

PhD-értekezés tézisei

Földtudományok Doktori Iskola

**A légkör és a talaj nedvességtartalmának hatása a
ködképződésre**

Juhászné Cséplő Anikó

Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar

Pécs, 2024.

A doktori iskola neve, címe: Pécsi Tudományegyetem
Földtudományok Doktori Iskola
7624, Pécs, Ifjúság útja 6.

A doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Geresdi István
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi
Intézet
Földtani és Meteorológiai
Tanszék

A doktori program neve: Természetföldrajz

A doktori program vezetője: Prof. Dr. Kovács János
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi
Intézet
Földtani és Meteorológiai
Tanszék

Témavezető: Prof. Dr. Geresdi István
egyetemi tanár
PTE TTK
Földrajzi és Földtudományi
Intézet
Földtani és Meteorológiai
Tanszék

1. Bevezetés

A köd gyakran jár együtt a légköri szennyező anyagok magas koncentrációjával. Az egészségre gyakorolt káros hatás, továbbá a jelentősen csökkenő látástávolság miatt fontos, hogy minél jobban megismerjük a köd kialakulásának környezeti feltételeit.

A ködös események klimatológiai vizsgálata során a köd események gyakorisága vagy időtartamának elemzése mellett érdemes a köd kialakulását meghatározó légköri jellemzők (pl. hőmérséklet, relatív páratartalom) hosszú távú változását is tanulmányozni. Az elmúlt évtizedekben, világszerte megfigyelték a köd események gyakoriságának csökkenését, amiben több folyamat is szerepet játszhatott. Az éghajlat változása, illetve az átalakuló társadalmi-gazdasági folyamatok is előidézhettek olyan változásokat a légkörben, amelyek a ködös események gyakoriságának vagy időtartamának csökkenését eredményezték. A ködképződésben szerepet játszó környezeti feltételek (pl. relatív páratartalom, talaj nedvességtartalma, légkör szennyezettsége) változékonysága jelentős hatással bír a köd életciklusára és tulajdonságaira.

Doktori kutatásomban a köd események gyakoriságának és időtartamának hosszú távú változását, valamint a jelenség háttérben álló fizikai folyamatokat vizsgáltam. Megvizsgáltam a légkör relatív páratartalmának (RH), valamint a talaj – légkör kölcsönhatás szerepét.

2. Célkitűzések

A köd életciklusát döntően a felszín és a légkör közti kölcsönhatások befolyásolják. A ködképződést alapvetően a relatív páratartalom nagysága határozza meg, amely függ a rövid- és hosszúhullámú sugárzás egyenlegétől, illetve a vertikális irányú hő- és vízgőztranszporttól.

A kutatásaim során az alábbi kérdésekre kerestem választ:

K1: Az eltérő módon meghatározott napi átlagos RH értékek hogyan befolyásolják a hosszú távú változások kapcsán levont következtetéseinket?

K2: Az elmúlt évtizedek során változott-e a légköri RH Magyarországon, ha igen, a változás szignifikáns volt-e? Évszakok és napszakok szerint milyen trend mutatható ki az RH változását illetően?

K3: Milyen szerepe van a légköri hőmérséklet változásának az RH változásában?

K4: Van összefüggés a felszínen és a légkör alsó, 100 m-es rétegében mért RH változása között?

K5: Miként befolyásolják a talajfelszín párolgását a talaj és a légkör jellemzői?

3. Kutatási módszerek

A klimatológiai elemzéshez magyarországi meteorológiai állomásokról származó adatsorokat használtam. Az adatokat a HungaroMet Nonprofit Zrt. elődje, az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta rendelkezésemre. Az elmúlt évtizedek során bekövetkezett RH változást és hőmérsékletváltozást az 1961 és 2020 között végzett mérések homogenizált adatsora alapján határoztam meg.

A homogenizált adatsorban a napi átlagos RH-t a naponta négyszer elvégzett mérések átlagaként határozták meg. Megvizsgáltam, hogy az átlagérték meghatározásának módja hogyan befolyásolja az eredményt. A bizonytalanság tanulmányozására az ún. „nyers” adatsorokat használtam. A napi átlagértéket két különböző módszer segítségével határoztam meg: (i) a napi négyszer mért RH értékek átlagolásával; (ii) a napi átlaghőmérsékletből, és átlagos vízgőz keverési arányból származtatva. A két módszerrel kapott eredmény közötti különbséggel becsülhető a hosszú távú változásra kapott eredmény bizonytalansága.

A RH hosszú távú változását a 1961 és 1990 közötti időszakra vonatkozó éghajlati normál érték alapján határoztam meg évszakos, illetve napszakos bontásban (12 UTC és 00 UTC). Lineáris trendet feltételezve megbecsültem az elmúlt hat évtizedre vonatkozó változásokat, valamint ezen változások szignifikáns voltát minden egyes meteorológiai állomásra.

Az RH függ a levegő vízgőz tartalmától és hőmérsékletétől. A Clausius-Clapeyron egyenletből levezethető összefüggés segítségével vizsgáltam, hogy az RH hosszú távú változásában milyen szerepet játszik a hőmérséklet és a vízgőz tartalom hosszú távú, lokális változása.

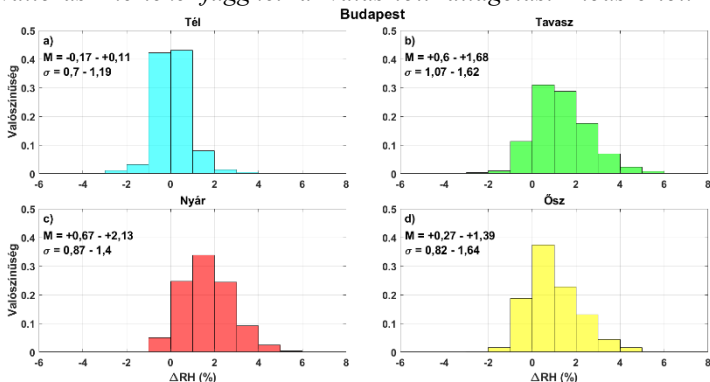
Budapesten, 2007 és 2018 között végzett rádiószonda mérések adatainak elemzésével vizsgáltam az RH változását az alsó, 100 m-es levegő rétegében. A mérési adatok segítségével megbecsültem, hogy hogyan változott a fenti időszakban az RH a felszínen és a felszíntől 50 és 100 m-es magasságban. A felszíni adatok és a két különböző magasságban mért adatok közötti összefüggés vizsgálatának célja annak megállapítása volt, hogy a felszíni RH hosszú távú változására kapott eredmények mennyire terjeszthetők ki a határretegére.

HYDRUS-1D nevű numerikus modell segítségével vizsgáltam a légkör és a talaj közti kölcsönhatásokat a köd kialakulását megelőző időszakban és a köd időtartama alatt. A vizsgálatot négy esettanulmány keretében végeztem el. A modell számítások elvégzéséhez szükséges meteorológiai és talajhőmérséklet (5, 10, 20 és 50 cm-es mélységben) adatokat a HungaroMet adatbázisa szolgáltatta. A meteorológiai állomás mellé telepítettük a talaj nedvességének mérésére szolgáló szenzorokat (10, 20 és 50 cm-es mélységben). A talaj textúra típusát négy, különböző mélységben végzett méréssel határoztuk meg. A felszínről történő párolgás megbízhatóságának meghatározása érdekében összehasonlítottam a modell által különböző mélységekben kiszámolt hőmérséklet és talajnedvesség értékeket a mért értékekkel. Mivel nem rendelkeztem talajnedvességre vonatkozó mérési adattal a talaj felső, 10 cm-es rétegében, ezért a számításokhoz szükséges kezdeti talajnedvesség profilt csak becsülni tudtam. Mivel a felszíni párolgást jelentős mértékben meghatározhatja ezen réteg nedvességtartalma, ezért érzékenységi vizsgálatot végeztem különböző kezdeti talajnedvesség profilokkal. A modell által meghatározott felszíni, időben összegzett párolgást használtam annak becslésére, hogy a talaj milyen szerepet játszik a ködképződésben. Összefüggést kerestem a mérési eredményekből származtatható vízgőz tartalom változása és a modell által számolt, időben összegzett párolgás értéke között.

4. Az eredmények összefoglalása

Kutató munkámat az elmúlt évtizedek során Magyarországon megfigyelt ködklimatológiai folyamatok vizsgálatával kezdtem. A vizsgálat eredményei szerint az elmúlt három évtized során minden általam vizsgált meteorológiai állomáson csökkent a párassággal, köddel és sűrű köddel kísért időjárási események időtartama. Az ország ÉK-i régiójában mutattuk ki a legnagyobb mértékű csökkenést. A kutatás következő szakaszában megvizsgáltam: (i) összhangban van-e a ködös események Magyarországon megfigyelhető csökkenésével az RH hosszú távú változása (ii) milyen szerepe van a talaj felszínéről történő párolgásnak a ködképződésben. Kutatási eredményeim alapján a Célkitűzések c. fejezetben megfogalmazott kérdésekre adott válaszokat a következő pontokban összegezem:

1. *A különböző módszerekkel meghatározott napi átlagos RH értékek közötti eltérés elérheti a 2 - 4 %-ot. Az általam megvizsgált, két különböző módszerrel meghatározott napi átlagértékek közti eltérés döntően egyirányú, ezért a hosszú távú változás előjelét nem befolyásolja (ld. 1. ábra.). Azonban a két átlagérték közti eltérés mértéke összemérhető nagyságú a hosszú távú változás mértékével. Ez azt jelenti, hogy a hosszú távú változás mértéke függhet a választott átlagolási módszertől.*

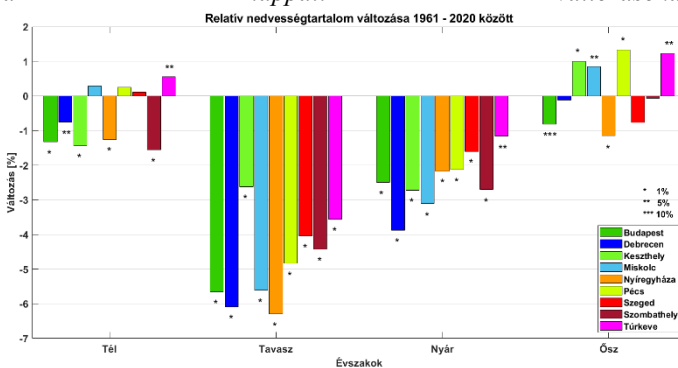


1. ábra. Budapest állomásra vonatkozó RH bizonytalansága

2. *Az 1961 és 2020 közötti időszakban a légköri RH változása függ az évszaktól, a napszaktól és az észlelés helyétől. A tavaszi és*

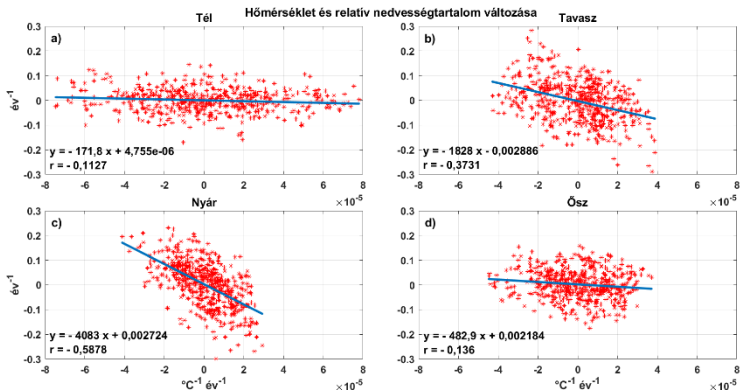
nyári évszakokban minden vizsgált állomáson szignifikáns az RH csökkenése. A téli és az őszi évszakokban mind a változás nagysága, mind annak előjele állomásonként változik (ld. 2. ábra.). Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy noha az ország viszonylag egységes domborzati és felszínhasználati jellemzőkkel rendelkezik, a légköri RH változása függ az állomások elhelyezkedésétől.

Míg a nappali órákban a becsült RH változás jelentősebb és az őszi évszak kivételével minden állomáson csökkenést mutat, addig az éjszakai órákban a becsült RH változás kisebb mértékű és egyértelmű csökkenés csak tavasszal látható. Az egyes meteorológiai állomásokra kapott eredmények összevetése alapján megállapítható, hogy a domborzat és a felszínhasználat az éjszakai RH változást jelentősebb mértékben befolyásolja, mint a nappali változásokat.



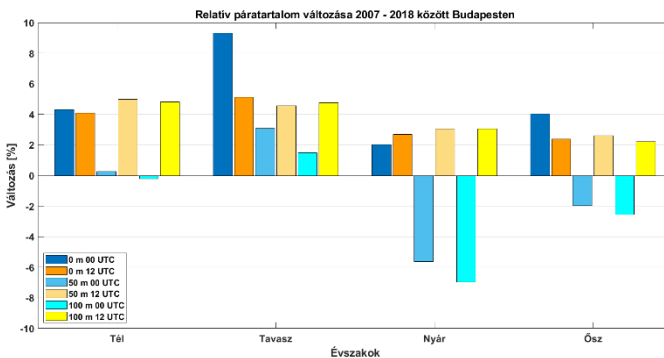
2. ábra. Az RH becsült változása az elmúlt évtizedekben. A százalékban megadott értékek a változások szignifikáns voltára utalnak.

3. A légköri hőmérséklet növekedése évszakonként eltérő módon befolyásolja a légköri RH változását (ld. 3. ábra.). Télen és ősszel a növekvő hőmérséklet hatására fokozódó párolgás enyhíti a hőmérséklet növekedésének hatását. Tavasszal ez a kompenzáló hatás kevésbé hatékony, nyáron pedig a hőmérséklet növekedésének hatását már csak nagyon kismértékben képes kompenzálni a felszíni párolgás. Emiatt nyáron az RH változása döntően a hőmérséklet változásától függ.



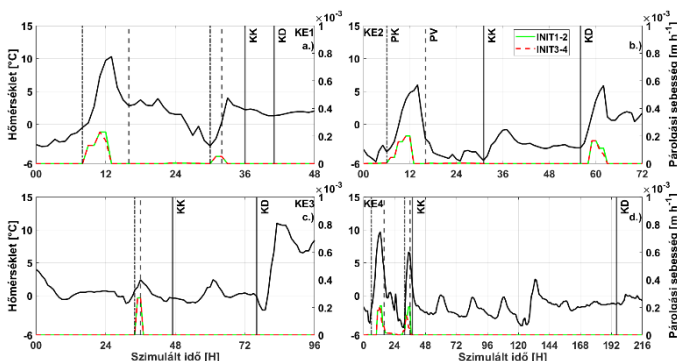
3. ábra. A légköri RH és a hőmérséklet változása közti korreláció

4. A Budapesten végzett rádiószonda mérések segítségével vizsgáltam, hogy hogyan változott az RH nappal és éjszaka a felszínen, valamint a felszíntől mért 50 és 100 m-es magasságban (4. ábra.). Míg nappal az RH növekedett minden évszakban és minden szinten (felszínen és a légkörben), addig éjszaka nyáron és ősszel a légkörben csökkent, a felszínen növekedett az RH. A fentiek alapján kijelenthető, hogy a felszíni RH hosszú távú változására kapott eredmények kiterjesztése a légkör alsó, 100 m-es rétegére csak a nappali időszakra tehető meg.



4. ábra. Az RH változása a felszínen és a légkör alsó, 100 m-es rétegében a 00 és 12 UTC-kor végzett mérések alapján.

5. A talajfelszín párolgásának numerikus modellezése során kapott eredmények (5. ábra) azt mutatják, hogy a felszín párolgását a légköri jellemzők (elsősorban az RH), valamint a talaj felső, 10 cm-es rétegének nedvességtartalma befolyásolja. A négy esettanulmány eredménye alapján megállapítottam, hogy a légkör két, egymástól időben elkülönülő, egymást követő lépésben válik telítetté: (i) a felszínről történő párolgás a köd kialakulást megelőzően leáll (ezt mérési eredmények is alátámasztják); (ii) a köd kialakulásához szükséges telített állapot eléréséhez a légkör lehűlésére (sugárzási köd), vagy a vízgőz vertikális irányú, turbulens keveredésére van szükség. Fontos megjegyezni, hogy ezek az eredmények néhány napra vonatkozó szimulációk eredményei, valamint a légköri RH a vizsgált esetekben magas (> 70%) volt. A talajfelszín párolgása fontosabb szerepet játszhat a köd kialakulásában szárazabb légkör esetén.



5. ábra. A négy esettanulmányra vonatkozó szimulált párolgási profilok

A témakörben megjelent publikációk jegyzéke

Folyóiratban megjelent, illetve megjelenés alatt álló publikációk:

Cséplő, A., Sarkadi, N., Horváth, Á., Schmeller, G. and Lemler, T. (2019): *Fog climatology in Hungary*. *Időjárás* 123, 241-264. DOI:10.28974/idojaras.2019.2.7 **Q4**

Cséplő Anikó, Schmeller Gabriella, Czigány Szabolcs, Sarkadi Noémi, Pirkhoffer Ervin, Jeevan Kumar Bodaballa, Geresdi István (2021): *Még nem nagykorú, de már adatbázis: Meteorológiai állomás a botanikus kert szélárnyékában*. *Légtér: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Szakmai Tájékoztatója* 66:1, 11-18. 8pp. **A Scimago listán nem besorolt folyóirat**

Anikó Cséplő, Beatrix Izsák and István Geresdi (2022): *Long-term trend of surface relative humidity in Hungary*. *Theoretical and Applied Climatology*, 149, 1629-1643. DOI: 10.1007/s00704-022-04127-z **Q2**

Anikó Cséplő, Szabolcs Czigány, István Geresdi (2024): *The impact of soil moisture on fog formation: evaluation of surface evaporation by the Hydrus-1D numerical model*. *Vadose Zone Journal*. **Q1 Beküldve, bírálat alatt**

Konferenciaközlemények:

Cséplő Anikó (2019): *Relatív páratartalom klimatikus változása Magyarországon*. In: Németh Katalin (szerk.) *Tavaszi Szél 2019 Konferencia*. Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia. Absztraktkötet. Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 2019. ISBN: 978-615-5586-42-2

Anikó Cséplő, István Geresdi and Ákos Horváth (2020): *Climatology of the relative humidity in the Carpathian Valley*. EGU General Assembly. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-17816>

Anikó Cséplő, István Geresdi, Szabolcs Czigány (2023): *The Impact of Soil Properties on Fog Formation*. In: Czech University of Life Sciences Prague and PC-Progress, s.r.o. Prague. 7th International Conference HYDRUS Software Application to Subsurface Flow and Contaminant Transport Problems. Prague, Czech Republic. ISBN 978-80-213-3264-5