

# LEVEGŐKÖRNYEZETI VIZSGÁLATOK AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL

Haszpra László, Ferenczi Zita

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1181 Budapest, Gilice tér 39.  
e-mail: haszpra.l@met.hu, ferenczi.z@met.hu

## Bevezetés

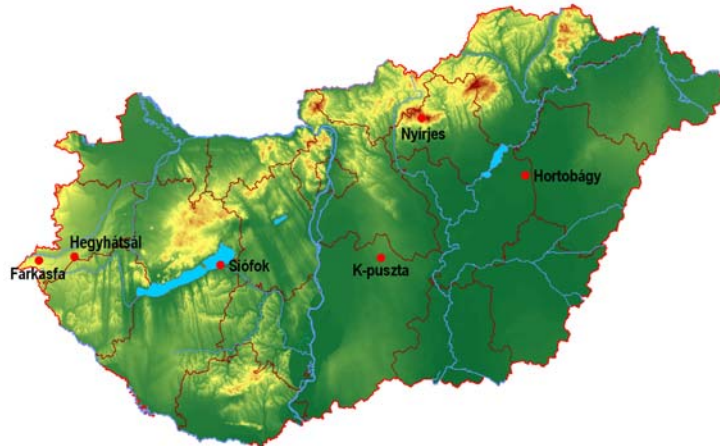
A légkör számos gáz és benne finoman eloszló mikroszkopikus méretű szilárd vagy cseppfolyós részecske keveréke, együttes rendszere. Összetétele meghatározza a benne lejátszódó fizikai és kémiai folyamatokat. A légkörön belüli energia-eloszlásra, a kondenzációs folyamatokra gyakorolt hatás döntő jelentőségű a bolygó éghajlata szempontjából. A légkör állandó kölcsönhatásban van a többi szférával (bioszféra – benne az ember is, hidroszféra, pedoszféra stb.), kihat azok állapotára, miközben nyomanyagok kibocsátásával azok is befolyásolják a légkör összetételét. Az emberi tevékenységnek a légkör összetételére gyakorolt hatása az ipari forradalom kibontakozása óta jól megfigyelhető, és mára meghatározóvá vált. Környezetünk állapota, létfeltételeink szorosan kapcsolódnak a légkör fizikai, kémiai tulajdonságaihoz, ezért a levegőkörnyezet vizsgálata a légkörtudomány fontos része. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ), illetve jogelődjénél mintegy fél évszázada folynak levegőkémiai mérések, levegőkörnyezeti kutatások. Az alábbiakban a jelenleg folyó tevékenységeket mutatjuk be röviden.

## A levegő háttérszennyezettségének mérése

Az emberi tevékenység során a légkörbe kerülő szennyezőanyagok fizikai és kémiai tulajdonságaiktól függő ideig maradnak a levegőben. A hosszú tartózkodási idejű anyagok akár a bolygó teljes légkörében is elkeveredhetnek. A szennyező forrásoktól távoli területek levegőszennyezettségét háttér levegőszennyezettségnek nevezzük. Erre rakódik rá a közvetlen szennyező területek (városok, ipartelepek, nagyforgalmú utak stb.) szennyezése. A háttérszennyezettség regionális-globális skálán fejti ki hatását, így számottevő befolyást gyakorolhat a bioszférára, az éghajlatra. Az Országos Meteorológiai Szolgálat jelenleg öt háttérlevegőszennyezettség-mérő állomást tart fenn az ország lakott helyektől, forgalmas utaktól távoli pontján: Farkasfa, Hegyhátsál, Hortobágy, K-pusztá, Nyírjes, Siófok (1. ábra). Az állomások mérési programja nem teljesen azonos. Hegyhátsál az igen hosszú légköri tartózkodási idejű, és ezért térben kevésbé változékony üvegházhatású gázokra fókuszál, míg a többi a rövidebb tartózkodási idejű, térben változékonyabb, és ezért sűrűbb megfigyelő-hálózatot igénylő, regionális szennyezők (savasodást és eutrofizációt okozó anyagok, troposzférikus ózon, aeroszol részecskék stb.) mennyiségét méri.

A hegyhátsáli üvegházgáz megfigyelő állomás 1993-ban magyar-amerikai összefogásban jött létre, és azóta is számos nemzetközi mérési programban vesz részt. Hegyhátsálon az Antenna Hungária Rt. szívésségéből az itt lévő TV-adótornyot műszerezhattuk fel. A tornyon 115 m-es magasságig történnek mérések, levegőmintavételek. Így sokkal nagyobb területi reprezentativitású adatokhoz juthatunk, mintha a

talaj közelében mérnénk. Hegyhátsálon folyamatosan mérjük a három legfontosabb üvegházhatású gáz, a szén-dioxid, a metán és a dinitrogén-oxid mennyiségét.



1. ábra: Az OMSZ által fenntartott háttérlevegőszennyezettség-mérő állomások elhelyezkedése

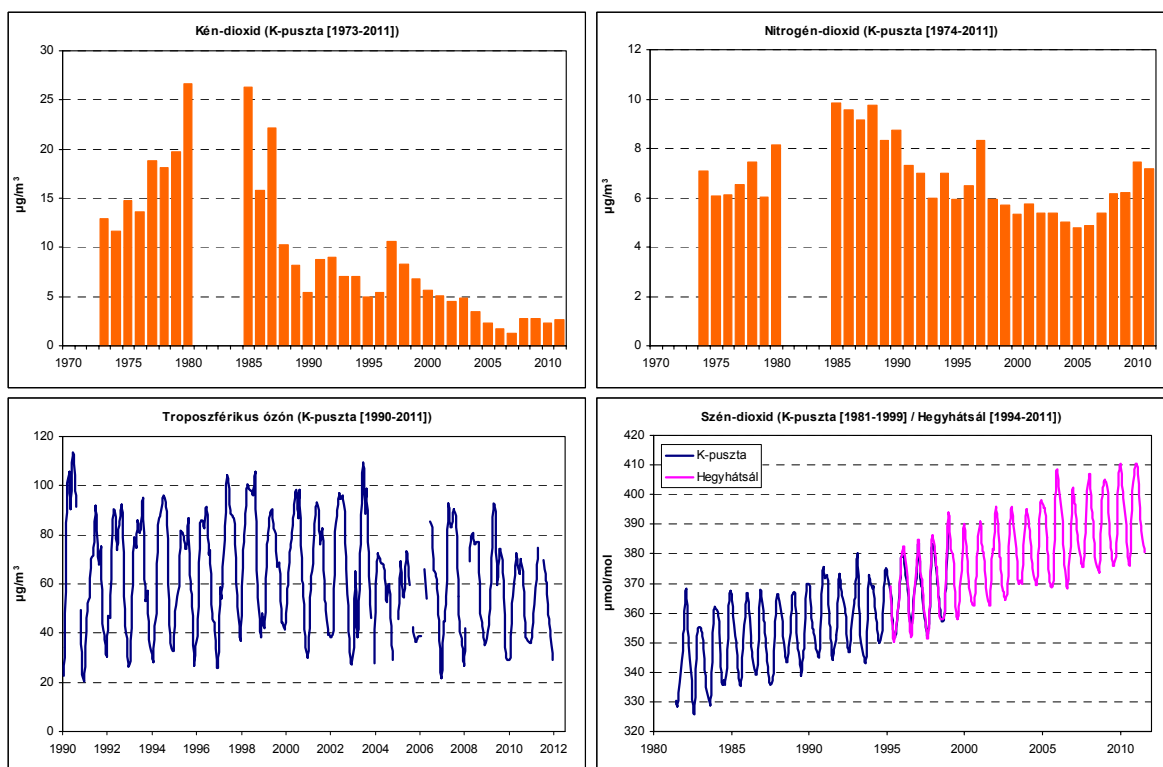
Mérjük az ugyancsak üvegházhatású kén-hexafluorid mennyiségét is, ami – lévén kizárólagosan emberi eredetű – jól jelzi a szennyezettebb légtömegeket. Az emberi hatás becslésére szolgálnak a radiokarbon ( $^{14}\text{C}$ ) mérések is. A szénnek ez a légkörben a kozmikus sugárzás hatására lényegében egyenletesen keletkező, gyorsan bomló radioaktív izotópja az évmilliók óta a föld mélyében lévő fosszilis tüzelőanyagokból teljesen hiányzik. A fosszilis tüzelőanyagok felhasználása során szén-dioxid formájában a légkörbe kerülő szén így csökkenti a radiokarbon relatív mennyiségét a légkörben. A csökkenésből pedig következtetni lehet az emberi eredetű, fosszilis tüzelőanyagokból származó szén-dioxid kibocsátás mennyiségére. Az állomás különlegessége, hogy a műszerpark lehetővé teszi a bioszféra és a légkör közötti szén-dioxid áramlás közvetlen mérését, így lehetőség van arra, hogy nyomon kövessük, milyen hatással van az éghajlat ingadozása, változása a mérések által reprezentált ökológiai rendszerek szén-dioxid felvételére, illetve leadására.

Farkasfán, K-pusztán és Nyírjesen a regionálisan legfontosabb, a környezetre kockázatot jelentő szennyezőanyagokat mérjük. Mérjük a felszín közeli (2–10 m) levegő kén-dioxid, nitrogén-dioxid, ózon, ammónia és salétromsav-gőz koncentrációját, az aeroszol részecskék összességét és fontosabb alkotóinak mennyiségét (szulfát, nitrát, ammónium, kálium, kalcium, magnézium, ólom, kadmium), a csapadékvíz kémiai összetételét (szulfát, nitrát, ammónium, klorid, nátrium, kálium, kalcium, magnézium, ólom, kadmium) és egyéb jellemzőit (savasság, elektromos vezetőképesség). Hortobágyon jelenleg csak a levegő ózon-koncentrációjának mérése folyik, míg Siófokon csak csapadék-mintavétel történik.

A mérések egy részét automatikus gázelemzők végzik a mérőállomásokon (*in situ* mérések). Ezeknek a méréseknek az eredményei valós időben rendelkezésre állnak különböző internetes portálokon (pl. <http://www.nimbus.elte.hu/hhs>, <http://www.kvvm.hu/olm>). A vizsgált komponensek többsége azonban műszaki vagy gazdaságossági okokból csak mintavételezéssel és ezt követő laboratóriumi analízissel mérhető. A mérőállomásokról a csapadék, az aeroszol és az anyag-specifikus módszerekkel vett levegőminták az OMSZ budapesti laboratóriumába kerülnek, ahol korszerű analitikai módszerekkel elemzik őket. Ezek a légkör állapotát jelző adatok így néhány hetes késéssel állnak a szakemberek rendelkezésére.

Az OMSZ háttérlevegőszennyezettség-mérési tevékenységében kiemelt szerepe van a hegyhátsági és a K-pusztai állomásnak. Ezek az állomások szolgáltatják a Magyarországot jellemző adatokat a Meteorológiai Világszervezetnek, illetve a környezetvédelmi célú Európai Megfigyelési és Értékelési Programnak (EMEP). A laboratóriummal együtt rendszeresen részt vesznek a nemzetközi mérés-összehasonlításokban, amelyekre támaszkodva kimondható, hogy a méréseket ugyanolyan skálán, ugyanolyan pontossággal végezzük, mint a világ bármely más pontján, azaz a mérések globális szinten összevethetők, belőlük általános érvényű következtetések vonhatók le.

A mérési eredmények havonta a Levegőkörnyezeti Tájékoztató című kiadványban jelennek meg, amely az OMSZ internetes portálján is megtekinthető ([http://www.met.hu/levegokornyezet/hatterszennyezettség/meresi\\_adatok/](http://www.met.hu/levegokornyezet/hatterszennyezettség/meresi_adatok/)). A 2. ábrán néhány fontosabb szennyezőanyag légköri mennyiségének változása látható a mérések kezdetétől napjainkig a K-pusztai, illetve a hegyhátsági mérések alapján.

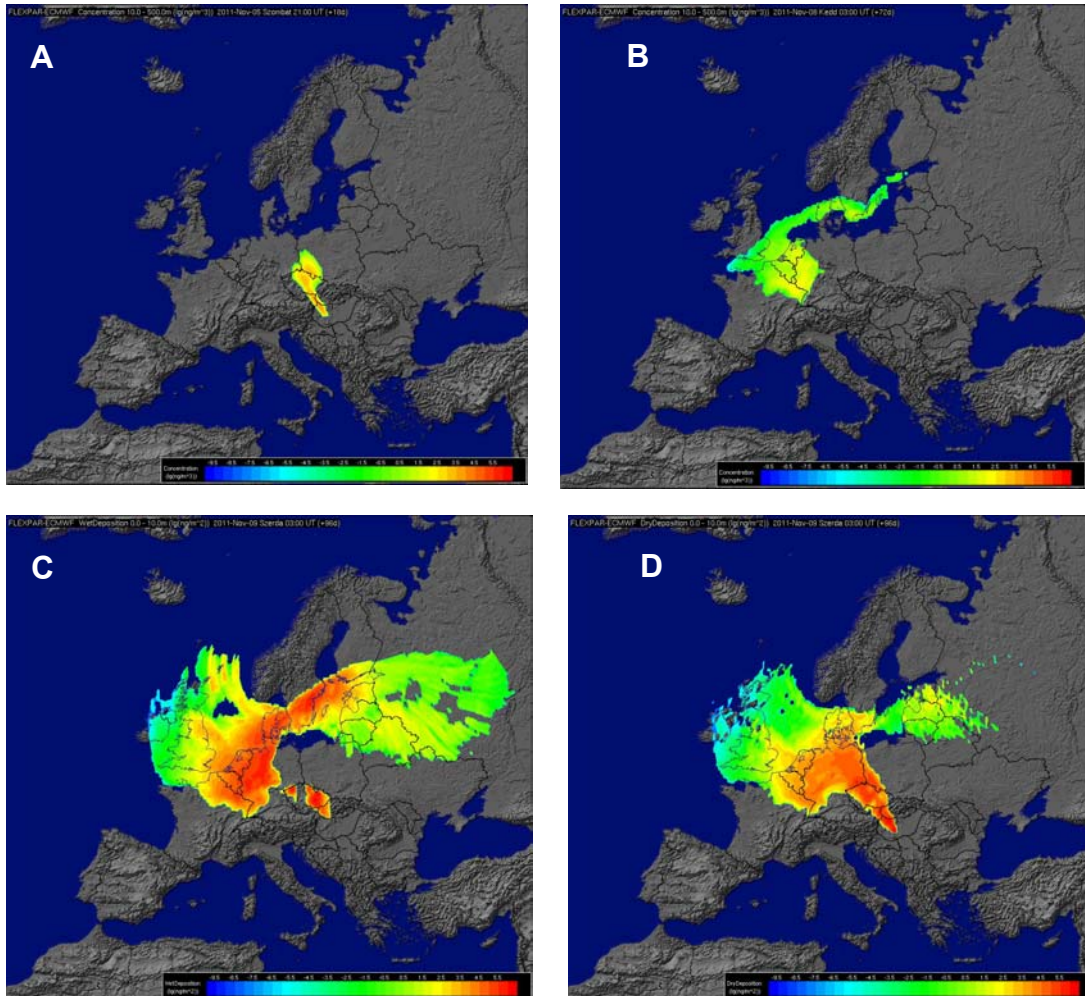


2. ábra: A kén-dioxid, a nitrogén-dioxid, a troposzférikus (felszínközeli) ózón és a szén-dioxid légköri mennyiségének változása K-pusztán, illetve Hegyhátsálon a mérések kezdetétől napjainkig

## Matematikai modellezés

Sem anyagi, sem technikai lehetőség nincs arra, hogy a tér minden pontjában méréseket végezzünk. Matematikai módszerekkel azonban kiszámolható a szennyezőanyagok folytonos térbeli koncentráció-eloszlása és ennek időbeli alakulása, ha ismerjük a légköri áramlásokat és az egyes szennyezőanyagok tulajdonságait, a fontosabb szennyezőforrások elhelyezkedését, továbbá ezek hozamát. A szennyezőanyagok terjedését és átalakulásait leíró matematikai modellek emellett lehetőséget adnak feltételezett kibocsátások várható következményeinek felmérésére (hatástanulmányok), illetve – a meteorológiai előrejelzési modellekkel kombinálva – a légszennyezettség várható alakulásának becslésére. A

különböző feladatokra más és más modellt célszerű használni, részben a számításigény ésszerű korlátok között tartása érdekében, részben pedig azért, mert a különböző folyamatok relatív jelentősége az alkalmazás céljától, tér- és időbeli skálájától függően változik. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál jelenleg egy regionális és két lokális térskálájú meteorológiai-kémiai matematikai modellt használunk.



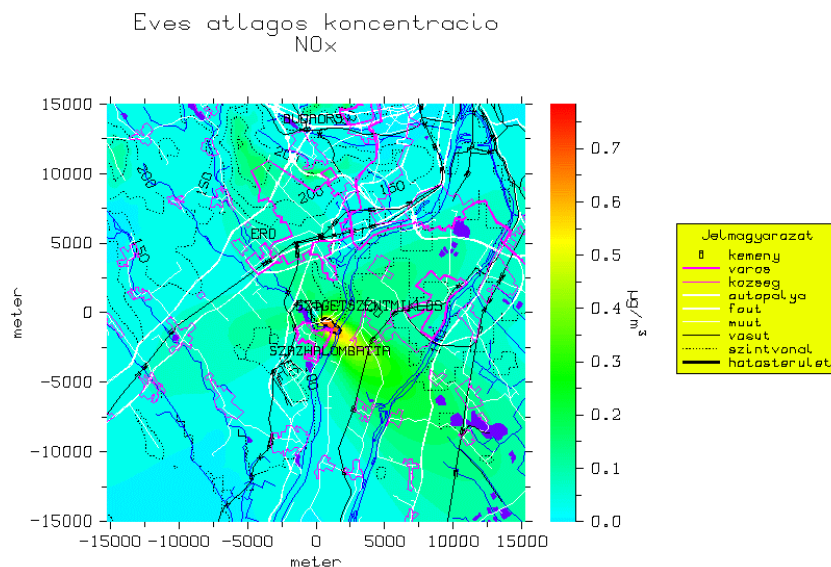
3. ábra: Koncentráció-eloszlás a 10–500 m-es légrétegben 18 órával (A) és 72 órával (B) a feltételezett kibocsátás után. A feltételezett kibocsátást követő 96 óra során nedves (C) és száraz (D) ülepedéssel a felszínre került anyagmennyiség földrajzi eloszlása

A FLEXPART modellt (<http://transport.nilu.no/flexpart/>) a 90-es évek végén kezdték fejleszteni a légszennyező anyagok hosszú- és középtávú terjedésének számítására. Az advekción kívül a modell figyelembe veszi a diffúziót, a száraz és nedves ülepedést, továbbá az esetleges radioaktív bomlást, de nem kezeli a kémiai átalakulásokat. A modell mind ún. forward, mind ún. backward módban futtatható. Az első esetben a kibocsátás utáni terjedést írjuk le, míg a második esetben visszafelé követjük a légáramlást. Utóbbi esetben megkaphatjuk az észlelt szennyezőanyag feltételezhető forrását. A modell egyaránt használható operatíván és különböző eseti kutatásokhoz, vizsgálatokhoz is. Az OMSZ-nél operatíván használt változat a rendelkezésre álló meteorológiai adatok miatt csak forward módban használható és csak a pontforrások kibocsátását kezeli. A modell alkalmas ipari (pl. nukleáris) balesetek vagy vulkánkitörések esetén a levegőbe kerülő szennyezőanyagok

terjedésének, eloszlásának előrejelzésére. A 3. ábra egy példaként feltételezett magyarországi szennyezőanyag-kibocsátás eloszlását és kiülepedését mutatja 2011. november 5–9. közötti meteorológiai viszonyok mellett.

Az OMSZ által jelenleg lokális skálájú szennyezőanyag-terjedés modellezésére használt egyik modell az amerikai fejlesztésű AERMOD: ([http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion\\_prefrec.htm#aermod](http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_prefrec.htm#aermod)).

Az AERMOD szabályozás-orientált modell, amely elsősorban az ipari forrásokból történő szennyezőanyag-kibocsátás hosszútávú hatásainak vizsgálatára alkalmas. Segítségével értékelni lehet, hogy egy már működő, illetve egy még csak tervezett szennyezőforrás hogyan befolyásolja, illetve befolyásolná környezete levegőminőségét. A modell előnye a korábbi időkben használt modellel szemben, hogy képes kezelni a domborzat áramlás-módosító szerepét is. A modellt az OMSZ-nél elsősorban ipari források szennyezőanyag kibocsátásának modellezésére használják. A jelenleg érvényes szabályozásnak megfelelően a modell segítségével az éves átlagos szennyezőanyag-koncentrációt, a napi maximális koncentrációt és az 1 órás maximális koncentrációt határozzuk meg. Ezek alapján, a hatályos jogszabályi elvárással összhangban, meghatározásra kerül a létesítmény hatás-területe is. A 4. ábrán az AERMOD modellel Százhalombatta térségére számított nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ) koncentráció évi átlagának területi eloszlását mutatjuk be.



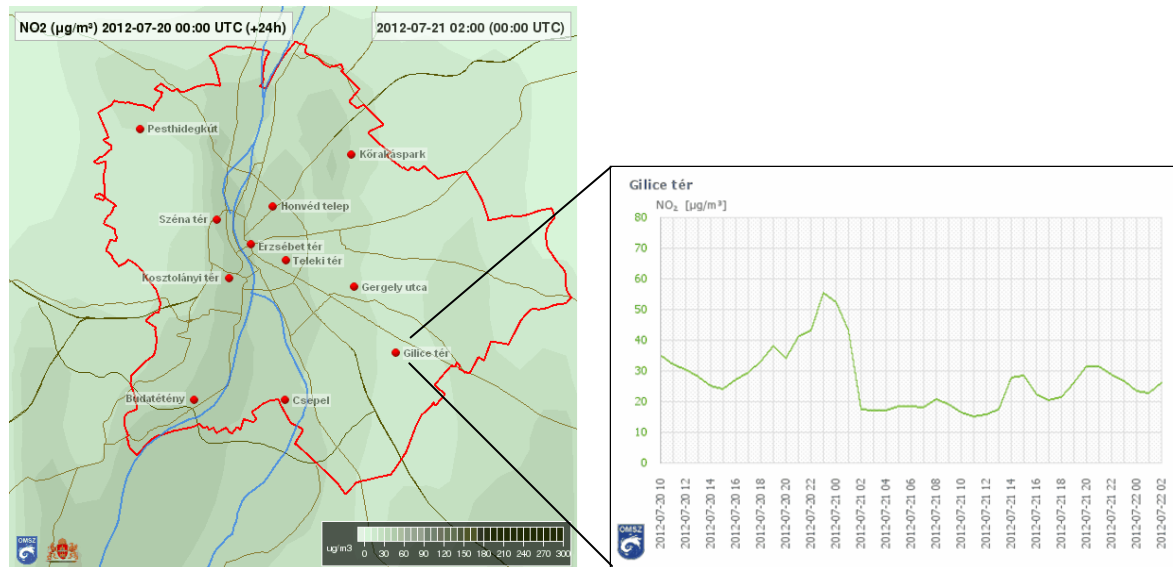
4. ábra: Az AERMOD modellel számolt éves átlagos  $\text{NO}_x$  koncentráció eloszlás Százhalombatta térségében

Az AERMOD az alapja annak a modell-rendszernek (EDMS) is, amelynek napi rendszerességgel történő automatikus futtatása segítségével egy napos levegőminőségi előrejelzések készülnek a budapesti Liszt Ferenc repülőtér térségére. A repülőtér környezetvédelmi szakemberei a napi adatokból számolt éves átlagok alapján értékelik a repülőtér környezetre gyakorolt hatását.

Többéves fejlesztőmunka eredménye az a levegőminőségi előrejelző modellrendszer, amellyel Budapest területére 2 napra előrejelezhető a légszennyező anyagok koncentrációjának várható alakulása (5. ábra). Ezek az előrejelzések adhatnak alapot a különböző riasztási fokozatok elrendelésére, illetve visszavonására. A modellrendszer alapját a CHIMERE levegőkémiai transzport modell képezi. A légkörben zajló kémiai átalakulá-



sokat a modell közel 80 anyag több mint 300 kémiai reakcióján keresztül veszi figyelembe. A modell futtatásához szükséges meteorológiai bemenő adatokat egy finom felbontású numerikus előrejelző modell szolgáltatja (WRF, illetve AROME), míg az ugyancsak meghatározó szennyezőanyag-kibocsátási adatbázis az egyedi pontforrások hozamán, a becsült lakossági kibocsátáson, valamint a főváros területén még 2004-ben végzett forgalom-számlálási adatokon alapul. A modellrendszer 1 órás időbeli és 2,5 km-es térbeli felbontással számolja ki a várható PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> és O<sub>3</sub> koncentráció értékeket a főváros területére. A naponta frissülő szennyezőanyag specifikus eredmények az OMSZ internetes portálján megtekinthetők: [http://www.met.hu/levegokornyezet/varosi\\_legszennyezettseg/elorejelzes/tajkoztato/](http://www.met.hu/levegokornyezet/varosi_legszennyezettseg/elorejelzes/tajkoztato/).



5. ábra: 24 órás előrejelzés a nitrogén-dioxid koncentráció várható budapesti területi eloszlására (balra) és a nitrogén-dioxid koncentráció várható időbeli menete a Gilice téri mérőállomáson (jobbra)