

A FELSZÍNKÖZELI ÓZON SZÁRAZ ÜLEPEDÉSÉNEK MODELLEZÉSE VÁROSI KÖRNYEZETBEN

Mészáros Róbert, Ludányi Erika, Leelőssy Ádám

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: mrobi@nimbus.elte.hu

Bevezetés

Kutatásaink során a felszínközeli ózon és különböző városi felszínek kölcsönhatásait vizsgáltuk a Budapesti Corvinus Egyetem Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszékével közösen. A kutatás célja a növényzet, a légszennyezettség és a városi környezet összetett rendszerének elemzése, kölcsönhatásainak, illetve azok tér- és időbeli változásainak feltárása. Ehhez egy kifinomult ülepedési modellt fejlesztettünk és adaptáltunk különböző felszín-típusokra, amely részletes környezeti és meteorológiai bemeneti adatokat felhasználva becsli az ózon ülepedési sebességét és ülepedési fluxusát. A modellel a Budapesti Corvinus Egyetem Soroksári Botanikus Kertjének cseresznye ültetvényére, illetve az Eötvös Loránd Tudományegyetem lágymányosi épületegyüttesének területére végeztünk részletes szimulációkat 2 éves időszakra vonatkozóan. Négy különböző felszín-típus ülepedési sebességeinek viszonyait vizsgáltuk, külön elemzéseket végezve a levélfelületi index modelledményekre gyakorolt hatásait is figyelembe véve. Ezen kívül elvégeztük a modell elsődleges verifikációját is a soroksári mérőhelyen mért sztómakonduktancia adatok alapján.

Az ülepedés modellezése

A modellek által adott becslések jósága nagymértékben függ a bemenő adatbázisok megbízhatóságától és a megfelelően kiválasztott algoritmusoktól. A felszín-légkör kölcsönhatások modellezése során számos meteorológiai, biológiai, fizikai és kémiai folyamatot kell figyelembe venni. A részletek (pl. a növények légcseré nyílásainak pontos működése, a felszín közelében lejátszódó kémiai reakciók hatása az ülepedésre stb.) sok esetben mind a mai napig kevésbé ismertek a tudomány számára. A becsléseket egyszerűbb és összetettebb modulok felépítése alapján tehetjük meg. A túl összetett leírások hátránya, hogy több, pontosan nem meghatározható paramétert tartalmaznak. Emiatt esetleg nagyobb hibát okoznak, mint amikor egyszerűsítésekkel élünk. Több tanulmány is rámutatott, hogy az egyszerűbb és összetettebb modellek eredményei között sok esetben nincs eltérés, sőt, esetenként az egyszerűbb modellel jobban közelíthetők a mért értékek. Ugyanakkor bizonyos esetekben jóval pontosabb eredményt kapunk, ha részletesebb modellparametризációt alkalmazunk.

Az egyszerűsítéseket, illetve a részletesebb leírásmódot mindig az adott feladathoz kell igazítani. Így például az ülepedés során történő kémiai reakciók figyelmen kívül hagyása nem okoz nagy hibát az ózonfluxus becslése esetén. Ugyanakkor a talajnedvesség hatását az ülepedésre – amit számos jó vízellátottságú területre végzett szimuláció során nem vesznek figyelembe – hazánkban, kontinentális éghajlatú területen nem hanyagolhatjuk el, mivel a talajnedvesség Magyarországon jelentősen befolyásolhatja az ülepedés mértékét (l. pl. Mészáros et al., 2009a, b).

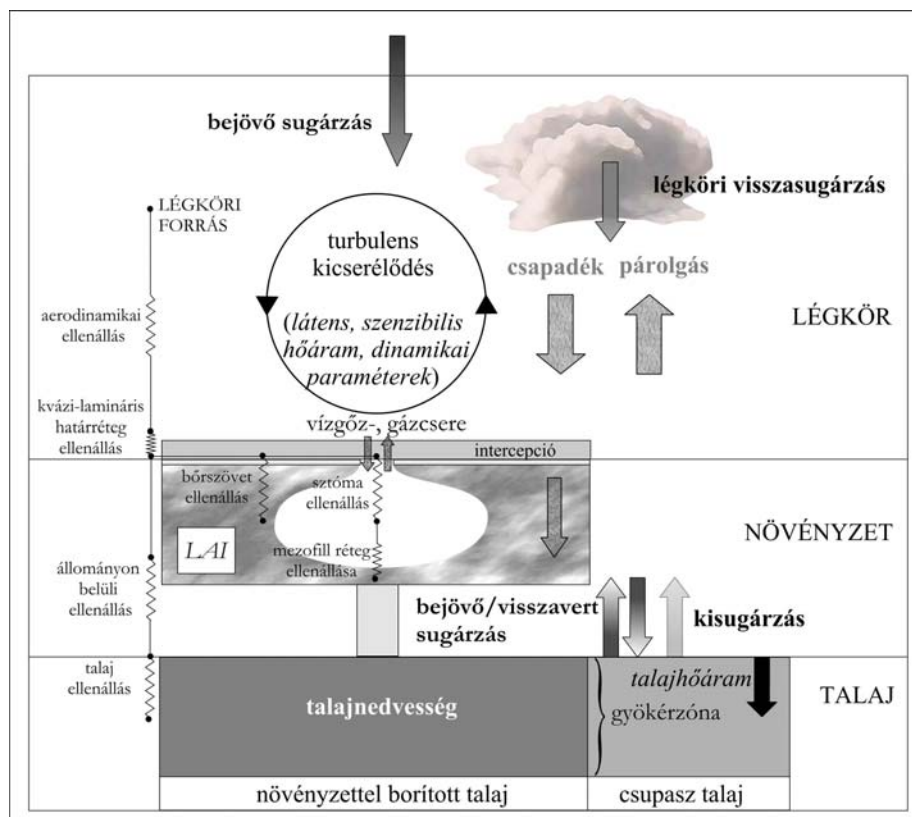
Az alkalmazott modell

A száraz ülepedés becslésére egy ún. „big-leaf” modellt fejlesztettünk, ami a felfogó közeget egyetlen nagy levélként reprezentálja. A modellfejlesztés során arra törekedtünk, hogy a rendelkezésre álló adatbázisokhoz igazodó és a hazai viszonyokat jól jellemző modulokat alkalmazzunk az ülepedési modellben. A modellben az ülepedést az Ohm-törvény analógiájára egy ellenállás hálózattal számítjuk. Az egyes ellenállás tagok, mint az ülepedést gátló tényezők, rendre az aerodinamikai ellenállás (R_a), a kvázi lamináris határreteg ellenállása (R_b) és a felszíni ellenállás (R_c).

Az aerodinamikai ellenállás a felfogó felszín felett a turbulens diffúzióra jellemző érték, ami mikrometeorológiai feltételek, a felszíni érdesség és a légkör stabilitásának a függvénye. A kvázi-lamináris határreteg ülepedést gátló hatása az aktív felszín feletti vékony réteg ellenállása, ami egy szennyezőanyag specifikus érték; a felszínközeli dinamikai paraméterektől és a vizsgált kémiai anyagok molekuláris diffúziójától függ. A felszín ellenállása beépített terület esetén egyszerűen parametrizált érték, növényállományok esetén viszont az ellenállási hálózat meghatározó mennyisége, ami a felszínközeli légréteg állapotjelzőitől, növényfiziológiai és talajfizikai paraméterektől egyaránt függ.

A felszíni ellenállás további ellenállás tagokra bomlik, ezek a sztóma-, a kutikula- a mezofill réteg ellenállása, valamint a talajellenállás. Az ellenállások közül a sztómák, vagyis a növény levelén található gázcseré nyílások ellenállása jelentős szerepet játszik, mivel elsősorban ez határozza meg a szennyezőanyag azon mennyiségét, ami a levél belsejébe jutva ténylegesen roncsolja a növények sejtjeit.

Az egyes ellenállás tagok leírásához egy sugárzás- és energiaháztartási, egy dinamikai és egy vízháztartási almodul számítja a szükséges bemenő adatokat (1. ábra).



1. ábra: Az ülepedési modell folyamatábrája. Az ülepedést egy ellenállás hálózattal írjuk le. A modellben részletesen parametrizáljuk a talaj–felszín–növényzet rendszer sugárzás- és energiaháztartását, valamint vízháztartását és a felszín közelében kialakuló turbulens áramokat

Az energiaháztartást, a látens és szenzibilis hőáramok becslését a sugárzási egyenleg alapján adtuk meg. A sugárzási egyenleget a bejövő rövidhullámú sugárzás és az időjárási helyzet alapján parametrizáltuk a felszínborítottság szerint. A hőáramokat iterációs eljárás keretében számítottuk a felszínközeli dinamikai paraméterekkel együtt.

Az ülepedési modellben jelentős szerepe van a vizsgált terület talajnedvesség-értékeinek, amit a csapadék mennyisége, a párolgás, a növényzet által felfogott vízmennyiség és esetlegesen az öntözés mennyisége határoz meg. A modellben nem csupán a csupasz talajra vonatkozóan számítjuk a talaj nedvességtartalmát, hanem a felszín vegetációval borítottságát, tehát a növényi párolgást, illetve az intercepció hatását is figyelembe vesszük. A modellben óras léptékben számítottuk a talajnedvesség értékét.

A modellezett területek és a felhasznált bemenő adatok

Munkánk során a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Karának Soroksári Kísérleti üzem- és Tangazdaságának cseresznyeültetvény területére (É. sz. 47°22', K. h. 19°09'), illetve az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának épülete előtti parkjára (É. sz. 47°28', K. h. 19°03') végeztünk szimulációkat az ülepedési modellel. Az ELTE lágymányosi épületegyüttese melletti park esetében 3 féle felszínborítottsági esetet vettünk figyelembe (vegyes – lombhullató és örökzöld – fás terület, fűfelszín és beépített terület). A számítások óras felbontásban történtek a 2011-es és a 2013-as évre.

Mindkét vizsgált területen végeznek meteorológiai méréseket; szimulációink során az ELTE klímaállomásán és a Tangazdaság területén mért adatokat használtuk fel. Az adatsorokból rendelkezésünkre álltak a 2 méteres magasságban mért hőmérséklet- és relatív nedvességtartalom értékei, valamint a csapadékmennyiségre vonatkozó adatok óras felbontásban. További szükséges bemenő adatokra az ültetvény területén nem történt mérés, ezért a felhőzet mennyisége, a tengerszinti légnyomás, illetve a szélesség értékei a Soroksártól északkeletre, kb. 4 km-re található Országos Meteorológiai Szolgálat Budapest-Pest-szentlőrinci állomásán mért méréseiből és észleléseiből származnak. A klímaállomáson kizárólag csak a felhőzeti megfigyelések hiányoztak adatsorainkból, amelyet szintén a pest-szentlőrinci adatokkal pótolunk.

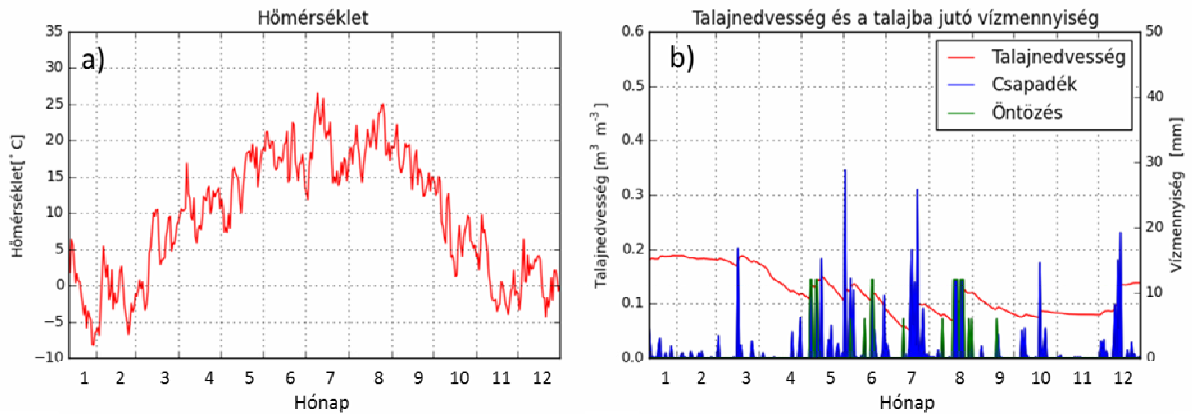
A szimulációink során használt levélfelületi index adatokat szakirodalmi adatok alapján adtuk meg (Zhang et al., 2001) de a cseresznyeültetvényre, ahol évközben metszés is történt, egy egyszerű modellel számítottuk (Piblinger, 2014).

A Botanikus Kertben a cseresznyeültetvény területén az uralkodó fizikai talajféleség homok, az ELTE körüli park területén pedig vályog. A két talajféleségre vonatkozó hervadásponthoz, szabadföldi vízkapacitáshoz és a telítéshez tartozó talajnedvesség tartalom értékeit Ács et al. (2010) alapján vettük figyelembe.

A fluxusszámításhoz szükséges koncentráció-adatokat az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat Budapest Gilice téri és Kosztolányi Dezső téri mérőállomás mérései szolgáltatták. A szimulációkhoz az egyes évek óras felbontású ózon adatait használtuk fel.

Eredmények

E dolgozat keretein belül csak néhány részeredményt mutatunk be, rámutatva a talaj, a felszín és a légkör szerepére a nyomgázülepedés tér- és időbeli változékonyságának kialakításában. Részletesebb eredmények Ludányi (2015) munkájában találhatóak.



2. ábra: A Soroksári Botanikus Kertben 2 méteres magasságban mért napi átlagos hőmérsékleti értékek (a), a területen mért napi csapadékösszeg és az öntözővíz mennyisége, illetve a modellezett talajnedvességi értékek (b) 2011-ben

A 2011-es és 2013-as évekre rendelkezésre álló meteorológiai adatok alapján mindkét vizsgált területre modelleztük a talajnedvesség értékét. Példának itt most a 2011-re, a soroksári cseresznyeültetvényre számított menetet mutatjuk be, amit a hőmérséklet és a vízháztartás befolyásoltak (2. ábra).

A 2011-es év hónapjai hazánkban az átlagosnál melegebbek voltak, emellett a rekord csapadékos 2010-es évet követően szárazság, súlyos aszály volt jellemző. Az éves csapadékmennyiség Budapesten 381 mm volt. 2011-ben a szárazság miatt a cseresznyeültetvény öntözésére is sor került. Az év során 198 mm-nek megfelelő vizet használtak fel erre a célra. A csepegtető öntözéssel a talajba jutó vízmennyiség teljes mennyiségben a talajba jut, hiszen a növények párolgásával, illetve a levelek által felfogott vízmennyiséggel nem kell számolnunk.

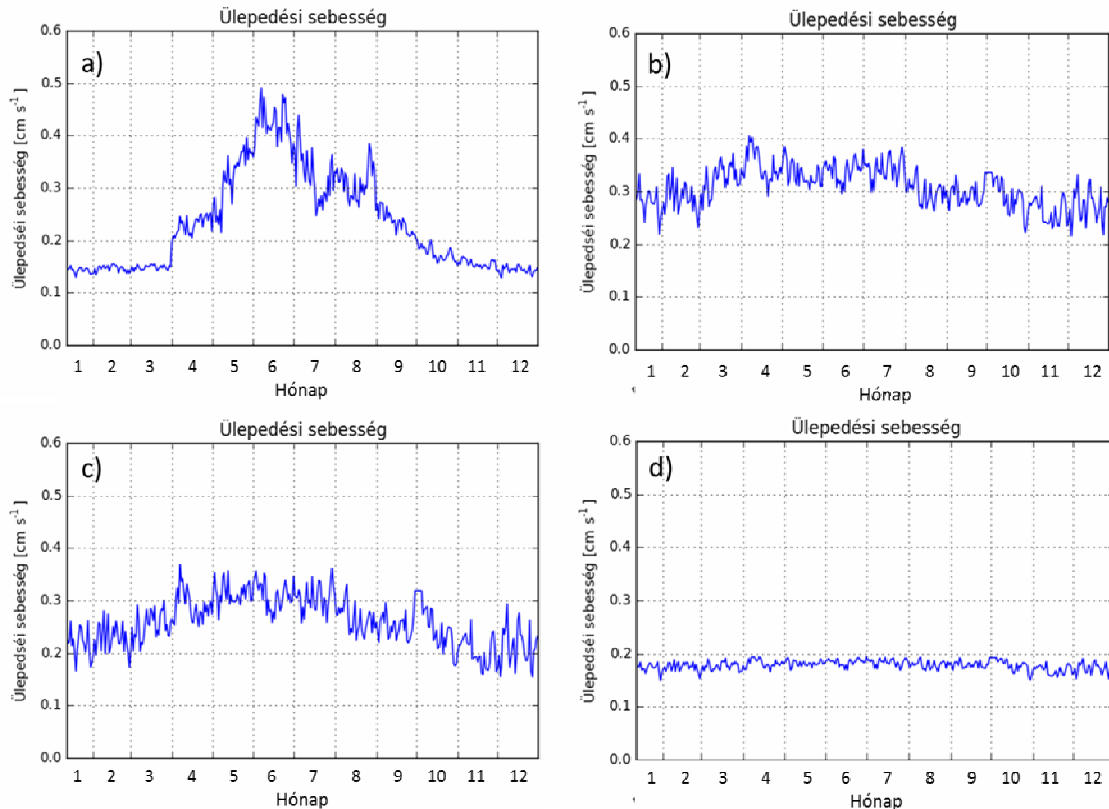
A lágymányosi területen eltérő talajnedvesség értékeket kaptunk, az eltérő csapadékmennyiség, illetve a talajtípus közötti különbségek miatt. A cseresznyeültetvény területén homokos, az ELTE előtti parkban pedig homokos vályog a talaj fizikai félesége. A talajnedvesség jól követi a csapadékmennyiséget, de további fontos tényezők pl. párolgás hatása is jól figyelemmel kísérhető a téli hónapok esetében, mikor csapadékmentes időszakban a talaj nedvességtartalma már nem csökken.

Az egyes évek között is nagy különbség tapasztalható a talajnedvesség menetében. A 2013-as év melegebb volt az átlagosnál, csupán 2 hónap esetén nem haladta meg a havi átlag az országos átlagos hőmérsékleti mennyiségeket. Az év első felében, április közepéig az átlagosnál jelentősen több csapadékmennyiség volt jellemző Magyarország területére. Júliusban kevés csapadék hullott, a vizsgált területen ebben a hónapban egyetlen napon regisztráltak csapadékot, melynek mennyisége 1,4 mm volt. Augusztusban néhány nap alatt hirtelen nagyobb mennyiségű eső esett (3 nap alatt 55 mm), amely a már kiszáradt talaj nedvességtartalmát csak kis mértékben volt képes megnövelni. Az őszi hónapokban jelentős mennyiségű csapadék hullott, viszont a december ismét száraz hónapnak tekinthető, amely a talajnedvesség értékeiben már nem mutatkozott meg.

A 3. ábrán a négy felszín típusra vonatkozó modellezett ülepedési sebesség évi menetei láthatók 2011-re. A legnagyobb évi változékonyságot a város külső területén található cseresznyeültetvény esetén tapasztaltuk (3.a. ábra). Az azonban minden esetben elmondható, hogy a legmagasabb ülepedési sebesség értékek tavasszal, illetve nyáron alakulnak ki, míg a legkisebbek a téli hónapokban.

A növényállományok esetén az ülepedési sebesség tavasszal kezd növekedni, a vegetációs periódus kezdetével. Ekkor a növény fejlődése során növekszik a levélfelületi index, az állomány egyre több nyomanyagot fog fel. Emellett a növény és légkör közötti kicserélődés

szempontjából ilyenkor még optimálisak a feltételek (kedvezőek a hőmérsékleti, légnedvességi és talajnedvességi viszonyok).



3. ábra: Modellezett ülepedési sebesség értékek évi menetei a vizsgált területekre: cseresznyeültetvény (a), elegyes fás terület (b), füves terület (c) és a beépített terület (d) esetére 2011-ben

Később egyre növekszik a növényzetet érő hőstressz, légnedvességi és talajnedvességi stressz és a növényzet sem növekszik már tovább, ezért az ülepedési sebesség értékében nyár elején kisebb-nagyobb visszaesés mutatkozik. A nyár vége felé még emelkedhet az értéke, ahogy újból kedvezőbbé válnak a körülmények (kisebb stresszhatások érik a növényt). Később, a hőmérséklet és a levélfelületi index őszi csökkenésével együtt az ülepedési sebesség is egyre kisebb értékeket vesz fel, majd eléri a téli minimumot.

Beépített területen a növényi tulajdonságok nem hatnak az ülepedési sebességre, ezért az év során jelentős különbség nem figyelhető meg.

Összefoglalás, további célok

Munkánkban az ózon ülepedésének modellezésével foglalkoztunk, mely fontos lehet a mezőgazdaságban, a környezeti terhelés felmérésében, illetve városok tervezése során. Egy olyan kifinomult ülepedési modellt alkalmaztunk különböző felszín típusokra, amellyel becsülhető a felszínközeli ózon ülepedési sebessége és fluxusa.

A modell alapot jelent a tervezett további kutatások számára. További terveink között szerepel a növényzet- és talajfüggő bemeneti paraméterek pontosítása, valamint további szimulációk elvégzése városi környezetekben található növényállományokra, ezáltal az ózonülepedés mértékében a városon belül tapasztalható különbségek feltárása. Tervezzük a növényeket érő további stresszfüggvény, az ún. ózon stressz beépítését a modellbe, amely arra utal, hogy egy bizonyos koncentráció elérése után az év során a növények már olyan

nagymértékben károsodnak, hogy életfolyamataik azután jelentősen csökkennek és ennek figyelembevétele is jelentősen kihat az ülepedés sebességére, illetve a terhelés mértékére.

A kölcsönhatások jellemzése és összefüggéseik feltárása jelentős mértékben hozzájárulhat a levegőszennyezés mértékének becsléséhez, előrejelzéséhez, valamint a városi fák szerepének pontosabb meghatározásához.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Steiner Márknak és Dr. Hrotkó Károlynak a rendelkezésünkre bocsátott adatokért. A kutatásokat az OTKA K109109 és K109361 kutatási pályázatok támogatják.

Hivatkozások

- Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H., Rubel, F., 2010: Effect of soil hydraulic parameters on the local convective precipitation. *Meteorologische Zeitschrift*, 19 (2): 143–153.
- Ludányi, E., 2015: Légszennyező anyagok ülepedésének modellezése városi környezetben. *Diplomamunka*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék
- Mészáros, R., Zsély, I.Gy., Szinyei, D., Vincze, Cs., Lagzi, I., 2009a: Sensitivity analysis of an ozone deposition model. *Atmospheric Environment*, 43: 663–672.
- Mészáros, R., Szinyei, D., Vincze, Cs., Lagzi, I., Turányi, T., Haszpra, L., Tomlin A.S., 2009b: Effect of the soil wetness state on the stomatal ozone fluxes over Hungary. *Int. J. Environment and Pollution*, 36: 180–194.
- Piblinger, B., 2014: Levélfelületi index mérése és modellezése cseresznyésben. *Szakedolgozat*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, Budapest
- Zhang, L., Moran, M. D., Brook, J.R., 2001: A comparison of models to estimate in-canopy photosynthetically active radiation and their influence on canopy stomatal resistance. *Atmospheric Environment*, 35: 4463–4470.