

A katasztrófavédelem válaszai a XXI. század globális kihívásaira

Az egyetemi meteorológiai oktatás-kutatás és a katasztrófavédelem kapcsolódási pontjai

1. Bevezetés

A civilizáció fejlődése az anyagi javak növekedése, a mindennapok részévé váló nemzetközi együttműködés (kereskedelmi, kulturális és védelmi) egyre inkább függetlenné tesz a közvetlen természeti hatásoktól, de egyúttal nagyobb sebezhetőséget is jelent (*Pataky, 2000; Hornyacsek és Veres, 2007*). Nő a katasztrófavédelem jelentősége (*T/3499. számú Törvényjavaslat, 2011*). A fenntartható, és élhető környezet biztosítása, a mindennapi tevékenység nyugalma megköveteli, hogy az oktatásban és a kutatási témák tervezésében is figyelembe vegyük a biztonságunkat veszélyeztető kockázatokat.

A környezeti tényezők közül ki kell emelnünk az időjárási és éghajlati folyamatok szerepét. Az éghajlati katasztrófák okozta károk a világ bruttó nemzeti termékéhez viszonyítva a XX. második felében jelentősen növekedtek, elérik annak 0,1–0,2%-át (*Bartholy és Mika, 2003*). Hazánkban 2010-ben becslések szerint a viharok és áradások (nem számítva a vörös iszap katasztrófát) hozzávetőlegesen százmilliárd forint kárt okoztak. Ebből, a nemzeti jövedelem 0,37%-át kitevő összegből, a lakóingatlanokat 32 milliárd, a lakosságot 40 milliárd forint veszteség érte.

Az éghajlat változása és változékonysága, a szélsőséges, hirtelen kialakuló, nagyintenzitású időjárási jelenségek (pl. heves zivatarok, zivatarláncok, mezociklonok, tornádók), a téli havazások, ónos szitálások, extrém hideg időszakok, vagy a hosszan tartó aszályok ismétlődő veszélyhelyzeteket okoznak hazánkban is, s eddig nem tapasztalt következményekkel járhatnak. Ezek kezelése új kihívások elé állítja a nemzetvédelmi igazgatást, benne a katasztrófavédelmet (*Bognár, 2009*). Egyre nagyobb figyelem fordul az időjárás okozta veszélyhelyzetek felé (*Bukovics, 2005, 2008; Kozári és Simon, 2008; A globális felmelegedés, 2011*). Ismerni kell hazánk éghajlati sajátosságait, a várható változások tendenciáit, a szélsőséges időjárás okozta évi átlagos – s így tervezhető – károkozás mértékét.

Fontos helyet foglal el a feladatok között a katasztrófavédelmi szakemberek képzése és továbbképzése (*Solymosi, 2005; Bleszity és Joó, 2011*), a lakosság tájékoztatása és a kríziskommunikáció. Az általános lakossági ismeretek része kell, hogy legyen a katasztrófavédelem (*Veresné Hornyacsek, 2004, 2005; Zellei és Hornyacsek, 2008*).

Az oktatókból, kutatókból, MSc hallgatóból és egy frissen végzett, a témakör iránt érdeklődő jogászból álló csoportunk az egyetemi meteorológiai oktatás-kutatás és a katasztrófavédelem közti sokrétű kapcsolatrendszer bemutatását tűzte ki célul.

Hogyan integrálható a katasztrófavédelmi ismeretanyag a meteorológus képzésbe illetve hogyan kapcsolódhatnak természettudományi alapképzettségű hallgatók a katasztrófavédelmi egyetemi (MSc) képzéshez? Mi a szerepe a folytonosságot, a megbízható mérési és előrejelzési információt szolgáltató Országos Meteorológiai Szolgálatnak (OMSZ) és egy egyetemi kutatóhelynek a katasztrófavédelemmel kapcsolatos tevékenységben? Milyen katasztrófavédelmi vonatkozásai lehetnek az időjárás numerikus modellezésével, a skálafüggő szennyezőanyag-terjedéssel, illetve az éghajlati szélsőségekkel és az éghajlatváltozással foglalkozó kutatásoknak? Ilyen és ehhez hasonló kérdésekkel foglalkozunk. Áttekintjük a katasztrófavédelmi oktatás jogi hátterét, ami a két tudományterület együttműködésében a "közös nyelv" kialakításában is fontos. Nem vizsgáljuk külön a tématerület igazgatási és rendszerszemléletű modellezési kérdéseit (*Bukovics et al., 2004, Szombati és Földi, 2008, Bognár, 2009, Bukovics, 2010*).

Olyan témakörök meteorológiai aspektusai kerülnek feldolgozásra, mint (i) a globális problémák katasztrófavédelmi vonatkozásai, (ii) a veszélyes ipari üzemek védelmét is szolgáló terjedési modellek fejlesztése, (iii) az oktatás és a katasztrófavédelem kapcsolatának dimenziói, vagy (iv) a lakosság-tájékoztatás rendszerének fejlesztési lehetőségei (meteorológiai és levegőkörnyezeti információk). Az egyes fejezetek végén ismertetjük javaslatainkat.

Elsőként a meteorológiai oktatás helyzetét tekintjük át (*2. fejezet*). Bemutatjuk a természettudományi alapképzésben szereplő meteorológiai ismeretanyagot, az egyetemi meteorológus képzés főbb elemeit. Áttekintjük a katasztrófavédelmi MSc képzés bemeneti oldalát is. Javaslatot teszünk a természettudományos alapidiplomával érkezők befogadására. Hazai és USA példákon keresztül szemléltetjük a meteorológiai ismeretanyag fontosságát a lakosság katasztrófavédelmi felkészítésében. E folyamat első állomása a közoktatás (*Lidstone, 1996; Veresné Hornyacsek, 2004*).

Az egyetemi meteorológiai kutatás és a katasztrófavédelem kapcsolódási pontjai közül hármat ismertetünk. Ezek hazai és nemzetközi kutatási együttműködésekhez kapcsolódnak, mint a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR program. Elsőként a csatolt időjárás-terjedési modellekkel foglalkozunk (*3. fejezet*). Bemutatunk egy most induló K+F tevékenységet, amelynek célja egy regionális szennyezőanyag-terjedési modell adaptálása, a kritikus ózonerhelés előrejelzése. Részletesen elemezzük az önállóan futtatható időjárás-terjedési modellek

(pl. WRF, ALADIN Chapeau) előnyeit és korlátait. Az egyszerűen futtatható numerikus modellek a mindennapok részévé válnak (*Shing, 2007; Moriss és Zhang, 2008*). Milyen katasztrófavédelmi-oktatási vonatkozásai vannak? Mire használhatók a katasztrófavédelemben (statisztikai vizsgálatok, előtanulmányok, oktatás), melyek a korlátaik, miért van szükség az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) modellezési hátterére?

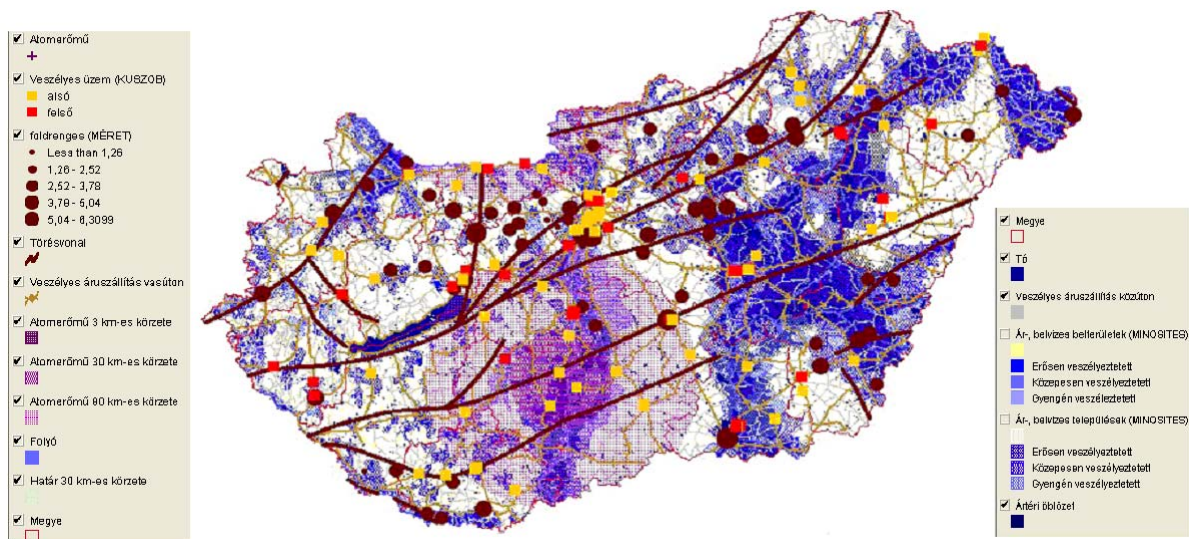
A 4. fejezet a terjedési modellek bemutatásával és katasztrófavédelmi alkalmazásával foglalkozik. A Paksi Atomerőmű példáján szemléltetjük a szennyezőanyag-terjedés modellezésének klimatológiai aspektusait. Egy feltételezett baleseti kibocsátás időjárási helyzet függő hatását mutatjuk be (*Vincze et al., 2006; Mészáros et al., 2011*). Javaslatot teszünk bővebb klimatológiai információk közreadására a felső küszöbértékű veszélyes ipari üzem által veszélyeztetett településeknek szóló SEVESO lakossági tájékoztató füzetekben.

(http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=seveso_lakossagi_tajekoztato)

Egy 2011. augusztusi veszprémi tüzeset kapcsán azt szemléltetjük, hogy egy levegőkörnyezeti mérőbusz (<http://kdtktvf.zoldhatosag.hu/index.php?p=t&id=12-1>), ami meteorológiai és szennyezőanyag koncentráció adatokat is szolgáltat, hogyan tehető alkalmassá in situ meteorológiai terjedési modellszámításra, a szennyezőanyag fáklya és a talaj közeli koncentráció-eloszlás kvalitatív becslésére. Bemutatjuk az általunk adaptált és informatikai rendszerében továbbfejlesztett Gauss-típusú ALOHA (*NOAA and EPA, 2007; Leelőssy et al., 2011*) terjedési modellel végzett számításainkat. Ilyen típusú modellalkalmazások az Osztrák Tűzoltóságnál is folynak. *Javaslatunk: a terjedési modellszámítások katasztrófavédelemben történő gyors alkalmazását szolgáló hazai K+F tevékenység fejlesztése és operatív szintre emelése.*

A klimatológiai kutatások katasztrófavédelmi vonatkozásait az 5. fejezet tárgyalja. Foglalkozunk a szélsőséges időjárási helyzetek bekövetkezési valószínűségével: nagy csapadékok, aszályhajlam, hőmérsékleti szélsőségek (*Pongrácz et al., 2009; Bartholy és Pongrácz, 2010*). Ezek az események jól meghatározható valószínűséggel következnek be, így évi átlagos kártételük is tervezhető. A meteorológia és a katasztrófavédelem feladata az ilyen időjárási helyzetekre való felkészülés, az időelőny növelése, pl. a kistérségi riasztások bevezetése (*Sándor, 2010*). Hazánk éghajlatát esetenként együtt jellemzi (néha ugyanabban az évszakban) a nagycsapadékos helyzetek kialakulása, illetve az aszály, 10 évből átlagosan 3 aszályos. Így ezek az események sem váratlanok (*Pongrácz és Bartholy, 2005, Hollósi, 2010*). A gazdasági számításoknál, a katasztrófaalap képzésénél, a befektetések kockázatánál és megtérülésénél e veszteségeket is tervezni kell és lehet.

Az éghajlat változékonysága mellett az éghajlatváltozás kutatása is a meteorológusok feladata. Ők szolgáltatják az alap éghajlati információkat, a klímaváltozás következményeit elemző hatástanulmányokhoz. Minden modellszámítás arra figyelmeztet, hogy hazánk éghajlata melegebbé és kis mértékben szárazabbá válik. Nő az aszályhajlam, erősödnek a nagy csapadékos helyzetek, miközben az évi csapadék csökkenésére számíthatunk (*Bartholy et al.*, 2009a, 2009b; *A globális felmelegedés*, 2011). Áttekintjük az OMSZ és az egyetemi kutatók által adott scenáriókat, a 2020–2050 és a 2070–2100-as időszakra, megadva azok bizonytalanságát. Az eredmények egy része szerepel a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában (*NÉS-2008–2025*), illetve az azt megalapozó tanulmányokban (*A NÉS a 2007. évi LX törvény rendelkezései alapján készült*).



1. ábra. Hazánk katasztrófa veszélyeztetettségi térképe (Solymosi, 2005 nyomán). A meteorológiai információ mind az ár- és belvízi helyzetek kialakulásában és előrejelzésében, mind a baleseti kibocsátások modellezésében meghatározó. Hazánk sík- és dombvidéki területei aszály által is veszélyeztetettek.

Fontosnak tartjuk a tudományos eredmények egyszerű és közérthető bemutatását. Célunk a megbízható információszolgáltatás és a közös nyelv kialakítása a hatástanulmányok (pl. katasztrófavédelmi vonatkozások) készítőivel.

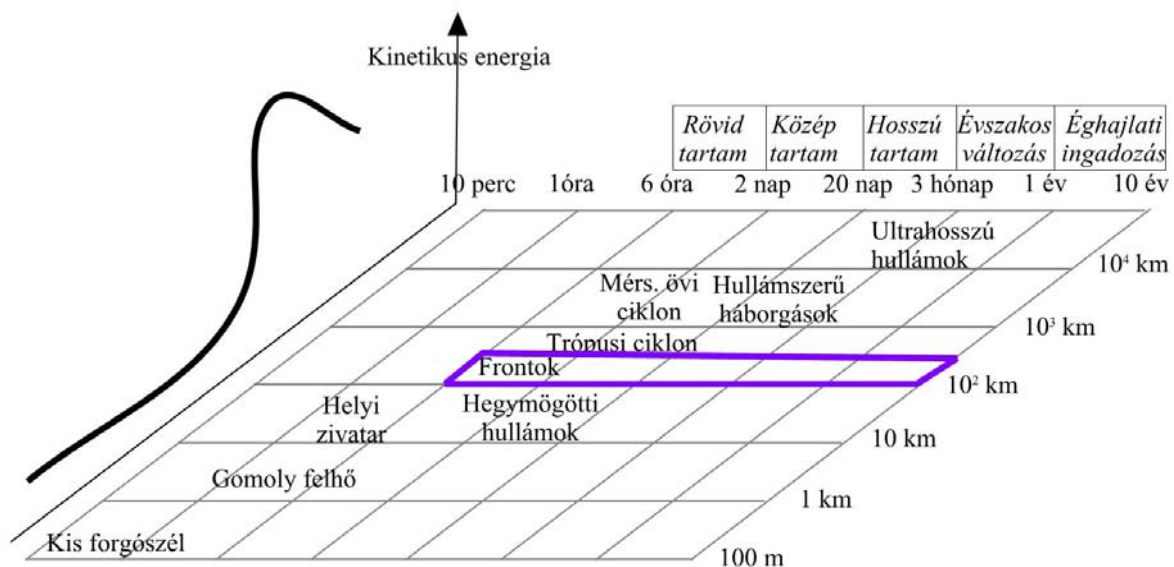
A dolgozatot az egyetemi meteorológiai oktatás-kutatás és a katasztrófavédelem kapcsolódási pontjait, a lehetséges közös fejlesztési irányokat áttekintő összefoglalás és egy részletes irodalomjegyzék zárja.

2. A hazai meteorológia oktatás és kapcsolata a katasztrófavédelmi képzéssel

2.1. A Meteorológiai ismeretanyag felépítése

A meteorológiai ismeretanyag három nagy részre bontható: (i) természettudományos, (ii) alkalmazott és (iii) műszaki.

A természettudományos ismeretanyag jelenti az alaptudományi részt. Ide tartozik a légkördinamika, a légkörfizika és levegőkémia, illetve a klasszikus és az éghajlati modellekkel foglalkozó fizikai klimatológia. E tudományterületek a légköri folyamatok tér- és időskálájától függően – az általános cirkuláció hatalmas mozgásrendszereitől (10 000 km-es karakterisztikus méret) a kis portölcisérekig (2. ábra) – további részterületekre bonthatók. Így beszélhetünk a felszín közeli réteg és a planetáris határréteg (PHR) folyamatait leíró mikrometeorológiáról, a konvektív folyamatokat (zivatarok, zivatarláncok, mezociklonok) fejlődését vizsgáló mezometeorológiáról, a nagyskálájú folyamatokat leíró dinamikus meteorológiáról, és az általános cirkuláció mozgásrendszereit kutató légkördinamikáról. Az előrejelzés tudománya a szinoptikus meteorológia. A légköri folyamatok skálájához igazodik a klasszikus klimatológia tagozódása: a mikroklima kutatástól a Föld klímájának a leírásáig. A jövő változásait vizsgáló globális cirkulációs modellek illetve az egyes régiók változásait leíró beágyazott regionális klímamodellek az éghajlatváltozási kutatásokat szolgálják.



2. ábra. A légköri folyamatok tér és időskálája.

A levegőkémiából a nyomanyagok (pl.: kén, szén, nitrogén) kémiai ciklusainak vizsgálatát, illetve az aeroszol kutatást (keletkezés, szállítás, ülepedés, környezeti és

egészségügyi hatások) emeljük ki (Bozó *et al.*, 2005; Salma *et al.*, 2011), míg a légkörfizikai kutatásokból a felhő és csapadékkeletkezési folyamatok, illetve a lélegektromosság (zivatar-tevékenység, villámok) kutatás katasztrófavédelmi vonatkozásait hangsúlyozzuk. A szennyezőanyag-terjedés meteorológiája (emisszió, transzmisszió, imisszió) szintén e csoportba tartozik.

Az alkalmazott meteorológia a gyakorlatot szolgálja. Ide tartoznak a különböző időszakokra készülő előrejelzések az ultrarövidtávtól (nowcasting) az évszakos prognózisokig. A veszély- és viharjelzés mára a szinoptikus meteorológia önálló ágává vált. Operatíván működik a kistérségi riasztó rendszer (<http://www.met.hu/omsz.php>; Sándor, 2010). E tevékenységet foglalja keretbe az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (OKF) és az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) közötti 2011-ben megkötött együttműködés. A közlekedésmeteorológia (repülés, vasút, hajózás, közút), illetve a katonameteorológia (Borsos, 2002; Kovács, 2011; Tuba és Kovács, 2011) szintén fontos területe az alkalmazott klimatológiának. Ugyancsak ide sorolható az agrometeorológia és a légszennyezés meteorológia jelentős része. Ezek katasztrófavédelmi vonatkozásait nem szükséges hangsúlyozni (termésbecslés, aszály, belvív, légszennyezettségi előrejelzések és riasztások). A hidrometeorológia által biztosított időelőny többek között az árvízi védekezésben, illetve aszály és belvízhelyzet értékeléséhez nyújt támogatást. Az alkalmazott klimatológia a statisztika eszközeivel biztosítja a tervezéshez, helyzetértékeléshez, lakossági tájékoztatáshoz szükséges éghajlati információt.

A meteorológia műszaki szakterületei közé tartozik a műszertan, a meteorológiai mérések és megfigyelések témaköre, a műholdmeteorológia, a távközlési és távérzékelési rendszerek, illetve a meteorológiai és levegőkörnyezeti mérőrendszerek fejlesztése. A minőségbiztosított egyenszilárdságú mérőrendszer, a megbízható expedíciós mérések, a gyors információáramlás adja meg az alapot a modellezési munkához, a gyors döntéshozatalhoz és a beavatkozásokhoz.

2.2. A meteorológia oktatása

A meteorológiai ismeretanyag a környezetismeret, a földrajz, illetve az integrált természettudományi oktatáson keresztül épül be a közoktatásba. A meteorológiai mérések egyben levegőkörnyezeti információkat is szolgáltatnak, így találkozunk a tématerülettel környezeti nevelési programokban, hazai és nemzetközi diák együttműködésekben, mint pl. a

GLOBE program (*Tóth et al.*, 2011a,b). A meteorológiai ismeretanyag – s hozzá kapcsolódva a katasztrófavédelmi vonatkozások – átadása a tanárok szakértelmén múlik.

Meteorológiai-éghajlati alapismeretek oktatása szerves része a földrajz, földtudományi és a környezettudományi természettudományi BSc képzésnek, illetve a környezetmérnök műszaki képzésnek (*1. táblázat*). A kibocsátási követelmények minden alapszaknál azonosak. Hasonló az oktatási modulok szerkezete, a szakirányok számában lehetnek különbségek (www.felvi.hu). 11 agrár-felsőoktatási intézményben (erdészeti, kertészeti és mezőgazdasági képzés) oktatnak külön, vagy az agrometeorológia keretében meteorológiai, klimatológiai és éghajlatváltozási ismereteket (*Anda, 2010, Anda és Gelencsér, 2010*) a BSc, vagy az MSc képzésben. A hazai felsőoktatásról azonban elmondható, hogy összességében *túl sok a képzési hely*.

Meteorológiai ismeretek szerepelnek a BMGE alapképzésében (vegyész, gépész, műszaki földtudomány és építőmérnök szak), a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem képzési tervében a természettudományi ismeretek sorában, a katasztrófavédelmi, illetve a vegyvédelmi képzésben vagy például a Bolyai János Katonai Műszaki Kar Repülőműszaki szakirányán, ahol külön repülésmeteorológiai laboratórium segíti a képzést és továbbképzést (*Bottyán, 2010; Bottyán és Palik, 2010*). Kis óraszámú tanítóképző főiskolák oktatási tematikájában is találkozunk meteorológiai és éghajlati ismeretanyaggal (*A meteorológia oktatása, 2010*).

Szakterület	Földrajz	Földtudomány	Környezettan	Környezetmérnök
Intézmény	DE, ELTE, EKF, ME, NyF, NyME, PTE, SZTE	DE, ELTE, PTE, SZTE	DE, ELTE, EKFT, NYF, PE, PTE, SZTE, WJLK	BMGE, DE, EKF, ME, NyME, OE, PE, SZE, SZIE SZTE

1. táblázat. Földrajz, Földtudomány, Környezettan és Környezetmérnöki képzést indító felsőoktatási intézmények a www.felvi.hu internet-es oldal alapján.

(BMGE – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, DE – Debreceni Egyetem, ELTE – Eötvös Loránd Tudományegyetem, EKF – Eötvös József Főiskola, EKF – Eszterházy Károly Főiskola, OE – Óbudai Egyetem, NyF – Nyíregyházi Főiskola, NyME – Nyugat-magyarországi Egyetem, PE – Pannon Egyetem, PTE – Pécsi Tudományegyetem, SZTE – Szegedi Tudományegyetem, WJLF – Wesley János Lelkészképző Főiskola.)

Éghajlattani és éghajlatváltozási ismertetekkel a Földrajz tanár MSc-n találkozunk nagyobb óraszámúban (*Pajtókné et al., 2008; Mika et al., 2009*). A környezetvédelmi mesterszakon éghajlatváltozási ismeretek mellett légkörfizikát, levegőkémiát és áramlástant is oktatnak (*Anda és Gelencsér, 2010; Geresdi, 2010*). A hazai meteorológiával, agrometeorológiával és repülésmeteorológiával foglalkozó nagyobb tanszékeket a *2. táblázat* mutatja.

Meteorológia szakirányos BSc képzés, ami Földtudomány, Környezettan és Fizika alapszokról vehető fel a Debreceni Egyetemen és az ELTE-n van. E modulrendszerű képzésre a 2. évben lehet szakosodni megfelelő matematikai, fizika, informatikai és földtudományi alapismeretek birtokában (<http://geosci.elte.hu/bsc.htm>).

Tanszék	Tanszékvezető	Kapcsolódó doktori iskola (PhD képzés)
BCE Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék http://www.uni-corvinus.hu/index.php?id=9063	Tőkei László, PhD	BCE Kertészettudományi
DE Meteorológiai Tanszék http://meteor.geo.klte.hu/	Szegedi Sándor, PhD	DE Földtudományok
EKTF Földrajz Tanszék http://ttk.ektf.hu/hu/foldrajz-tanszek	Pajtókné Tari Ilona, PhD	–
ELTE Meteorológiai Tanszék http://nimbus.elte.hu/	Bartholy Judit, DSc	ELTE Földtudományi ELTE Környezettudományi
PE Föld- és Környezettudományi Intézeti Tanszék http://kt.mk.uni-pannon.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=35	Gelencsér András, DSc	PE Kémiai és Környezettudományi
PE Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék http://www.georgikon.hu/szervezeti-egysegek/meteorologia-es-vizgazdalkodas-tanszek	Anda Angéla, DSc	PE Állat- és Agrárkörnyezet-tudományi PE Növénytermesztési és Kertészeti
PTE Talajtani és Klimatológiai Tanszék http://www.ttk.pte.hu/kornyezettudomany/talajtan/	Geresdi István, DSc	PTE Földtudományok
SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/	Unger János, DSc	SZTE Földtudományok
ZMNE Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék http://www.szrfk.hu/	Palik Mátyás, PhD	ZMNE Hadtudományi

2. táblázat. A hazai meteorológiával, agrometeorológiával és repülésmeteorológiával foglalkozó nagyobb tanszékek. (BCE – Budapesti Corvinus Egyetem.)

A 69 kredit értékű meteorológia szakirány oktatási tematikájában a közös képzést meghaladó mértékben szerepel a matematika (18 kredit), illetve a fizika és az informatika (16 kredit). A szakmaspecifikus tárgycsoport két nagy részre bontható. Az általános meteorológiai és klimatológiai modulban (13 kredit) általános meteorológiát (a mozgó légkör és óceán leírása), műszertant, elméleti és alkalmazott klimatológiát tanulnak. A dinamikus meteorológia és légkörfizika tárgycsoportban (22 kredit) a névadó két tárgy mellett szinoptikus meteorológiát és levegőkémiát hallgatnak a diákok. A szakdolgozat készítésére szánt 10 kredit lehetővé teszi az irodalmi feltáró munka mellett önálló programozási feladatok, adatelemzések elvégzését. Az önálló problémamegoldási készség fejlesztésében hagyományosan nagy szerepe van a TDK munkának (Weidinger, 2010a).

Hasonló struktúrájú meteorológiai képzéseket találunk Nyugat-Európában és az Amerikai Egyesült Államokban. A Michigeni Egyetem meteorológia szakirányos képzése (University of Michigan, B.S.E. Earth System Science and Engineering) például 4 éves (<http://aoss.engin.umich.edu/pages/undergraduate>). Alapozó tárgyak a matematika, bevezetés

a mérnöki tudományokba, számítástechnika, kémia, fizika. Itt is van egy kis társadalomtudományi modul, illetve találkozunk közös alapozó földtudományi tárgyakkal: a Föld-rendszer fejlődése, a Föld-rendszer dinamikája, adat- és jelfeldolgozás, geofizikai folyadékdinamika, légkörfizika I, II, a Föld-rendszer modellezése és a Föld-óceán-légkör kölcsönhatások. Két meteorológiához közeli szakirány van. Az egyik az éghajlati, melynek szaktárgyai: felhőfizika, biogeokémiai ciklusok, csillagászati kölcsönhatások, úridőjárás, műszertan, továbbá vannak szabad kreditek (szabadon választható tárgyak). A meteorológiai szakirány tárgyai: időjárási rendszerek (szinoptikus meteorológia), műszertan (Földbázisú és úrbázisú alaprendszer), légkördinamika (dinamikus meteorológia), szinoptikus laboratórium, s itt is vannak szabadon választható tárgyak.

A hazai és a michigeni képzés között több hasonlóság van a tárgyak szerkezetében, az elmélet és a gyakorlat arányában (*Weidinger, 2010b*). Mindkét képzés a WMO (Meteorológiai Világszervezet) ajánlásaira épül (*Drăghici, 2001*). A tárgyak átfogják a meteorológia mindhárom szakterületét, s jól megfigyelhető a légköri folyamatok tér- és időbeli szerkezetéből következő természetes tagolódás (lásd a *2.1. fejezetet* is). A különbség a számonkérés módjában van. Az USA képzésben több az önálló munka, a beadandó feladat és az évközi projekt tevékenység. Mi is ilyen irányban látjuk az oktatás korszerűsítését.

Magyarországon az ELTE Természettudományi Karán a Meteorológiai Tanszék szervezésében folyik 4 féléves (120 kredit) Meteorológus mesterképzés Éghajlatkutató és Időjárás előrejelző szakirányon (<http://geosci.elte.hu/msc.htm>). A *szakmai törzsanyag* tartalmazza a meteorológia magas szintű műveléséhez szükséges fizikai, matematikai és informatikai ismeretanyagot, valamint a dinamikus meteorológia, szinoptikus meteorológia, légkörfizika, levegőkémia, klimatológia és a korszerű mérési módszerek elsajátításához szükséges tárgyakat. A *differenciált szakmai* törzsanyag két szakiránynak megfelelően szétválik (<http://geosci.elte.hu/msc.htm>). Fontos része az oktatásnak az önálló számítási eredményeket tartalmazó diplomamunka elkészítése. A legjobb hallgatókat (legyen az Meteorológus, vagy más, rokon területéről érkező) a PhD képzés várja a Földtudományi, illetve a Környezettudományi Doktori iskolában.

A graduális képzés mellett fontos a továbbképzésekben való részvétel. A honvédségi meteorológus utánpótlás nevelésében (meteorológusok, szakasszisztensek) az ELTE Meteorológiai Tanszék és a ZMNE Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszéke vesz részt együttműködve az MH Geoinformációs Szolgálatával. Ezt a tevékenységet érdemes lenne kiterjeszteni a katasztrófavédelem területére is (lásd a *2.4 fejezetben* a javaslatok között).

2.3. A katasztrófavédelem képzési rendszere, szabályozási háttere

Az anyagi és társadalmi javak növekedésével, a változékony időjáráshoz is köthető veszélyhelyzetek gyarapodásával egyre fontosabb szerepet játszik életünkben a katasztrófavédelem. Az utóbbi évek vizsgálatai azt erősítik, hogy nő az időjárási szélsőségek okozta kockázat. Erre jó példa a Balaton térségében kialakuló viharok gyakorisága. Amíg a 90 km/h-t meghaladó erős szélviharok átlagos száma az elmúlt évtizedekben 5-6 volt, addig pl. 2007-ben és 2008-ban átlagosan 12 ilyen erős szélvihar volt a viharjelzési szezonban. *(Ez nem az éghajlatváltozás, hanem az éghajlat változékonysága.)*

A veszélyhelyzeteknek való fokozott kitettség növeli a katasztrófavédelmi képzési-továbbképzési rendszerben a légköri folyamatok megismerésének a fontosságát, Felértékelődik a természettudományi ismeretanyag, a veszélyhelyzeti információ (köztük a meteorológiai és légszennyezettségi mérések és előrejelzések) szakszerű kezelése.

A következőkben áttekintjük a katasztrófavédelem oktatási rendszerét, benne a meteorológiai információk helyét és szerepét. Tesszük ezt azért, hogy a fejezet végén rámutassunk a szakemberképzésben, a tájékoztatásban és a moduláris oktatási anyagok fejlesztésében rejlő együttműködési lehetőségekre.

A katasztrófavédelmi szakemberek felkészítése már a pályaorientációs (fakultációs) képzésben az ország mintegy 70 középiskolájában a Belügyi rendészeti ismeretek néven akkreditált tantárgy oktatásával kezdődik meg és körülbelül 3 000 fiatalat érint. Az Országos Rendészeti TISZK (Térségi Integrált Szakképzési Központ) által számukra készített tananyagok a korosztályi sajátosságokat is figyelembe véve felhívják a figyelmet a különleges időjárási viszonyok okozta katasztrófákra illetve arra, hogy mit kell tenni azok bekövetkezése esetén. Egyre fontosabbá válik a meteorológiai veszélyjelzés ismerete is.

A hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, a tűzoltóságoknál, valamint az ez irányú szakágazatban foglalkoztatottak szakmai képesítési követelményeit és szakmai képzés rendjét a 10/2008. (X. 30.) ÖM rendelet szabályozza. Az 1. melléklet megadja az alap, közép és felsőszintű katasztrófavédelmi képesítési szinteket és oktatási formákat.

A hatályos jogszabály megvalósulását tükrözi a katasztrófavédelmi szakemberek által a TÁMOP 2.2.3.-09/1-2009-0003 projekt keretében a képzési rendszer szerkezetéről készített összefoglaló. Valamennyi beosztás betöltésére jogosító képzés az Országos Képzési Jegyzékben (OKJ) szereplő, kompetencia alapú, moduláris képzés. A szakképzéseket a Katasztrófavédelmi Oktatási Központ (KOK) szervezi, amely minden szakképesítésük vonatkozásában országos vizsgaszervezési jogosultsággal is rendelkezik. A szakképzés nem

iskolai rendszerben, hanem felnőttképzés keretében folyik. Felnőttképzést végző tanintézetükben nincs rendszeresített hallgatói (tanulói) státus. A képzésben részt vevők hivatásos állományú tiszthelyettesek, akik vezénlyéssel kerülnek a tanintézetbe. Részükre a képzés ideje alatt a beiskolázó szerv illetményt fizet.

A szakmai ismereteket a beavatkozó állománynak állománykategóriától függetlenül el kell sajátítani. Számukra feltétlenül szükséges, hogy a képzésben részt vevő az eredményes szakmai vizsga után azonnal alkalmazható elméleti és gyakorlati ismeretekkel rendelkezzen, így alapvető szakmai feladatot tudjon ellátni. Ez a tűzoltóság esetében az (alapfokú) tűzoltó szakképesítés, katasztrófa- és polgári védelmi szervek esetében, pedig a katasztrófa- és polgári védelmi előadó szakképesítés. (A katasztrófa- és polgári védelmi szervek esetében alapfokú szakképesítéssel betölthető beosztás nincs).

Az alapképzés keretében folyó képzéseknek két fajtája van:

- *Tűzoltó szakképzés* (OKJ száma: 51 861 01 0000 00 00), iskolarendszeren kívüli felnőttképzés keretében.
- *Polgári védelmi előadó szakképzés* (OKJ száma: 52 861 05 0000 00 00), iskolarendszeren kívüli felnőttképzés keretében.

Az alapképzések időtartama:

- *Tűzoltó szakképzés* időtartama a FAT által akkreditált képzési program alapján ténylegesen 630 óra, az OKJ szerinti maximált óraszám 650.
- *Polgári védelmi előadó szakképzés* időtartama 350 óra, melyet a munkaidővel való hatékonyabb gazdálkodás érdekében a KOK havi egyhetes összevonásokkal szervez.

Az alapképzéseket folytató intézmények:

Az alapképzések, valamint a vizsgák szervezésének országos hatáskörű, intézményi akkreditációval is rendelkező központi felnőttképzési tanintézete a KOK.

A *Tűzoltó szakképzés* esetében az alapképzések nagy létszámigénye miatt az intézmény kapacitás hiányában nem képes az éves utánpótlási igény biztosítására. Ezért a megyei katasztrófavédelmi igazgatóságok, valamint a Fővárosi Tűzoltóparancsnokság alapító okiratának módosítása után – miszerint szakmai tevékenységük mellett tűzoltó szakképzés vonatkozásában felnőttképzést is végezhetnek – regisztrálása megtörtént a megyei munkaügyi központoknál. A képzés szervezését és lebonyolítását a KOK-tól szerződéssel átvett, akkreditált képzési program alapján végzik, a szakmai vizsgáztatást azonban minden esetben a tanintézet bonyolítja le.

A *Polgári védelmi előadó* szakképzés szervezésében a KOK kap vezető szerepet, azonban az OKF egyedi jóváhagyásával egyéb, szakképzés szervezésére alapított cégek is indíthatnak képzést, amennyiben rendelkeznek az önkormányzati és területfejlesztési miniszter hatáskörébe tartozó szakképesítések szakmai és vizsgakövetelményeinek kiadásáról szóló 25/2008. (IV. 29.) ÖTM rendeletben előírt feltételekkel. A vizsgáztatást csak a KOK végezheti.

A középfokú szakmai képzés fajtái:

- *Tűzoltó technikus* (OKJ száma: 51 861 01 0001 54 01), iskolarendszeren kívüli felnőttképzés keretében.
- *Katasztrófavédelmi és polgári védelmi főelőadó* (OKJ szám: 52 861 05 0001 54 01), iskolarendszeren kívüli felnőttképzés keretében.

A középfokú szakmai képzések időtartama:

- *Tűzoltó technikus* képzés időtartama a képzési program alapján 1026 óra, az OKJ-ben maximált óraszám 1200 óra (egy tanév).
- *Katasztrófavédelmi és polgári védelmi főelőadó* képzés időtartama 250 óra, melyet a KOK – a polgári védelmi előadó képzéshez hasonlóan – havi egy-két összevonással szervez úgy, hogy a tényleges kontaktórák száma elérje a 250 órát.

A középfokú szakmai képzéseket folytató intézmények:

- *Tűzoltó technikus képzés* esetében kizárólag a KOK szervezi a képzést, és vizsgáztatást egyaránt.
- *Katasztrófavédelmi és polgári védelmi főelőadó* képzést és vizsgáztatást a KOK végzi.

A felsőfokú szakmai képzés keretében folyó képzések fajtái:

- *Rendészeti szervező tűzoltó szervező elágazás* (OKJ szám: 61 861 01 0010 61 04), iskolai rendszeren kívüli felnőttképzés keretében. A képzés első része (4 hónap) levelező formában zajlik havi egy hét összevonással, a második része bentlakásos.
- *Rendészeti szervező katasztrófavédelmi és polgári védelmi szervező elágazás* (OKJ száma: 61 861 01 0010 61 02), iskolai rendszeren kívüli felnőttképzés keretében.

A felsőfokú szakmai képzések időtartama:

- *Rendészeti szervező tűzoltó szervező elágazás* képzés időtartama képzési program szerint 850 óra, OKJ által engedélyezett maximális időtartam 1050 óra (egy tanév). A kontakt órák száma megegyezik a képzési programban meghatározottal.

- *Rendészeti szervező katasztrófavédelmi és polgári védelmi szervező elágazás* képzés időtartama 542 óra, amely egy szemeszter az iskolai rendszerű képzés viszonylatában.

A felsőfokú képzéseket folytató intézmények:

- *Rendészeti szervező tűzoltó szervező elágazás* képzések szervezését és a vizsgáztatást kizárólag a KOK végzi.
- *Rendészeti szervező katasztrófavédelmi és polgári védelmi szervező elágazás* képzés szervezését és a vizsgáztatást kizárólag a KOK végzi.

Továbbképzések

A hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, a tűzoltóságoknál, valamint az ez irányú szakágazatban foglalkoztatottak szakmai képesítési követelményeiről és szakmai képzéseiről szóló 10/2008. (X. 30.) ÖM rendelet hatályba lépésével új, kredit-rendszerű továbbképzési struktúrát vezettek be a katasztrófavédelmi szervek és tűzoltóságok állománya részére. A rendszer lényege a mérhetőség megteremtése, és a motiváció erősítése. A továbbképzési rendszer alapja az OKF évente kiadásra kerülő éves továbbképzési terve, és a KOK naptári félévre meghirdetésre kerülő féléves továbbképzési programja.

A KOK által szervezett továbbképzések:

A KOK továbbképzési programja a tanintézet általános szakmai továbbképzéseit tartalmazza:

- tűzoltás-vezetési és szolgálati továbbképző szaktanfolyam,
- tűzvizsgálói továbbképző tanfolyam,
- irodai szoftverek továbbképző szaktanfolyam,
- speciális szakmai szoftverek továbbképző szaktanfolyam,
- veszélyhelyzeti felderítő csoport (VFCS) továbbképző tanfolyam,
- polgári védelmi szakmai továbbképző tanfolyam,
- egységes digitális rádiórendszer kezelői tanfolyam,
- hírközpont kezelői továbbképző tanfolyam,
- tűzoltó szakmai továbbképző tanfolyam.

A szakmai szervezeti egységek és KOK továbbképzései mellett a résztvevők külön kérése alapján lehetőség van külső, szakmai szervezetek által szervezett továbbképzéseken való részvételre.

Jogi szabályozási háttér

A katasztrófavédelem jogi szabályozásában az elmúlt időszakban változások követ-

következtek be, amelyek kihatással lesznek a szervezetekre, azok irányítási rendszerére és természetesen a képzésre is. Az országgyűlés 2011. szeptember 19-én fogadta el „A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról” szóló törvényjavaslatot (T/3499. szám), amely 2012. január elsején lép hatályba. A jelenleg hatályban lévő 1999. évi LXXIV. törvényhez képest számos változás jelenik meg. A nemrégiben elfogadott törvény – az új Alaptörvénnyel összhangban – megújítja a minősített időszakok rendszerét, melyben kiemelt szerepet kap a katasztrófaveszély és a veszélyhelyzet, valamint lehetővé teszi vészhelyzetben a kormány számára rendkívüli intézkedések bevezetését rendeleti úton. A jelenleg hatályos törvény értelmében a hivatásos önkormányzati tűzoltóság az önkormányzat intézményeként működik, azonban 2012. január elsejével állami tűzoltósággá alakulnak át. Új beosztásként jelenik meg a *közbiztonsági referens*, aki a polgármester katasztrófák elleni szakmai feladataiban működik közre. Ennek is lesznek képzési, lakosságtájékoztatási vonatkozásai.

A törvény szerint a hivatásos katasztrófavédelmi szervezetrendszer egységes elvek mentén kerül megszervezésre. A rendvédelmi szerv megjelölése: *hivatásos katasztrófavédelmi szerv*. A törvény II. a) magyarázó része szól a lakosságtájékoztatásról. A hatékony felkészítés érdekében a közoktatási intézmények pedagógiai programjába kötelezően belekerülnek a katasztrófavédelmi ismeretek. Hangsúlyosabb szerepet kap e terület a pedagógusképzésben és a közigazgatási vezetőképzésben is.

Lakosságfelkészítés

A lakosságfelkészítést, pedagógiai továbbképzési programok szervezését, az általános és középiskolás korosztály katasztrófavédelmi nevelési-oktatási programját az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság koordinálja (Mikó, 2007, www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakosság_kattipus). A tájékoztatás módszertanáról, a képzési rendszer fejlesztési irányairól Veresné Hornyacsek J. (2005) PhD dolgozata nyújt áttekintést. A képzés területén megoldásra váró feladatokról Potoczky (2011) közöl összefoglalót. Fontos olyan oktatási modulok (tanórák, ábraszorozatok, szakanyagok) összeállítása, amelyek a képzők (tanárok, katasztrófavédelmi szakemberek) felkészítését szolgálják egységes föltudományi szemléletet adva a katasztrófák fizikai hátteréről, az információ feldolgozásáról. Jó példa erre a kistérségi meteorológiai jelzőrendszer információs-tájékoztató anyagainak a kiépítése.

Az egyetemi szféra (*oktatás módszertani ismeretek, a tanárképzés teljes vertikumának a megléte pl. az ELTE-n az óvó és tanítóképzéstől a középiskolai tanárig és a kutatóképzésig*) a szakanyagok kialakításában és módszertani kutatásokban is segíthet.

Nézzünk néhány példát! Hogy kell egy-egy időjárási veszélyhelyzetet tudatosítani különböző korosztályokban? E kérdéskört tárgyalja *Moriss és Zhang* (2008) a Rita hurrikán kapcsán. Hasonló szakanyagok az OKF honlapján is vannak (*Hegymeki*, 2003). Az időjárási katasztrófahelyzetet átélt kisiskolásokkal való foglalkozás kérdéseivel foglalkozik *Nutter et al.* (2010) esszéje. Meteorológus diákok, pszichológusok és katasztrófavédelmi szakemberek dolgoztak együtt, látogattak meg iskolákat.

Felsőoktatás: BSc, MSc, PhD

A BSc, MSc és PhD szintű katasztrófavédelmi képzéseket a 10/2008. (X. 30.) *ÖM rendelet I. melléklete* tárgyalja, de tájékozódhatunk a www.felvi.hu oldalán is. BSc alapszakként nem találunk katasztrófavédelmi képzést. Ez nem jelent problémát, hiszen valamilyen nagyobb képzési egységhez – tevékenységi körköz – kapcsolódva mélyíthetik el ismereteiket a hallgatók. Nincs megoldva a katasztrófavédelmi oktatók képzése (*Veresné Hornyacsék J.*, 2005). Véleményünk szerint önálló tanárszak nem szükséges, ugyanakkor moduláris képzésben, esetleg kiegészítő szakirányként fontos lenne e terület oktatása. A katasztrófavédelmi BSc, MSc és PhD képzési helyeket a 3. táblázat tartalmazza.

A ZMNE katasztrófavédelmi oktatási rendszerében a természettudományi tárgyak között szerepelnek a meteorológiai és klimatológiai ismeretek, de foglalkoznak a szennyezőanyag terjedési modellekkel is (*Nagy és Halász*, 2001). Az éghajlatváltozás biztonságpolitikai vonatkozásai, illetve repülésmeteorológiai kutatások ZMNE 2011-es intézményi kutatási tervében is szerepelnek (*Ujj*, 2011). A katasztrófavédelmi PhD képzés a ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában folyik. A kutatási irányokról, a program eredményességéről, pl. *Solymosi* (2005), vagy *Földi* (2008) előadásanyaga tájékoztat.

2011-ben az országgyűlés elfogadta a 2011. évi XXXVI. törvényt a Nemzeti Közszolgálati Egyetem (NKE) létesítéséről. A törvény értelmében a Rendőrtiszti Főiskola és a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem 2012. január elsejétől az új egyetem karaiként működnek tovább. Annak ellenére, hogy szeptember hónapban az országgyűlés elé terjesztették az NKE működésével kapcsolatos részletszabályokról szóló előterjesztést, a katasztrófavédelemmel kapcsolatos szakirányok további működésével összefüggő kérdések az elkövetkező időszakban fognak tisztázódni. *A rendvédelmi szervek egységes moduláris alapú képzési rendszerének kialakításáról szóló 1282/2010 (XII. 15) számú Kormányhatározat* Konceptiójában meghatározottak szerint átalakítás alatt áll a katasztrófa- és polgári védelem, valamint a tűzoltóság szakképzési rendszere. Fontos változás, hogy minden rendvédelmi szerv minden formában (iskolai rendszerű, vagy felnőttképzés) végzett szakképzését, – és a

létrehozásra kerülő Nemzeti Közszolgálati Egyetem meghatározott szakirányain folyó képzéseit is – meg fogja előzni egy közös, ún. *rendészeti alapozó modul*.

Intézmény	Képzésért felelős egység	BSc
SZIE-YMÉK Építőmérnök	Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai Intézet http://tuz.yymm.f.hu/hu/content/oktat%C3%A1s	tűz- és katasztrófavédelmi szakirány
SZIE-YMÉK Építésmérnök,	Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai Intézet http://tuz.yymm.f.hu/hu/content/oktat%C3%A1s	tűz- és katasztrófavédelmi szakirány
RF Rendészeti igazgatás	Katasztrófavédelmi Tanszék http://www.rtf.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=181:katasztrofavedelm-tanszek&catid=60:katasztrofavedelmi-tanszek&Itemid=105	katasztrófavédelmi szakirány
RF Rendészeti igazgatás	Katasztrófavédelmi Tanszék http://www.rtf.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=181:katasztrofavedelm-tanszek&catid=60:katasztrofavedelmi-tanszek&Itemid=105	katasztrófavédelmi szakirány tűzvédelmi specifikáció
ZMNE Védelmi igazgatás	Bolyai János Hadmérnöki Kar, Vegyi és Katasztrófavédelmi Intézet http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,40654&_dad=portal&_schema=PORTAL	katasztrófavédelmi szakirány
ZMNE Védelmi igazgatás	Bolyai János Hadmérnöki Kar, Vegyi és Katasztrófavédelmi Intézet http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,40654&_dad=portal&_schema=PORTAL	tűzvédelmi és tűzoltó szakirány
ZMNE Had- és biztonságtechnikai mérnök	Had- és Biztonságtechnikai Mérnöki Intézet http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,38637&_dad=portal&_schema=PORTAL	műszaki, katasztrófavédelmi és közlekedési szakirány (katasztrófavédelmi specializáció)
ZMNE Had- és biztonságtechnikai mérnök	Had- és Biztonságtechnikai Mérnöki Intézet http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,38637&_dad=portal&_schema=PORTAL	tűzvédelmi szakirány

Intézmény	Képzésért felelős egység	MSc
ZMNE Védelmi igazgatás	Bolyai János Hadmérnöki Kar, Vegyi és Katasztrófavédelmi Intézet http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,40654&_dad=portal&_schema=PORTAL	katasztrófavédelmi szakirány
ZMNE Katasztrófavédelmi mérnök	Bolyai János Hadmérnöki Kar http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,18276,34_44876:34_46723:34_66028&_dad=portal&_schema=PORTAL	műszaki és mentés-szervezői szakirány, műszaki és technikai szakirány (egyetemi szintű),

Intézmény	Képzésért felelős egység	PhD
ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskola	Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,16068&_dad=portal&_schema=PORTAL	Környezetbiztonság és Katasztrófavédelem tudomány szak

4. táblázat. Az alkalmazás szerint elismert katasztrófavédelmi BSc, MSc és PhD képzési helyek (10/2008. (X. 30.) ÖM rendelet alapján). RF – Rendőrtiszt Főiskola.

2.4. Együttműködési lehetőségek a katasztrófavédelmi és a meteorológiai (tágabb értelemben a természettudományi) képzésben

- Olyan szakmai fórum, bemutatkozó konferencia szervezése, ahol i) a *lakosság-tájékoztatásban* és a *közoktatásban* szereplő katasztrófavédelmi tananyag összeállítói, ii) a pedagógusképzés módszertani kérdéseivel foglalkozó szakemberek (alapfoktól az egyetemi tanárképzésig), és iii) a katasztrófavédelem természettudományi alapjaihoz kapcsolódó egyetemi alapszakok (pl. földrajz, földtudomány, környezettudomány) képviselői hangolhatják össze a katasztrófavédelem oktatás tematikáját. Ilyen típusú kapcsolati rendszer a védelmi és részben a műszaki szakterületek között jól működik, régi hagyománya van.
- Oktatási modulok összeállítása a katasztrófavédelem természettudományi háttéréről, ami beépíthető különböző szintű katasztrófavédelmi szakképzésekbe, illetve iskolai tanórákba.
- Speciális szakmai modulok kialakításával lehetőséget teremteni a kétszintű felsőoktatási rendszerben (*BSc*, *MSc*) a természettudományi képzésben résztvevők számára (pl. fizika, földtudomány, környezettan) a katasztrófavédelmi mérnök *MSc* képzésben való részvételre. A szak képzési terve ezt ma is megengedi (a kötelezően előírt 70 szakma specifikus kredit közül 40 az *MSc* képzés során is megszerezhető)
- Katasztrófavédelmi tantárgyi modul (6–10) kialakítása a természettudományos tanárképzésben, ami a szakterület alapismereteinek elsajátítása mellett a szakmódszertani kérdéseket is tárgyal, illetve ilyen óraszámú oktatási modul meghonosítása a katasztrófavédelmi *MSc* képzésben, ami a természettudományi háttérismeretekre, pedagógiai és szakmódszertani ismeretekre fókuszál. *Katasztrófavédelmi oktatással foglalkozók képzési rendszerének továbbfejlesztése.*
- Oktatási és kutatási együttműködés (közös fórumok, konferenciák együttes témakiírás és vezetés) kialakítása a természettudományi (pl. földtudomány, környezettudomány, kémia) doktori iskolák és a katasztrófavédelmi PhD képzést koordináló ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskola között.

3. Egyszerűen futtatható Időjárási előrejelzési modellek

A számítástechnika fejlődése révén „egy erős személyi számítógépen” is lehetőség nyílik az új generációs meteorológiai előrejelzési modellek futtatására, az eredmények széles körű alkalmazására. Ez számos oktatási és gyakorlati alkalmazást jelent: önálló időjárás-előrejelzések készítése, kritikus időjárási helyzetek elemzése, hatástanulmányok készítése, meteorológiai információk generálása terjedési modellek, döntés előkészítő rendszerek, de akár repülés szimulátorok részére (*Hadobács, 2011*). Mód van az időjárási modellek csatolására, pl. regionális terjedésszámítás, ózonüledés, de vannak már tűzterjedést számoló, illetve tűzveszélyességi indexeket szolgáló alkalmazások is. A modell, mint eszköz helyet követek a katasztrófavédelmi oktatásban is.

Bemutatjuk a széles körben alkalmazott WRF (The Weather Research and Forecasting Model, <http://www.wrf-model.org/index.php>) szabadon letölthető időjárás előrejelzési modellrendszer szerkezetét, alkalmazási lehetőségeit az időjárás napi követésében, illetve veszélyes időjárási helyzetek analízisében. Az OMSZ-nál operatíván alkalmazott ALADIN előrejelzési modellnek is elkészült az egyetemi változata (ALADIN Chapeau), amit a BMGE-n, az ELTE-n és a ZMNE-n is futtatnak (*Balogh, et al., 2011*). E modellrendszer katasztrófavédelmi oktatási felhasználása még kidolgozásra vár. A két modell alkalmazhatóságát egy nagy csapadékos helyzetben szemléltetjük.

Röviden kitérünk egy számunkra perspektivikus kutatásra, a WRF Chem modell adaptálására is (<http://www.acd.ucar.edu/wrf-chem/>). Ez egy európai léptékű csatolt meteorológiai-terjedési modell. Kialakítottuk a futtatáshoz szükséges rácshálózatot, elkészítettük a kétszeresen beágyazott meteorológiai háttérmodellt. Most folyik a kémiai modul tesztelése.

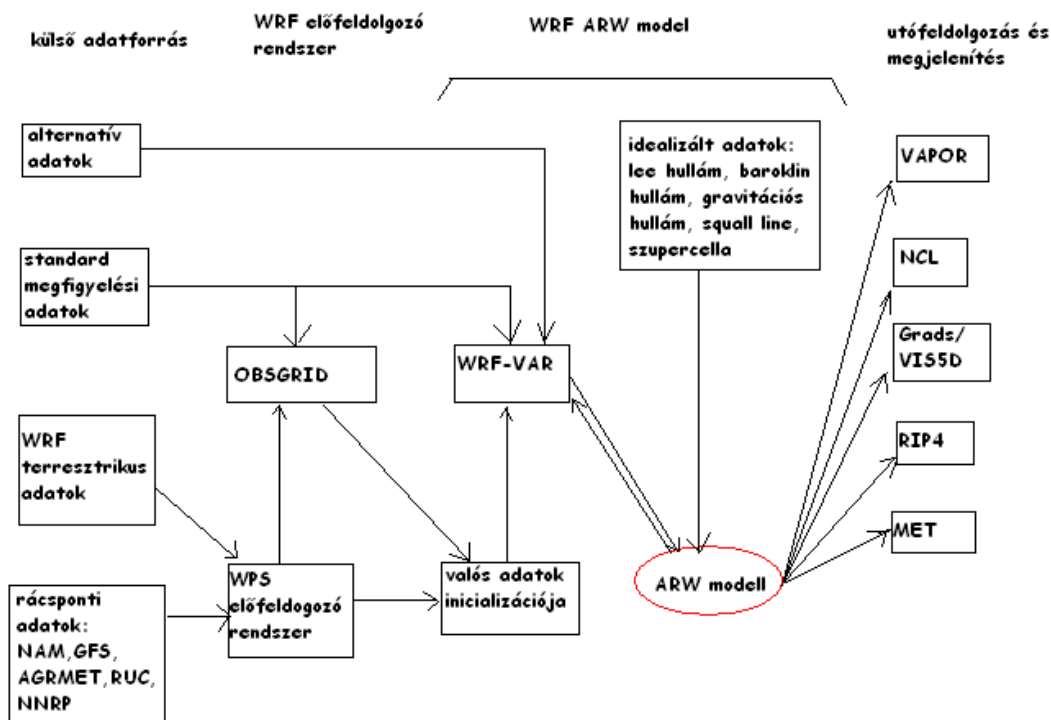
3.1 Az időjárás előrejelző modellek rövid áttekintése, eddigi tapasztalatok

Az időjárást szigorú fizikai törvények irányítanak, ezeket adja meg a légköri hidrodinamikai egyenletrendszer, illetve ennek egyszerűsített ún. energiakonzisztens változatai. A számszerű előrejelzés lényege, hogy a kormányzó egyenletek megoldásával (numerikus integrálásával), a jelenlegi időjárási helyzetet kiindulási (kezdeti) feltételként tekintve, kiszámíthatóak a várható időjárás paraméterei. Természetesen a módszernek vannak korlátai és feltételei, de a tapasztalatok azt mutatják, hogy az általunk használt rendszerek nagy pontossággal képesek az elkövetkező 48–96 óra várható időjárásáról adatokat

szolgáltatni (<http://meteor24.elte.hu/>). A rendelkezésünkre álló szoftver, a WRF modellrendszer, alkalmas ezt megtenni a Föld bármely térségére, így a Kárpát-medence térségére is. Az Egyesült Államok nemzeti előrejelző és kutató központjából letölthető, 6 óránként frissülő adatok segítségével, képesek vagyunk elvégezni a szükséges számításokat. Az előrejelzések megbízhatóságát számos hazai és nemzetközi szélenergetikai becslési feladatban szerzett tapasztalat bizonyítja (Gyöngyösi *et al.*, 2009).

A WRF név az angol „Weather Research and Forecasting” kifejezés rövidítése, utalva arra, hogy a modell egyaránt alkalmas tudományos kutatási és időjárás-előrejelzési feladatok végrehajtására. A WRF modell egy közepes léptékű (ún. mezoskálájú), nem-hidrosztatikus, numerikus időjárás-előrejelző és adatasszimilációs rendszer. Fejlesztésében több Egyesült Államokbeli intézmény, egyetemi tanszék vett részt. A modell felhasználói között ott van az Amerikai Meteorológiai Szolgálat, az Amerikai Hadsereg, valamint kisebb meteorológiai szervezetek is alkalmazzák különböző céllal, így mi is futtatjuk 2008 óta a Kárpát-medence térségére.

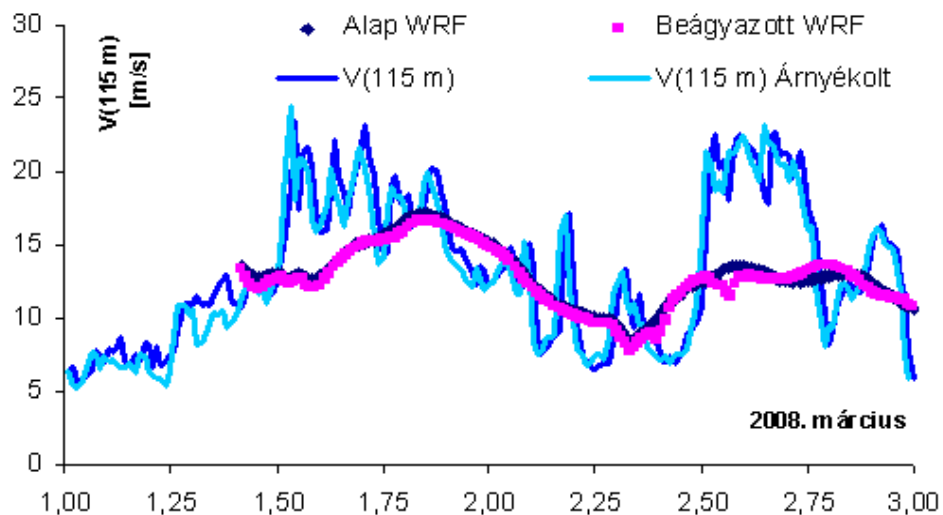
A WRF modellnek két fő fajtája ismert, a kutatási célokra futtatott WRF-ARW-t (Advanced Research) és az előrejelzésekhez használt WRF-NMM-et (Nonhydrostatic Mesoscale Model). A modell blokksémáját, ami az adatasszimilációtól, a modellfuttatáson és az optimális parametrizációk kiválasztásán át az utófeldolgozásig tart a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A WRF ARW felépítése és működése (Wendl, 2009).

Az előrejelzési eredményeket oktatási, kutatási (GPS-meteorológia) termik-előrejelzési (repülésmeteorológia), illetve szélenergetikai célokra (energiatermelési előrejelzés) használjuk (<http://meteor24.elte.hu/>).

A WRF alkalmas veszélyes időjárási helyzetek fejlődését leíró esettanulmányok készítésére is. Az ehhez szükséges tapasztalat (parametrizációs eljárások, modellterület, beágyazások) a napi rendszerességgel végzett modellfuttatásokból rendelkezésre áll. Vizsgálatainkból a 2008. március 1–2. között hazánkon átvonuló Emma viharciklon szélelőrejelzését mutatjuk be, összehasonlítva a Mosonmagyaróvár térségében lévő szélturbinák adataival (4. ábra). E viharhoz kapcsolódott a nagy kárt okozó nagyszentjáni tornádó, aminek a károkozását a 5. ábrán szemléltetjük. A vihar lefolyásáról az OMSZ jelentése tájékoztat. Az előrejelzés sikeres volt (Bella és Kolláth, 2009).



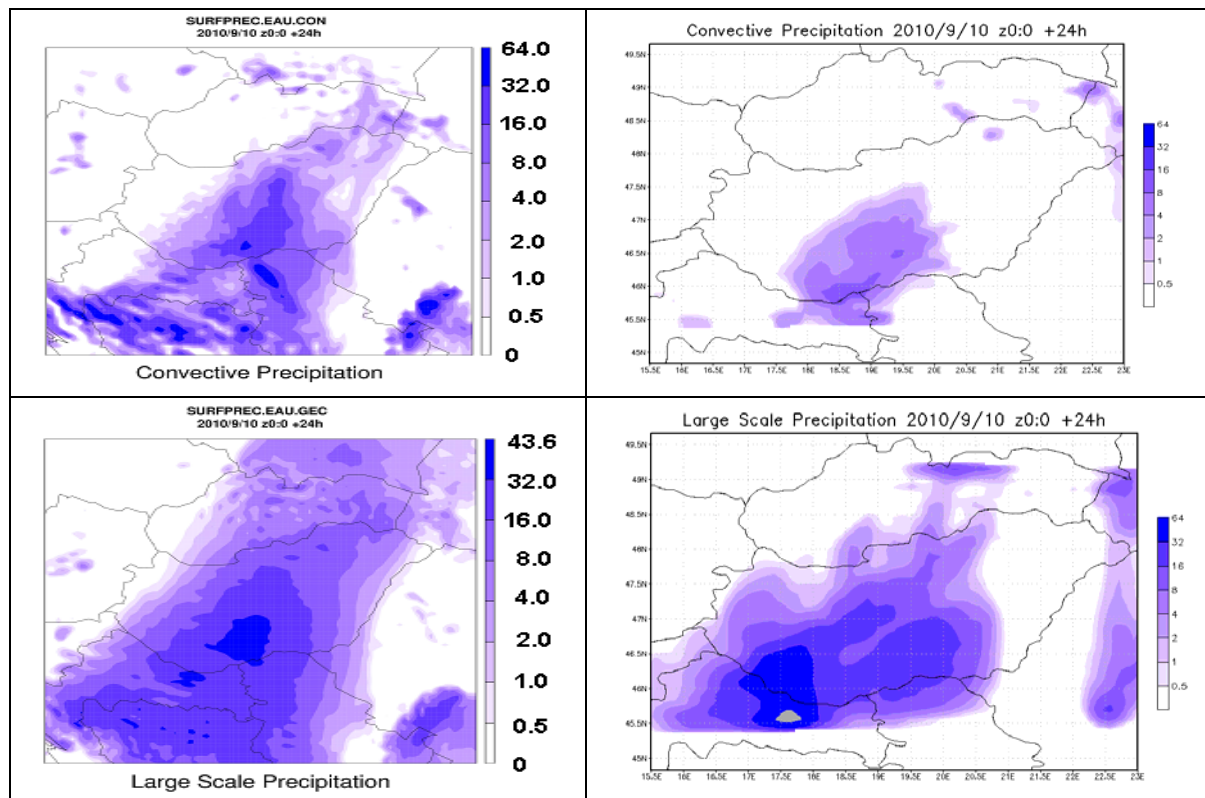
4. ábra. A WRF modell által szolgáltatott és két ENERCON V70 szélgenerátor gondolóján, 115 m magasságban mért szélesebesség értékek az EMMA viharciklon átvonulása során.



5. ábra. Az Emma viharciklon károkozása Nyugat-Dunántúlon, 2008 március 1–2. (Nagyszentjános, Győr-Moson-Sopron megye).

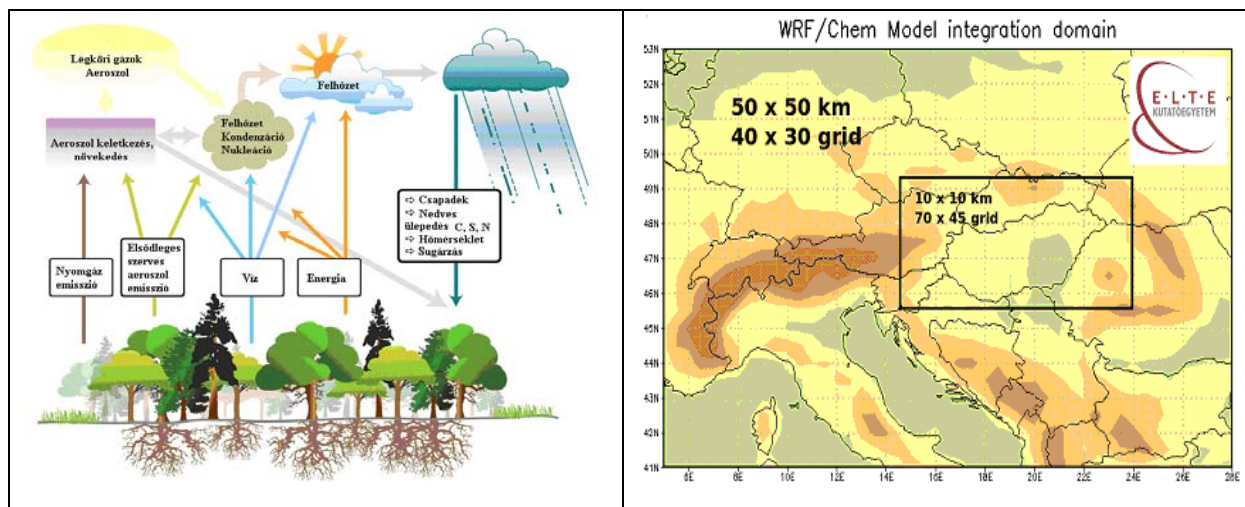
A WRF modell jól visszaadta a vihar fejlődését és a szélsőségek átlagos menetét. A maximális 10 perces szélsőségeket azonban alábecsülte (*Weidinger et al., 2008*). Ezért is hangsúlyozzuk az operatív nagyfelbontású modellek (OMSZ) és a könnyen futtatható oktatási-kutatási célú előrejelzési modellek alkalmazásbeli különbségeit.

Az OMSZ előrejelzési modelljének egyetemi változatával 2011-ben kezdtünk foglalkozni. Egyrészt módszerfejlesztést végeztünk: a WRF és az ALADIN Chapeau megjelenítési rendszerét egységesítettük, másrészt nagy csapadékot adó időjárási folyamatokat elemeztünk. Nézzük a 2010. szeptember 10-i nagy csapadékot hozó ciklonális helyzetet (*6. ábra*). A csapadékhátság átvonulása során nem volt ritka a Duna–Tisza között a 60 mm-t meghaladó csapadék, ami helyenként elérte a 90 mm-t is. A rendkívül sok csapadék magyarázata kettős: egyrészt a magasban dél, délnyugat felől érkező enyhe, igen nagy nedvességtartalmú levegő, másrészt a ciklon lassú áthelyeződése (*Pátkai, 2011*). A csapadékmező helyzetét és nagyságrendjét visszaadták a modellek. Az ALADIN modell egyetemi változata valamivel nagyobb konvektív csapadékot (zivatartermékenység) adott. Mindkét modell jól vizsgázott.



6. ábra. Özönvíz-szerű esőzéseket okozó légköri ciklon Magyarországon 2010. szeptember 10-én. Az OMSZ operatív előrejelző modell egyetemi változata (balra) és a WRF modellszámítások alapján (jobbra). A konvektív csapadék előrejelzése fenn, a nagytérségű csapadékmezőé lenn.

A csoportunkban folyó előrejelzési modellfejlesztések közül utoljára a WRF-Chem csatolt modellről írunk. A meteorológiai és a levegőkémiai modul összekapcsolása alkalmas aeroszol terjedés leírására, városi szennyezőanyag fáklya nyomon követésére, de használható ózonmodellezésre is (fotokémiai reakciók). Mi ez utóbbi feladatot választottuk. Megvannak az emissziós adatbázisok, kijelöltük a két egymásba ágyazott modellterületet (7. ábra). Fut az időjárás modell, s most folyik a levegőkémiai modul tesztelése. Más európai és USA kutatócsoportok is végeznek hasonló fejlesztéseket, amelyek terhelési térképek elkészítését, illetve veszélyes légszennyezettségi szituációk meghatározását teszik lehetővé.



7. ábra. A WRF-Chem kémiai moduljának sematikus ábrája, illetve a hazai futtatáshoz tervezett beágyazott modell terület.

3.2 Javaslatok

- A WRF és az ALADIN Chapeau oktatási alkalmazása, veszélyes időjárás helyzetek fejlődésének követése, viharjelzési célú riasztások kiadásának gyakorlása, mind meteorológiai, mind katasztrófavédelmi szempontból.
- Az időjárás modelleredmények felhasználása döntési rendszerekben, esettanulmányok generálása.
- A WRF katasztrófavédelmi alkalmazási lehetőségeinek tanulmányozása, pl. pusztító erdő- vagy bozóttűz továbbterjedésének iránya és sebességének a modellezés.
- A WRF/Chem csatolt időjárás és levegőkémiai modell alkalmazása szennyezőanyagok ülepedési és transzmissziós számításaiban, továbbá a határon áttérő szennyezőanyagok modellezésére döntés előkészítési feladatokhoz.

3. Terjedési modellszámítások

A skálafüggő légköri terjedési modellek (*Bozó et al.*, 2004) – a baleseti kibocsátások leírásától az országhatáron átterjedő szennyezőanyag-felhő követéséig, az esettanulmányoktól, a terepi „in situ” futtatásokig, vagy a hatásterület klimatológiai szempontú elemzéséig – fontos szerepet töltenek be a katasztrófavédelemben. További fontos feladat a szennyezőanyag források és a veszélyes üzemek kockázatbecslésére (*Cseh*, 2005; *Dinnyés*, 2008). A különböző küszöbértékű veszélyes üzemek biztonsági dokumentációiban alkalmazott kockázat-elemzési módszerek között (*Cseh* (2005) 12 eljárást ismertet) kitüntetett szerepe van a terjedési modellszámításoknak. Az alsó és felső küszöbértékű veszélyes üzemek (*1. ábra*) mindegyikére végeztek ilyen típusú hatástanulmányt. A terjedési modellszámítások hangsúlyos szerepet kapnak a Paksi Atomerőmű biztonsági kérdéseivel foglalkozó feltáró munkákban is (*Nagy*, 2002; *Rónaky*, 2007). Az Országos nukleáris és radiológiai balesetelhárító rendszer is felhasználja pl. az OMSZ modellszámításait, de rendelkeznek saját modellezési háttérrel is.

A pályázatot készítő csoportunkban évek óta folyik a légköri szennyezőanyagok terjedésének és ülepedésének becslésére alkalmas modellek adaptálása és fejlesztése, a diszperzió különböző skálán történő szimulációja. Erre mutattunk példát korábban a WRF-Chem most folyó adaptálásával. E fejezetben a kistérségű modellekkel foglalkozunk.

A Paksi Atomerőműből egy esetleges baleset során a légkörbe jutó radioaktív szennyezés terjedésére több gauss-i, euler-i és lagrange-i személetmódú modell is rendelkezésre áll. Emellett felmerült az igény az erőmű közvetlen környezetére végzett, mikroskálájú modellezésre, valamint a nem radioaktív anyagok (pl. ammónia, hidrazin) esetleges baleseti kibocsátásának vizsgálatára is.

A mikroskálájú terjedési problémák megoldására számos megközelítés létezik. Korábban elvégeztük az A2C terjedési modell próbaverziójának vizsgálatát, amely hosszú futási idejű, az épületek geometriáját is figyelembe vevő kifinomult áramlásmodellező (CFD) szoftver.

A jelen pályázatban egy egyszerű modellt, az ALOHA-t mutatjuk be, amely a hagyományos gauss-i megközelítést használja a terjedés szimulációjára (*NOAA and EPA*, 2007). Hasonló Gauss-típusú modellek és a hozzájuk tartozó döntési eljárások egyre inkább tért hódítanak a katasztrófavédelemben (*Quatreuille*, 2011; *SAFE System*, www.safersystem.com). A modellek külföldi beszerzése mellett fontos a hazai kutatási

potenciál erősítése, a több alkalmazott modellben rejlő bizonytalanság feltárása (*Dombovári et al.*, 2008; *Földi et al.*, 2010), az ún. ensemble terjedési becslési technika meghonosítása.

Az amerikai NOAA által kifejlesztett ALOHA legnagyobb előnye a rendkívül rövid futási idő és az egyszerű kezelhetőség. A kémiai anyagok tulajdonságait tartalmazó gazdag adatbázissal és a nagy sűrűségű gázok gravitációs süllyedését kezelő modullal kiegészített modell a kibocsátástól számított 1 órán és 10 kilométeres távolságon belül kialakuló koncentrációkról ad információt. Elsősorban a civil lakosság és a döntéshozók számára készült, és olyan helyzetekben nyújt segítséget, amikor egy váratlan baleseti kibocsátás (pl. vegyi anyag szivárgása) következményeit kell valós időben szimulálni, és az esetleges védekező intézkedéseket meghozni. Annak ellenére, hogy a kétdimenziós gauss-i megközelítés nem ad lehetőséget a bonyolult geometriájú helyszínek és gyorsan változó meteorológiai helyzetek kezelésére, az ALOHA-t rövid futási ideje és megbízhatósága miatt napjainkban is használják érzékenységi és statisztikai vizsgálatokra, valamint bonyolultabb modellek ellenőrzésére. Néhány példán keresztül demonstráljuk az ALOHA képességeit valós baleseti helyzetek modellezésére. (*A modell ajánlható a hazai katasztrófavédelmi rendszerben is, akár a vonuló egységek gyors döntés előkészítéséhez.*)

A numerikus áramlásmodellezés egyik legnehezebb feladata a szennyezőanyag-terjedés szimulációja. A probléma méretskálájától és a konkrét feladattól függően különböző szemléletmódot alkalmaznak (ezek áttekintését lásd *Holmes and Morawska*, 2006; *Mészáros et al.*, 2010).

A gauss-i modellek a legrégebbi, de sok esetben még ma is jól használható megközelítést alkalmaznak. A szennyezőanyag koncentrációjának függőlegesen és szélirányra merőlegesen a forrás tengelyétől számított Gauss-eloszlását feltételezik, amelyhez hozzáadódik a szél irányába történő transzport. A terjedés mértékét – az eloszlás szélességét – a légköri stabilitás, illetve a kibocsátástól eltelt idő alapján számítják. Ez egyszerű matematikai kezelést tesz lehetővé, de csak álló forrás esetén, stacionárius és homogén áramlásban, lassan ülepedő szennyezőanyagra ad jó közelítést. A modellek egyszerűségük ellenére képesek figyelembe venni a felszínről és a planetáris határrétegről való visszaverődést és egyszerű kémiai reakciókat is. Nem képesek kezelni azonban a meteorológiai mező időbeli és térbeli változásait, vagy a domborzat áramlásmódosító hatását, és ez jelentősen korlátozza alkalmazhatóságukat (*Sriram et al.*, 2006).

Az Euler-féle szemléletmód egy adott ponton (mérőállomás vagy modellbeli rácspont) figyeli a légköri állapotváltozások változását, és ezek összesítéséből az áramlási mező pillanatnyi kiperől ad információt. Egyszerűbb matematikai kezelhetősége és a mérési,

előrejelzési pontok helyhez kötöttsége miatt a legtöbb meteorológiai modellben ezt a szemléletmódot alkalmazzák. Az euler-i terjedési modellek előnye, hogy könnyen illeszthetők az általános áramlási modellekhez, továbbá a kémiai reakciók egyszerűen paraméterezhetők bennük. Különböző változatait széleskörűen alkalmazzák levegőkémiai feladatok megoldásában (pl. a csoportunk terjedési szakemberei által fejlesztett TREX modellben, *Lagzi et al.*, 2006; *Mészáros et al.*, 2010).

A lagrange-i modellek egyes szennyezőanyag-csomagok trajektóriáját számítják. Az áramvonal-menti mozgáson felül a sűrűségkülönbségből adódó felhajtóerő és a turbulens sebesség-ingadozás miatti korrekciókat is figyelembe veszik. Matematikailag ez bonyolultabb feladat az euler-i szemléletmódban felírt problémáknál, és a valós mérésekhez való illesztése is nehezebb. Alkalmazási területük elsősorban a kibocsátás közelében lezajló légköri transzportfolyamatok modellezése, ahol a szennyezőanyag-trajektóriák ismeretével, azok statisztikai elemzéséből adhatunk kielégítő közelítést a koncentrációmező változására (*Yamada*, 2000).

A Paksi Atomerőmű területéről történő esetleges baleseti kibocsátások modellezésére több terjedési modell is rendelkezésre áll, amelyek az erőmű néhány kilométeres környezetétől az országos méretskáláig képesek szimulálni különböző szennyezőanyagok terjedését (*Dombovári et al.*, 2008). Ezek közé tartozik az egyesített euler-i és lagrange-i rendszerben működő TREX modell (*Lagzi et al.*, 2006), ami a forrás 30 km-es környezetében képes a koncentrációmező előrejelzésére. Nagyobb távolságú terjedés vizsgálatára az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott FLEXPART lagrange-i modell használatos (*Kocsis et al.*, 2009). Az OMSZ környezeti hatástanulmányok készítésére operatíván alkalmazza az amerikai fejlesztésű AERMOD továbbfejlesztett gaussi modellt is (*Steib és Labacz*, 2005). Trajektória számításokhoz jól használható a NOAA Hysplit modellje is (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), amit csoportunk is alkalmaz levegőkörnyezeti elemzéseknél.

A nemzetközi RODOS (*Realtime Online Decision Support*) nukleáris balesetek elhárítására felkészített komplex döntéstámogató rendszert Magyarországra is adaptálták. A rendszer része a RIMPUFF lagrange-i terjedési modell (*Mikkelsen et al.*, 1997).

A radioaktív csóvák terjedésének szimulációja mellett felmerült az igény az erőmű közvetlen környezetére végzett, mikroskálájú modellezésre, valamint a nem radioaktív anyagok esetleges baleseti kibocsátásának vizsgálatára is. Ehhez első lépésként az A2C nevű, CFD képességekkel kiegészített meteorológiai modell próbaváltozatát teszteltük az erőmű

néhány száz méteres környezetére (Leelőssy, 2010). A továbbiakban egy más megközelítést, az ALOHA operatív döntéstámogató terjedési modellt mutatjuk be.

Az amerikai NOAA által kifejlesztett ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*), ahogy már leírtuk, egy gauss-i terjedési modell, amely közvetlen veszélyhelyzetek elhárítására készült, ezért egyszerű kezelőfelülettel, és rendkívül rövid futási idővel rendelkezik. Grafikus megjelenítésének köszönhetően a döntéshozók kezébe azonnali és közérthető segítséget ad olyankor, amikor egy baleset során veszélyes gázok kerülnek a légkörbe (Jakala, 2007). A közvetlen baleseti helyzetek mellett alkalmazzák környezeti hatástanulmányokban (SWCA, 2010), illetve más modellekkel való összevetésben statisztikai és érzékenységi vizsgálatok elvégzésére (Bubbico és Mazzarotta, 2008).

Az ALOHA bemenő adatai:

- Sugárzási viszonyok: földrajzi szélesség, tengerszint feletti magasság, időzóna, idő (UTC), borultság, relatív nedvesség.
- Meteorológiai állapotjelzők: szélirány, szélesség, borultság, hőmérséklet, relatív nedvesség.
- Légköri stabilitás: sugárzási és szélviszonyok alapján Pasquill-féle stabilitási kategóriák.
- Alacsonyszinti (1500 m alatti) inverzió magassága.
- Felszíni érdességi magasság (z_0) értéke.
- Kibocsátás: kémiai anyag, egyszeri/folyamatos kibocsátás, kibocsátás időtartama, kibocsátott anyag tömege, kibocsátás magassága.

A program gazdag adatbázissal rendelkezik a nem reaktív, légköri körülmények között gáz halmazállapotú anyagokról. A modell a kibocsátás szimulációjára alkalmas modult is tartalmaz, amely egy esetlegesen megsérült tartály paramétereinek alapján becsli a benne tárolt anyag légkörbe jutó mennyiségét. Természetesen a kibocsátás paramétereinek közvetlenül is megadhatók. A gyúlékony és robbanékony gázok adatbázisának felhasználásával az ALOHA szükség esetén megjeleníti a robbanás-, vagy lobbanásveszélyes koncentrációjú területeket.

A terjedés jellemzőit, azaz a gauss-i eloszlások szélességét a stabilitási osztályok alapján adja meg a modell. A felszínről és az inverziós rétegről a csóva tökéletes visszaverődését feltételezi (Reynolds, 1992). A függőleges szélprofil a felszíni érdességi magasság (z_0) alapján számítja, amelyre három kategóriát állapít meg: nyitott terület („open country”), város, erdő („urban/forest”) és nyílt vízfelszín („open water”). A közvetlenül megadott z_0 érték így kis jelentőséggel bír, mivel az ALOHA azt automatikusan az „open

country” ($z_0 < 20$ cm), vagy az „urban/forest” ($z_0 \geq 20$ cm) kategóriákba konvertálja át az értéket (NOAA és EPA, 2007).

Az ALOHA grafikus felületet biztosít a veszélyeztetett területek megjelenítésére. Mivel az időjárási paraméterekben bekövetkező változást a szoftver nem tudja kezelni, a modellezett idő legfeljebb 1 óra, a forrástól számított távolság maximum 10 km lehet, *ami megfelel egy veszélyes tüzesetnél a füstfáklya terjedés modellezésére, a kritikus szennyezettségi körzetek gyors becslésére.* Az ALOHA térképen jeleníti meg azokat a területeket, ahol a felszíni koncentráció eléri az ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) határértékek valamelyikét. A piros, narancssárga és sárga színekkel jelölt területek rendre az ERPG-3, ERPG-2, illetve ERPG-1 határértékek túllépését jelentik. Természetesen egyéni határértékek is beállíthatók. A kimenet az ArcGIS és a Google Earth programokban megjeleníthető (8. ábra).



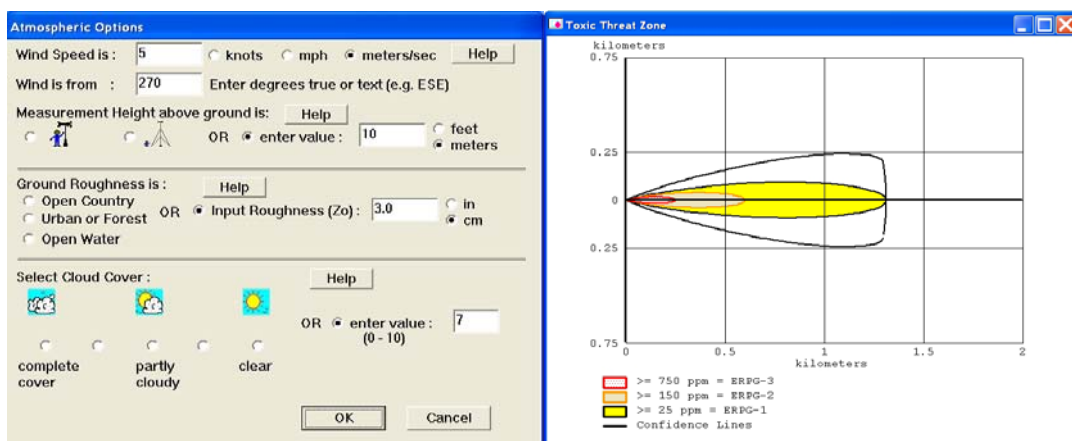
8. ábra. Az ALOHA grafikus kimenete a Google Earth térképére vetítve. Egy feltételezett paksi atomerőművi kibocsátás hatásának modellezése.

Az ALOHA elsődleges célja az egyszerű kezelhetőség és közérthető információk szolgáltatása, ezért a bemenő adatokat egy „felugró ablakokban”, űrlapok kitöltésével lehet megadni, az eredményeket pedig grafikus formában jeleníti meg (9. ábra).

A modell eredeti verziójában külső forrásból történő adatbeolvasásra közvetlenül nincs mód, és a koncentrációmező adatai sem nyerhetők ki rácspontonként. Diffúzió-klimatológiai vizsgálatainknál (Leelőssy et al., 2011) az ALOHA sokszori futtatása szükséges, így a paraméterek megadását és az eredmények kinyerését automatizáltuk. A külső forrásból történő adatbeolvasásnál először soros porton, illetve .dll fájlon keresztül történő

adatátvitellel próbálkoztunk, de ez megvalósítható. Következő lépésként *Jakala* (2007) által javasolt Windows „Sendkey” lehetőséget használtuk ki. Az ALOHA űrlapjai a billentyűzet navigációs gombjaival vezérelhetők, így az űrlap kitöltést egy egyszerű Visual Basic billentyűzet-vezérlő programmal automatizáltuk. A bemenő adatokat egy .csv (vesszővel elválasztott) formátumú szöveges fájlban tároljuk, amelyet az ún. színop táviratok feldolgozása során készítünk elő. *Rendszer alkalmas tetszőleges szennyezőforrás, veszélyes üzem hatásterületének klimatológiai elemzésére (évszak, időjárási helyzet, forraserősség).*

Az ALOHA a koncentrációmezőt egy sokszög formájában rajzolja ki, amely a megadott határértéket elérő, felszíni koncentráció által érintett területet ábrázolja. A csúcsok koordinátáit egy ideiglenes szöveges fájlban tárolja, amelyből a program bezárásáig, vagy új futás indításáig kinyerhetők. Az ALOHA-t billentyűparancsokkal vezérlő program minden futás végén külső fájlba menti ki az adatokat, amelyeket később egy C++ nyelven megírt algoritmussal dolgozunk fel.



9. ábra. Az ALOHA grafikus felülete és az eredmények megjelenítése.

A megjelenítéskor használt koordináta-rendszerben (6. ábra) a forrás az origóban helyezkedik el, az x tengely a szélvektorral párhuzamos, az y tengely erre merőleges. A valós kelet-nyugati és észak-déli tengelyű koordináta-rendszerre való áttérés az adatfeldolgozás során egy forgatási operátorral egyszerűen megoldható. Kihhasználva azt, hogy a gauss-i modellben a csóva szimmetrikus, az adatokból *Bubbico* és *Mazzarotta* (2008) módszeréhez hasonlóan a következő számszerű eredményeket tudjuk kinyerni mindhárom megadott határértékre:

- a határérték feletti koncentrációval érintett legtávolabbi pont: x_{max} ,
- a határérték feletti koncentráció által érintett teljes terület: $\sum y_i(x_i - x_{i-1})$,

- a határérték feletti koncentrációjú terület maximális keresztmetszete: $y_{max} - y_{min}$,
- a maximális keresztmetszet forrástól vett távolsága: $\frac{x(y_{max}) - x(y_{min})}{2}$,
- a határérték feletti koncentráció maximális távolsága és területe a szél elleni irányban.

Az eredmények vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy az első két paraméter (a csóva maximális hossza és területe) egymással nagy összhangot mutat, és reprezentatív képet ad a terjedés mértékének jellemzésére.

Esettanulmány

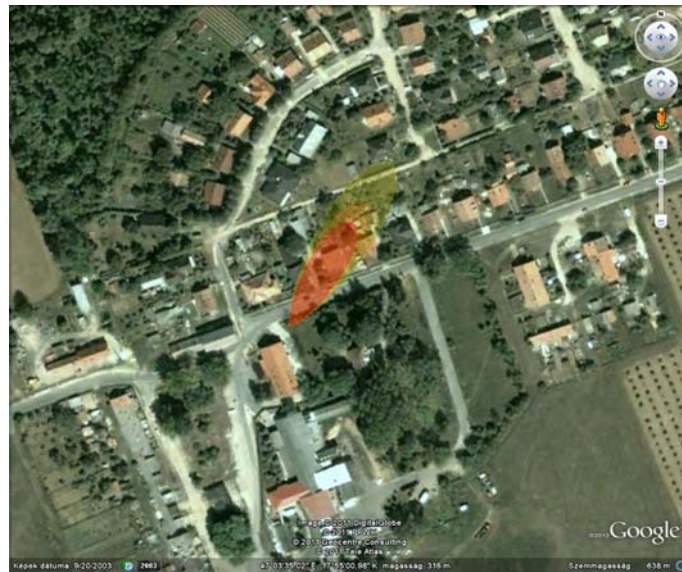
2011. augusztus 17-én este Veszprém külterületén, a Videoton Ipari Parkban kigyulladt egy fröccsöntő üzem (10. ábra). A levegőbe nagy mennyiségű korom és szén-monoxid került, amely körülbelül 1000 méteres magasságban terült szét. Az Országos Meteorológiai Szolgálat a csóva terjedéséről és a baleset idején fennálló meteorológiai körülményekről jelentést készített (Horváth, 2011). Az abban szereplő, illetve a veszprémi meteorológiai állomáson mért adatok segítségével demonstráljuk az ALOHA képességeit hasonló helyzetekben.



10. ábra. Tűz a veszprémi Videoton ipari parkban 2011. augusztus 17-én késő délután. 500 m²-es üzemcsarnokban levő műgyanta származékok égtek (Forrás: Index; Horváth (2011)).

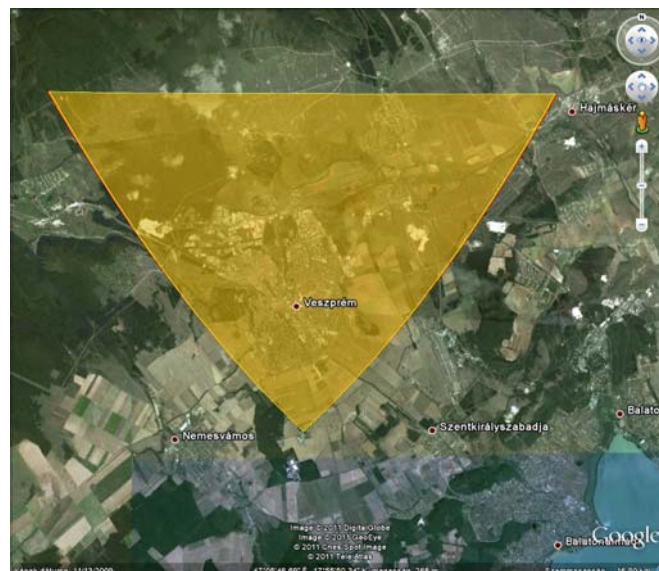
Egy órán keresztül tartó, összesen 100 kg szén-monoxid kibocsátásával járó balesetet vettünk alapul. A veszprémi állomáson 19 órakor mért adatok szerint gyenge délnyugati szél fújt. A légkör még a nappali, labilis állapotában volt, ami kedvezett a kibocsátott anyagok felfelé történő terjedésének. Ennek megfelelően a talajon mérhető koncentrációk alacsonyak

maradtak. A 11. ábrán a szén-monoxidra vonatkozó ERPG határértékek túllépését jelöltük. Az alkalmazott határértékek: ERPG-3: 500 ppm, ERPG-2: 350 ppm, ERPG-1: 200 ppm.



11. ábra. ERPG határértékeket túllépő szénmonoxid koncentráció elhelyezkedése a veszprémi ipari balesetet követő 1 órán belül.

Az 12. ábrán passzív gáz (xenon) kibocsátását tételeztük fel, amelynek terjedését rendkívül kis határértékkel jelöltük meg. Ez a vizsgálat lehetőséget biztosít arra, hogy 10 km-es távolságon belül felmérjük azokat a területeket, ahova juthatott valamennyi a szennyező anyagból.



12. ábra. A veszprémi ipari parkból kibocsátott passzív gáz által elért területek a balesetet követő egy órán belül.

Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM, 2011) veszprémi állomásának adatai alapján Veszprémben a balesetet követő egy órán belül nem lehetett kimutatni a baleset hatását. Ez összhangban van azzal, hogy a várost az ALOHA eredményei alapján is csak rendkívül kis koncentrációban érte el a csóva.



13. ábra. A veszprémi ipari parkban kialakult tűz hőhatásának becslése.

Időpont	Koncentráció aug. 16-án	Koncentráció aug. 17-én	Koncentráció aug. 18-án
18:00	294 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	524 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	783 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
19:00	506 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	614 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	807 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
20:00	509 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	666 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	765 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
21:00	521 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	522 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1078 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
22:00	536 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	690 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	927 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

5. táblázat. Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat veszprémi állomásán mért szénmonoxid-koncentráció értékei az augusztus 17-én 18 óra 30 perc körül bekövetkezett baleset idején, valamint a megelőző és a következő napon.

Az 5. táblázat a veszprémi mérőállomás adatait mutatja. Az augusztus 17-én 18 óra 30 perc körül bekövetkező baleset nem okozott kiugróan magas értékeket. A baleset hatása a következő napok magasabb szennyezettségében kereshető.

Az ALOHA képes a tűz hőhatásának becslésére is a lángoló anyag mennyiségének és a tárolás módjának ismeretében. Az 13. ábrán a lángoló üzemcsarnok által okozott hőteljesítményt becsültük meg az ALOHA segítségével. A piros szín $5 \text{ kW}/\text{m}^2$, a sárga $2 \text{ kW}/\text{m}^2$ határértéket túllépő hőteljesítményt jelent.

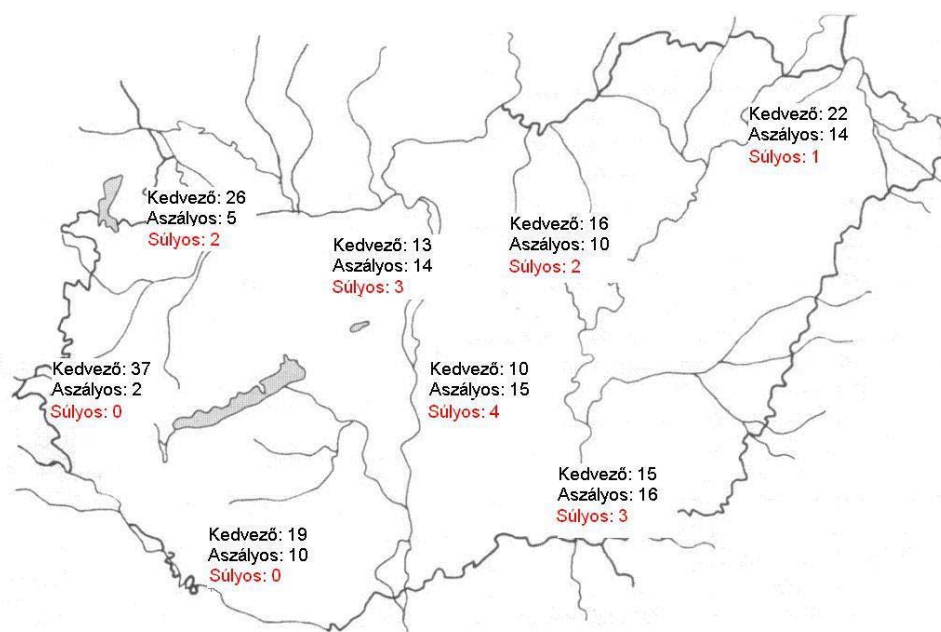
3.1. Javaslatok

- A meteorológiai állomások hosszú adatsorai, illetve az ALOHA terjedési modell felhasználásával a lakossági katasztrófavédelmi tájékoztatási füzetek éghajlati és levegőkörnyezeti információ szolgáltatásának bővítése.
- Terjedési modellek felhasználása katasztrófavédelmi szimulációjában oktatási és szakmai továbbképzési feladatokban – levegőkörnyezeti–katasztrófavédelmi oktatási tematikák kialakítása. Veszélyes kibocsátások szimulálása az Alkalmazott numerikus modellezés című e-könyv terjedési modellekkel foglalkozó fejezetében.
- Az ALOHA modell alkalmazási lehetőségének vizsgálata tüzesetek, szennyezőanyag kibocsátás helyszíni modellezésében a terepen mért, illetve a legközelebbi meteorológiai állomás adatai alapján. A szennyezőanyag csóva terjedésének gyors szimulálása alap meteorológiai adatok alapján.
 - Ipari eredetű kibocsátások helyének lokalizálása.
 - Koncentrációmérések alapján a terjedés figyelembevételével becslések a kibocsátott szennyezőanyag mennyiségére vonatkozóan.
 - A veszélyeztetett terület kiterjedésének gyors becslésére.
 - Nagyobb tüzek hatásainak modellezése.
- Az ALOHA modell telepítési lehetőségének vizsgálata levegőkörnyezeti mérőlaboratóriumok terepi adatfeldolgozási képességének a növelésére. A szennyezőanyag forráserősségének becslése terepi koncentrációmérések és a modell felszíni relatív koncentrációmezőjének összevetésével. *(A veszprémi 2011. augusztus 17-i tüzeset után a feladat megvalósíthatóságával kapcsolatos első egyeztetés megtörtént a Közép-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság Mérésközpont szakembereivel.)*

5. Éghajlati kutatások, katasztrófavédelmi alkalmazások

A katasztrófa veszélyeztetettség öt nagy csoportját különböztetjük meg (Nagy, 2002). Ezek között szerepelnek a veszélyes időjárás helyzetek, illetve a bel- és árvizek. Az ilyen eseményekre történő felkészítésben meghatározó az éghajlati adatok, statisztikai jellemzők, a szélsőséges időjárási események bekövetkezési valószínűségének az ismerete.

A szélsőséges helyzetek kis gyakorisággal előforduló események, melyek nagyon eltérnek a szokásos, átlagos viszonyoktól. Nem tudjuk például, hogy 2012-ben mekkora lesz a budapesti napi maximális csapadékmennyiség és melyik napon következik be, de a korábbi mérési adatsorok alapján azt meghatározhatjuk, hogy az elmúlt száz évben a napi maximum 95 mm volt. Minden harmadik évben előfordult 40 mm feletti, minden hetedik évben 50 mm feletti csapadék, s minden évtizedben egyszer hullott 60 mm feletti csapadék, míg negyed évszázadonként napi 70 mm feletti csapadékmennyiségre számíthattunk. Becsülhetővé válnak a nagy csapadékok által okozott károk. Tervezhető az évi költségvetési tartalék, számítható a biztosítási kockázat. Természetesen e témakör bonyolultabb ennél. Itt a szemléletmódra, az éghajlati adatok használatára szeretnénk felhívni a figyelmet. A megbízható meteorológiai előrejelzések, a hatékony katasztrófavédelem mérsékelheti a károkat. Tudjuk azonban: ilyen események szükségszerűen be fognak következni, ahogy azt is tudjuk, hogy 10 évből átlagosan 3–5 aszályos (14. ábra).



14. ábra. Aszálygyakoriság a meteorológiai adatsorok tükrében (Hollósi, 2010).

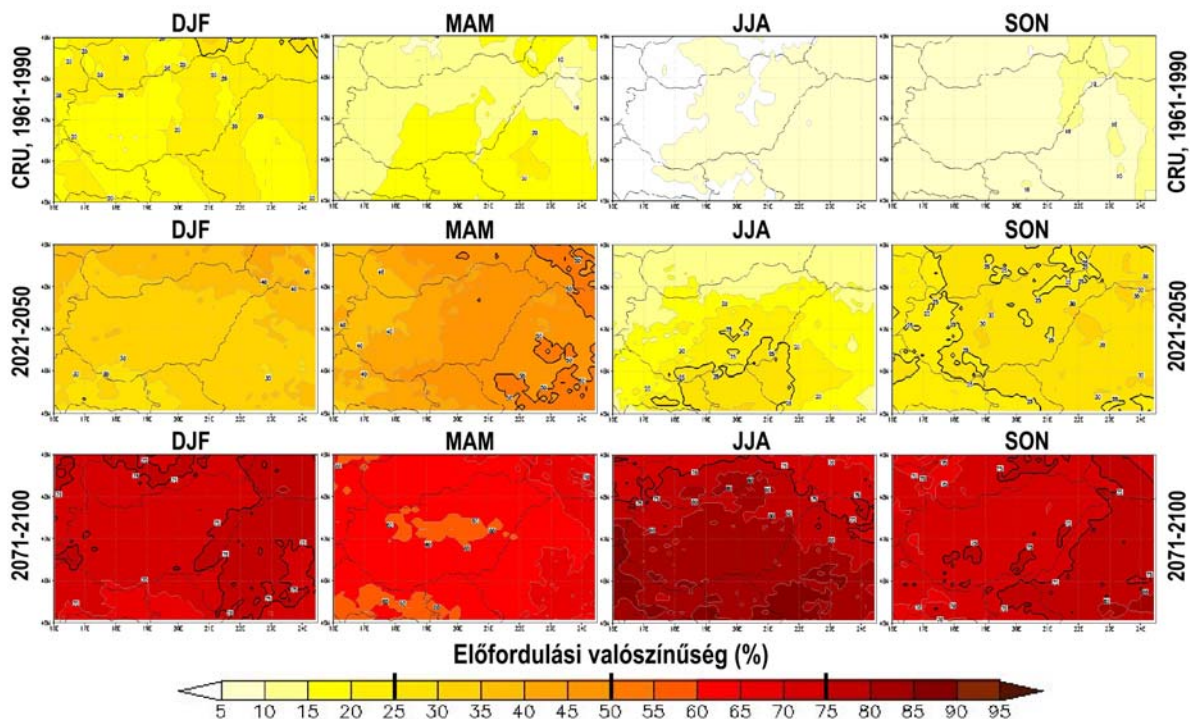
Az előbbi gondolatmenetben a múltbeli statisztikai jellemzők alapján vontunk le következtetéseket a jövőre vonatkozóan. A meteorológiai megfigyelések és a globális cirkulációs modelleredmények azt mutatják, hogy a növekvő üvegházhatású gáz kibocsátás (CO₂, N₂O, CH₄, O₃, Freonok), egyéb antropogén és természetes hatások (légtörő aeroszolok negatív visszacsatolása, a légkör növekvő vízgőztartalma, a felszínborítottság változása, vulkántevékenység, stb.) összességében az éghajlati kényszer (vagyis a légkörben maradó energiamennyiség) növekedéséhez, melegedő éghajlathoz vezetnek. Fontos ismerni a XXI. századi kilátásokat földi és kárpát-medencei léptékekben. Ezt szolgálja többek között a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, aminek az elkészítésében kutatócsoportunk tagjai is részt vettek. A legújabb regionális éghajlatváltozási eredményeink bemutatásával, a hőmérsékleti és csapadék szélsőségek változási tendenciáinak az elemzésével a hatástanulmány készítőknél, így a katasztrófavédelmi kockázatok elemzésével foglalkozó kutatóknak (*Teknős, 2009; Bukovics, 2010; Szirmai, 2010; A globális felmelegedés, 2011; Ujj, 2011*) kívánunk alapinformációt nyújtani. A fejezet végén egy példát mutatunk be az éghajlatváltozás lehetséges kommunikációjára.

Az éghajlatváltozás kutatásának három fő iránya (*Weidinger et al., 2000; Bartholy et al., 2001*) közül (empirikus, félempirikus, regionális éghajlati modellszámításokon alapuló) egyre inkább a modellszámításokból levont következtetéseket alkalmazzák. Mi is az ilyen típusú új eredményeinket mutatjuk be hazánkra.

5.1. A regionális modellszimulációk alapján várható hőmérsékleti szélsőségek változása

Magyarországra vonatkozóan 2021–2050-re éves átlagban 1,1 °C-os, évszakos átlagban 0,7–1,6 °C közötti melegedéssel számolhatunk, melyek 95%-os szinten szignifikánsak. 2071–2100-ra éves átlagban 3,1 °C-os szignifikáns melegedést prognosztizálhatunk. Az évszakos hőmérsékletnövekedés szintén minden évszakban szignifikáns az ország teljes területén: a legnagyobb melegedés nyáron várható (országos átlagban 3,5 °C), a legkisebb tavasszal (2,8 °C). Ezek a következtetések az általunk adaptált, amerikai fejlesztésű RegCM modellszimulációk eredményein alapulnak (*Torma et al., 2008, Bartholy et al., 2010*). Annak érdekében, hogy az éghajlati extrémumok várható változásáról minél átfogóbb, komplexebb információt szolgáltatathassunk a katasztrófavédelem, illetve a katasztrófa elhárítás számára, meghatároztuk a kritikus küszöbértékeket meghaladó gyakoriságokat a múltban és a jövőben. Ezek összehasonlítását illusztrálja a 15. ábra.

A pályázati anyagban, terjedelmi okokból, csak egy kiválasztott küszöbértékre vonatkozó elemzést mutatunk be: a +2 °C-nál nagyobb hőmérsékleti anomáliák (vagyis a havi átlaghőmérséklet 1961–1990 közötti sokévi átlagát legalább +2 °C-kal meghaladó értékei) évszakos előfordulási valószínűségének területi eloszlását vizsgáljuk a jelen (1961–1990) klimatikus viszonyok mellett, valamint a 2021–2050 és 2071–2100 jövőbeli időszakokra.

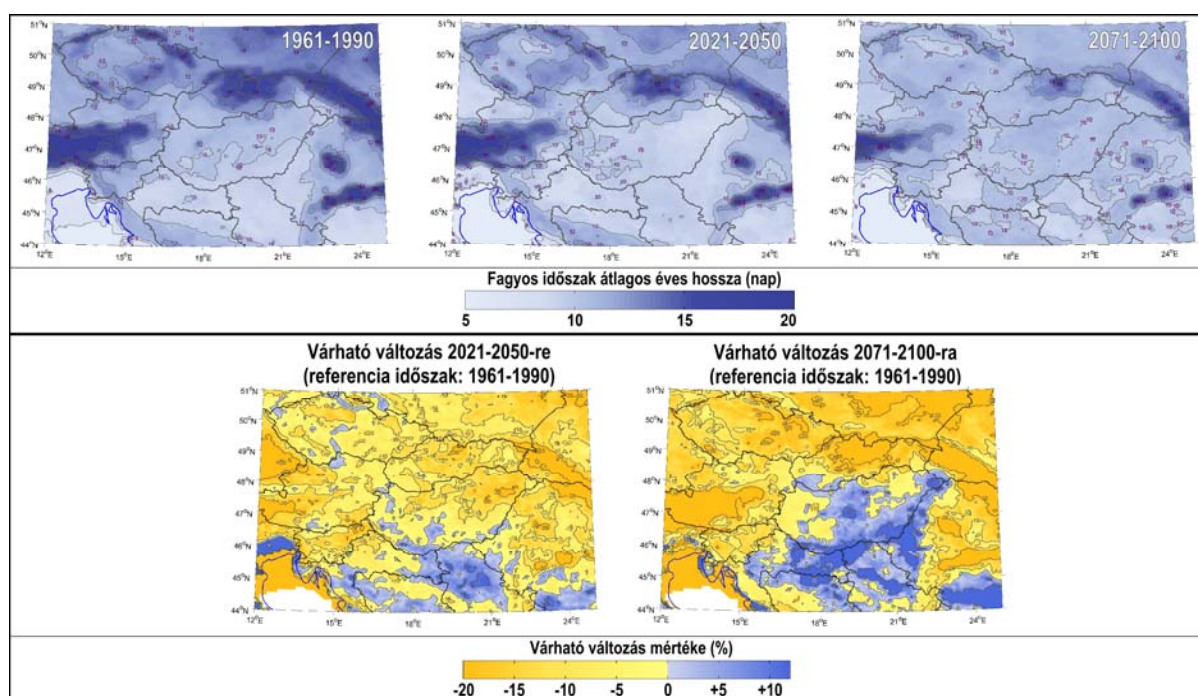


15. ábra. A +2 °C-nál nagyobb hőmérsékleti anomáliák előfordulási gyakorisága az 1961–1990 referencia időszak átlagához viszonyítva.

A felhasználók számára értékes információt nyújthat, hogy az adott küszöbérték túllépésének gyakorisága az ország mely területein milyen mértékben változhat a jövőben. A referencia időszakot jelentő 1961–1990 periódusban a +2 °C-ot meghaladó anomáliák leggyakrabban télen (15–25%-ban), a legritkábban pedig nyáron (0–10%-ban) fordultak elő. A közepesnek tekinthető, A1B globális éghajlati scenáriót figyelembe vevő szimuláció szerint az évszázad közepére és végére minden évszakban egyöntetűen növekedni fog az 1961–1990 időszak átlagát +2 °C-kal meghaladó anomáliák gyakorisága: általában az ország keleti, déli részein nagyobb gyakorisággal, mint a nyugati, északi térségekben. A valószínűsíthető gyakorisági értékek a 2021–2050 időszakra vonatkozóan a következők: télen 30–40%, tavasszal 35–50%, nyáron 15–25%, ősszel 20–30%. Ennél is jelentősebb

arányú a regionális melegedés hatására valószínűsíthető eltolódás a 2071–2100 időszakban: a várható előfordulási gyakoriságok mértéke télen 70–80%, tavasszal 60–65%, nyáron 75–85%, ősszel 70–80%.

A különféle lehetséges hőmérsékleti extrém indexek közül a katasztrófavédelemben, az energiagazdálkodásban és a mezőgazdaságban kiemelt fontosságú fagyos időszakok várható alakulását, valamint a referencia időszakhoz viszonyított megváltozását mutatjuk be a 16. ábrán a közelebbi jövőre (2021–2050) és távolabbi jövőre (2071–2100) vonatkozóan. Az alkalmazott definíció szerint azon időszakokat tekintjük fagyosnak, amikor legalább 5 egymást követő napon keresztül a napi minimum-hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti ($T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$).



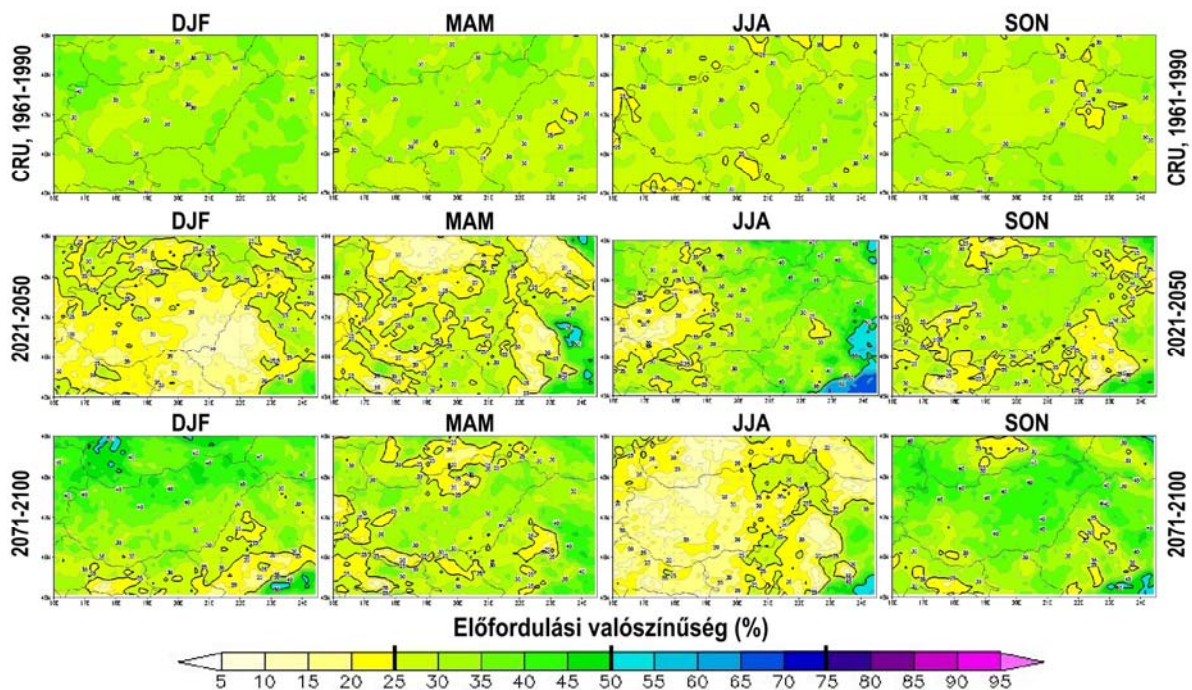
16. ábra. Fagyos időszakok hossza (min. 5 egymást követő nap, mely során $T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) és a várható változás mértéke az 1961–1990 referencia időszakhoz viszonyítva.

A fagyos időszakok területi eloszlását a domborzat nagymértékben meghatározza, ezt jól illusztrálja a három felső térkép. A szimulációk alapján a Kárpátok és az Alpok térségében évente átlagosan több mint 20 fagyos nap volt, a jövőben sokkal kisebb területen lesz ilyen hosszú fagyos időszak mindkét régióban. (Megjegyezzük, hogy az éghajlati modellek nagy rácsfelbontása – a beágyazott modelleknél is 20–50 km – miatt az Alpok „simított domborzata” jelenik meg, így a magas hegységi területeken a modell alábecsli a fagyos napok számát, viszont a változás tendenciáját megfelelő mértékben becsli.) Kisebb mértékű változás várható az alacsonyabban fekvő térségekben, sőt egyes területeken akár néhány

százalékos növekedés is valószínűsíthető. A 2071–2100-ra várható változások abszolút értékben általában nagyobbak, mint a 2021–2050-re várható változások. A szimulációk alapján hazánk térségében a referencia időszakban országos átlagban 10–12 nap hosszúságú fagyos időszakkal számolhattunk, mely a XXI. század során várhatóan ez 1–2 nappal lerövidül.

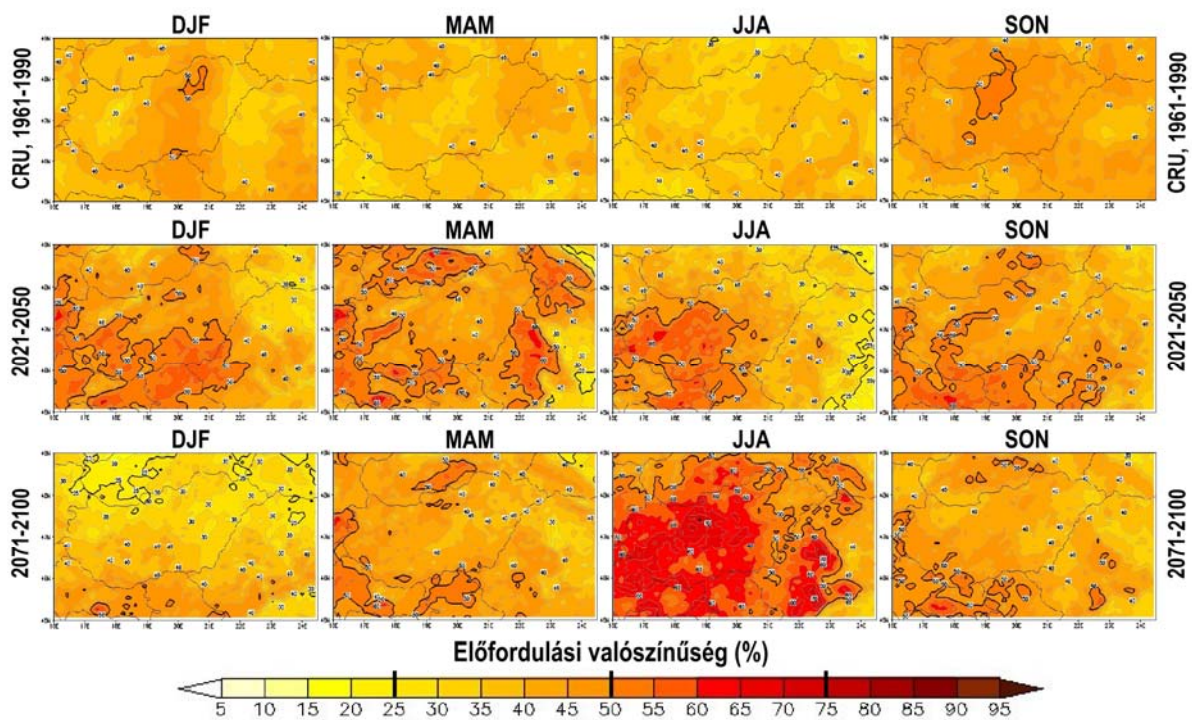
5.2. A regionális modellszimulációk alapján várható csapadékszélsőségek változása

A hőmérséklethez viszonyítva a csapadék jóval nagyobb térbeli és időbeli változékonysággal rendelkezik. A klímaszimulációk hazánkban 2021–2050-re átlagosan 4%-os csökkenést valószínűsítenek az éves átlagos csapadékösszegben (20–30 mm), s minden évszakban külön-külön is szárazodás várható (de ez csak télen az ország délkeleti részén szignifikáns). 2071–2100-ra az éves átlagos csapadékösszegben csupán 1–2%-os csökkenést jelez a szimuláció. Nyáron csaknem 10%-kal (mely az ország nagy részén szignifikáns), s kisebb mértékben tavasszal is a csapadék csökkenése valószínűsíthető. Télen (és kisebb mértékben ősszel is) a jelenlegi csapadékviszonyokhoz képest országos átlagban valamelyest több csapadék várható, mely azonban nem haladja meg az 5%-ot.



17. ábra. A +20%-nál nagyobb csapadék-anomáliák előfordulási gyakorisága az 1961–1990 referencia időszak átlagához viszonyítva.

A havi csapadék gyakorisági eloszlásaiban várható változásokat illusztrálандó a +20%-ot meghaladó szélsőséges pozitív és -20%-ot meghaladó szélsőséges negatív csapadék-anomáliák előfordulási valószínűségét elemezhetjük évszakos bontásban a 17–18. ábrán. A megfigyelések alapján az 1961–1990 időszakban (felső térképsorok) minden évszakra jellemző volt, hogy az átlaghoz képest számottevően csapadékosabb viszonyok ritkábban (az összes hónap 25–35%-ában) fordultak elő, mint az átlagnál jelentősen szárazabb viszonyok (a hónapok 30-50%-ában).



18. ábra. A -20%-nál nagyobb csapadék-anomáliák előfordulási gyakorisága az 1961–1990 referencia időszak átlagához viszonyítva.

A 17. ábra középső térképsorán jól látható, hogy a jövőbeli szimulált havi csapadékösszegek +20%-ot meghaladó anomáliái a téli és a tavaszi hónapokban a XXI. század közepére egyértelműen ritkábbak lesznek hazánk teljes területén (télén csak 10–30%-os előfordulási gyakoriság várható, tavasszal pedig 20–30%-os). Nyáron a Dunántúl térségében szintén ritkábban számíthatunk pozitív anomáliákra (a nyári hónapok 10–30%-ában), ám az Alföldön inkább a jelentősen csapadékosabb hónapok gyakoriságnövekedése valószínűsíthető. Végül az őszi hónapokban csak a Dél-Dunántúlon lesz jellemző a gyakoriságsökkenés, az ország nagyobb részén vagy nem változik jelentősen a gyakoriság, vagy kis mértékben növekszik. A 17. ábra alsó sora 2071–2100-ra vonatkozik, ez alapján télen a jelenlegi havi csapadékeloszláshoz viszonyítva hazánk északi részén egyértelműen

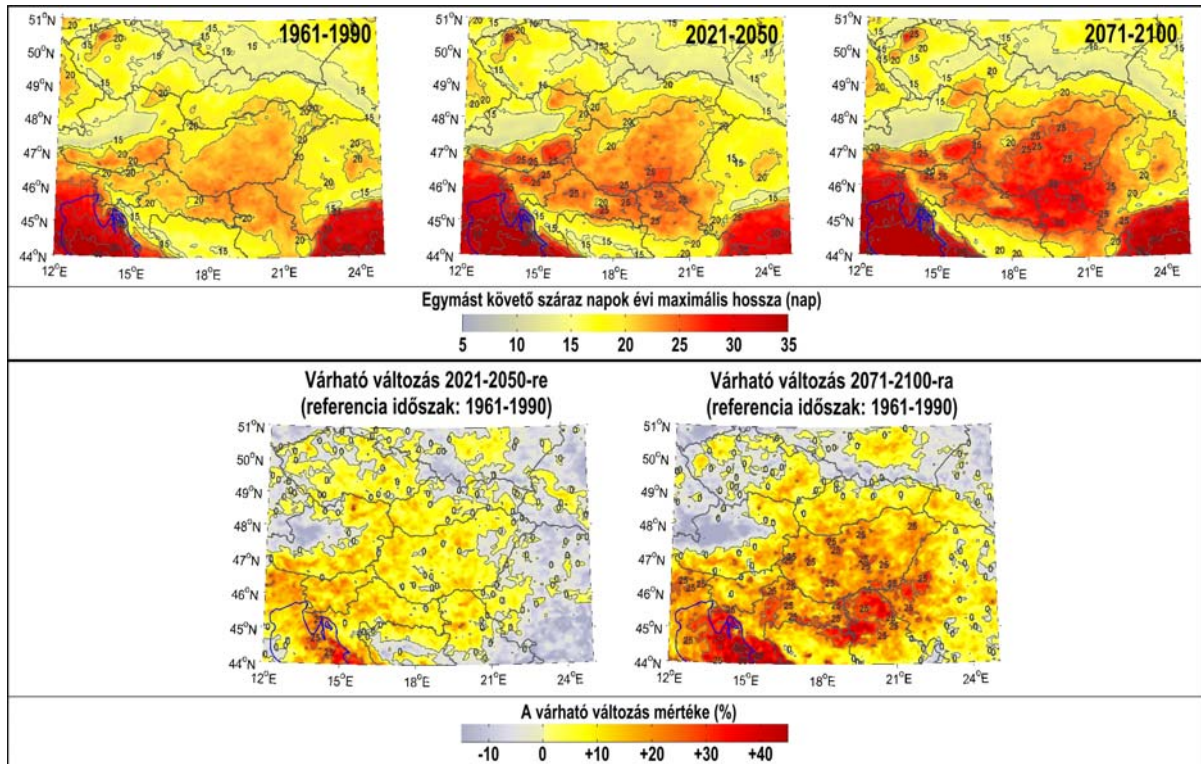
sűrűbben számíthatunk jelentősen csapadékosabb hónapra, a +20%-ot meghaladó anomáliák relatív gyakorisága várhatóan meghaladja a 40%-ot. Ez azt jelzi, hogy a század közepéig a téli hónapokban várható szárazodás a század második felében nem folytatódik tovább, hanem éppen ellenkezőleg a század végére teleink csapadékosabbá válására számíthatunk. Az őszi hónapokban az északi területeken kívül az Alföldön is hasonlóan jelentős mértékű (azaz 40%-os relatív gyakoriságot meghaladó) a többlet-csapadékos időszakok előfordulása a RegCM szimulációk alapján. A négy évszak közül a nyár azzal tűnik ki, hogy becsléseink szerint a jelenlegihez képest csapadékosabb viszonyok előfordulása szinte az egész országon belül 25% alatt marad (kivéve a Nyírséget).

A 18. ábra középső térképsorán a –20%-ot meghaladó negatív csapadék-anomáliák 2021–2050-re várható előfordulási gyakoriságait tekintve megállapíthatjuk, hogy általában véve minden évszakban a hónapok nagyobb arányában számíthatunk a referencia időszakhoz képest jelentősen szárazabb éghajlati viszonyokra. A valószínűsíthető relatív gyakoriság az országon belül nagyobb területeken is meghaladja az 50%-ot, ez a szárazodási hajlam elsősorban nyáron a Dunántúl és a Duna-Tisza köze térségében lesz jellemző. A 18. ábra alsó térképsora a 2071–2100-ra várható előfordulási gyakoriságokat illusztrálja. Az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva jelentős gyakorisági eltolódást csak a nyári hónapokra jeleznek a RegCM-szimulációk. A június-július-augusztus időszakban egy kisebb északkeleti régió kivételével a 2071–2100 időszakban hazánk egész területén várhatóan 50% fölötti lesz a jelenlegi csapadékviszonyokhoz képest szárazabb hónapok aránya (Budapest környékén ez az arány a 70%-ot is meghaladja). Ezek a jelentősen száraz éghajlati viszonyokat jelző anomáliák a referencia időszakban csupán 30–40%-os arányban fordultak elő. *Egyszerűbben fogalmazva: minden második évben aszályra számíthatunk.*

A csapadékviszonyokkal kapcsolatos extrém indexek közül egy szárazságot és egy csapadékoságot jellemző paraméter elemzését mutatjuk be. Elsőként a 19. ábra felső három térképén az egymást követő száraz napok (melyeken a napi csapadékösszeg nem haladta meg az 1 mm-t) évi maximális hosszát láthatjuk 1961–1990-re, 2021–2050-re, s 2071–2100-ra. Az alsó két térkép a közelebbi és a távolabbi jövőre várható változások mértékét jelzi a referencia időszakhoz viszonyítva.

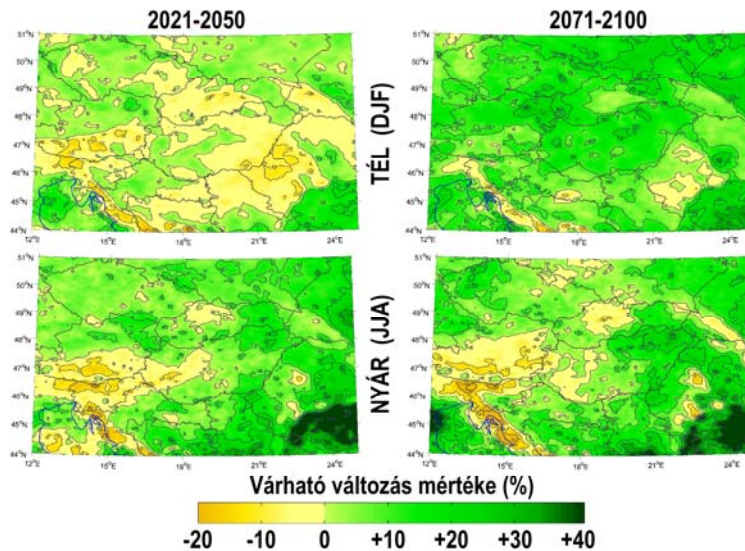
A térképeken látható térbeli szerkezet a három szimulációs időszakban nagy mértékben hasonlít egymásra. A hegyvidéki területeken az egymást követő száraz napok évi maximális hossza nem haladja meg a 15–20 napot, a Kárpát-medence térségében viszont magasabb értékek jellemzőek. A XXI. század közepére várható változások kisebb mértékűek, mint a század végére várhatóak. A magasabban fekvő területeken, s az integrálási tartomány északi

részen kisebb változásokra számíthatunk, s a száraz időszakok évi maximális hossza néhány százalékkal csökkenhet. A Kárpát-medencén belül 2071–2100-re 25%-ot meghaladó mértékű növekedés valószínűsíthető, főként a déli térségekben.



19. ábra. Az egymást követő száraz napok évi maximális hossza (1961–1990-re, 2021–2050-re és 2071–2100-ra), valamint a várható változás mértéke a 1961–1990 időszakhoz viszonyítva.

A 20. ábrán a téli és a nyári csapadékos napokon lehulló átlagos napi csapadékösszegek 1961–1990 időszakhoz viszonyított várható változásait mutatjuk be 2021–2050-re, illetve 2071–2100-ra. A számítások során csupán azon napokat vettük számításba, melyek napi csapadékösszege meghaladta az 1 mm-t. A RegCM-szimulációk alapján ily módon számított átlagos csapadékkintenzitás hazánk területén a XXI. század közepére télen (–10%; +10%), nyáron várhatóan (–10%; +20%) közötti mértékben fog változni. A térképekből kitűnik, hogy nyáron várhatóan nagyobb területre terjed ki a növekedő tendencia: az Alföldre, a Kisalföldre, s a Dél-Dunántúlra. A XXI. század végére nyáron valamelyest tovább növekszik a csapadékkintenzitás értéke – főképpen a Nyírségben számíthatunk akár 25%-ot is meghaladó mértékű növekedésre. Télen az ország teljes területén pozitív trend prognosztizálható 2071–2100-ra, melynek mértéke (+5%; +20%) közötti a referencia időszakhoz viszonyítva.



20. ábra. A téli és nyári átlagos 1 napi csapadékösszeg várható megváltozása 2021–2050-re és 2071–2100-re (csak azokat a csapadékos napokat figyelembe véve, amelyeken a napi csapadékösszeg meghaladja az 1 mm-t).

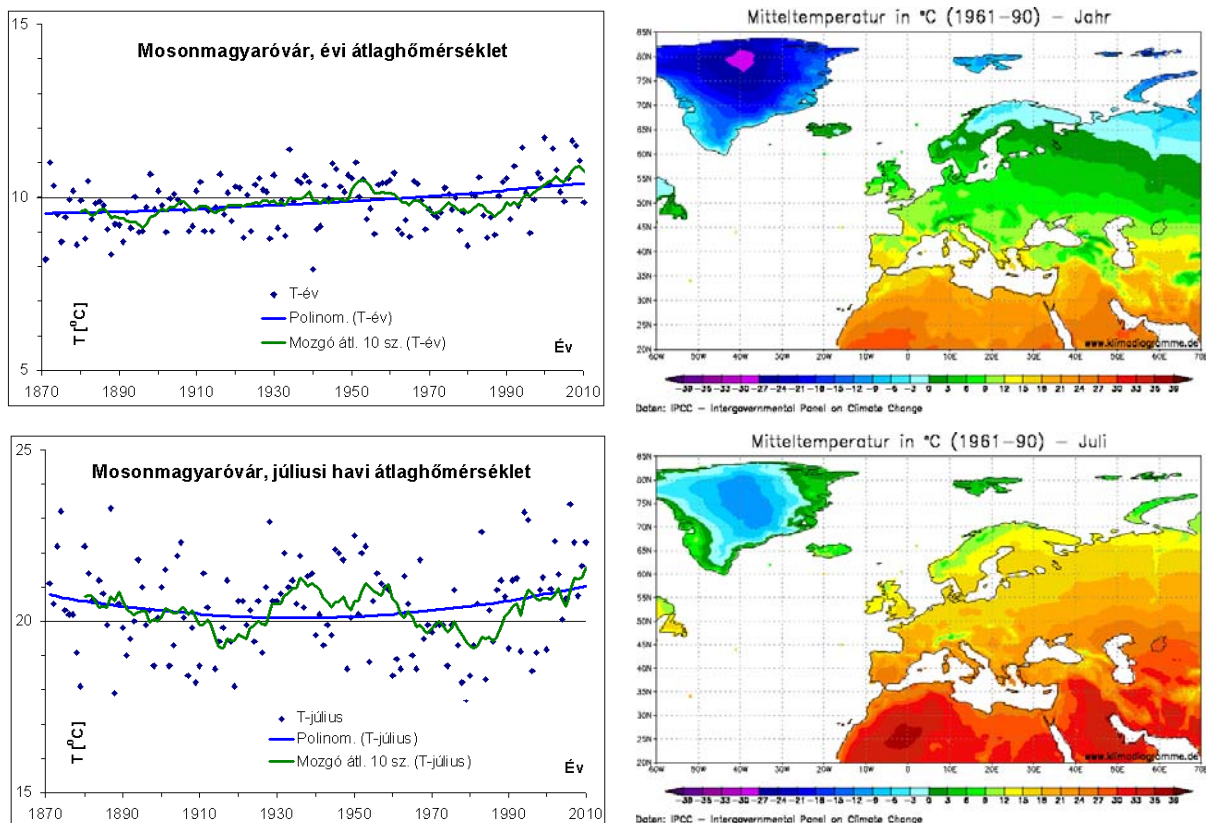
5.3. Az éghajlati és az éghajlatváltozási adatok interpretálása

A meteorológiai és éghajlati adatok interpretálásában két kérdésre kell válaszolni. Mi várható a célidőszakra, s az előrejelzésnek milyen a megbízhatósága? Ilyen információkra alapozva lehet további kockázati becsléseket készíteni.

A nagyközönség számára – a célcsoporttól függően – egyszerű, közérthető megfogalmazásokra kell törekedni. Annak érdekében, hogy érthetőbbé tegyük a változások lehetséges okát és nagyságát, az adott földrajzi hely korábbi éghajlati sajátosságaihoz kell viszonyítanunk. Bemutatunk egy példát a múlt- és jövőbeli hőmérsékletváltozások összehasonlításával. Mosonmagyaróvárt választottuk példaként, ahol Európa legrégebbi agrár felsőoktatási intézménye működik. Az Óvári Gazdasági Akadémiát Albert Kázmér királyi herceg alapította 1818-ban (jelenleg a Nyugat-magyarországi Egyetem része). Rendezett hőmérsékleti és csapadék adatsorok az 1860-as évektől állnak rendelkezésre. Az évi és a legmelegebb júliusi hőmérsékleti adatsorokat, illetve az erre illesztett lineáris és 10 éves mozgó átlagolással számított trendet a 21. ábra szemlélteti. Szintén itt mutatjuk be az 1961–1990-es éghajlati normál időszakra vonatkozó európai hőmérsékleti képet.

A mosonmagyaróvári évi átlaghőmérséklet a teljes mérési időszakra (1871–2010) 9,9 °C, az 1961–1990-es éghajlati normál időszakra 9,7 °C, míg az utolsó 10 évre (2001–2010) 10,7 °C. A legmelegebb júliusi hónapra ezek az értékek rendre 19,5 °C, 19,0 °C, illetve

20,6 °C. A 10 éves mozgóátlagot vizsgálva jól látható az éghajlat változékonysága, a XX. század közepének meleg periódusa, majd az 1970-es évektől kezdődő melegedés. Az antropogén tevékenység hatására bekövetkező – a természetes változékonyságra rakódó – melegedési tendencia csak a XXI. század elejétől azonosítható egyértelműen. Nagyobb térskálán, Európa éves és júliusi hőmérsékleti térképein (1961–1990) is megtaláljuk a mosonmagyaróvári hőmérsékleti adatoknak megfelelő értékeket. A térképen jól leolvasható – igaz, hogy csak egy állapothatározón keresztül – az éghajlatváltozás hatása.



21. ábra. A mosonmagyaróvári évi és a júliusi hőmérséklet (1871–2010) időszora és trend analízise (másodfokú polinommal és 10 éves mozgóátlagolással, baloldalon), illetve az európai évi és júliusi középhőmérséklet térképe az 1961–1990-es éghajlati normál időszakra.

A 2021–2050 közötti időszakra előrejelzett 1 °C körüli melegedés még nem okoz jelentős változást. Jelenleg ilyen évi és nyári hőmérsékleteket találunk a Kárpát-medencében a Délvidéken. A 2071–2100 közötti időszakra (amely már csak mintegy hat évtized múlva kezdődik) a regionális éghajlati modellek 3 °C körüli változást valószínűsítene. Ez már jelentős melegedést jelent. Jelenleg ilyen értékeket Közép- és Dél-Olaszországban, illetve a Balkán-félsziget déli részén találunk.

Ez a változás már nagymértékben érintheti a mezőgazdasági termelést (például az aszályhajlam erősödése révén), illetve a természetes vegetációt. Meg kell kezdeni a felkészülést, az olyan hatékonyság javító lépések megtételét, amelyek segítik az alkalmazkodást, függetlenül a várható változások gyorsaságától (pl. árvízi, belvízi és aszálystratégia, precíziós mezőgazdaság).

5.4. Javaslatok

- Az időjárási, éghajlati és éghajlatváltozási szélsőségek bemutatásának módszertani fejlesztése különböző katasztrófavédelmi honlapokon, lakosságtájékoztatási kiadványokban meteorológus és katasztrófavédelmi tájékoztatási szakemberek együttműködésével, az adatok frissítésének és felújításának tervezése.
- A klasszikus és a fizikai klimatológia ismeretanyag célzott beépítése a katasztrófavédelmi és kockázatelemzési oktatási programokba, minden szinten, a szakképzéstől a felsőoktatásig, valamint a felnőttképzés keretében folyó továbbképzések, vezetőképzések és a rendészeti szakvizsga katasztrófavédelmi tematikájába.
- A kockázatelemzési feladatokhoz alkalmazkodó éghajlatváltozási adatsorok előállítása, a több éghajlati modellen alapuló valószínűségi (ensemble) jellegű éghajlatváltozási adatsorok előállítása és bevezetése a stratégiai tervezésbe.
- A XX. és a XXI. század éghajlati szélsőségeinek katasztrófavédelmi szempontú elemzése országos, illetve kistérségi szintű tervezési feladatokhoz – módszertani kutatások.

6. Összefoglalás

A természeti környezet okozta kockázati tényezők felismerése, a katasztrófahelyzetekre történő felkészülés, a környezet állapotának ismerete, a változások előrejelzése, meghatározó tényezők a katasztrófa elhárításban valamint az okozott kár csökkentésében. A katasztrófakockázati tényezők között kiemelt szerepe van az időjárásnak, illetve a hosszú távú stratégiai tervezésben a klimatológiai információknak. A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia kialakítása, illetve az éghajlatváltozás katasztrófavédelmi vonatkozásainak kutatása kapcsán megtörtént a kapcsolatfelvétel az egyetemi meteorológiai kutatói szféra és a katasztrófavédelmi szakemberek között. A dolgozatban e természetes együttműködés oktatási és kutatási lehetőségeit vettük sorba.

A meteorológiai oktatásban, tágabb értelemben a földtudományi és környezet-tudományi képzésben illetve a természettudományi tanárképzésben nagyobb súllyal, akár önálló speciális kollégiumként jelen lehet a katasztrófavédelem természettudományi vonatkozásait bemutató ismeretanyag.

A katasztrófavédelmi oktatásban az időjárási, éghajlati, illetve terjedési modellek alkalmazási lehetőségei, a modelleredmények interpretálása és döntési rendszerekben való felhasználása kaphat nagyobb súlyt. E célt hatékonyan szolgálhatják a két szakterület együttműködésével kialakítható oktatási modulok. A két szakterület közötti kapcsolatrendszer segítené a természettudományi alapidiplomával rendelkezők bekapcsolása a katasztrófavédelmi mérnök MSc képzésbe. Erre a szak leírása ma is lehetőséget ad, de nincs megfelelő információáramlás és oktatási kínálat a TTK-s alapképzésben. A PhD képzésben is vannak lehetőségek, pl. közös kutatási témák (Földtudományi, és Környezettudományi Doktori Iskolák, illetve a Katonai Műszaki Doktori Iskola együttműködésében).

Az oktatás mellett az egyetemi meteorológiai kutatás és a katasztrófavédelem között is számos kapcsolódási pont van. Ezek közül hárommal foglalkoztunk. A személyi számítógépeken futtatható időjárási modellel (amelyek katasztrófavédelmi feladatokhoz szolgáltathatnak esettanulmányokat), az ALOHA terjedési modellel (ami alkalmas lehet a napi katasztrófavédelmi tevékenységben a szennyező forrás hatásterületének meghatározására) valamint éghajlati kutatásokkal is. Az ilyen típusú együttműködések a veszélyes üzemek diffúzióklimatológiai vizsgálataiban, vagy a lakosság tájékoztatásában hasznosulhatnak, az éghajlatváltozási és az időjárási szélsőségek elemzése pedig a stratégiai kutatásokban hasznosul.

Bemutattuk a RegCM regionális modellel végzett legújabb számítási eredményeket a Kárpát-medence hőmérséklet- és csapadék viszonyainak várható XXI. századi tendenciáira. A klímaszimulációk alapján hazánk térségében is melegedésre számíthatunk a XXI. század során, mely nem csak az átlaghőmérsékletek emelkedésében jelentkezik, hanem a szélsőségesebb hőmérsékleti értékek gyakoriságnövekedésében, s a különféle extrém indexek jellemző értékeinek módosulásában is. Például a $+2\text{ °C}$ -ot meghaladó pozitív havi hőmérsékleti anomáliák az 1961–1990 referencia időszakhoz képest 2071–2100-ra várhatóan az összes hónap 60–85%-ában fordulnak majd elő. A legnagyobb arányú (akár 80%-ot is meghaladó) relatív gyakoriság jellemzően a nyári hónapokra valószínűsíthető. A hideg extrémumokkal kapcsolatban a melegedés hatására a gyakoriság csökkenésére számíthatunk, például a fagyos időszakok hossza lerövidül a XXI. század végére.

A csapadék mind időben, mind térben változékony éghajlati elem. A szimulációk alapján összességében véve a Kárpát-medence szárazodása valószínűsíthető, melyet például az egymást követő száraz napok éves maximális számának növekedése jelez. Ugyanakkor a század végére a csapadékhullás várhatóan intenzívebbé válik, vagyis a csapadékos napokon egyszerre nagyobb mennyiségű csapadék lehullására számíthatunk. Az 1961–1990 referencia időszakhoz képest jelentősen csapadékosabb hónapok előfordulása a 2021–2050 időszakban főképp télen csökken hazánk szinte teljes területén, a 2071–2100 időszakban viszont ugyanez a nyári hónapokra lesz jellemző. Az átlagoshoz viszonyítva jelentősen szárazabb hónapok nagyobb száma 2071–2100-ban szintén elsősorban nyáron prognosztizálhatók.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat az operatív meteorológiai információk, előrejelzések és kistérségi veszélyjelzések szolgáltatásával vesz részt a katasztrófavédelemben. Az egyetemi tanszékek szerepe más. Oktatási tapasztalataival a katasztrófavédelmi és a meteorológiai ismeretanyag kapcsolatrendszerének feltárásával, a gyakorlat számára hasznosítható kutatási eredményekkel, az operatív alkalmazásokat segítő fejlesztésekkel járulhat hozzá a hazai katasztrófavédelmi munka eredményességéhez. Ezekre mutattunk példákat, tettünk javaslatokat.

Irodalomjegyzék

- 10/2008. (X. 30.) ÖM rendelet a hivatásos katasztrófavédelmi szerveknél, a tűzoltóságoknál, valamint az ez irányú szakágazatban foglalkoztatottak szakmai képzési követelményeiről és szakmai képzéseiről. *Magyar Közlöny* 2008/**154.** szám, 19099. oldaltól
- A globális felmelegedés, 2011: A Katasztrófavédelem aktuális kérdései. *A Magyar Honvédség Műveleti Központ (MH MK) 2010. május 12-én megrendezett „A katasztrófavédelem aktuális kérdései” című konferencia kiadványa, Zrínyi Média Kiadó*, 93–148 oldal.
- A meteorológia oktatása, 2010: *MMT XXXIII. Vándorgyűlése, 2010. augusztus 30–31., Eger.* <http://www.mettars.hu/rendezvenyek/vandorgyulesek/eloadasok/>
- Anda A., 2010: Az agrometeorológiai oktatás helyzete. *Léggör* **55** (4), 154–159.
- Anda A. és Gelencsér A., 2010: Meteorológiai témakörök a Pannon Egyetem környezeti és agrárképzéseiben. *A meteorológia oktatása, MMT XXXIII. Vándorgyűlése, augusztus 30–31. Eger.*
- Balogh, M., Horányi, A., Gyöngyösi, A. Z., André, K., Mile, M., Weidinger, T., Tasnádi P., 2011: The LADIN/CHAPEAU model as a new tool for education and inter-comparison purposes at the Eötvös Loránd University in Budapest. *HIRLAM Newsletter* **58**. (Submitted.)
- Bartholy, J., Matyasovszky, I. and Weidinger, T., 2001: Regional climate change in Hungary: a survey and a stochastic downscaling method. *Időjárás* **105**(1), 1–17.
- Bartholy J. és Mika J., 2005: Az időjárás és éghajlat – cseppben a tenger. *Magyar Tudomány* 2005/7, 789. oldaltól.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó Gy., 2009a: Climate signals of the North Atlantic Oscillation detected in the Carpathian Basin. *Applied Ecology and Environmental Research*, **7**(3), 229–240.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Szabó, P. and Gelybó, Gy., 2009b: A comparison of the observed trends and simulated changes in extreme climate indices in the Carpathian Basin by the end of this century. *International Journal of Global Warming* **1**(1/2/3), 336–355.
- Bartholy J. and Pongracz R. 2010: Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for the 21st century. *Physics and Chemistry of Earth* **35**, 43–51.
- Bartholy J., Pongrácz R. and Torma Cs., 2010: A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. „*Klíma-21*” *Füzetek* **60**, 3–13.
- Bella, Sz. és Kolláth K., 2009: Beszámoló 2008. év éghajlatáról és szélsőséges időjárási eseményeiről a Kormány 277/2005. (XII. 20.) Korm. Rendelete az Országos Meteorológiai Szolgálatról 2. § (1) e) pontja alapján. *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest*, 40 oldal.
- Bleszity J. és Joó B., 2011: Átalakulóban a katasztrófavédelmi képzés. *Védelem Online.* http://vedelem.hu/?pageid=tanulmany_index
- Bognár B., 2009: A Magyar Köztársaság védelmi igazgatási rendszerének lehetséges korszerűsítése. *PhD dolgozat ZMNE.* 129 oldal.
- Borsos J. 2002: A Magyar Honvédség sugárfigyelő jelzőrendszerének kialakulása és fejlődése napjainkig. *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények* 2002/6. 69–81.
- Bottyán Zs., 2010: _Repülésmeteorológiai kutatások a ZMNE Repülésmeteorológiai Laboratóriumában: Numerikus előrejelzési (WRF) és műholdmeteorológiai aspektusok. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* **23**, 81–86.

- Bottyán Zs. és Palik M., 2010: Repülésmeteorológiai oktatás a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen. *A meteorológia oktatása, a Magyar Meteorológiai Társaság XXXIII. Vándorgyűlése, 2010 augusztus 30–31. Eger.*
<http://www.mettars.hu/rendezvenyek/vandorgyulesek/eloadasok/>
- Bozó L., Mészáros E. és Molnár Á., 2006: Levegőkörnyezet. *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 252 oldal.
- Bubbico, R. and Mazzarotta, B., 2008: Accidental release of toxic chemicals: Influence of the main input parameters on consequence calculation, *Journal of Hazardous Materials*, **151**, 394–406.
- Bukovics I., Kiss E. és Papp A., 2004: Klímafelkészülés és katasztrófavédelem 51. oldal.
<http://www.pkkm.org/klima.pdf>
- Bukovics I., 2005: A klímapolitikai döntések katasztrófavédelmi és kockázatelméleti kérdései. *Magyar Tudomány* 2005/7, 842. oldaltól.
- Bukovics I., 2008: Felkészülés a klímaváltozásra – a katasztrófavédelmi kutatás összegzett következtetései. *Felkészülés a klímaváltozásra: környezet - kockázat - társadalom / Katasztrófavédelem összefoglaló tanulmánykötet, Fire-Press Kiadó, Budapest*, 143–146.
- Bukovics I., 2010: Általános katasztrófavédelmi rendszermodell koncepciója. *Klíma 21 füzetek* **61**, 165–185.
- Cseh G., 2005: Kockázatelemzési módszerek a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleseti veszélyek szabályozása területén. *PhD dolgozat (Témavezető: Solymosi J.) ZMNE*, 93 oldal.
- Dinnyés A., 2008: A kockázatok becslésének és a vállalatirányítási rendszerek bevezetésének szerepe a katasztrófák elkerülésében egy közszolgáltató tevékenységében. *PhD Dolgozat, (Témavezető: Kun-Szabó T.) Veszprémi Egyetem*, 221 oldal.
- Dombóvári P., Ranga T., Nényei Á., Bujtás T., Kovács T., Jobbágy V., Vincze Cs. és Molnár F., 2008: Új terjedésszámítási szoftver fejlesztése és bevezetése a Paksi Atomerőműben. *Sugárvédelem* **I**(1), 30–36.
- Drăghici, I.F., Necco, G.V., Riddaway, R.W., Snow, J.T., Billard, C. and Ogallo, L.A., 2001: Guidelines for the education and training of personnel in Meteorology and Hydrology. Volume 1: Meteorology. *Prepared under the guidance of the Executive Council Panel of Experts on Education and Training, Fourth Edition, WMO-No. 258, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva – Switzerland.*
- Földi A., Mészáros M., Sági L., Deme S., Dombóvári P., Szántó A., Tóth K. és Petifi-Tóth K., 2010: Légköri terjedésszámító szoftverek összehasonlítása. *Sugárvédelem* **III**(1), 33–41.
- Földi L., 2008: Környezetbiztonság és katasztrófavédelem. *Katonai műszaki tudományok I.*
http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,38159&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Geresdi I., 2010: A meteorológia oktatása a PTE TTK-n. *MMT XXXIII. Vándorgyűlése, http://www.mettars.hu/rendezvenyek/vandorgyulesek/eloadasok/, 2010. augusztus 30–31. Eger.*
- Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T., Kiss, Á., Bánfalvi, K., 2009: Uncertainties of wind power forecasts for western Transdanubium and for the trade wind region in Brazil from various mesoscale meteorological models. *Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09), Budapest University of Technology and Economics (Edited by Vad, J.), Budapest, 9–12. September 2009, Conference Proceedings Vol. I*, 891–896.
- Hadobács K., 2011: Repülésre veszélyes időjárási helyzetek: a felületi jegesedés becslése és a hozzá tartozó repülőgép-szimulációs környezet kialakítása. *Diplomamunka*

- (témavezető: Bottyán Zs., konzulens Weidinger T.), *ELTE Meteorológiai Tanszék*, 81 oldal.
- Hegymegi I., 2003: Mi a teendő vegyi baleset esetén? Segédlet a súlyos balesetek elleni védekezés lakossági tájékoztató kiadvány elkészítéséhez. *BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság. Felelős kiadó: Tatár Attila, BM Nyomda Kft.*, 45 oldal.
- Hollósi B., 2010: A Kárpát-medence csapadékviszonyainak és aszályhajlamának jövőben várható tendenciái a PRECIS eredmények alapján. *Szakedolgozat (témavezetők: Bartholy J. és Pongrácz R.)*, *ELTE meteorológiai Tanszék*, 53 oldal.
- Holmes, N., Morawska, L., 2006: A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available, *Atmospheric Environment*, 40(30), 5902-5928.
- Hornyacsek J. és Veres V., 2007: Katasztrófák, sebezhetőség, biztonság. *Hadtudomány XVII* 2007/3, 101–113.
- Horváth Á., 2011: Füstoszlop Veszprém felett – A 2011. augusztus 17-i baleset meteorológiai körülményei, *OMSZ*, http://www.met.hu/pages/20110817_veszpremi_tuz/
- Jakala, S.D., 2007: A GIS Enabled Air Dispersion Modeling Tool for Emergency Management. *Volume 9, Papers in Resource Analysis, 20pp. Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press. Winona, MN, USA*
- Kocsis, Zs., Ferenczi, Z., Havasi, Á. and Faragó, I., 2009: Operator splitting in the Lagrangian air pollution transport model FLEXPART, *Időjárás* **113**, 189–202.
- Kozári L. és Simon I., 2008: A globális klímaváltozással összefüggő katasztrófavédelmi szabályozási, vezetésirányítási, szervezési kérdések vizsgálata. *Védelem Online*. http://www.vedelem.hu/index.php?pageid=hirek_reszletek&hirazon=439
- Kovács L., 2011: Az éghajlatváltozás hatásai a globális biztonságra. *A katasztrófavédelem aktuális kérdései” című konferencia kiadványa, Zrínyi Média Kiadó*, 96–111.
- Lagzi I., Mészáros R., Ács F., A.S. Tomlin, Haszpra L. and Turányi T., 2006: Description and evaluation of a coupled Eulerian transport-exchange model: Part I: model development, *Időjárás* **110**(3–4), 349–363.
- Leelőssy Á., 2010: Lokális szennyezőanyag-terjedés modellezése. *BSc szakdolgozat (témavezető: Mészáros R.)*, *ELTE Meteorológiai Tanszék*.
- Leelőssy, Á., Mészáros, R. and Lagzi I., 2011: Short and long term dispersion patterns of radionuclides in the atmosphere around the Fukushima Nuclear Power Plant. Short communication. *Journal of Environmental Radioactivity* (In press).
- Lidstone, J., 1996: International perspectives on teaching about hazards and disasters. *Multilingual Matters*, 140 p.
- Mészáros R., Vincze Cs. and Lagzi I., 2010: Simulation of Accidental Release Using a Coupled Transport (TREX) and Numerical Weather Prediction (ALADIN) model. *Időjárás* 114(1–2), 101–120.
- Mészáros, R., Leelőssy, Á., Vincze, Cs., Szűcs, M., Kovács, T. and Lagzi, I., 2011: Estimation of the dispersion of an accidental release of radionuclides and toxic materials based on weather type classification. *Theor. Appl. Climatol.* (in press).
- Mika J., Pajtókné Tari I., Ütőné Visi J., Dávid Á. és Kajati Gy., 2009: Az EKF Földrajz Tanszékének hozzájárulása a klímaváltozás megjelenítéséhez a köz- és a felsőoktatásban. „*Változó Föld, változó társadalom, változó ismeretszerzés*” Eger, 2009. X. 16.
- Mikkelsen, T., Thykier-Nielsen, S., Astrup, P., Santabarbara, J.M., Sørensen, J.H., Rasmussen, A., Robertson, L., Ullerstig, A., Deme, S., Martens, R., Bartzis, J.G. and Pasler-Sauer, J., 1997: MET-RODOS: A comprehensive atmospheric dispersion module, *Radiation Protection Dosimetry* **73**, 45–56.

- Mikó L., 2007: Veszélyhelyzeti ismeretek oktatása 4–18 évesek számára *Egészségfejlesztés a közoktatási intézményekben című konferenciánk előadásai, 2007. február 28.* <http://www.oefi.hu/eloadas.htm>
- Moriss, R.E. and Zhang, F., 2008: Linking meteorological education to reality – A prototype undergraduate research study of public response to hurricane Rita forecasts. *Bulletin of American Meteorological Society*, April 2008, 497–504.
- Nagy K. és Halász L., 2001: Katasztrófavédelem. *Egyetemi jegyzet ZMNE*, 161 oldal.
- Nagy L., 2002: A tűzoltóság nukleárisbaleset-elhárítási feladatai az Európai Unió csatlakozás várható követelményeinek jegyében. *PhD dolgozat (Témavezető: Solymosi J.)*, ZMNE, 116 oldal.
- NÉS-2008–2025, Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. 2007. évi LX törvény. <http://klima.kvvm.hu/index.php?id=14>
- NOAA and EPA, 2007: NOAA and EPA, ALOHA User's Manual, Environmental Protection Agency (EPA), Seattle, WA, USA (2007). *Office of Response and Restoration of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and Office of Emergency Management of the U.S.*
- Nutter, P.A., Gunderson, and Drennen, C., 2010: Weather education for disaster recovery returning control in a time of personal crisis. *Bulletin of American Meteorological Society, BAMS*, December 2010, 1691–1698.
- Pajtókné Tari I., Utasi Z. és Mika J., 2008: A klímaváltozás szemléltetése a földrajztanításban. *In: IV. Magyar Földrajzi konferencia. Debrecen, 2008. november 14–15*, 170–177.
- Pataky I., 2000: A katasztrófavédelem kiindulópontja egy országos stratégia. *Hadtudomány X*, 2000/4.
- Pátkai, Zs., 2011: Változatos ősz. *Természet Világa*, **142**(2).
- Pongrácz, R. és Bartholy J., 2005: Analysis of drought events occurred in the 20th century based on extreme precipitation indices. *Geophysical Research Abstracts*, **7**. 01179. CD-ROM. *EGU General Assembly 2005. 1607-7962/gra/EGU05-A-01179*
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Szabó, P. and Gelybó, Gy., 2009: A comparison of observed trends and simulated changes in extreme climate indices in the Carpathian basin by the end of this century. *International Journal of Global Warming* **1**, 336–355.
- Potóczki G., 2011: Vannak-e továbbfejlesztési lehetőségek a katasztrófákat megelőző időszak lakosságfelkészítési tevékenységében? *Hadmérnök VI*(2), 2011. június.
- Reynolds, R.M., 1992: ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.0 Theoretical Description. *NOAA Technical Memorandum, Seattle, WA, USA*.
- Rónagy J., 2007: A nukleáris biztonság növelését szolgáló eljárások. *PhD dolgozat (Témavezető: Solymosi J.)*, ZMNE, 119 oldal.
- Quatreville, E., 2011: Beavatkozások támogatása valós idejű terjedési modell alkalmazásával a SAFER Systems. *Ipari Létesítményi Tűzoltóságok 6. Nemzetközi Konferenciája. Danubius Hotel Flamenco, Budapest MOL Nyrt. Dunai Finomító, Százhalombatta, 2011. október 25–26.*
- Shing, Y., 2007 Experiences in integrating WRF model in undergraduate meteorology curriculum. http://ams.confex.com/ams/87ANNUAL/techprogram/paper_117306.htm, *AMS 16th Symposium on Education*.
- Sándor V., 2010: Az OMSZ veszélyjelző tevékenysége, az időjárás riasztások. *A Magyar Honvédség Katasztrófavédelmi Konferenciája A katasztrófavédelem aktuális kérdései Katasztrófavédelmi Konferencia, 2010. május 12.* http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,145185&_dad=portal&_schema=PORTAL

- Salma, I., Borsós, T., Weidinger, T., Aalto, P., Hussein, T., Dal Maso, M. and Kulmala, M., 2011: Production, growth and properties of ultrafine atmospheric aerosol particles in an urban environment. *Atmos. Chem. Phys.* **11**, 1339–1353.
- Solymosi J., 2005: Katasztrófavédelmi szakember-képzés és tudományos képzés a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetemen. *Az oktatás, képzés, továbbképzés szerepe a tűzvédelem és katasztrófaelhárítás hatékonyságában, BM KOK Péceli objektuma, 2005. április 14–15, kiadványkötet.*
- Sriram, G., Krishna Mohan, N. and Gopalasamy, V., 2006: Sensitivity study of Gaussian dispersion models. *Journal of Scientific and Industrial Research* **65**, 321–324.
- Steib, R. and Labancz, K., 2005: Regulatory modeling in Hungary – the AERMOD model Part I. Description and application. *Időjárás* **109**(3) 157–172.
- SWCA, 2010, SWCA Environmental Consultants, Dispersion Modeling of Hydrogen Sulfide at Cimarex Rands Butte Project Using ALOHA. *Rands Butte Gas Development Project Environmental Assessment, Sheridan, Wyoming, USA.*
- Szirmai V., 2010: Az éghajlatváltozás lehetséges térbeli társadalmi hatásai, a magyar társadalom klímatudatossága, sérülékenysége, alkalmazkodása. *Kézirat, MTA Szociológiai Intézet*, 34 oldal.
- Szombati Z. és Földi L., 2008: A Magyar Honvédség katasztrófavédelmi feladatokra kijelölt erői, különös tekintettel az MH 93. Petőfi Sándor Vegyvédelmi Zászlóalj lehetőségeire. *Hadmérnök* **III**(3), 60–75.
- T/3499. számú törvényjavaslat, 2011: a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról. *Előadó: Dr. Pintér Sándor belügyminiszter, Magyar Köztársaság kormánya, 2011. június. (www.parlament.hu/irom39/03499/03499.pdf)*
- Teknős L., 2009: A globális klímaváltozás és a katasztrófavédelem kapcsolata, avagy a katasztrófavédelem reagálása az új kihívásokra Magyarországon. *Hadmérnök* **IV**(2), 80–94.
- Torma, Cs., Bartholy, J., Pongracz, R., Barcza, Z., Coppola, E. and Giorgi F., 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás* **112**, 233–247.
- Tóth P., Simonyi I., Weidinger T., Kalapos T., Tasnádi P., Grosz B., Balázs Zs., Kóbor I., Fogl Á., András K., Kecskés F., Nagyné Kóczán K., Tóth T., Kovács A., Kocsisné Gregus M., Nagyné Dóka N., Szekeres E. és Vargyai A., 2011a: A GLOBE környezeti nevelési program Magyarországon. *Természettudomány Tanítása Korszerűen és vonzóan. Motiváció, tehetséggondozás, tanárképzés, Nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára, Tudományos Konferencia, ELTE TTK, 2011. augusztus 23–25.*
- Tóth, P., Weidinger, T., Kalapos, T., Tasnádi, P., Grosz, B., Balázs, Zs., Kóbor, I., Fogl, Á., András K., Kecskés, F., Nagyné Kóczán, K., Tóth, T., Kovács, A., Kocsisné Gregus, M., Nagyné Dóka, N., Szekeres, E. and Vargyai, A., 2011b: The GLOBE Program in Hungary. *GLOBE Annual partner Meeting, Expanding International Perspectives About Climate, Washington DC, 17–22. July 2011.*
- Tuba Z. és Kovács E., 2011: A katonameteorológus eszközei a repülés meteorológiai biztosításában az MH 86. Szolnok Helikopter Bázison. *Honvédségi Szemle* **65**(4), 21–25.
- Ujj A., 2011: A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem 2011. évi kutatásfejlesztési és innovációs stratégiája. *ZMNE*, 28. és 31. oldalon.
- Veresné Hornyacsek J., 2004: Katasztrófavédelem és közoktatás. *Új pedagógiai szemle*, 114–121.

- Veresné Hornyacsek J., 2005: A lakosság katasztrófavédelmi felkészítésének elméleti és gyakorlati kérdései. *PhD dolgozat (témavezető: Mészáros L.)*, ZMNE, Budapest, 118 oldal.
- Vincze Cs., Lagzi I. és Mészáros, R., 2006: Húsz éve történt a csernobili katasztrófa: baleseti kibocsátás modellezése, *Légtér* **51**(2), 11–14.
- Weidinger T., Bartholy J. és Matyasovszky I., 2000: A globális éghajlatváltozás lokális hatásainak vizsgálata hazánkban. *Földrajzi Közlemények CXXIV.* (XLVIII.), 1–4. szám, 75–92.
- Weidinger, T., Gyöngyösi, A.Z., Kiss, A. and Bánfalvi, K., 2008: Uncertainties of wind power forecasts for Western Transdanubium from mesoscale NCEP/ETA and WRF models. *Geophys. Res. Abstr.* **10**, EGU2008-A-07445.
- Weidinger T. és Tasnádi P., 2010: A dinamikus meteorológia oktatása. *MMT XXXIII. Vándorgyűlése*, <http://www.mettars.hu/rendezvenyek/vandorgyulesek/eloadasok/>, *Eger, 2010. augusztus 30–31.*
- Wendl B., 2009: A WRF modellel készített szélenergia becslések Mosonmagyaróvár térségére. *Diplomamunka, (Témavezető: Gyöngyösi A.Z, konzulens: Weidinger T.)* ELTE Meteorológiai Tanszék, 54 oldal.
- Yamada, T., 2000: Lagrangian Dispersion Model for Non-neutrally Buoyant Plumes, *Journal of Applied Meteorology* **39**, 427–436.
- Zellei G. és Hornyacsek J., 2008: Lakosságtájékoztatás, felkészítés és kríziskommunikáció a globális klímaváltozás okozta veszélyhelyzetekben. *Felkészülés a klímaváltozásra Környezet-Kockázat-Társadalom (Szerkesztette Bukovics I.)*, OKF-KLIMKKT Project Budapest, 11–129.

A dolgozat jellegje: Határréteg.