

Légszennyező anyagok terjedésének modellezése a Sajó völgyében

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Suga Réka

Témavezető:

Mészáros Róbert

Leelőssy Ádám

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Konzulens:

Szentpéteri Sándor

BorsodChem Zrt.

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2015

Tartalomjegyzék

| | |
|--|----|
| 1. Bevezetés..... | 3 |
| 2. A légszennyezettség modellezésének története..... | 4 |
| 2.1. A légszennyezettségi modellek | 6 |
| 2.2. A Gauss modellek..... | 11 |
| 3. Felhasznált adatok és modellek..... | 14 |
| 3.1. Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer..... | 14 |
| 3.2. Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat | 15 |
| 3.3. A GFS meteorológiai modell | 17 |
| 3.4. BorsodChem és elhelyezkedése | 17 |
| 4. Eredmények..... | 19 |
| 5. Összefoglalás..... | 27 |
| Köszönetnyilvánítás | 28 |
| Irodalomjegyzék..... | 29 |

1. Bevezetés

A légszennyező anyagok környezetre gyakorolt hatásai igen nagymértékben szerepet játszanak az emberek életében, hiszen súlyos egészségügyi problémákat okozhatnak. Magyarországon több kiemelt terület is van, mely e szempontból különösen veszélyes. E térségek közül Kazincbarcikát és vonzáskörzetét vizsgáltuk a BorsodChem vegyipari üzem által kibocsátott légszennyezők terjedésének szimulálása során.

A szennyezőanyagok térbeli eloszlásának modellezésére egy egyszerű Gauss- típusú modellt használtunk. A modellben a kibocsátó forrást pontszerűnek tekinthettük az ipari parkon belül, a kibocsátást folytonosnak és időben állandónak vettük a rendelkezésre álló emissziós adatbázis alapján, a kémiai átalakulásokat pedig figyelmen kívül hagytuk.

Munkánk során az OLM (Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat) és OKIR (Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer) adatai alapján a kibocsátott anyagok terjedését vizsgáltuk Kazincbarcika környezetében, illetve a Sajó völgyében. A modellezett értékeket a Kazincbarcikán és néhány környező településen mért légszennyezettségi adatokkal vetettük össze. A szimulációhoz szükséges meteorológiai háttéradatokat a GFS (Global Forecasting System) globális modelltől nyertük.

Kutatásaink alapvető célja egy pontforrásból (BorsodChem, Kazincbarcika) származó folyamatos szennyezőanyag kibocsátás által okozott környezeti terhelés feltérképezése, valamint az emisszió hozzájárulásának kimutatása a mért immisszió értékekben.

2. A légszennyezettség modellezésének története

Gyorsan fejlődő társadalmunkban az ipar és a mezőgazdaság igen nagy befolyással van légkörünk állapotára. Egyre nagyobb mértéket ölt a káros-anyag kibocsátás, az erdőirtás, és az egyéb környezeti problémák. A Föld drámaian növekvő, és mára több mint 7 milliárd lakosának (IPCC, 2007) a levegő minőségére gyakorolt negatív hatását a természet nem képes kompenzálni. Számos, káros légszennyező anyag koncentrációja folyamatosan növekedett az elmúlt évek során, a nemzetközi egyezmények és mozgalmak ellenére.

A légszennyezés kezdetét az első tűzgyújtás jelentette. Hippokratész görög orvos elsőként mutatott rá a levegő minősége és az emberi egészség közötti összefüggésre, hiszen a füst és a bűz már az ókorban is problémát okozott a nagyobb városokban. Ennek hatásait még ma is láthatjuk a fennmaradt városokban, például Rómában (*Brimblecombe*, 1999).

A középkorban a megnövekvő építkezések miatt rendkívül nagy volt az igény a különböző építőanyagokra, tehát a mészre is. Feljegyzések¹ alapján Londonban a legjelentősebb légszennyezés többek között a mészégetők miatt alakult ki, ahol kezdetben fát majd kőszénen használtak tüzelőanyagként. A faégetés hatására nitrogén-monoxid (NO), szén-dioxid (CO₂), szerves gőzök és füst (aeroszol részecskék) kerültek a légkörbe, míg a kőszén égetése jelentős kén-dioxid (SO₂) mennyiséggel járult hozzá a légszennyezéshez.

A gőzgép feltalálásával, ezzel az energiaipar átformálásával, a légszennyeződés mértéke tovább nőtt, ezért az első komoly ember okozta légszennyezésről az angol ipari forradalom kapcsán beszélhetünk, az 1850-es évektől kezdve. A lakosság döntő többsége a városokban élt, ahol a légkör szennyezettsége miatt kevesebb napfény jutott el a felszínig, ezzel vitaminhiányt idézett elő a szervezetben, mely az angolkór kialakulásához vezetett. Ez felhívta a lakosság figyelmét az egyes szennyezőanyagok kártékony hatására.

A XX. században hatalmas méreteket öltött a fosszilis tüzelőanyagok, a szén, majd az olaj és a földgáz kitermelése és felhasználása. A vegyipar egyre nagyobb mennyiségben állítja elő a műanyagokat, műtrágyákat, gyom- és rovarirtó szereket. A közlekedésnek köszönhetően új szennyezőanyag forrás jelent meg (belsőégésű motorok emissziója), így a városokban fokozatosan növekedett a szén-monoxid (CO), a nitrogén-oxidok (NO_x) és a szerves anyagok koncentrációja.

¹ History of the Air Pollution Problem, 2004: <http://admin.pophealth.wisc.edu/marty/phs502/2>

A század elején elsősorban a szóda (Na_2CO_3) előállítása tartozott a legfontosabb szennyező források közé (*Jacobson, 2002*). A szóda számtalan termék alapanyagaként szolgált (pl. szappan, papír, üveg, festék stb.), előállítása során pedig sok légszennyező anyag keletkezett, mint például a korom, kénsav, salétromsav, sósav.

Feljegyzések alapján megállapítható, hogy speciális meteorológiai helyzetekben, az energiatermelés és a szódagyártás miatt alakultak ki a huszadik század elején a legnagyobb légszennyeződési esetek. Ezek az események a hatásaik miatt igényt teremtettek a szennyezőanyagok terjedésének pontos modellezésére. A XX. század legismertebb légszennyezési eseményei között tartják az alábbi katasztrófákat².

1930. december, Belgium, Meuse völgye, ahol a hőmérsékleti inverzió miatt feldúsuló kén-dioxid 63 ember életét követelte.

1943. július, USA, Los Angeles, kis szélesség miatti szmog helyzet.

1948. október, USA, Donora, ahol 20 halálesetet okozott az inverzió miatt a kén-dioxid.

1950. Mexikó, Poza Rica-ban kiszabaduló kén-hidrogén és az inverzió következtében 22-en meghaltak, valamint 320-an megsérültek.

1952. december, Anglia, London, ahol az inverzió hatására feldúsult a szmog és a kén-dioxid, ezzel 3000 halálesetet okozva.

1962. december, USA, New York, szintén inverzió volt a kiváltó oka a kén-dioxid okozta 269 halottnak.

1976. július, Olaszország, a Sevesoban történt baleset hatására 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-dioxin szabadult ki.

1984. december, India, Bhopal, ahol egy baleset következtében metil-izocianát szabadult ki, több mint 2000 ember halálát okozva ezzel, valamint számtalan sérültet hagyva hátra.

1986. április, Ukrajna, Csernobil, az atomerőmű baleset (*Bozó et al., 2006*) során a légkörbe jutó radioaktív szennyezőanyag hatására 31 azonnali, kb. 5000 későbbi haláleset, 30 000 megbetegedés, valamint 10 000 km^2 -nyi terület fertőződött meg.

Érdemes azonban a 2011-es fukushimai (Japán) katasztrófát is megemlíteni (*Aszódi, 2012*), melyet egy szökőár által megrongált atomerőmű okozott; ez esetben nem beszélhetünk emberáldozatokról, mivel a hatásának és a megfelelő szerveknek

² History of Air Pollution (2004): http://www.ace.mmu.ac.uk/ae/Air_Quality/Older/History.html

köszönhetően a kitelepítések azonnal megkezdődtek, valamint a javítási és helyreállítási munkák az atomerőmű telephelyén hatékonyan folytak.

Fontos megemlíteni továbbá, hogy bizonyos esetekben a légszennyezés hatása nem csak lokálisan érzékelhető. A nagy távolságú transzport folyamatok révén egy adott forrásból származó légszennyező anyag akár országhatárokon is áterjedhet. A Csernobilban, 1986-ban történt atomerőmű baleset súlyos veszélyt jelentett környező országokra is (Bozó *et al.*, 2006) és előmozdította a nagyobb skálájú terjedési modellek fejlődését.

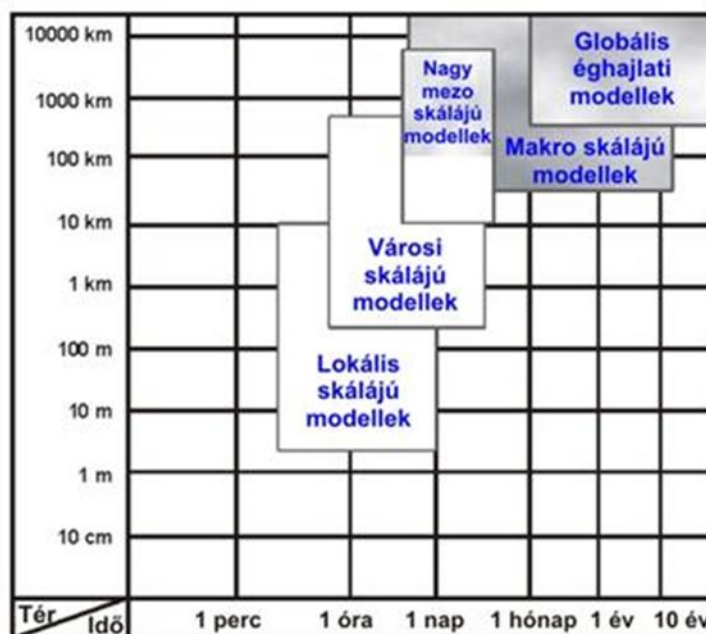
A súlyos légszennyezési epizódok főleg a nagyvárosok területét sújtották, mint a fentiekből is látható. Az események zöme az úgynevezett inverziós vagy izotermás légköri rétegződés miatt jött létre. Ezek gátolják a levegő vertikális keveredését, így a szennyezőanyagok feldúsulhatnak a felszín közeli légrétegben. A felhalmozódást domborzati tényezők is előidézhetik. Erre jó példa a Meuse völgyében történt eset 1930-ban, ahol a légcserét gyengítette a domborzat.

A légszennyezettségi problémák, valamint a levegő minőségének előrejelzése az utóbbi évtizedekben növekvő jelentőséggel bír a meteorológiai előrejelzések között. Az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization, WHO) adatai alapján (OECD, 2014) 2010-ben 3,4 millió ember halt meg a légszennyezés egészségügyi hatásai következtében, valamint jelentős anyagi károk keletkeztek. A légszennyezés modellezése, a különböző forrásokból a légkörbe kerülő szennyezőanyagok hatásainak vizsgálata az élet- és vagyonvédelem szempontjából egyaránt kiemelt fontosságú téma. E vizsgálatokhoz, a levegőminőség feltérképezéséhez és minél pontosabb előrejelzéséhez a különböző skálájú és szemléletű levegőkémiai modellek folyamatos fejlesztésére van szükség.

2.1. A légszennyezettségi modellek

Az emberiség az 1960-as években észlelte, hogy bizonyos légszennyezőanyagok nem csak a forrásaik közelében, hanem akár azok több száz kilométeres távolságában is kifejtik hatásukat. Így az emisszió és a környezeti hatások szabályozása csak nemzetközi kereteken belül képzelhető el. A kisebb területű országok ilyen tekintetben védtelenebbek, hiszen a nagy távolságú szennyezőanyag-terjedés a levegőminőség egyik meghatározó momentuma.

Az egyes kibocsátási forrásokból (Mészáros et al., 2013) a légkörbe kerülő szennyezőanyagok terjedését, hígulását, kémiai átalakulásait és a kialakuló szennyezőanyag koncentráció mezők tér- és időbeli eloszlását különböző skálájú és szemléletű modellek segítségével tudjuk becsülni. E modellek tér- és időbeli felbontás alapján történő csoportosítását az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A légszennyezettségi modellek tér és időbeli felbontása Moussiopoulos et al. (2003) alapján

A városi területeken (Mészáros et al., 2013) megkülönböztetünk lokális skálájú modelleket, amelyeknek modellezési léptékét az utcák méretei határozzák meg. E modellek figyelembe veszik az épületek, tereptárgyak áramlásmódosító hatását is. Lokális skálájúak még a városrészekre, vagy egy kibocsátási forrás szűkebb környezetére kiterjedő modellek is, egészen 10 km × 10 km-es tartományig. Az ezen a méretskálán modellezett jelenségek élettartama néhány perctől 1 nap nagyságrendig tarthat.

A városi és más nagyobb skálájú modellek nem foglalkoznak az épületek áramlásmódosító hatásának a leírásával, a felszín által generált mechanikus turbulenciát az érdekes magasság alkalmazásával a turbulens átvitel leírásánál veszik figyelembe. A városi modellek az adott feladattól függően széles tér- és időskálán mozognak attól

függően, hogy csak egy-egy város áramlási rendszerét, vagy a város és vidék közötti kölcsönhatásokat is figyelembe veszik.

A városi skálájú modellek néhány 10 km-es karakterisztikus horizontális mérettől több száz kilométeres mérettartományig terjedhetnek. Egy tipikus európai városi régiót figyelembe véve – előrejelzési céllal – akár 500 km × 500 km-es térbeli kiterjedésűek is lehetnek a beágyazott levegőkörnyezeti modellek, míg az előrejelzési időszak (időskála) elérheti a néhány napot is. Ezen modellek gyakran képesek olyan jelenségek leírására is, amelyek élettartama néhányszor tíz perces, horizontális mérete pedig száz méteres, vagy kilométeres nagyságrendű.

A szinoptikus skálájú modellek vizsgálati területei lefedhetik például az atlanti-európai térséget (5000 km × 5000 km), míg a makro-skálájú modellek meghaladják az 5000 km × 5000 km-es mérettartományt.

A légkör globális léptékű szennyeződését a hosszú tartózkodási idejű nyomgázok (pl. CO₂, CH₄, N₂O, freonok) okozzák. Hosszú a tartózkodási idejük a lassan lebomló szerves anyagoknak is (pl. klórozott szénhidrogének). Ezek a gázok a hosszú tartózkodási idő miatt elérhetik a sztratoszférát is, ahol a dinitrogén-oxid- és freonmolekulák fotokémiai reakciók során elbomlanak, és szabad gyökök keletkeznek, melyek a sztratoszférikus ózon bomlását segítik elő. E folyamatok leírásához - melyek alább találhatóak - globális skálájú modellek szükségesek.

- nyomanyagok koncentrációjának globális eloszlása a troposzférában és a sztratoszférában,
- a természetes források és nyelők szerepe a globális koncentráció-eloszlás szabályozásában,
- nyomanyagok légköri össztömegének és átlagos tartózkodási idejének becslése,
- a légköri dinamikai folyamatok hozzájárulása a nyomanyagok tér- és időbeli eloszlásának kialakításához,
- emissziós forgatókönyvek hogyan módosítják a vizsgált nyomanyagok globális eloszlását, és ez milyen hatással lehet az éghajlatváltozásra.

Ha a légszennyező modelleket az általuk használt számítási eljárások alapján osztályozzuk, akkor négy kategóriát különböztethetünk meg:

1. statisztikai analízis,
2. Gaussi- modell
3. Lagrange-típusú modell
4. Euler-féle

A számítások során azonban leggyakrabban Euler-féle közelítést használnak a szennyezettség transzport szimulálására. Gyakori eset, hogy egyes modellek több kategóriába sorolhatók³, mivel egyszerre több típusú számítási módszert alkalmaznak (*Daly and Zannetti, 2007; Weidinger et al., 2010; Baklanov et al., 2011*).

A statisztikai modellek a korábbi mérések statisztikai elemzésén alapulnak, azt feltételezve, hogy az adatsorok homogének. A létrehozott statisztikai összefüggések ismeretében valamint néhány paraméter felhasználásával becslik a várható légszennyezőanyag koncentrációját. E modelltípus hátránya azonban, hogy nem képes időben változó folyamatokat nyomon követni, így egy adott időintervallumon belül vizsgált szennyezőanyag egy területen belüli eloszlásának a változását nem tudja kimutatni. Ezen felül a valós meteorológia helyzet hatását sem tudja figyelembe venni, tehát kritikus helyzeteknél nem segíti döntést. Előnye azonban, hogy gyors és egyszerű. Ilyen statisztikai modell például a CAR modell (*Baranka et al., 2013*).

A Gaussi-, Lagrange-típusú, valamint az Euler-féle modellek a dinamikus modellesoportba tartoznak (*Mészáros et al., 2014*). Kezdetben elterjedten alkalmazták az egyszerű Gauss modelleket, amelyek néhány kilométertől néhány tíz kilométerig terjedő skálán alkalmazhatók a légkörbe kerülő szennyezőanyagok terjedésének becslésére. A gaussi modellek ezen korlátjára a 1986. április 26-án történt az ukrajnai atomkatasztrófa világított rá. A csernobili atomerőműben bekövetkezett baleset következményei egész Európában érződtek. A rendelkezésre álló Gauss-féle terjedési modellek ilyen nagy méretskálán azonban már nem voltak alkalmazhatók, mert az áramlási mező idő- és térbeli változása, valamint a domborzat áramlásmódosító hatása miatt a koncentrációmező jelentősen eltért a gaussi eloszlástól. Ez elősegítette a nagyobb skálájú rácsponti (Euler-típusú), illetve trajektória (Lagrange-típusú) modellek fejlesztését, majd később

³ http://acm.eionet.europa.eu/databases/MDS/index_html;

megjelentek a meteorológiai alkalmazásokban az áramlási mező szerkezetét leíró nagyfelbontású rácson dolgozó különböző CFD (Computational Fluid Dynamics) modellek is.

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéken is különböző típusú modelleket alkalmaznak és fejlesztenek a légszennyezési folyamatok vizsgálata céljából. Az elmúlt években, illetve a jelenleg is végzett modellfejlesztésekről, alkalmazásokról, továbbá az eredményekről részletesen *Mészáros et al.* (2014) munkájában olvashatnak.

Szakedolgozati munkám keretében a Meteorológiai Tanszéken folyó modellezési feladatokba kapcsolódtam be egy Gauss-típusú modell alkalmazásával. A kutatások során a Gauss típusú modellek közül korábban az ALOHA és a TREX-Gauss modelleket használták.

Az ALOHA modellel egy $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ -es területen pontbeli mérések alapján a hosszú távú környezeti terhelést vizsgálták (*Leelőssy et al.*, 2011; *Mészáros et al.*, 2013). A Fukushimai Atomerőmű térségére egy 10 éves időszak órás felbontású adatsorát használták fel. Ez egy euleri vagy lagrange-i modell alkalmazása esetén túlságosan sok számítási időt vett volna igénybe. Az ALOHA gaussi modellel végzett óránkénti futtatások alapján viszont hatékonyan meg lehetett határozni az erőmű körüli területeket ért terhelés statisztikai mérőszámait.

Az ajkai vörösiszap-tározókból származó porkibocsátás környezeti terhelésének becslésére a saját fejlesztésű TREX-Gauss modellt használták (*Ludányi*, 2014).

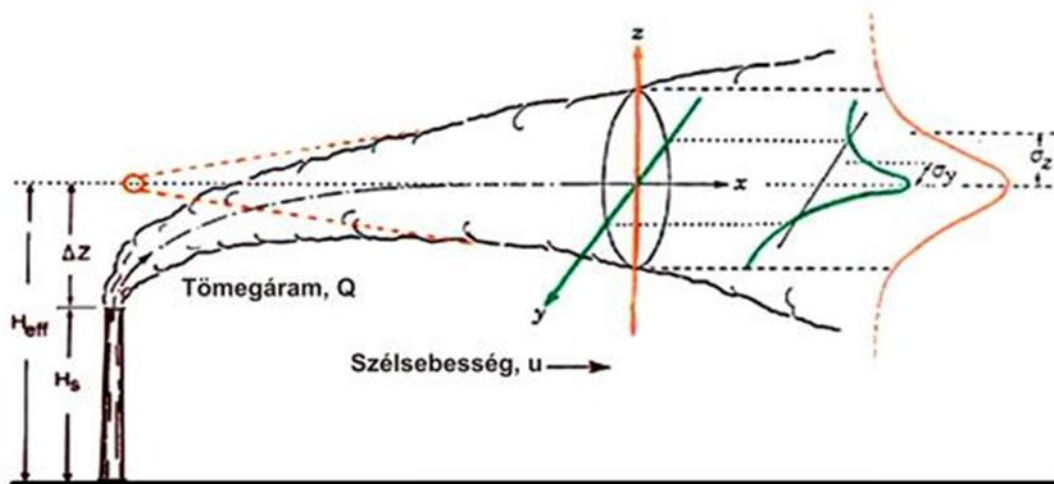
Dolgozatomban ez utóbbi modell adaptációját végeztem el a Kazincbarcikán található BorsodChem által kibocsátott szennyezőanyagok terjedésének szimulációjára.

A Gauss modelleket részletesebben a következő alfejezetben mutatom be.

2.2. A Gauss modellek

A pontforrásokból származó légszennyezőanyagok terjedésének a vizsgálatára a Gauss-féle egyenletet alkalmazhatjuk. Ezt az egyenletet használja fel a Gauss-féle füst fáklya modell (2.ábra) is, amely a turbulens diffúzió leírására Gauss-féle eloszlásprofilt használ. A gyakorlati feladatok megoldásában elterjedten használják az ilyen típusú modelleket, mivel számos olyan feltételezésen alapulnak, amelyek jó közelítést adják az ipari és a közlekedési forrásokból származó légköri szennyezőanyag koncentráció eloszlásának.

Az egyszerű Gauss-modelleket, amelyek néhány kilométertől néhány tíz kilométerig terjedő skálán alkalmazhatók a légkörbe kerülő szennyezőanyagok terjedésének becslésére, gyorsaságuk és egyszerű kezelhetőségük miatt előszeretettel használják légszennyezési problémák kezelése során.



2. ábra: A Gauss-féle modell szerkezete. H_s a kéménymagasság, H_{eff} az effektív kéménymagasság, σ_y , σ_z a horizontális és a vertikális diszperziós együttható, u a szélesség, Q a forráserősség. (I. Lagzi et al., 2013.)

A modellek alapját képező Gauss-féle egyenlet magas pontforrás esetén a következő alakban írható fel:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right), \quad (1)$$

ahol $c(x, y, z)$ a szennyezőanyag koncentráció értéke az x, y, z koordinátában, Q a kibocsátott szennyezőanyag mennyisége, u a szélesebbesség a kibocsátás magasságában, h az effektív kéménymagasság, míg a σ_y és σ_z rendre az y és z irányú szóródási paraméterek.

Az (1) egyenlet határesetként levezethető a kontinuitási egyenletből több egyszerűsítő feltétel alkalmazásával, amelyek az alábbiak:

- a meteorológiai helyzet stacionárius,
- a forrást pontszerűnek tekintjük, melynek kibocsátása folytonos és időben állandó,
- a földfelszín sík,
- a szennyezőanyagoknak nincs ülepedésük,
- a szélmezőnek csak az egyik (x irányú) komponense nem nulla ($v = 0$; $w = 0$),
- az adott irányban csak advekció van jelen, turbulens diffúzió nincs,
- a kémiai folyamatokat a légkörben figyelmen kívül hagyjuk.

A legtöbb Gauss-moddal jól közelíthető a légköri terjedés mértéke lokális skálán. Hátrányuk viszont, hogy a szélnyírást, a szél és a forrásparaméterek időbeli változását, a száraz és nedves ülepedést, a gravitációs ülepedést, a kémiai reakciókat, a radioaktív bomlást és a komplex áramlási teret nem veszik figyelembe.

A Gauss-féle diszperziós modellek hatékonyak bizonyultak a levegő minőségének vizsgálatában, különösen légszennyezés modellezésének korai éveiben, amikor a nagy teljesítményű számítógépek nem voltak elérhetőek a környezetvédelmi szervezetek és hatóságok számára. Ugyanakkor az ipari balesetekkel járó kibocsátások - mint Seveso, Bhopal vagy Csernobil esetén - rámutattak a Gauss-modellek néhány kritikus gyengeségére.

Bár a mérgező gázok kiszabadulása Sevesóban, (Olaszországban) 1976-ban napközben történt, amikor a körülmények gyengén instabilak voltak, a Gauss modell nem tudott jól teljesíteni az erős horizontális szélnyírást és a gyorsan változó szélirány miatt. Nyolc évvel később egy másik súlyos baleset történt India területén, Bhopalban. Az

áldozatok nagy száma felhívta a világ figyelmét arra, hogy olyan helyzetben, amikor az éjszakai inverziós réteg alacsonyan van és mérgező gáz szabadul ki, katasztrófális következmények alakulhatnak ki. Mivel kis szélesség és erős hőmérsékleti inverzió mellett a lokális hatások a meghatározók, a későbbi szimulációkban a környezeti és meteorológiai viszonyokat pontosabban figyelembe vevő, fejlett Lagrange modell mutatott jó egyezést a mérésekkel.

Mindamellet a korlátok felismerése erős motiváció volt a Gauss modellek további fejlesztéséhez is. Ezeket a modelleket sikeresen használják széles körű vizsgálatokra a levegő minőségének ellenőrzésére a városi és ipari területeken is.

A Gauss-modellt számos országban alkalmazták és alkalmazzák légszennyezési problémák szimulálására. Ezek szemléltetésére az alábbiakban néhány nemzetközi példát ismertetek.

Londonban a jelentős problémát okozó és részben közlekedési eredetű PM10 szennyezettség vizsgálatát végezték az USIAM modell alkalmazásával. A vizsgálat (*Mediavilla-Sahagún and Apsimon, 2005*) a PM10 emissziót leginkább költséghatékonyan csökkentő stratégia kidolgozása céljából történt.

Az FUMAPEX EU projekt keretében levegőminőségi előrejelző rendszer létesült Torinóban. A rendszer egy időjárás-előrejelző és egy multiskálájú kémiai transzport modellen alapszik. Nyári időszakban az NO₂ és az ózon, télen az NO₂ és a PM10 előrejelzésére használható (*Finardi et al., 2008*).

A norvégiai városokban a téli és a tavaszi időszakokban gyakran előforduló probléma az erős inverzió, a gyenge szél és a csekély vertikális keveredés következtében fellépő magas légszennyezettség, amely többek közt a fatüzelés és a közlekedési reszuszpenzió következtében légkörbe kerülő magas PM10 szennyezettségben nyilvánul meg. E szennyezőanyag modellezéséhez használt AirQUIS rendszer számos bizonytalansággal terhelt, ilyen például a közlekedés következtében újra a légkörbe kerülő szilárd szemcsék mennyiségének becslése. A problémák ellenére a modell meglehetősen jó közelítést adott NO₂ koncentrációra és kissé gyengébbet PM10-re. Előnye, hogy felhasználható a légszennyezettségi viszonyok előrejelzésére és emisszió-csökkentés megalapozására is (*Lapusa et al., 2005*).

3. Felhasznált adatok és modellek

A különböző szennyezőanyagokra vonatkozó emisszió és immisszió adatokat különböző adatbázisokból vettük. A BorsodChem által kibocsátott évenkénti szennyezőanyag mennyisége az OKIR-ből (Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer) lekérdezhető⁴. A mérőállomáson rögzített immissziós értékek az OLM (Országos Légszennyezettségi MÉRőhálózat) adatrendszeréből⁵ származnak. A meteorológiai adatokat a GFS (Global Forecasting Model) adatbázisából⁶ származtattuk.

A terjedés szimulációkhoz a TREX-Gauss modellt adaptáltuk.

3.1. Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer

Az OKIR és a LAIR (Levegőtisztaság-védelmi Információs Rendszer) a Földművelésügyi Minisztériumnak számítógépes rendszere, amelynek célja a légszennyezőanyag terhelést okozó kibocsátások nyilvántartása. Mind a források alapadatait, és technikai jellemzőit, mind a szennyezőanyagok mennyiségét segít meghatározni. Az adatszolgáltatások a környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi felügyelőségekhez futnak be és ott dolgozzák fel azokat. Az adatok egy minisztériumi számítógépes hálózat központi adatbázisba jutnak, amelyhez az <http://web.okir.hu/hu/> weboldal is csatlakozik. A weboldaltól kiindulva egyedi kibocsátási adatokat és különböző szempontok szerinti összesítéseket lehet lekérdezni. Jelen esetben az SO₂, a NO_x, a CO, valamint a szilárd anyagok évenkénti kibocsátását kérdeztük le, mivel ezen adatok szintén szerepeltek az OLM immissziós adatbázisában. A szilárd anyagot PM10-nek tekintettük, amivel felülről becsültük a PM10 emisszióját.

⁴ <http://web.okir.hu/hu/>

⁵ <http://www.levegominoseg.hu/>

⁶ <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forcast-system-gfs>

3.2. Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat

Az OLM két mérőhálózatból áll, a manuális és az automatikus mérőhálózatokból. A manuális mérőhálózat 7 felügyelési alközpontból, valamint a LRK-ból (Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ) áll. A felügyelési alközpontok végzik a mintavételi pontokon történő rendszeres mintavételt, biztosítják a minták vizsgálatához szükséges laboratóriumi háttérrel és a vizsgálati eredmények gyűjtéséhez, továbbításához, értékeléséhez szükséges adatközpontot is. A manuális mérőhálózat mérőpontjainak száma: 16 db SO₂, 148 db nitrogén-dioxid (NO₂), 21 db kisméretű részecske (PM10) összetevőre, ez utóbbiból történik a nehézfém és PaH (Polycyclic aromatic Hydrocarbons) szennyezőanyagok meghatározása.

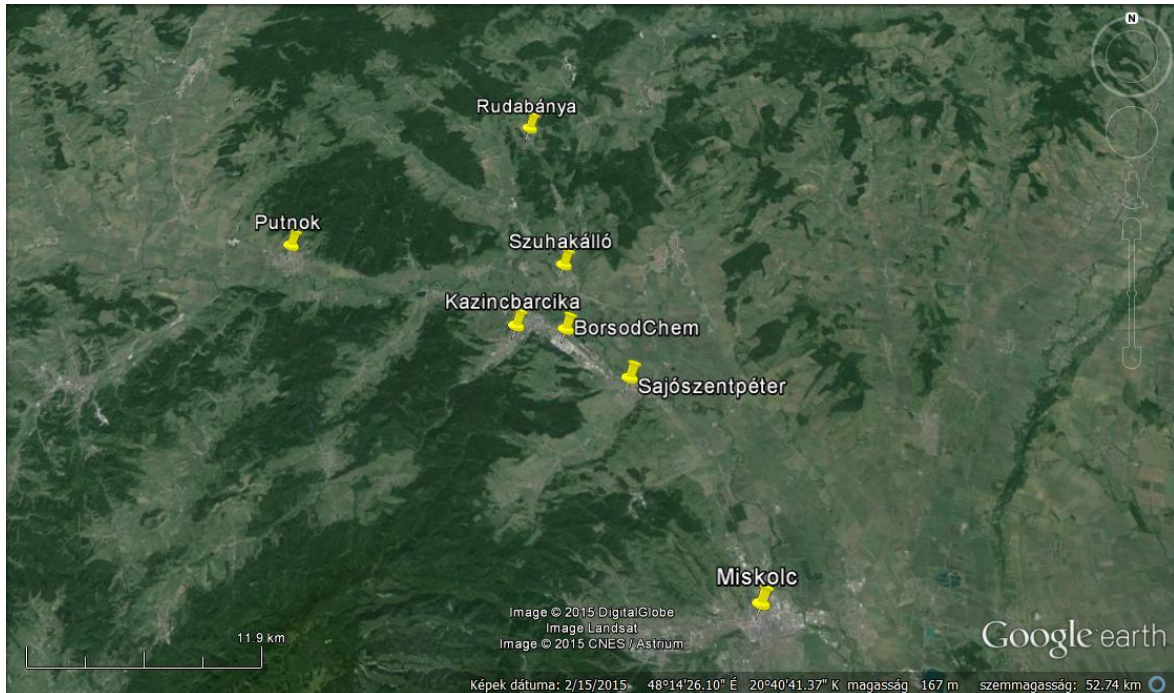
Az automatikus mérőhálózat is 7 felügyelési alközpontból és az LRK-ból áll. Az alközpontok részei a folyamatos működésű, automatikus elemző készülékekből kialakított mérőállomások és a felügyelési adatközpont. Az automatikus mérőhálózat keretében működő mérőállomások száma 60, ebből 55 db fix helyre telepített, 5 db mobil mérőállomás.

A mérőállomások a kiemelt jelentőségű légszennyező anyagok (SO₂, NO_x, CO, O₃, BTEX (benzol, toluol, etilbenzol, xilolok), VOC (Volatile Organic Compound) mérésére alkalmas műszerekkel vannak felszerelve. A mérések referencia módszer szerint, vagy azzal egyenértékű módon történnek. A mérő készülékek adatait számítógép gyűjti.

A mérési adatok az adatgyűjtőből online módon jutnak a felügyelési adatközpontba és az országos adatközpontba (LRK), onnan pedig az internetre. Amennyiben valamelyik szennyező anyag koncentrációja 3 egymást követő órában meghaladja a tájékoztatási küszöbértéket, vagy 1 órában meghaladja a riasztási küszöbértéket, ellenőriznie kell a túllépés körülményeit és valós túllépés esetén intézkedést kell kezdeményeznie a hatályos jogszabályok szerint.

Az egész ország területét lefedő mérőhálózatot a környezetvédelmi- természetvédelmi- és vízügyi felügyelőségek üzemeltetik. Az üzemeltetés és irányítás mellett egy másik egység is segíti a mérőhálózat működését, a LRK amely az egységes működés szakmai irányításának operatív feladatait látja el. A koordinációs munka mellett az LRK feladata még a minőségirányítási és az országos adatközponti feladatok végzése.

A vizsgált BorsodChem kibocsátó forrás 30 km-es sugarú környezetében található mérőállomásokat a 3. ábra mutatja.



3. ábra: A BorsodChem 30 km-es sugarú környezetében található mérőállomások

A legközelebbi állomás Kazincbarcikán található, ahol CO-t, NO-t, NO₂-t, NO_x-t, ózont, PM10-et és SO₂-t mérnek. A Putnokon és Sajószentpéteren található állomás mérési programja megegyezik az előzőével. Rudabányán a CO kivételével ugyanezeket az anyagokat regisztrálják.

Miskolcon három állomás található. A Martintelep, Alföldi utcai állomás NO, NO₂, NO_x, PM10, SO₂ mérésére alkalmas. A Görömböly, Lavotta utcai állomás ezen felül még CO-t és ózont is mért, míg a Búza téri ezeken felül benzol, toluol, etilbenzol mérésére is alkalmas.

3.3. A GFS meteorológiai modell

A felhasznált meteorológiai adatokat (szélmező) GFS adatbázisból nyertük - ami 0,5 fokos felbontást biztosított – majd ezt interpoláltuk az adott rácspontra. A domborzati adatbázist az 1 km-es felbontású Global Land One-km Base Elevation Project (GLOBE) szolgáltatja (*Hastings et al.*, 1999). A kibocsátáshoz legközelebb eső rácspontra (é.sz. 48,25°, k.h. 20,62°) vizsgáltuk az adott rácspont felett a meteorológiai állapotjelzőket. A TREX-Gauss modellel, egységnyi kibocsátást feltételezve számítottuk ki az eredményeket, majd az így kapott koncentráció mezőket az OKIR által közzétett kibocsátásokkal szoroztuk fel. Ezzel a módszerrel csak egyszer kellett elvégezni a modell szimulációt, viszont az összes vizsgált anyag immiszió mezőit meg tudtuk adni. Itt a kis tér- és időskála miatt a kémiai reakciókat elhanyagoltuk. Az eredményeket 3 óránként kaptuk meg a mért adatsorok folytonossá tétele után – melyek óránként jelenítették meg az értékeket – kivettük minden harmadik órához tartozó adatsort, hogy a mért és a modellezett adatokat össze tudjuk hasonlítani.

3.4. BorsodChem és elhelyezkedése

A BorsodChem Zrt. Kazincbarcika térségének legnagyobb termelő vállalata mind az árbevétel, mind a foglalkoztatottak számát tekintve. Fő tevékenysége a műanyag alapanyaggyártás, a poliuretánok alapanyagainak, nevezetesen az MDI-nek (metilén-difenil-diizocianát) és a TDI-nek és (toluilén-diizocianát) a gyártása, valamint a PVC gyártás. A jelenleg is gyártott termékek között a PVC a legrégebbi, de 2002-től az izocianátok (MDI és TDI) kerültek túlsúlyba. Mára a BorsodChem Európa egyik vezető izocianát gyártója, mindeközben a közép- és kelet-európai régió egyetlen MDI gyártója is. A BorsodChem Wanhua Csoportba történő integrációjával – melynek során a két regionális vállalat egyetlen globális társasággá alakul át – létrejött a világ harmadik legnagyobb izocianát gyártója (ENVIRA, 2012).

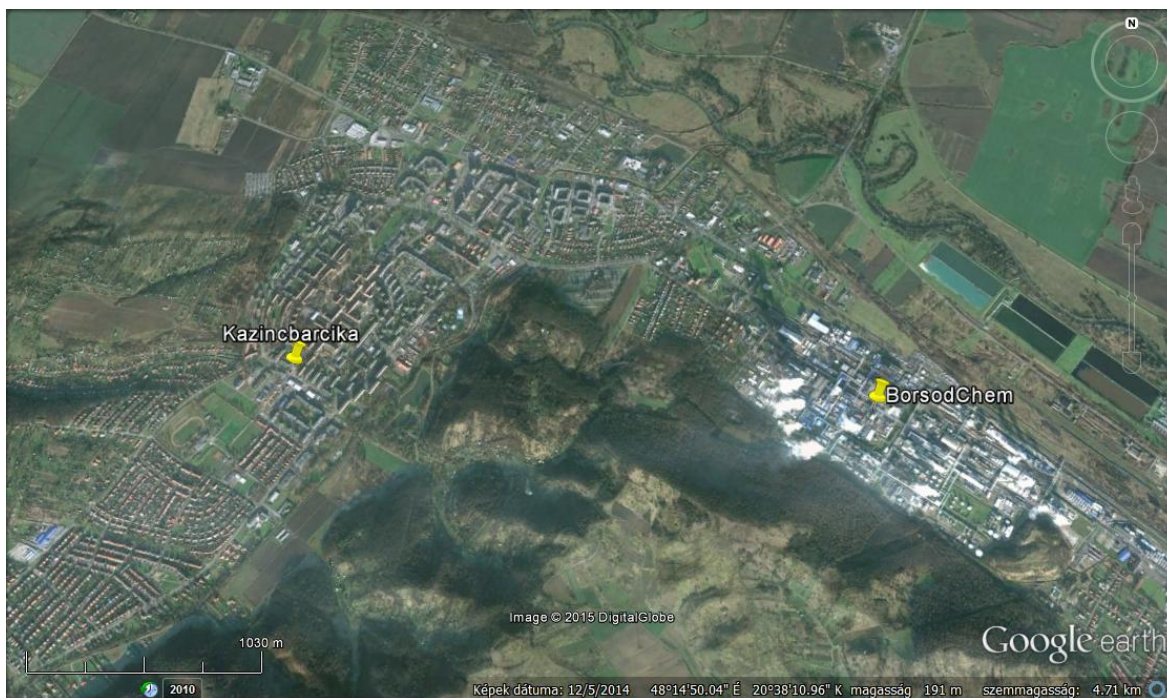
A TDI gyártásnak az egyik meghatározó alapanyaga a salétromsav. A salétromsavat a toluol nitrálásához használják, előállítva így a dinitro-toluolt. A meglévő TDI gyártási kapacitás (250 kt/év) teljes kihasználásához így évi 200–210 kt 100%-os koncentrációban kifejtett salétromsavra van szükség (a TDI gyártáshoz tömény, 98%-os salétromsavat használnak). A salétromsavgyártás alapanyaga az ammónia, melyet a kezdetektől

gyártanak a telepen.

A BorsodChem jogelődjét, a BVK-t (Borsodi Vegyi Kombinát) egy 1949-ben hozott kormányhatározatot követően a nitrogén alapú műtrágyák gyártására hozták létre, tehát az úgynevezett nitrogénipar a gyártelepen nem új keletű tevékenység. A BVK-ban az ammónia- és salétromsavgyártás 1955-ben kezdődött. Ammóniát, bár jelentősen kisebb mennyiségben, azóta is folyamatosan gyártanak, a salétromsavgyártás 1991-ben, a műtrágyagyártás megszüntetésével egy időben befejezték, azonban 2012-ben újrakezdték.

E vállalat a Bükk észak-északkeleti lábánál található a Sajó völgyében Kazincbarcika és Berente között. Egyik oldalán a Sajó fekszik, ami a hűtést is szolgálja, a másikon pedig a Bükk. A domborzati viszonyok befolyásolják a kialakuló áramlásokat. A mérőállomás Kazincbarcikán, az Egressy Béni út 1. szám alatt található.

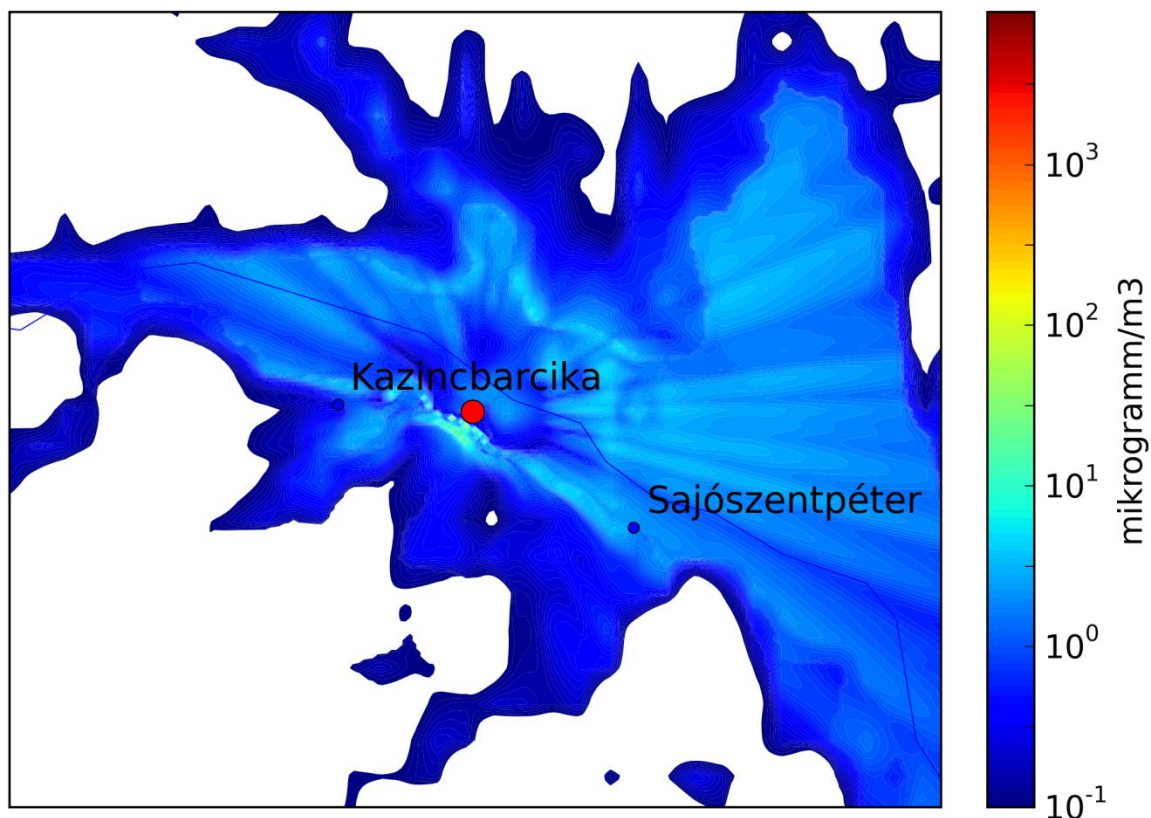
A mérőállomás és a BorsodChem közötti távolságot a 4. ábra szemlélteti.



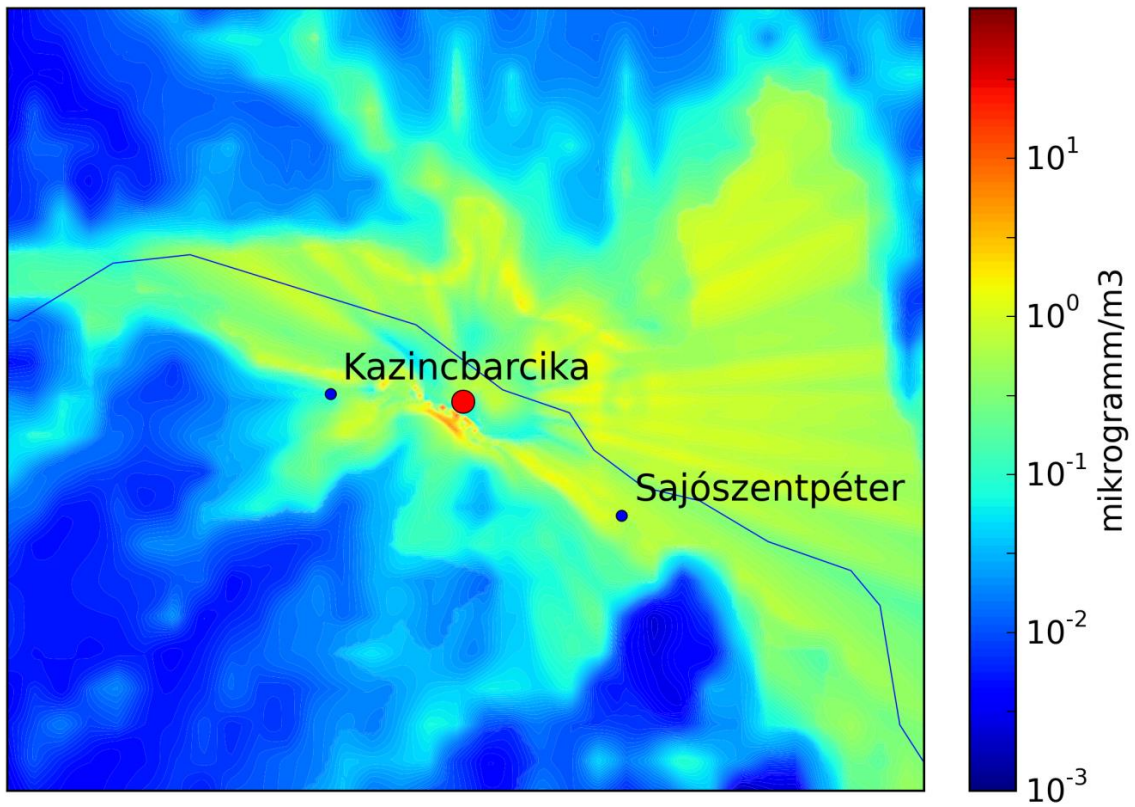
4. ábra: A vegyi üzem és a kazincbarcikai mérőállomás területi elhelyezkedése

4. Eredmények

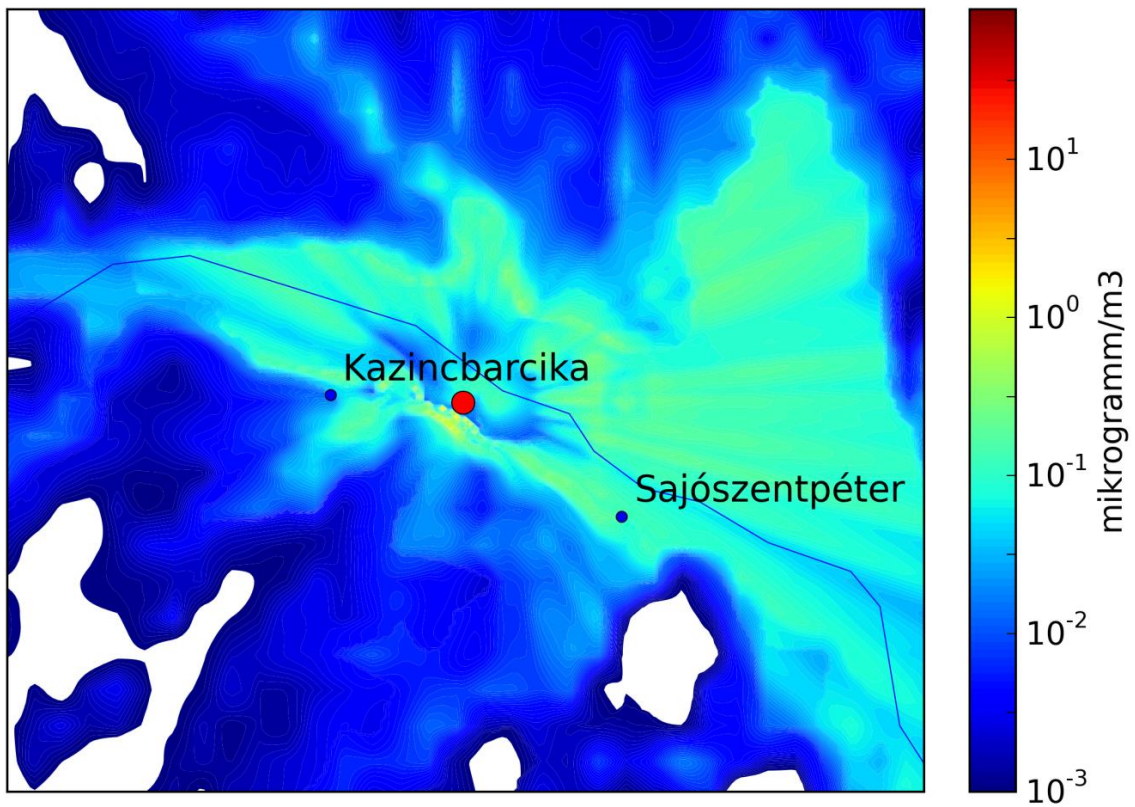
A BorsodChem által bevallott éves kibocsátást figyelembe véve az adaptált modell egy teljes évre futtattuk a GFS meteorológiai modell 3 órás meteorológiai adatbázisát felhasználva. A vegyipari üzem 41 pontforrással rendelkezik, melyet a modellben egy pontforrásnak tekintettünk. Az emissziót időben homogénnek tekintettük. A futtatások eredményei alapján - melyeket 50-m-es kéménymagasság esetén futattam - meghatároztuk a kialakuló koncentráció mezőket 3 órás időbeli lépésben. Az 5., 6. és 7. ábrán rendre a CO, az NO_x és a PM10 évi átlagos koncentráció eloszlási térképe látható Kazincbarcika térségére. Az ábrákon a 2 m-es szintre számított koncentráció mezőket tüntettük föl. Ezek természetesen nem a tényleges koncentráció mezőket szimulálják, hanem a vizsgált forrás hozzájárulását az immisszióhoz. A térképek északi tájolásúak.



5. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi átlagos CO koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében µg/m³-ben



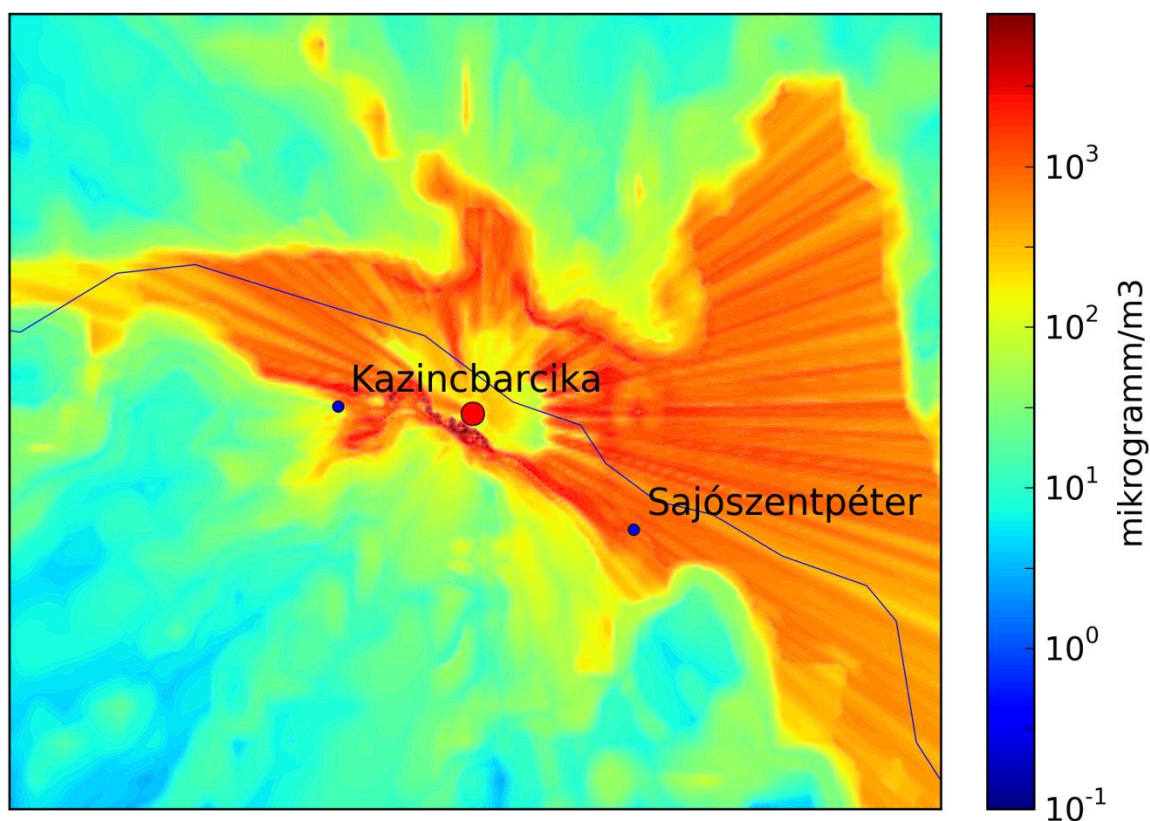
6. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi átlagos NO_x koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben



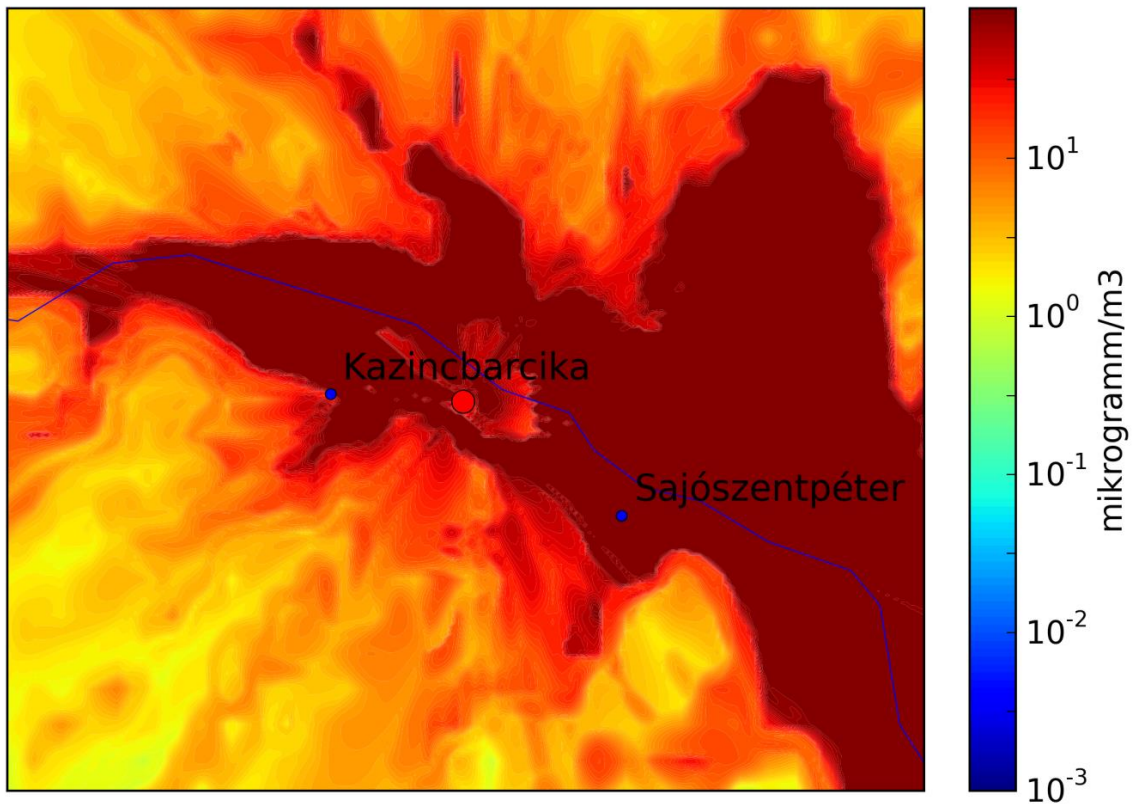
7. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi átlagos PM₁₀ koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben

Látható, hogy ÉNY-i, illetve DK-i irányban, a Sajó völgye mentén terjednek leginkább a légszennyezőanyagok. Megfigyelhető továbbá, hogy a forrástól ÉK-re kissé magasabb átlagos koncentrációértékek fordulnak elő. DNY-i irányban a Bükk lábánál az adott anyagok feldúsulnak, amelyek komoly környezeti hatásokat eredményeznek. Ezen hatások pontosabb felmérése érdekében a térségben elkezdődött az ún. zuzmótérképezés. Érdeemes megemlíteni továbbá, hogy a BorsodChem a térségében negyedévente végez levegőszennyezettségre irányuló vizsgálatokat.

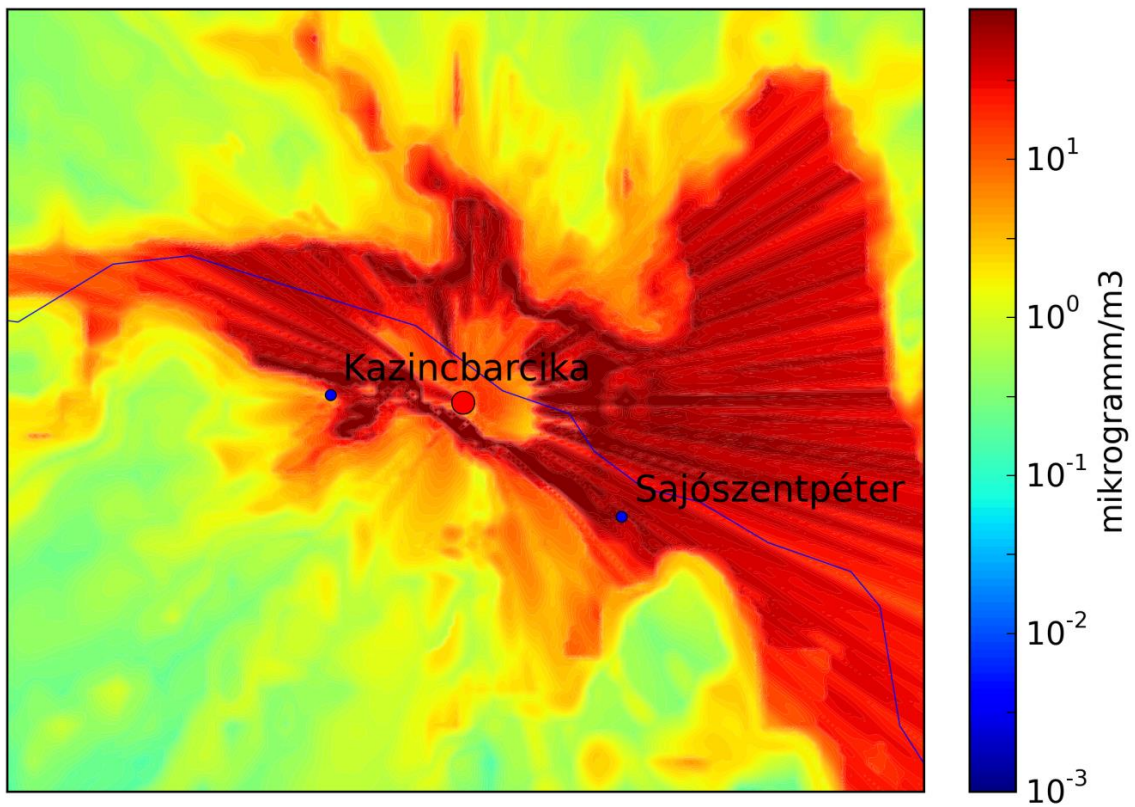
Az átlagos koncentráció mezők mellett a vizsgált év során a pontforrásból származó kibocsátás hatására kialakult maximális koncentráció értékeket is bemutatjuk. A 8., 9. és 10. ábrán rendre a CO, az NO_x és a PM10 évi maximális koncentráció eloszlási térképe látható Kazincbarcika térségére.



8. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi maximális CO koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben



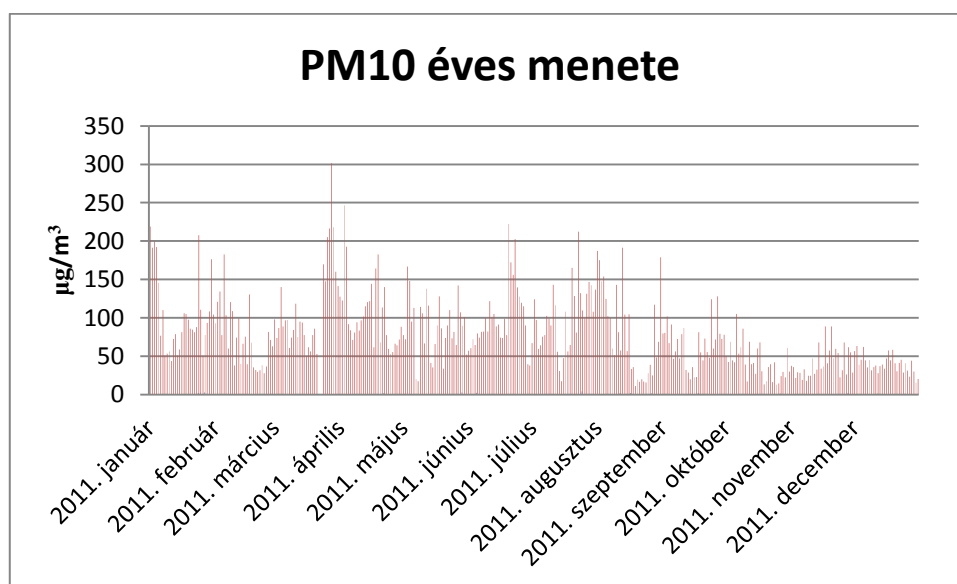
9. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi maximális NO_x koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben



10. ábra: A BorsodChem kibocsátásából származó évi maximális PM_{10} koncentráció 2011-re Kazincbarcika térségében $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben

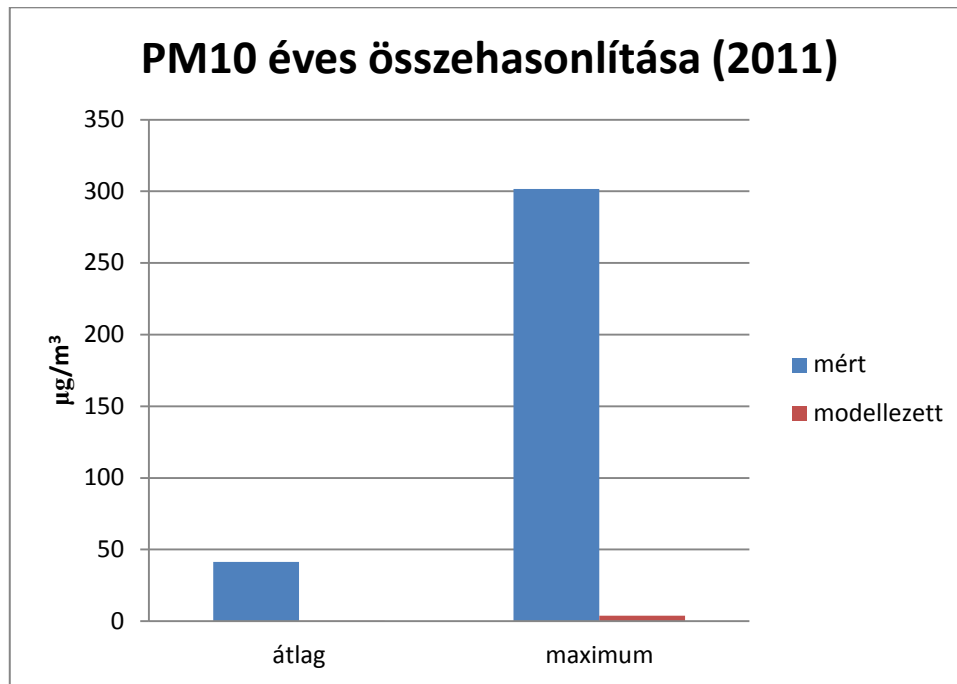
Az ábrákon látható, hogy a piros ponttal jelzett pontforrás környékén a koncentráció valamivel alacsonyabb, mint attól kissé távolabb. Ez az 50 m-es kéménymagasságnak köszönhető. A szennyezőanyagok csak bizonyos távolság után keverednek le a 2 m-es szintre. Észrevehető továbbá, hogy a domborzat jelentősen befolyásolja a szennyezőanyagok terjedését, mely éles koncentrációváltozásban érzékelhető.

Az ábrákon a kék pontok az OLM két állomását jelölik. A kazincbarcikai állomásnál az összes térképen látható egy koncentrációcsökkenés, ami a domborzati viszonyoknak köszönhető. Ahogy a 3. ábrán is látható a forrás, és a mérőpont között egy kisebb domb található, ami gátolja a szennyezőanyagok terjedését. A mérőállomásokon mért és a modellezett értékek összehasonlítását elvégezve arra voltunk kíváncsiak, hogy a BorsodChem kibocsátásból származó immisszió értékek hány százalékát adják a ténylegesen mért szennyezőanyagok mennyiségeknek. A 11. ábrán a pontforrásból származó PM10 koncentráció modellezett évi menete látható a 2 m-es szintre vonatkozóan. Azonban a mérőállomásra vizsgálva a modellezett érték nem észrevehető.



11. ábra: A kazincbarcikai mérőállomáson mért PM10 koncentráció és a pontforrásból számított modellezett hozzájárulás értéke a 2011-es évre

A 12. ábrán a PM10-re vonatkozóan adjuk meg a mért és pontforrásból származó modellezett hozzájárulás értékek összehasonlítását.

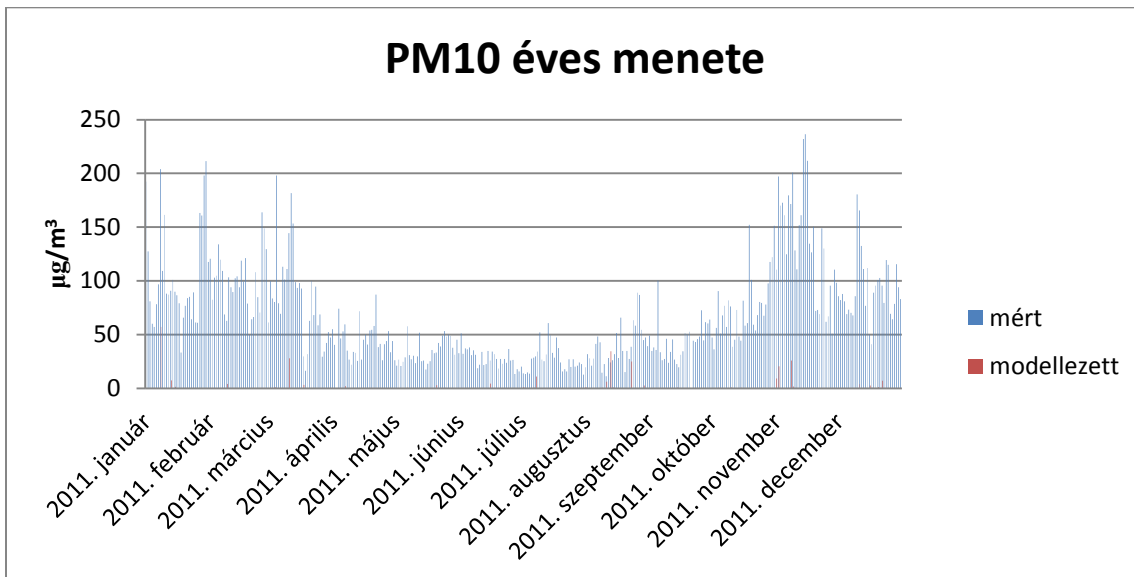


12. ábra: A kazincbarcikai mérőállomáson mért PM10 koncentráció és a pontforrásból számított modellezett hozzájárulás átlagos és maximális értékei a 2011-es évre

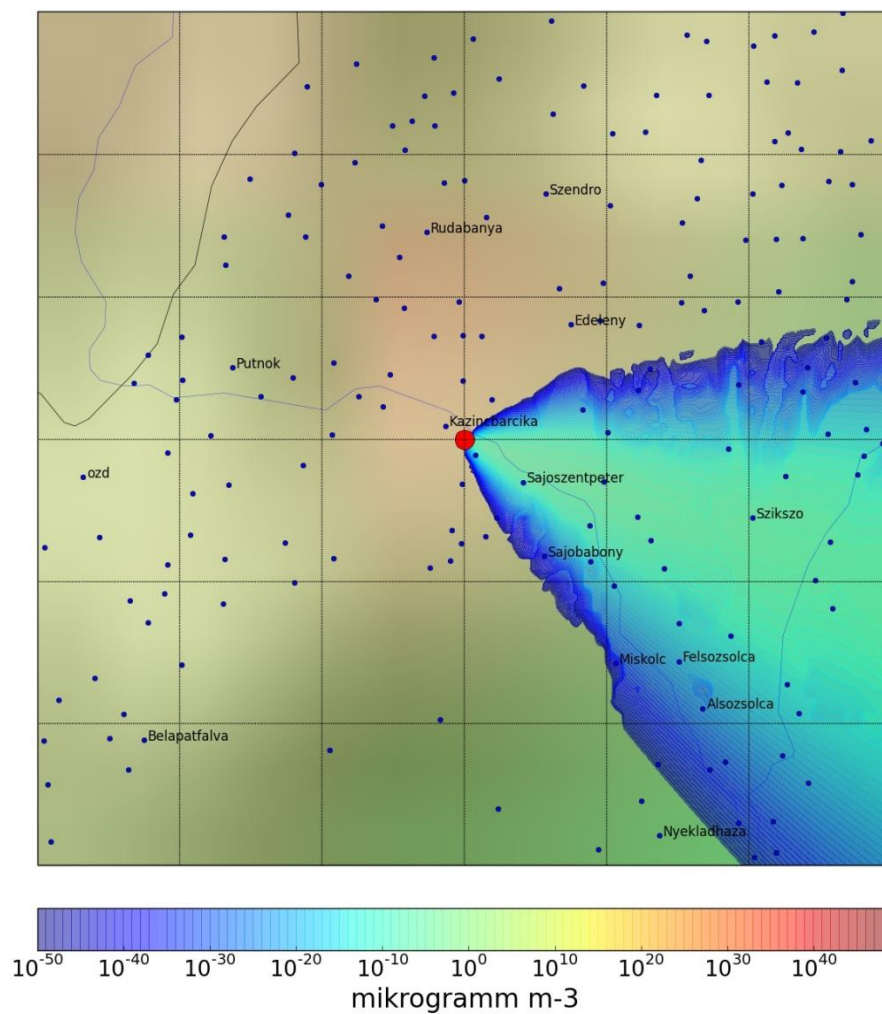
Mivel a modellezett érték csak a BorsodChem által kibocsátott anyagmennyiséget vizsgálja, ezért a hozzájárulás nem szembeötlő. Ez részben annak is köszönhető, hogy a térségben viszonylag ritkán fordul elő az állomás irányába fújó szél, valamint a már korábban említett domborzati viszonyoknak.

A vizsgálatokat elvégeztük a sajószentpéteri mérőállomásra is, mint terhelési pontra. A 13. ábrán a pontforrásból származó PM10 koncentráció modellezett évi menete látható.

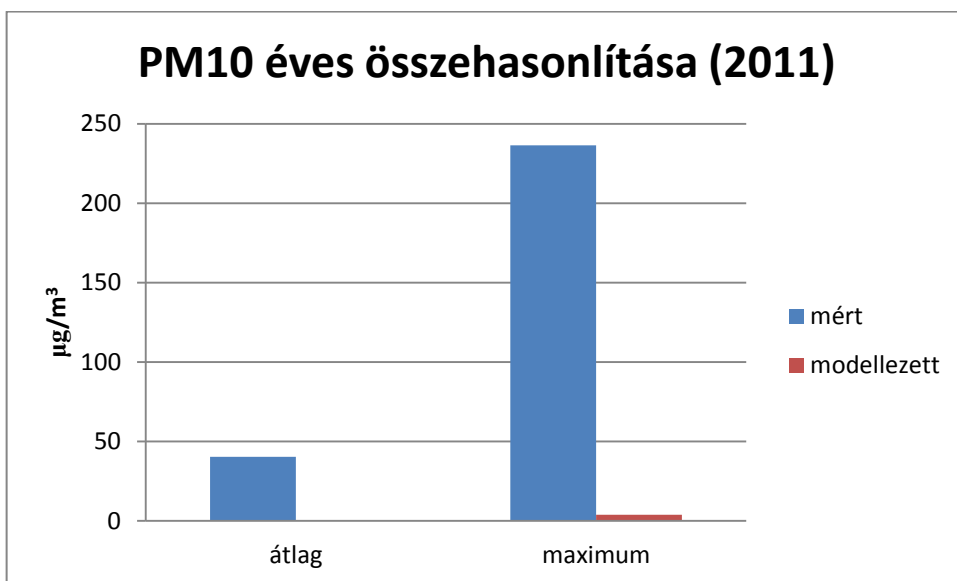
A modellezett értéket akkor tüntettük föl az ábrán, amikor a szél a forrástól a mérőpont felé fúj (l. pl. 14. ábrán). A 2011-es évben a novemberi hónapban a hideglégpárnának köszönhetően feldúsultak a szennyezőanyagok a felszín közeli légrétegben. A modell több magasabb értéket is adott a novemberi hónapra a sajószentpéteri állomásnál.



13. ábra: A sajoszentpéteri mérőállomáson mért PM10 koncentráció és a pontforrásból számított modellezett hozzájárulás értéke a 2011-es évre



14. ábra: 2011.11.09. 15 UTC-re kirajzolt szennyezőanyag terjedés a BorsodChem térségében µg/ m³-ben



15. ábra: A sajszentpéteri mérőállomáson mért PM10 koncentráció és a pontforrásból számított modellezett hozzájárulás átlagos és maximális értékei a 2011-es évre

A 15. ábrán a PM10-re vonatkozóan adjuk meg a mért és modellezett értékek összehasonlítását a sajszentpéteri mérőállomásra, melyen szintén látszódik, hogy a mért érték mellett, bár alacsonyan, de megjelenik a BorsodChem hozzájárulása a szennyezőanyag koncentrációhoz. A többi anyagra vizsgálva a modellezett és mért értékek összehasonlítása ugyanezen eredményeket mutatta.

5. Összefoglalás

Szakedolgozatomban a Sajó-völgyi iparvidék legjelentősebb üzemének, a BorsodChem telephelyének hatását vizsgáltam a környező területek levegőminőségére. A BorsodChem térsége magas háttérszennyezettséggel terhelt, amelyben az üzem hatását csak kis mértékben sikerült kimutatni. A domborzat hatásának köszönhetően Kazincbarcika délibb területein, ahol a légszennyezettségi mérőállomás is található, a BorsodChem-ből származó szennyezőanyagok kis koncentrációban vannak jelen. A Sajó völgye által meghatározott uralkodó széliránynak köszönhetően a legnagyobb mértékű szennyezőanyag-terjedés az északnyugat-délkeleti irányban történik. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni a térség északkeleti, északi területeit, ahol a koncentráció térképeken szintén megfigyelhető a légszennyezők feldúsulása. Az éves összehasonlító elemzésekben a modellezett értékek lényegesen a mért értékek alatt vannak, hiszen a modellezett értékek csak a BorsodChem emisszióját veszik figyelembe, ezzel szemben a mérőállomások adatai az egyéb környezeti hatásokat is tartalmazzák, mint például a közlekedés vagy a téli fűtési időszak. Azonban a modellezett értékekből nyert ábrák kellőképpen felhívják a figyelmet arra, hogy a bizonyos időszakokban a térségben jelentős terhelést okoz a BorsodChem.

Köszönetnyilvánítás

Szakedolgozatom megírásához, valamint az ehhez szükséges adatok eléréséhez nagy segítséget jelentett témavezetőim és konzulensem – Mészáros Róbert, Leelőssy Ádám, Szentpéteri Sándor – munkája, valamint Suga Boglárka támogatása, amit ezúton is szeretnék megköszönni.

Irodalomjegyzék

Aszódi A., (2012): Az atomenergia nemzetközi helyzete.

(http://www.emet.hu/files/cikk3441_1_Aszodi_MET7_Aszodi_2012-12-13.pdf)

Baklanov, A., Mahura, A. and Sokhi, R.S. (eds), 2011: Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 242 pp.

Baranka, G., Grosz, B., Gyöngyösi, A. Z., Mészáros, R., Szépszó, G., Tasnádi, P., Weidinger, T., 2013: A légköri és csatolt numerikus modellek osztályozási elvei. in: Gyöngyösi A.Z., Weidinger T. Alkalmazott számszerű előrejelzés.

(<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AlkalmazottNumerikusPrognosztika/index.html>)

Bozó, L., Mészáros, E., Molnár, Á., 2006: Levegőkörnyezet. Akadémia Kiadó, Budapest

Brimblecombe, P. 1999: History of Urban Pollution.(In: Fenger, J., Hertel, O. and Palmgren, F.: Urban Air Pollution – European Aspects) Kluwer Academic Publishers 7–20.

Cavallaro, A., Tebaldi, G., and Gualdi, R.. 1982: Analysis of Transport and Ground Deposition of the TCDD Emitted on 10 July 1976 from the ICMESA Factory (Seveso, Italy) Atmospheric Environment. 16. 731–740.

Daly, A. and Zannetti, P., 2007: Air pollution modeling – An Overview. Chapter 2 of Ambient air pollution (P. Zannetti, D. Al-Ajmi, and S. Al-Rashied, Editors). Published by The Arab School for Science and Technology and The EnviroComp Institute.

ENVIRA Mérnöki, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft , 2012: A BorsodChem TDI gyártási tevékenységének teljes körű környezetvédelmi felülvizsgálata. 23–24.

Finardi, S – De Maria, R. – D’Allura, A. – Cascone, C. – Calori, G.– Lollobrigida, F., 2008: A deterministic air quality forecasting system for Torinourban area, Italy. Environmental Modelling & Software, 23, pp. 344–355.

Hastings, David A., Paula K. Dunbar, Gerald M. Elphinstone, Mark Bootz, Hiroshi Murakami, Hiroshi Maruyama, Hiroshi Masaharu, Peter Holland, John Payne, Nevin A. Bryant, Thomas L. Logan, J.-P. Muller, Gunter Schreier, and John S. MacDonald, 1999: The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center

IPCC, 2007: Az Éghajlatváltozás Kormányközi Testület (IPCC) negyedik értékelő jelentése, a munkacsoportok döntéshozói összefoglalói.

Jacobson, M. Z. 2002: Atmospheric Pollutionn. History, Science, and Regulation. Cambridge University Press, Cambridge.

Lagzi, I., Mészáros, R., Gelybó, Gy., Leelőssy Á. - Internetes jegyzet Atmospheric Chemistry <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/index.html>

Laupsa, H. – Denby, B. – Slordal, L. H. – Tonnesen, D. 2005: Model calculations to estimate urban levels of particulate matter in Oslo, with respect to the requirements of the EU directives. 5th Urban Air Quality Conference in Valencia, reference Q-303

Leelőssy Á., Mészáros R.,Lagzi I., 2011: Short and long term dispersion patterns of radionuclides into the atmosphere around the Fukushima Nuclear Power Plant. Journal of Environmental Radioactivity, 102, 1117–1121.

Ludányi, E., 2014: Vörösiszap-tározókból származó szennyezőanyagok légköri terjedésének modellezése. Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.

Mediavilla-Sahagún and Apsimon, 2005: Urban scale integrated assessment for London: Which emission reduction strategies are more effective in attaining prescribed PM10air quality standards by 2005? *Environmental Modelling & Software* 21, pp. 501–513.

Mészáros, R., Leelőssy, Á., Vincze, Cs., Szűcs, M., Kovács, T., Lagzi, I., 2012: Estimation of the dispersion of an accidental release of radionuclides and toxic materials based on weather type classification, *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 375–387.

Mészáros R., Lagzi I.L., Leelőssy Á., 2013. Internetes jegyzet - Alkalmazott számszerű előrejelzés - Terjedési modellek, alkalmazások lokálistól kontinentális skáláig. in: Gyöngyösi A.Z., Weidinger T. Alkalmazott számszerű előrejelzés.

(<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AlkalmazottNumerikusPrognosztika/index.html>)

Mészáros R., Lagzi I.L., Leelőssy Á., Ludányi E.L., Kovács A., Szabó Z., Légszennyezés-meteorológiai kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. in: Pongrácz R., Mészáros R., Kis A., Leelőssy Á., Sábitz J. (szerk.) 2014: Egyetemi Meteorológiai füzetek No.25. 118–122

Moussiopoulos, N., Borrego, C., Bozó, L., Galmarini, S., Poppe, D., Schatzmann, M. and Sturm, P., 2003: Urban and Local Scale Air Pollution. Towards Cleaner Air for Europe – Science, Tools and Applications, Midgley, P. and Reuther, M. (Ed.), Weikersheim: Margraf Verlag, 123–156.

OECD, 2014: The Cost of Air pollution: Health Impacts of Road Transport. OECD Publishing, doi: 10.1787/9789264210448-en

Weidinger, T., Baranka, Gy., Makra, L. and Gyöngyösi, A.Z., 2010: Urban air quality and road traffic air pollution modelling of Szeged. Urban transport and hybrid vehicles (Edited by Soylu, S.) Published by Sciyo, 60–102.

Internetes hivatkozások

http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/Air_Quality/Older/History.html

<http://admin.pophealth.wisc.edu/marty/phs502/2>

<http://www.levegominoseg.hu/>

http://www.met.hu/levegokornyezet/varosi_legszennyezettseg/merohalozat/

http://met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/

<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs/>

<http://web.okir.hu/hu/>