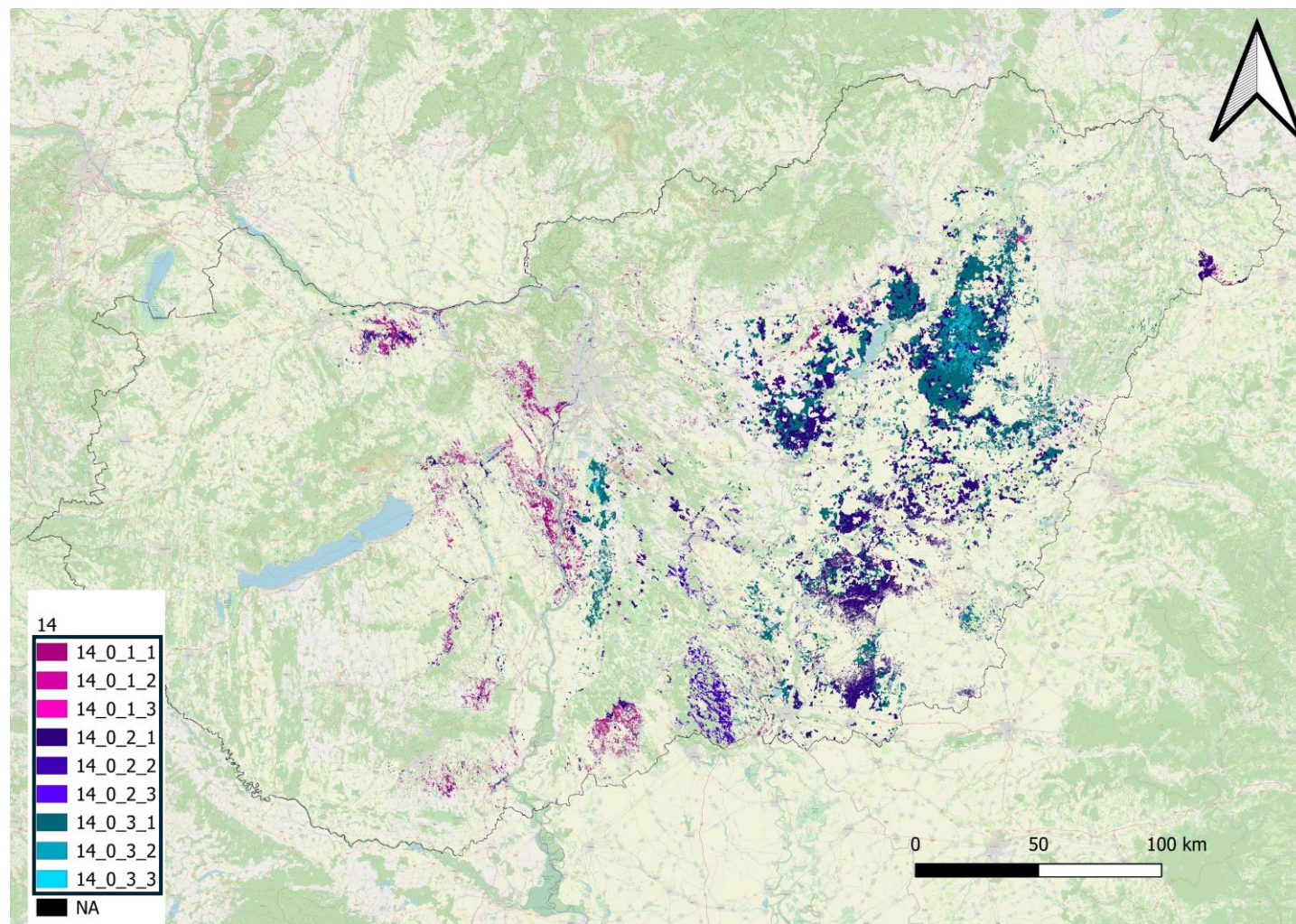
Csoportok képzése elektromos vezetőképesség és kicserélhető nátriumtartalom alapján. Leválogatás:

- talajtípus térkép és
- EC és ESP térkép alapján,
- 14-es klaszter esetén.



68 negyedik szintű klaszter

14-es klaszter térképe – szikes talajok – , alklaszterek megkülönböztetésével.

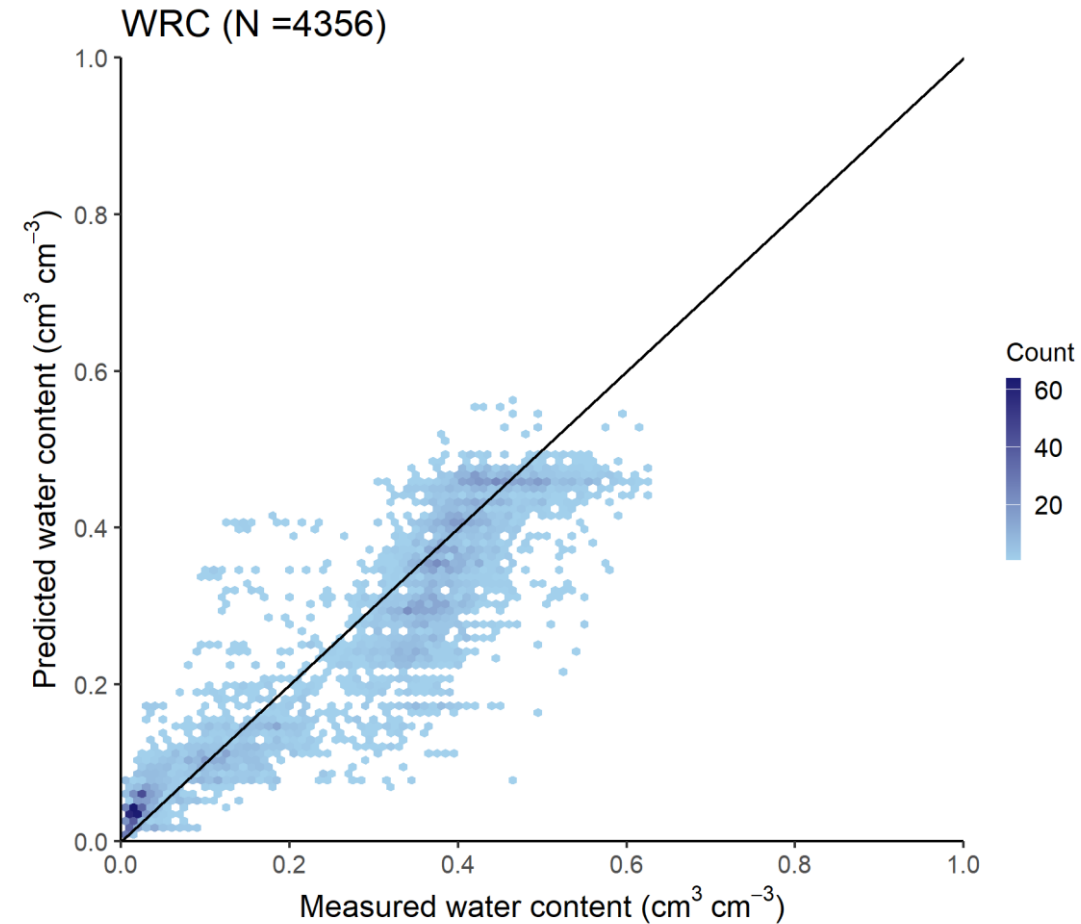


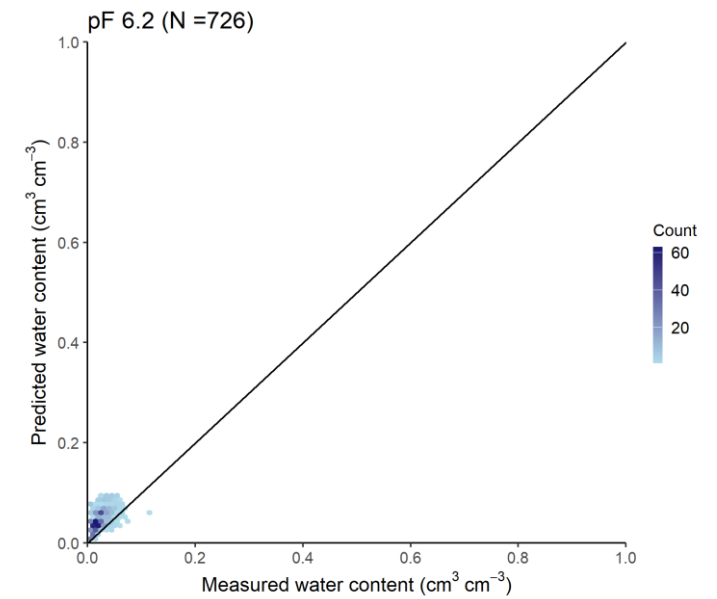
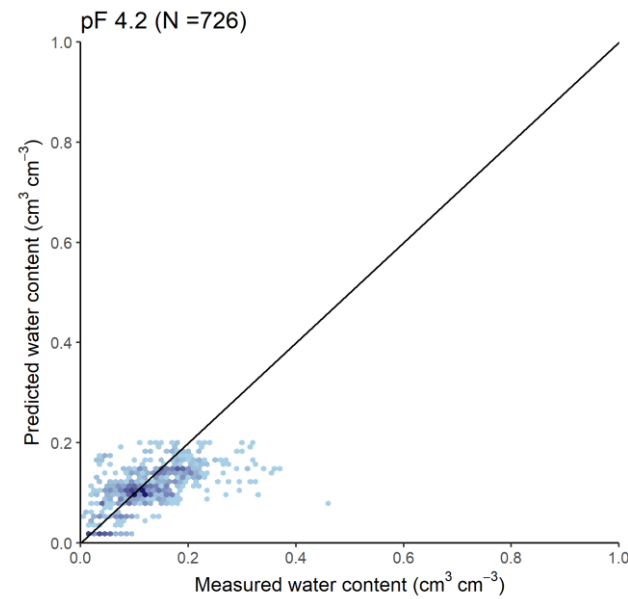
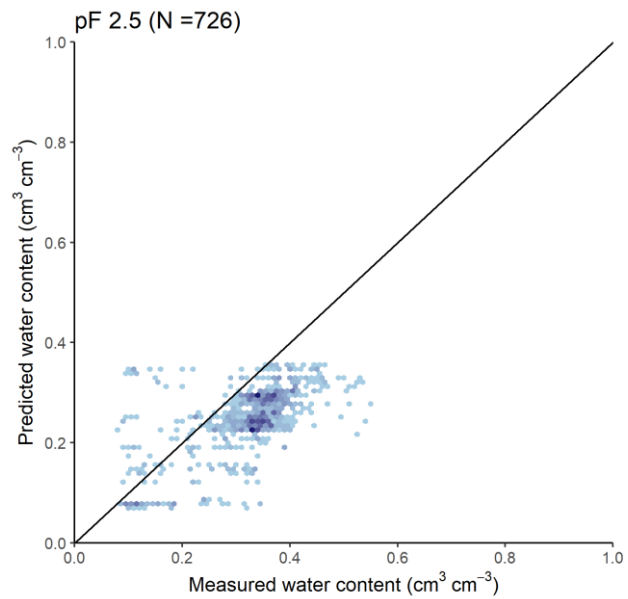
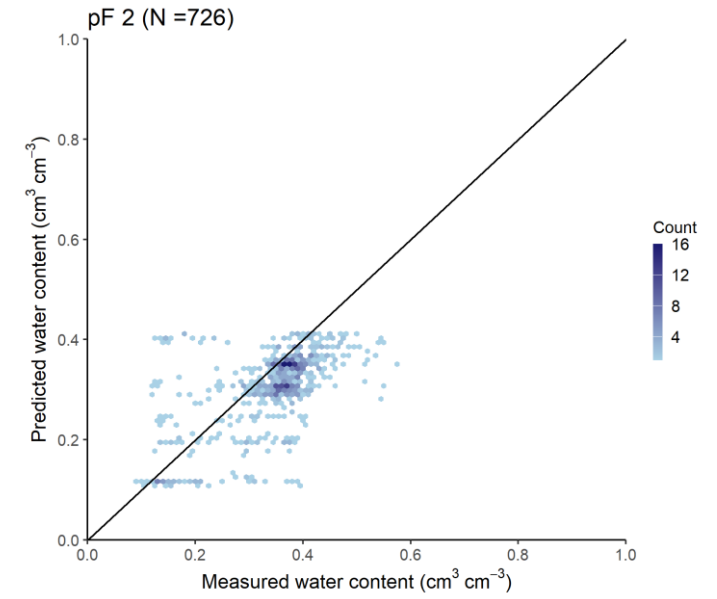
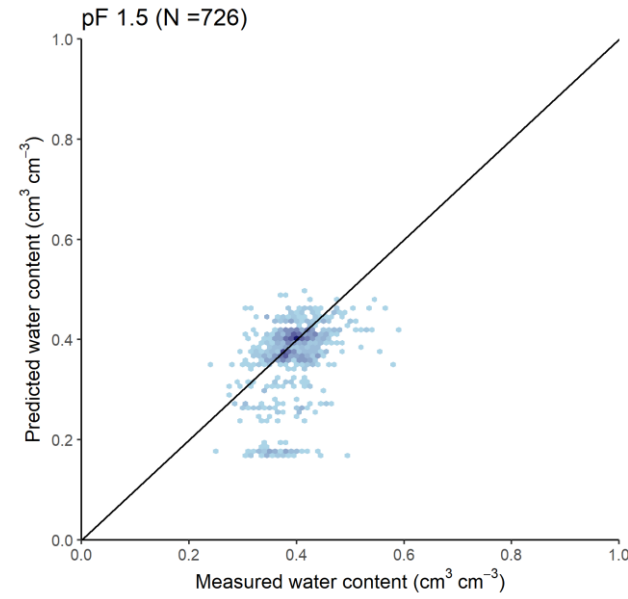
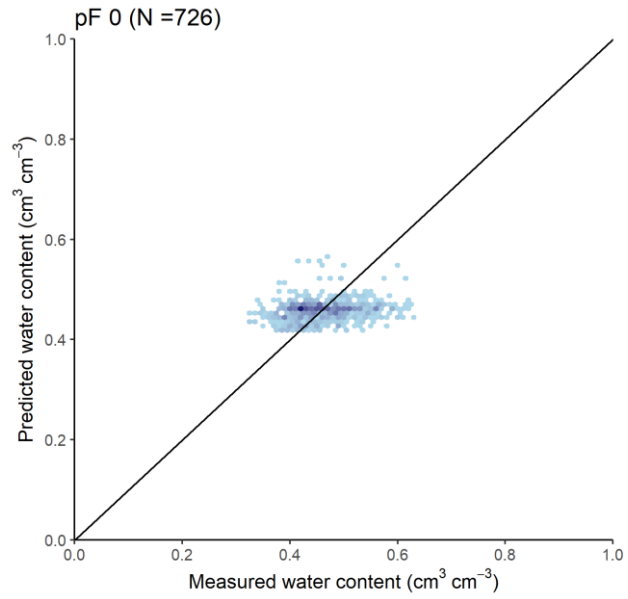
Talajhidrológiai csoportok térképének pontossága

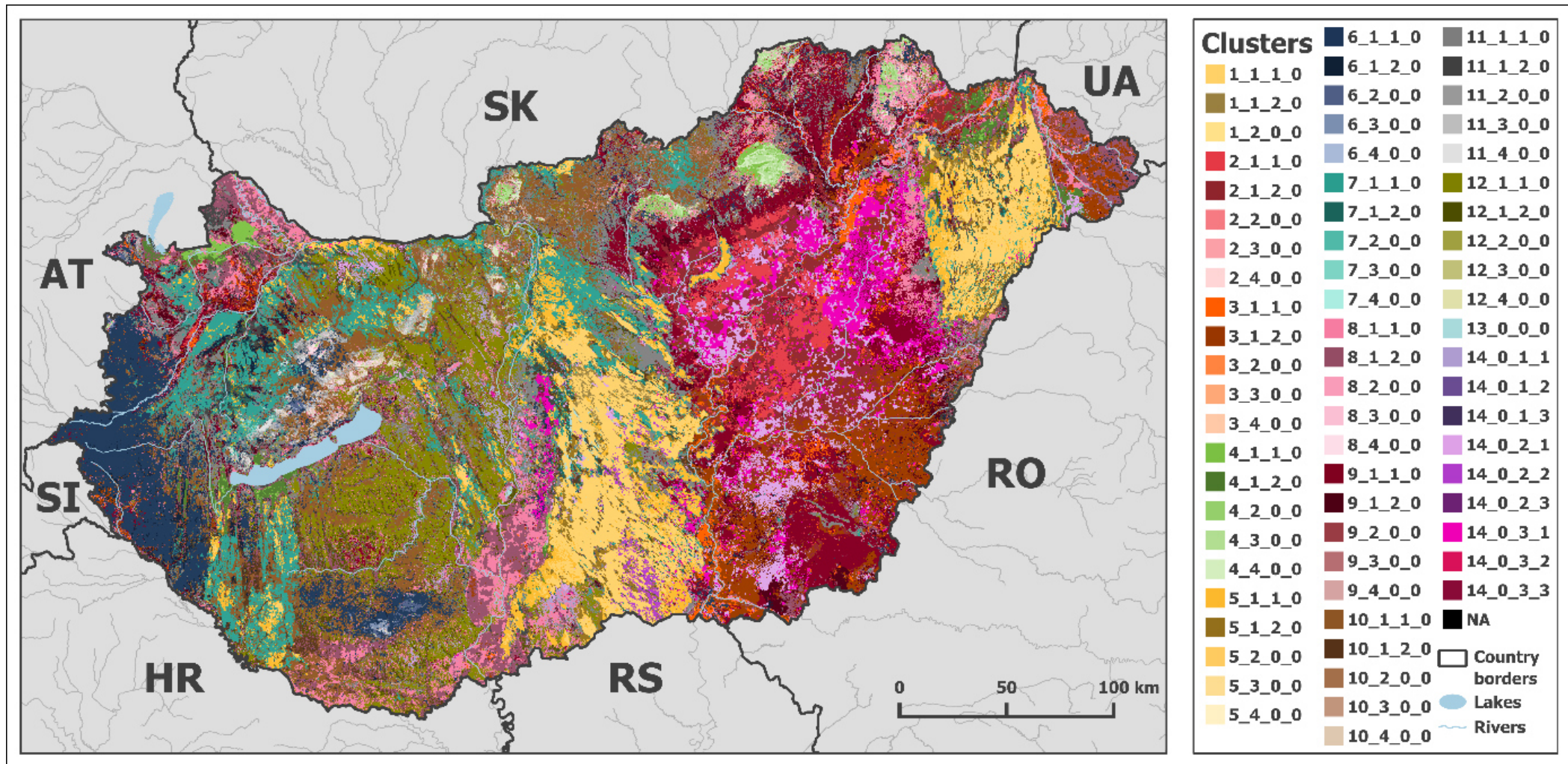
A talajhidrológiai csoportok és HU-SoilHydroGrids térképek pontossága a víztartóképesség értékek ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) (pF 0-tól pF 6.2-ig) és a víztartóképesség-görbe (WRC) alapján, az Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer állomásain mért talajszelvény adatokon. R^2 : determinációs együttható, ME: átlagos hiba, RMSE: átlagos négyzetes hiba gyöke, CCC: Lin-féle konkordancia-korrelációs együttható, N: elemszám, θ -h pairs: víztartó képesség és mátrixpotenciál értékpárok száma.

| Térkép | Talajhidrológiai tulajdonság* | R^2 | ME | RMSE | CCC | N | θ -h pairs |
|----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|------------|-------------------|
| Talajhidrológiai csoportok | pF 0 | 0.036 | 0.002 | 0.057 | 0.117 | 726 | - |
| | pF 1.5 | 0.137 | 0.025 | 0.074 | 0.307 | 726 | - |
| | pF 2 | 0.362 | 0.037 | 0.080 | 0.537 | 726 | - |
| | pF 2.5 | 0.377 | 0.073 | 0.102 | 0.419 | 726 | - |
| | pF 4.2 | 0.352 | 0.014 | 0.055 | 0.520 | 726 | - |
| | pF 6.2 | 0.338 | -0.023 | 0.029 | 0.300 | 726 | - |
| | WRC | 0.840 | 0.021 | 0.070 | 0.905 | 726 | 4356 |
| HU-SoilHydroGrids | pF 0 | 0.090 | 0.002 | 0.055 | 0.218 | 726 | - |
| | pF 1.5 | 0.226 | 0.009 | 0.069 | 0.410 | 726 | - |
| | pF 2 | 0.584 | 0.015 | 0.061 | 0.752 | 726 | - |
| | pF 2.5 | 0.607 | 0.050 | 0.077 | 0.665 | 726 | - |
| | pF 4.2 | 0.484 | 0.004 | 0.048 | 0.679 | 726 | - |
| | pF 6.2 | 0.451 | -0.027 | 0.035 | 0.315 | 726 | - |
| | WRC | 0.889 | -0.013 | 0.057 | 0.939 | 726 | 4356 |

* pF 0 – pF 6.2: víztartóképesség 0, -31.6, -100, -316, -15849, and -1584893 vízoszlop cm mátrixpotenciál értéken.







Talajhidrológiai csoportok országos térképe.

Térkép ingyenesen letölthető: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15223611> .

Szabó, B.; Kolcsár, R. A.; Mészáros, J.; Laborczi, A.; Takács, K.; Szatmári, G.; Makó, A.; Rajkai, K.; Benyhe, B.; Barta, K.; Pásztor, L.; Bakacsi, Zs. 2025. National soil hydrologic groups map for environmental applications from joint data-driven and expert-based approaches. Scientific Data. Accepted for publication.

Összefoglalás

A HU-SoilHydroGrids térképek újdonsága:

- a térkép tartalmazza a van Genuchten függvény paramétereit és a hidraulikus vezetőképességet is, a pF 0, 2,5 és 4,2 értékeken felül
→ a talajhidrológiai tulajdonságok átfogóbban jellemezhetők, mint a nevezetes szívóerőkhöz tartozó víztartó képesség értékekkel,
- az ország teljes területére rendelkezésre áll 100 m felbontásban, hat talajmélységre, 2 méterig,
- több gépi tanulási módszerrel kidolgozott algoritmus alapján lett kiszámítva,
- bementi adatként az országos talajtérképek mellett egyéb környezeti változókat is használ.

Összefoglalás

- A pF-görbéről és a hidraulikus vezetőképességről a HU-SoilHydroGrids térképek szignifikánsan pontosabb információt nyújtanak, mint az EU-SoilHydroGrids térképek.
- A bemutatott térképek országos vizsgálatokra adnak lehetőséget, például bementi információként használhatók a belvízérzékenység térképezésében, hidrológiai szimulációkban, szénkészlet változás modellezésében, valamint a talaj vízgazdálkodási tulajdonságait figyelembe vevő egyéb környezeti modellezésben.

Összefoglalás

Az aggregálás csökkenti a számított értékek pontosságát, azonban lehetővé teszi a talajhidrológiai térképek szélesebb körű alkalmazását:

- egyszerűsíti a részletes talajhidrológiai adatokat, ezáltal lehetővé téve azok alkalmazását nagy számítási kapacitást igénylő, országos hidrológiai modellekben

A talajcsoport térkép fontos információt nyújt a vízgazdálkodási döntéshozáshoz, a területhasználati tervezéshez, valamint az éghajlati hatásvizsgálatokhoz, ahol a nagyléptékű mintázatok nagyobb jelentőséggel bírnak, mint a finomléptékű variabilitás.

Jövőbeli irányok:

- A számított térfogat tömeg alkalmazásának vizsgálata a víztelítettséghez közeli talajhidrológiai tulajdonságok becslési bizonytalanságának csökkentése érdekében.
- Talajhidrológiai tulajdonságok kiválasztásának specifikálása a pontosabb aggregáláshoz.

Köszönetnyilvánítás

- A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta
- A HU-SoilHydroGrids térképek a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával készültek.
- A statisztikai vizsgálatokat a HUN-REN Cloud (<https://science-cloud.hu/>) e-infrastruktúrában végeztük.



VÍZTUDOMÁNYI ÉS
VÍZBIZTONSÁGI
NEMZETI LABORATÓRIUM



HUN-REN Cloud