

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

**Településkörnyezet állapotvizsgálata terjedési modell és
matematikai statisztikai módszerek alkalmazásával
(városi esettanulmány)**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Szűcs János

Témavezető:

Dr. habil. Nagyváradi László

Pécs, 2013

A doktori iskola neve: PTE Földtudományok Doktori Iskola

Vezetője: Dr. Dövényi Zoltán DSc.
egyetemi tanár
Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földrajzi Intézet
Társadalomföldrajzi és Urbanisztikai Tanszék

A doktori témacsoport címe: természeti földrajz és tájértékelés

Vezetője: Dr. habil. Lóczy Dénes
tanszékvezető egyetemi docens
Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Környezettudományi Intézet,
Környezetföldrajzi és Tájvédelmi Tanszék

Az értekezés tudományága: környezetföldrajz, térinformatika, geostatisztika

Témavezető: Dr. habil. Nagyváradai László PhD,
tanszékvezető egyetemi docens
Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földrajzi Intézet
Térképészeti és Geoinformatikai Tanszék

1. Bevezetés

Egy térség környezeti állapotának megismeréséhez alapvetően két eszköz áll rendelkezésre a mérés, illetve a modellezés. Ezek a módszerek természetesen levegőkörnyezettel kapcsolatos kutatások során is alkalmazhatók (BOZÓ ET AL. 2006). Amennyiben ezeknek az eljárásoknak a használatára nincs lehetőség korlátozott mértékű támogatást nyújthat a (műszaki) becslés.

Magyarországon az egyre nagyobb méreteket öltő levegőtisztasági problémák következtében a Regionális Immisszió Vizsgáló Hálózat (RIV) 1974-ben kezdett el üzemelni. Ugyanebben az időszakban az OMSZ munkatársai hazai környezetre validálták a külföldi kutatások eredményeit, melyeket FEKETE ET AL (1983) foglalt össze, így megszületett a transzmissziós modellezés magyar szabványsorozata (MSZ 21457 és MSZ 21459). Mintegy 20 évvel később sor került az 1980-as években kiadott szabványsorozat módosítására, a 2002-es verziók lényegében az USA EPA által ajánlott AERMOD algoritmusait tartalmazzák. Az eddigiekből következően a magyar levegőkörnyezeti modellezés több mint 30 éves múltra tekint vissza, számos kutatóműhelyben folynak fejlesztések. Az OMSZ mellett a legjelentősebb kutatások a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, a Levegőkörnyezet Szaktanácsadó (LKGSZ) Bt-nél, az ELTE-n, illetve az Imagináció Mérnökiroda Kft-nél zajlanak. E tevékenységek eredménye számos hazai transzmissziós szoftver, a BMGE fejlesztése az APOPRO, az LKGSZ-é pedig a TRANZMISSZIÓ az ELTE-é a TREX, az Imagináció Mérnökiroda Kft-é az AIRCALC. Az elmúlt időszakban felhalmozott ismeretanyag ellenére Magyarországon az alkalmazások egy, esetleg néhány forrás hatásának modellezésére tejednek ki, így meglehetősen kevés a több, esetleg eltérő eredetű emisszió együttes szennyező hatását szimuláló modell.

A legjelentősebb ellenpélda Budapesttel kapcsolatos. A Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium és a Fővárosi Önkormányzat együttműködésének következtében a 1999-ben került bevezetésre a Nagy-Britanniában fejlesztett ADMS-Urban modell (PATAKI I. 2005). A Tiszántúli Környezetvédelmi Felügyelőséghez tartozó Debrecen közlekedési, illetve lakosság fűtési eredetű levegőterhelését modellezte SÁMI L. (2000), emellett immissziós adatokat is feldolgozott. Szolnokkal kapcsolatos kutatást a Közép-Tisza-vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség munkatársa, Nagy T. végzett, amelyhez Wölfel IMMI 6.3 szoftver levegőszennyezettség modulát használt (NAGY T. 2008). Dorog város levegőminőségével kapcsolatban SZUHI A. (2011) kivitelezett AERMOD alapú modellszámításokat. Regionális léptékű modellfejlesztés Pécs Megyei Jogú Város

Önkormányzata és Dél-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség együttműködése következtében valósult meg. Az előbbi transzmissziós modellek mellett elterjedtek még a mérési adatok alapján készült interpolált térképek, amelyek a terjedési modellekhez hasonlóan eltérő tér- és időskálájúak lehetnek. A legjelentősebbnek tartott hazai környezeti információs rendszer az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (KOVÁCS F. 2012). Az OKIR bárki számára lehetővé teszi egy település emissziós adatainak lekérdezését is, azonban térképi megjelenítést választva a telephelyek kerülnek feltüntetésre, a források nem, illetve a kibocsátott anyagokénti éves mennyiségről lehet információhoz jutni. Ebből következően modellszámítások elvégzésére ezek az adatok közvetlenül nem alkalmasak, további adatgyűjtésre van szükség.

2. Célkitűzések

Az említett hiányosságok miatt környezeti kutatásom egy tipikusnak tekinthető középváros levegőminőségének megismerésére irányult. A Jászberény belterületét és külterületének egy részét magába foglaló mintaterületen történő kutatás kivitelezését személyes kötődésem mellett a település mérete és a területén folyó gazdasági-társadalmi tevékenység is indokolta. A terep körülményeinek megismeréséhez az ilyen jellegű kutatások során általánosan használt módszereket, a transzmissziós modellezést, illetve az immisszió mérési adatok feldolgozását használtam. A hazai jogszabályok csak a pontforrások egy részét kötelezik adatszolgáltatásra, a területi, illetve vonalforrások adatai általában becsléssel állapíthatók meg, esetleg statisztikai vagy forgalomszámlálási adatokból férhetőek hozzá. Ez utóbbi adatok közös jellemzője, hogy nagy bizonytalansággal terheltek. A felsorolt problémák miatt a transzmissziós modellezéshez a pontforrásokat használtam fel, természetesen az értékelésekkor nem hagytam figyelmen kívül az egyéb hatásokat sem. Az elemzéshez szükséges részcélok a következők voltak:

- a mintaterület bejelentésre kötelezett pontforrásai által okozott immissziómező vizsgálatának céljából hazai adatbázisok szerkezetéhez igazodó, magyar szabványon alapuló környezeti modell előállításának és megjelenítésének geoinformatikai eszközökkel,
- a település környezetállapotának matematikai statisztikai módszerekkel történő értékelése az OLM adatai, a meteorológiai adatok és a gazdasági, társadalmi folyamatok figyelembevételével,

- az érdességi paraméter pontosabb meghatározását segítő módszer kidolgozása és alkalmazása a mintaterületen,
- az érdességi paraméterválasztás hatásának elemzése a modellezett koncentrációmezőre,
- a pontforrások hatásai és a város levegőminősége közötti összefüggések vizsgálata.

3. Kutatási módszerek és források

A kutatás immissziómérési és meteorológiai adatok feldolgozásán, illetve terjedési modell alkalmazásán alapult, így e két módszer a kialakítandó adatbázist és az alkalmazandó módszereket is alapvetően meghatározta.

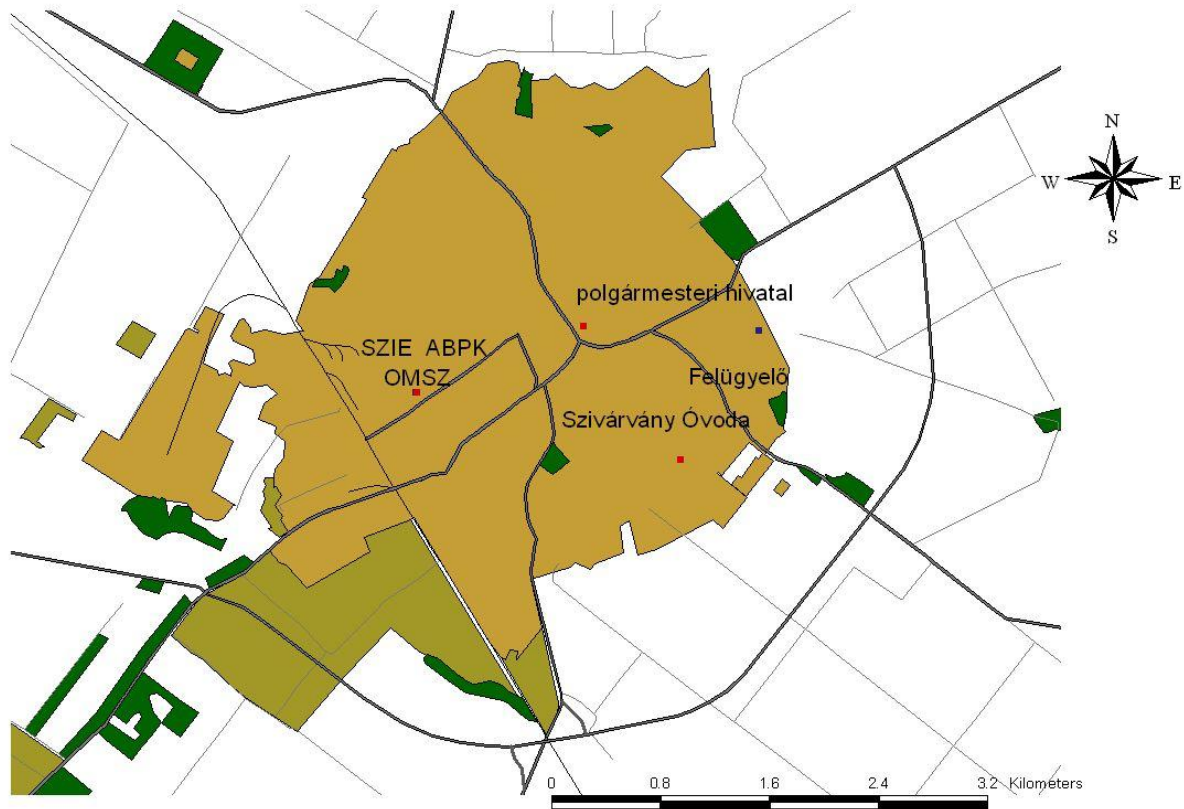
3.1. Meteorológiai adatbázis

Meteorológiai adatokat mind az immisszió adatok vizsgálatához, mind a terjedési modell futtatásához felhasználtam. Az adatok beszerzését négy forrásból valósítottam meg, és a megbízhatóságuk alapján állítottam fel a preferencia-sorrendet. Amennyiben volt rá lehetőségem, elsősorban az OMSZ által ingyenesen a rendelkezésemre bocsátott adatbázist használtam, mivel ezek jászberényi vagy Jászberény közeli, szabványos meteorológiai mérések eredményei. Hasonlóan reprezentatívnak tekintettem a településre vonatkozó Lakes Environmental interpolált adatait is. Emellett az OGIMET honlapjáról letöltött szolnoki, egeri és budapesti mérési adatokat is felhasználtam, természetesen ebben az esetben a viszonylag nagy távolság korlátozott alkalmazhatóságot vont maga után. Jászberényben is működnek magánszemélyek által üzemeltetett meteorológiai állomások. Ilyen esetben fontos a mérőműszerek szabványos elhelyezése és folyamatos üzemeltetése. E kritériumoknak a „Felügyelő” azonosítóval jelzett professzionális meteorológiai állomás felelt meg, így ennek adatait is felhasználtam az elemzésekhez (1. ábra). A különböző helyszínekről és időintervallumokból származó adatokból nem készítettem egységes meteorológiai mezőt, hanem külön-külön végeztem velük számításokat.

3.2. Immisszió adatok

Jászberényben három immissziómérő állomás telepítésére került sor. A belvárosi környezetnek a polgármesteri hivatal területén, az iparterületi környezetnek a SZIE ABPK területén, míg a külső lakóterületi állomásnak a szivárvány óvodai állomás felelt meg. Mindhárom állomás esetén a vizsgált komponensek a kén-dioxid, nitrogén-dioxid és az ülepedő por. A kén-dioxid és a nitrogén-dioxid esetén az adatok napi, ülepedő por esetén havi bontásban állnak rendelkezésre. Az állomások elhelyezése a város jellemzőit figyelembe véve optimálisnak tekinthető. Sajnos napjainkra a mérőhálózat állomásainak száma és a mért komponensek terén is jelentős csökkenés következett be, melynek eredményeként mindössze a belvárosi állomás üzemel és csak a NO₂ koncentrációt méri (1. ábra). Az OLM által mért adatok egy részét a Közép-Tisza vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőséggel folytatott együttműködés keretében szereztem be, míg továbbiakat a

Vidékfejlesztési Minisztérium honlapjáról töltöttem le. A városi mérési adatok értékeléséhez szükséges regionális háttér adatoknak a K-pusztán mért értékeket tekintettem, e választást a település földrajzi jellemzői indokolták.



1. ábra. A jászberényi immissziómérő és meteorológiai állomások

Forrás: saját szerkesztés

3.3. Geometriai adatok

A terjedési modell létrehozásának egyik alapvető feltétele a megfelelő geometriai adatbázis kialakítása. A területet leíró adatok egy részét másodlagos adatgyűjtési eljárás során sikerült beszerezni. A felhasznált digitális vektorállomány EOV rendszerű, a különböző fedvények Jászberény vasút- és közúthálózatát, belterületét, illetve külterületét művelési áganként elkülönítve tartalmazzák (1. ábra). A modellezni kívánt pontforrások helyét, amennyiben az üzemeltetők lehetővé tették, elsődleges adatgyűjtési módszerként GPS segítségével határoztam meg, amennyiben ez a lehetőség nem állt fenn, műholdfelvételen alapuló helymeghatározást alkalmaztam. Az előbb említett módszert mintegy 300 pontforrás esetén, míg az utóbbit megközelítőleg 100 esetben használtam. A pontforrások mellett a mintaterületen üzemelő meteorológiai, illetve immissziómérő állomások helyszínének meghatározására is sor került.

3.4. Érdességi paraméter származtatása

A lokális transzmissziós modellek fontos input adata a z_0 érdességi paraméter, melynek értéke általában pontról pontra változik, ezért leggyakrabban a mintaterületet egyetlen effektív érdességi paraméter megadásával jellemzik. Értéke megadható becsléssel, szélprofil méréssel, morfometrikus, illetve osztályzáson alapuló módszerek segítségével. A szakirodalomban az osztályzáson alapuló és a morfometrikus módszereknél is további származtatási módszerek találhatók. Az általam használt egyéni fejlesztésű eljárásnál a vizsgált terepnumot, a területen található úthálózat segítségével diszjunkt poligonokra bontottam, majd az így keletkezett érdesség szempontjából viszonylag homogén poligonokhoz rendeltem a különböző szakirodalmi ajánlásokban fellelhető értékeket. Végül a mintaterületet jellemző effektív érdességi paramétert területarányos súlyozású logaritmikus átlagolással származtattam. Ezt az átlagolási módszert többek közt BIHARI P. (2007) is ajánlja.

3.5. Transzmissziós adatbázis

A bejelentésre kötelezett pontforrások hatását szemléltető immissziómező modellezéséhez a meteorológiai, geometriai és érdességi paraméterre vonatkozó adatokon túl szükséges attribútumokat a források üzemeltetői által készített jelentések tartalmazták. Ezek közül modellezés céljából a kibocsátott anyagok nevét, hőmérsékletét, térfogatáramát, a források üzemeltetőjének (cég)nevét, címét, a források azonosítóját, magasságát, az emissziós pont felületét és az üzemórák számát használtam.

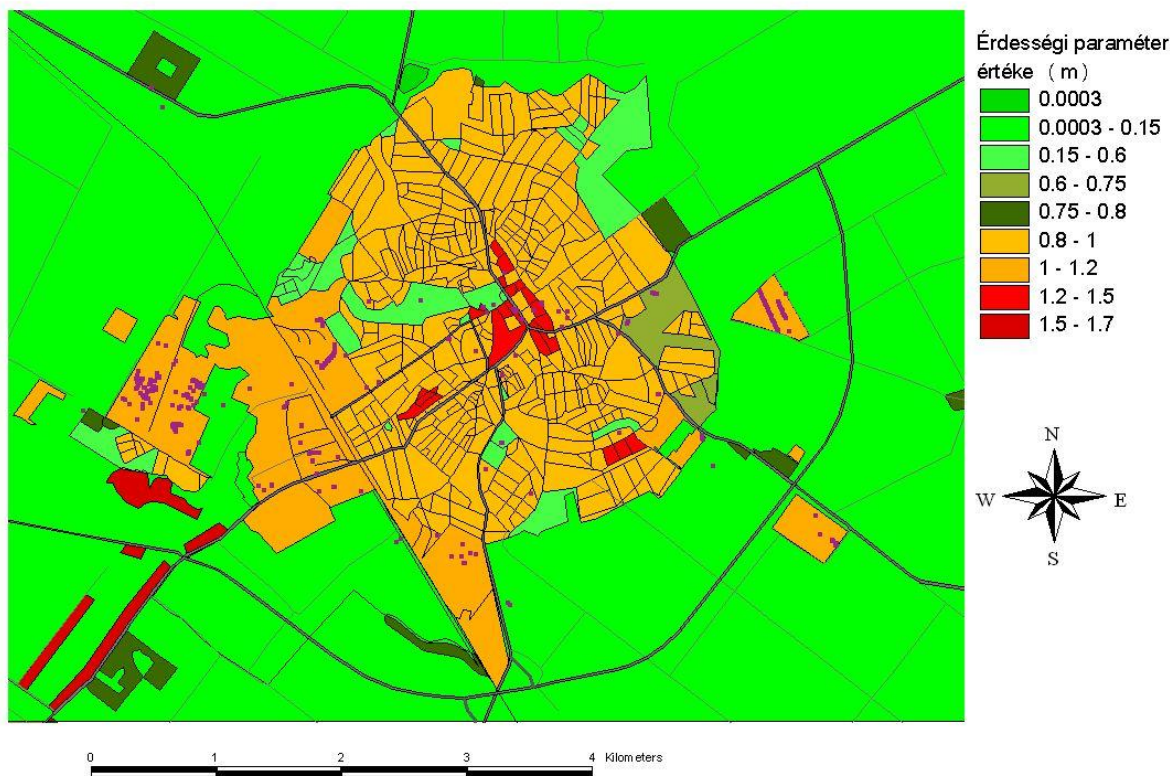
3.6. Statisztikai módszerek

Leíró és matematikai statisztikai módszereket az immisszió adatok feldolgozásakor, továbbá a meteorológiai adatok és a levegőterheltség, illetve az antropogén hatások és a levegőminőség kapcsolatának vizsgálatakor is alkalmaztam. A felhasznált leíró statisztikai mutatók között különböző középérték, szélsőérték, illetve szóródási mutatók szerepeltek. A matematikai statisztikai eljárások többféle matematikai statisztikai próbát, korreláció és regresszió analízist, empirikus eloszlásfüggvény és sűrűséghisztogram felírását, továbbá varianciaanalízis alkalmazását foglalták magukba.

4. Eredmények

4.1. Kidolgoztam és alkalmaztam az érdességi paraméter pontosabb meghatározását segítő osztályozáson és területarányos súlyozású logaritmikus átlagoláson alapuló módszert

A terjedési modellhez szükséges effektív érdességi paraméter származtatása során a fent leírt módszert alkalmazva minden poligonhoz hozzárendelhető a területet jellemző érdességi paraméter (2. ábra). Mivel a szakirodalmi ajánlások nem egységesek, az eltérő ajánlások alapján különböző értékek jellemzik a részterületeket, ebből következően változik az effektív érdességi paraméter értéke is. A kutatás során portugál (SILVA, J. – RIBERIO, C. – GUEDES, R. 2007) holland, (KNMI) (VERKAIK, J. W. 2001) magyar, (BIHARI P. 2007) (BMGE) kutatók által javasolt értékadások mellett, az EU szélátlaszban (TROEN, I. – PETERSEN, L. 1989) szereplő javaslatok figyelembevételével készültek a számítások.



2. ábra. A jászberényi bejelentésre kötelezett pontforrások, illetve az egyes területekre jellemző érdességi paraméter (m)

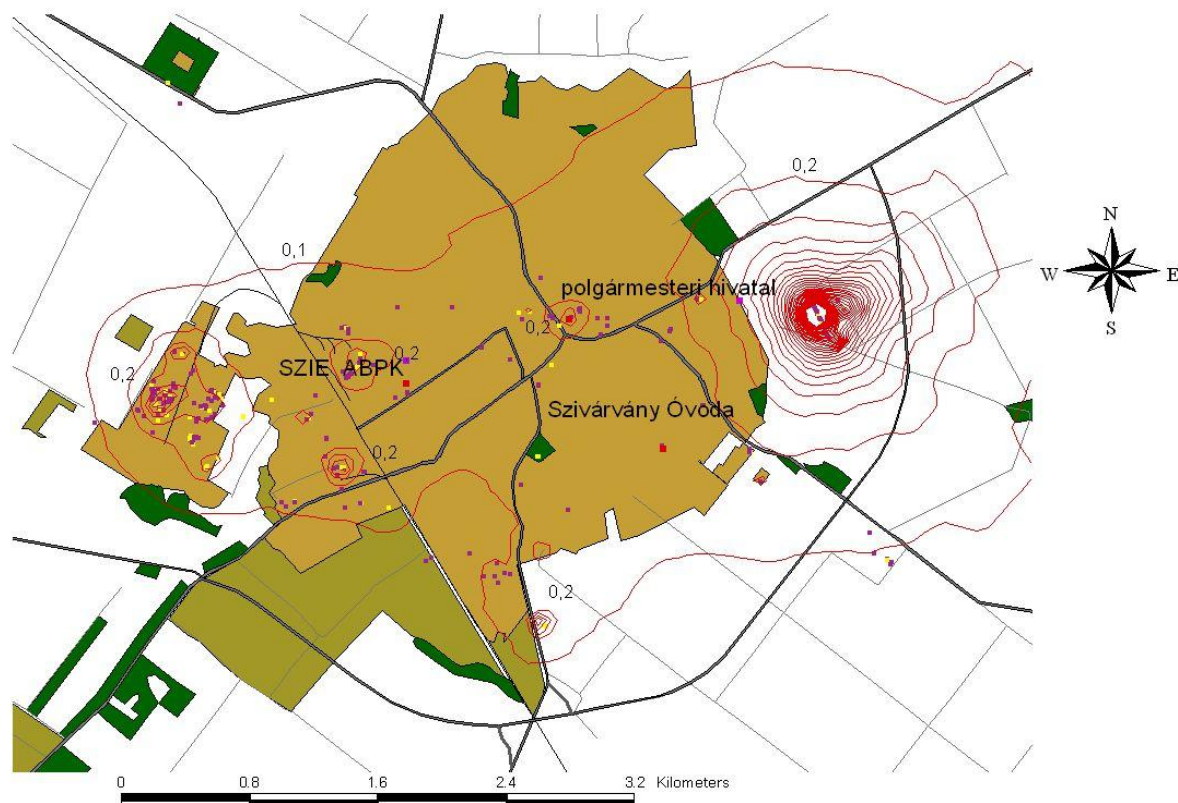
Forrás: saját szerkesztés

Az eredményül kapott értékek jelentős eltérést mutattak, a legkisebb érték 0,07 m-nek, míg a legnagyobb 0,29 m-nek adódott. Arra való tekintettel, hogy BIHARI P. (2007) által megadott értékek a szakirodalomban szereplő leggyakoribb értékeket tartalmazzák, a modellszámítások

során az így kapott $z_{0\text{effektív}}=0,26$ m érték és a városi középértéknek tekinthető $z_{0\text{effektív}}=1,5$ m alapján számított immissziómezők kerültek összehasonlításra. Természetesen a környezeti modellszámítások során valamennyi adat bizonytalansággal terhelt, így a többi paraméter esetén is vizsgálható lenne a hiba hatása. Az érdeességi paraméter inputadatok közül való kiemelését az indokolja, hogy nehezebben mérhető, illetve becsülhető az értéke a többi adaténál. Kétségtelen, hogy napjainkra léteznek ortofotót, lidar rendszert használó eljárások, azonban ha az ehhez szükséges adatokkal nem rendelkezik a felhasználó, akkor egy szimpla becslésnél jóval pontosabb értékadásra ad lehetőséget ez az eljárás.

4.2. A mintaterületen található, bejelentésre kötelezett pontforrások által okozott immissziómező vizsgálatának céljából hazai adatbázisok szerkezetéhez igazodó, magyar szabványon alapuló környezeti modellt állítottam elő, illetve az eredményeket geoinformatikai eszközökkel jelenítettem meg

A matematikai modell hosszú távú (éves) esetben a mért meteorológiai adatokból származtatott, rövid távú (órás) esetben a felhasználó által megadott meteorológiai adatok, az effektív érdeességi paraméter, a források koordinátái és a források attribútumai alapján az MSZ 21457 és MSZ 21459 1980 szabványsorozat ajánlásainak megfelelő algoritmust tartalmazza. Az elmélet gyakorlati megvalósításához Excelben Visual Basic nyelven írt makrót alkalmaztam, amely teljes mértékben alkalmazkodik a hazai gyakorlatban fellelhető adatbázisokhoz. A számítások eredményeiként a szoftver a mintaterület 50 m x 50 m-es rácsfelosztásaként keletkező pontok EOVS koordinátáikhoz rendeli a pontforrások hatására létrejövő immisszió értékeket. A számítások eredményeit reprezentáló Excel fájlok valamennyi térinformatikai szoftver számára alkalmasak további feldolgozásra és/vagy térképi megjelenítésre. A modellszámítások minden bejelentett anyagra elvégezhetők, kiemelt jelentőségük miatt én a nitrogén-oxidok, kén-oxidok és szén-monoxid esetén éltem a terjedési modell adta lehetőségekkel. A vizsgált időszakban (2002-től) a gáznemű szennyezőknél mind a rövid átlagolási idejű (órás), mind a hosszú átlagolási idejű (éves) koncentrációmezők kedvező immisszió értékeket jeleznek, a bejelentésre kötelezett források hozzájárulása a levegőterheltséghez még kedvezőtlen meteorológiai feltételek esetén is mindhárom anyag esetén elhanyagolható (3. és 4. ábra). Az elemzett időtartam alatt a településen bekövetkezett gazdasági változások is jól nyomon követhetők a szemléltetett koncentrációmezőkön. Ezek az átalakulások például az egyes városrészek, emisszió alapján tekintett relatív súlyának változásaiban jelennek meg, a nitrogén-dioxid és szén-monoxid esetén megfigyelhető egy

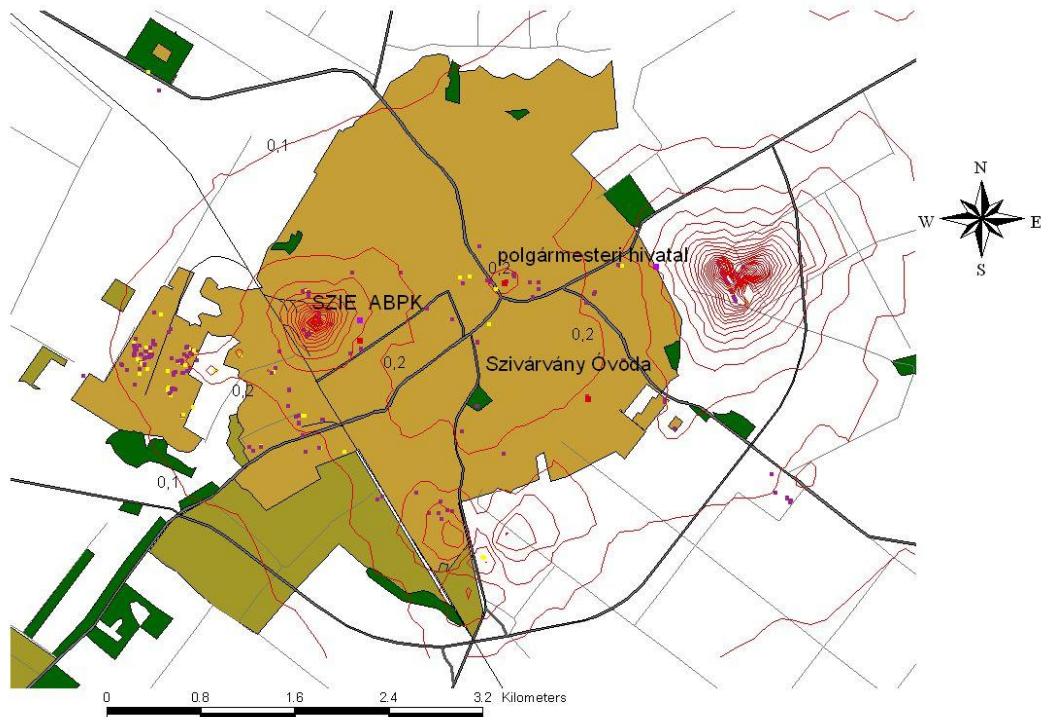


3. ábra. A jászberényi bejelentésre kötelezett források hatására kialakuló éves átlagos nitrogén-oxid immisziómező 2008. évben, az érdességi paraméter értéke 0,26, az izokoncentrációs vonalak 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sűrűséggel megjelenítve

Forrás: saját számítás

nyugat–keleti irányú súlyponteltolódás, továbbá alkalmanként ideiglenes hatások is megmutatkoznak E terjedési modell alkalmazása ellen szól, hogy léteznek újabb fejlesztések is. Véleményem szerint a módszer jelentősége abban rejlik, hogy az üzemeltetők által megadott adatokból mindennemű transzformáció nélkül képes immisziómezőt előállítani. Nem igényli drága szoftver és adatbázis vásárlását, ennek ellenére döntéstámogatás során alkalmazható. Az eljárás tetszőleges alföldi településen használható, egyébként domborzati korrekcióra van szükség. Úgy gondolom, a későbbiek során célszerű lenne a források koordinátáit is a bejelentésre kötelezett adatok közé sorolni, mert e változtatás nagyban megkönnyítené a terjedési modellek előállítását, ehhez azonban jogszabály-módosításra van szükség. E módszert alkalmazva a helyi társadalom számára könnyen interpretálható információkat lehet prezentálni, hiszen a modellszámítások során előállított immisziómezők a határértékekkel összevetve jóval könnyebben értelmezhetőek, mint egy emissziós adatbázis. Új üzemek telepítése esetén az érintettek objektív információkhoz juthatnak, így lehetővé téve a leginkább környezet- és egészségkímélő gazdaságfejlesztést. Mivel az adatbázis szilárd

anyag esetén nem tartalmaz szemcsemérettel kapcsolatos információt, e szennyező esetén csak a forrásokhoz kapcsolódó emissziók kerültek szemléltetésre.

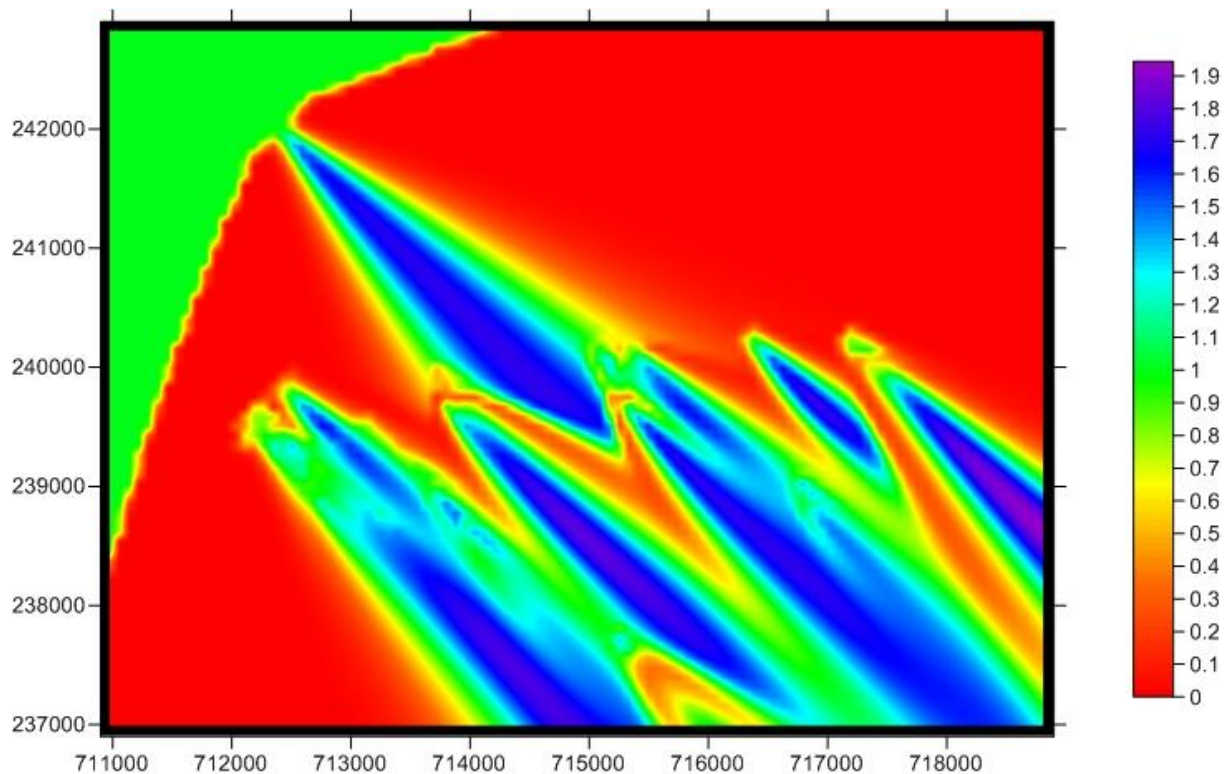


4. ábra. A jászberényi bejelentésre kötelezett források hatására kialakuló éves átlagos szén-monoxid immisziómező 2008. évben, az érdességi paraméter értéke 0,26, az izokoncentrációs vonalak 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sűrűséggel megjelenítve

Forrás: saját számítás

4.3. Vizsgáltam az érdességi paraméterválasztás hatását a modellezett koncentrációmezőre

Az érdességi paraméter megválasztása, valamennyi szennyezőanyag esetén rövid átlagolási időt (órás) választva, a relatíve domináns források hatását emelte ki, kisebb z_0 esetén a tengelyek alatti koncentráció nőtt, majd a tengelytől távolodva fokozatosan csökkent (5. ábra). Éves átlagolási időtartam esetén a források közelében mutatkozott jelentős, akár kétszeres eltérés, majd a távolság növekedésével a különbség értéke fokozatosan 0-hoz közelített. Az elemzés során megmutatkozott, hogy egy szimpla becslés, illetve az osztályozáson alapuló módszer szerint megadott érdességi paraméterekkel számított immisziómezők jelentős eltérést mutatnak, tehát z_0 értékének minél pontosabb meghatározására érdemes hangsúlyt fektetni.



5. ábra. NO_x koncentrációmezők hányadosa 2008. 4. negyedévében északnyugati szélirányt, 2,5 m/s szélességet 5 °C hőmérsékletet, 6-os stabilitási kategóriát 0, 26 m, illetve 1,5 m effektív érdességi paramétert és valamennyi forrás együttes üzemelését feltételezve

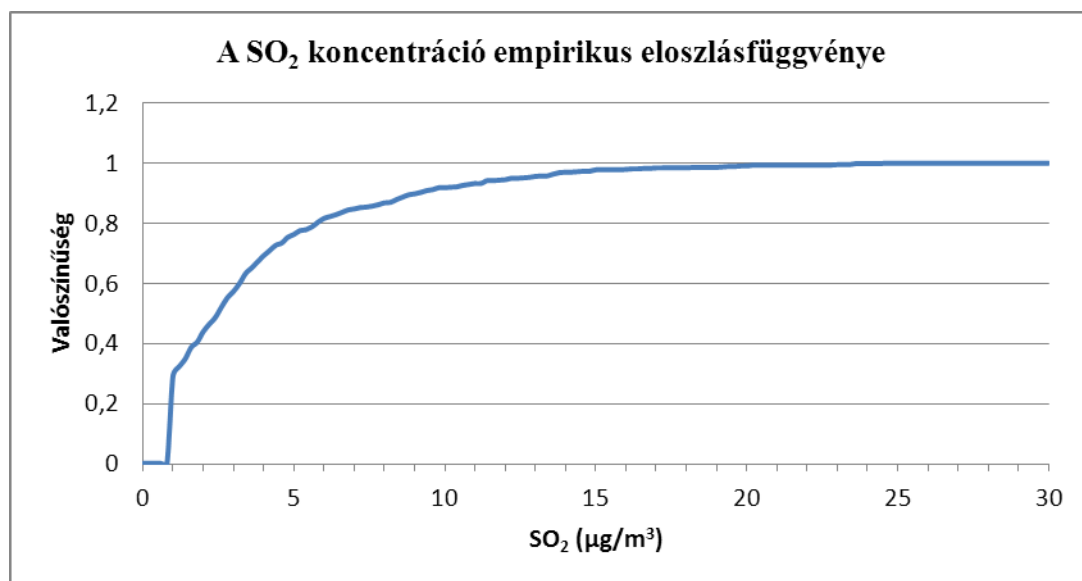
4.4. Matematikai statisztikai módszerekkel értékeltem a települési immisszió adatokat a jogszabályban előírt határértékek, a meteorológiai körülmények és a gazdasági társadalmi folyamatok figyelembevételével

A 17/2001. (VIII. 3.) KöM rendelet, majd a hatályvesztését követően a helyébe lépő 6/2011. (I. 14.) VM rendelet a mért immisszió adatok feldolgozásának módszereként a

- a) matematikai-statisztikai módszert,
- b) grafikus, és
- c) térképes ábrázolást

jelöli meg, így a kutatás során én is ennek megfelelően jártam el. Ezen eljárások közül a térképi ábrázolás ütközik a legtöbb nehézségbe. Amennyiben nem pusztán a mérőállomás(ok) helyszínének és környezetének ábrázolása a cél, hanem mért adatok alapján interpolált térkép előállítás, a mérési eredmények alacsony térbeli reprezentativitása miatt, rendkívül nagy hibával kell számolni, így ezzel a lehetőséggel nem éltem. Az immisszió adatok grafikus ábrázolásánál, a hazai gyakorlatnak megfelelően a fűtési és nem fűtési félévre vonatkozó adatok értékelésére külön-külön került sor. Grafikus ábrázolást alkalmazva mindhárom légszennyező esetén megmutatkozott a periodikus jelleg. NO_2 immissziót vizsgálva

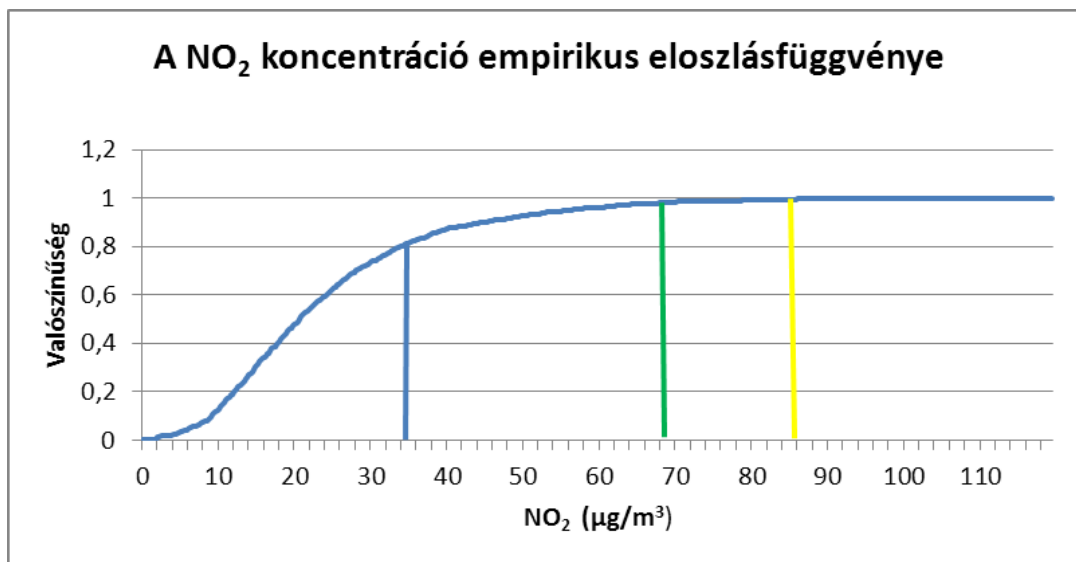
valamennyi mérőállomás kapcsán általában nyáron magasabb, télen alacsonyabb értékek jelentkeztek. Hosszú távú trendként 1990-től 1997-ig folyamatosan csökkenő levegőterheltség mutatkozott meg, majd kisebb megszakításokkal ismét emelkedő immisszióval jellemezhető időszak következett egészen 2011-ig. Kén-dioxid esetén szintén megmutatkozott a periodicitás, téli maximum, illetve nyári minimum értékekkel. A trendhatás ebben az esetben jóval könnyebben kivehető, lényegében az 1990-től 1995-ig drasztikus csökkenés mutatkozott a levegőterheltségben, majd ettől az időszaktól kezdve a regionális háttérértékekhez közeli szinten stabilizálódtak a mérési eredmények. Az ülepedő por immisszió tekintetében trendhatás nem jelentkezik, viszont itt is megfigyelhető a szakaszosan ismétlődő jelleg, általában magasabb nyári, alacsonyabb téli értékekkel. E megfigyeléseket az adatsorokból képzett láncviszonszámok is alátámasztják. A levegőminőség jellemzése céljából felírt belvárosi mérési eredményeken nyugvó gyűjtőfüggvények alapján a kén-dioxid koncentráció 1 valószínűséggel kerül a kiváló kategóriába, azaz biztosan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -nél kisebbek a 24 órás átlagok (6. ábra).



6.ábra. SO₂ koncentráció empirikus eloszlásfüggvénye

Forrás: a Jászberény belvárosi mérőállomás 2004–07 év adatai alapján saját számítás

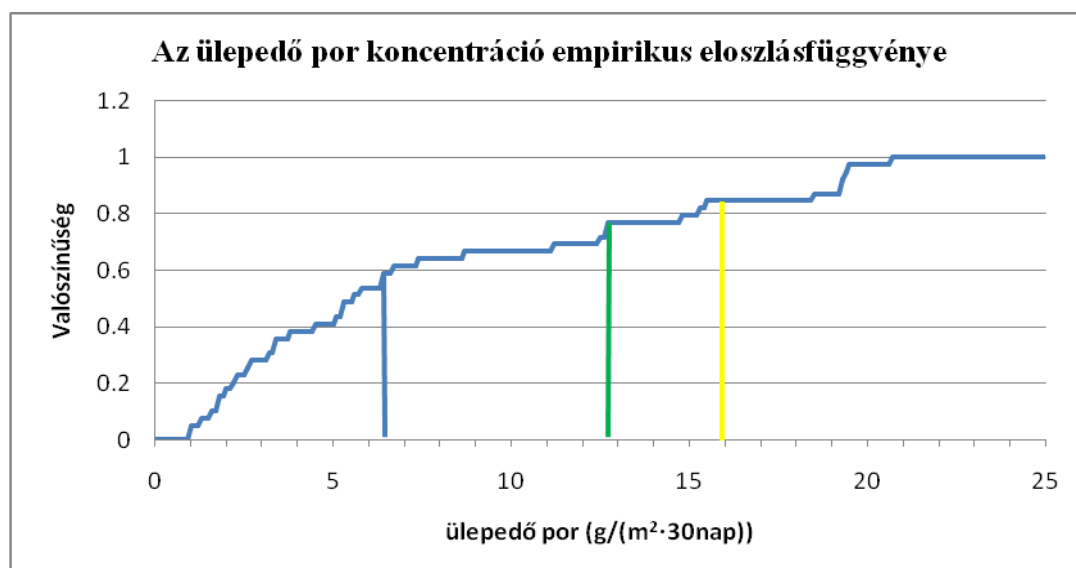
A NO₂ koncentráció empirikus eloszlásfüggvénye szerint a $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 órás határérték betartásának valószínűsége 0,995, ezen belül 0,981 valószínűséggel fordul elő jó (azaz $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -nél nem nagyobb 24 órás átlag) és 0,803 valószínűséggel kiváló (azaz $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 órás átlagnál nem nagyobb) érték (7. ábra).



7. ábra. NO₂ koncentráció empirikus eloszlásfüggvénye (A 24 órás átlag immisszió határérték megfelelő sárga színnel, jó zöld színnel, kiváló kék színnel megjelölve.)

Forrás: a Jászberény 1. belvárosi mérőállomás 2008–11 év adatai alapján saját számítás

Ülededő por esetén a 16 g/m² 30 napos határérték betartásának valószínűsége 0,846, ezen belül 0,769 valószínűséggel fordul elő jó (azaz 12,8 g/m²-nél nem nagyobb 30 napos átlag) és 0,59 valószínűséggel kiváló (azaz 6,4 g/(m²·30 nap) átlagnál nem nagyobb) érték. A leírtakból következően a vizsgált komponensek közül ez a szennyező tekinthető a leginkább problematikusnak (8. ábra).



8. ábra. Az ülededő por koncentráció empirikus eloszlásfüggvénye (A 30 napos immisszió határérték megfelelő sárga színnel, jó zöld színnel, kiváló kék színnel megjelölve.)

Forrás: a Jászberény belvárosi mérőállomás 2004–07 év adatai alapján saját számítás

Az antropogén hatások kimutatására szintén jól használható módszereket ad a matematikai statisztika eszköztára. Az egyes állomáspárok adatsorai között képzett t-próba eredmények szemléletesen mutatják, hogy mennyire egyenletes levegőterhelés jelentkezik a különböző városrészek között.

NO₂ esetén a statisztikai próbák nem fűtési időszakban is viszonylag ritkán jeleznek egyezést, ebből következően, a szennyező esetén elsősorban a közlekedési források hatása dominálhat, tehát feltehetően a vonalforrások idézik elő az adatsorok átlagai között kimutatható különbségeket. Az adatokból képzett korrelációs együtthatók is hasonló eredményekre engednek következtetni, legtöbbször független, gyenge vagy közepes kapcsolatra utaló értékek fordulnak elő. Fűtési időszakban valamivel több esetben jelentkeznek nagyobb t-próba értékek, illetve korrelációs együtthatók, ami a fűtési eredetű immisszió viszonylag egyenletes hatását tételezi fel.

Kén-dioxid kapcsán az egyes állomáspárok adatai alapján képzett t-próba eredmények arra utalnak, hogy fűtési félévben 1996-ig a legtöbb esetben nem tekinthetők azonosnak a várható értékek, majd ezt követően jóval gyakrabban állapítható meg közel azonos átlag. A fűtési és a nem fűtési félévenként képzett korrelációs együtthatók szintén meglehetősen változatos értékeket vesznek fel. 1990-től 2007-ig együtt vizsgálva a fűtési időszak adatait összességében közepesen erős kapcsolat feltételezhető a mérőállomások adatai között. A rövidtávú antropogén hatások, különösen a közlekedési és ipari jellegűek általában a hét napjaihoz kötődnek, ezért célszerűnek láttam az egyes napokhoz tartozó átlagok összehasonlítását. Ennek az elvnek megfelelően csoportokba sorolt adatok várható értékének egyezőségét vizsgáló szórásanalízis modellek fűtési és nem fűtési időszakban is változatos eredményeket mutattak. A kellő elemszámot biztosító, de az esetleges hosszú távú trendhatásokat lehetőleg kizáró négy éves időintervallumokra bontottam a 2000–2011 időszakot. NO₂ esetén az esetek mintegy felében mutatható ki eltérés a napi átlagok között, az élesebb elkülönülés inkább fűtésmentes időszakban jelentkezik. Természetesen ilyen esetben a hétvégi koncentrációk átlaga kisebb. SO₂ esetén egyetlen esetben sem mutatható ki eltérés a napi átlagok között. Emellett SO₂ kapcsán egyértelműen megmutatkozik az 1984–1995 időszakban lejátszódott települési fűtésekszerősítés hatása. Az egyes fűtési időszakokban a településen fogyasztott gáz mennyisége és az átlag immisszió között a korrelációs együtthatók segítségével minden mérőállomás esetén legalább közepesen erős kapcsolat mutatható ki.

Az ülepedő por mérési eredmények időbeli felbontása nem tette lehetővé a napi átlagokkal történő számolást, így a teljes időszakra vonatkozó 30 napos adatok kerültek összehasonlításra. A korrelációs együtthatók alapján, csak a két külvárosi állomás mutat

közepesen gyenge kapcsolatot, a belvárosi adatsor lényegében független a másik két állomásétól. A t-próba eredmények szerint nem fűtési időszakban a belvárosi–SZIE ABPK pár kivételével valamennyi időszakban a város átlagos ülepedő por terhelése egyezőnek tekinthető. Ezzel szemben fűtési időszakban mindhárom állomás átlagos immissziója egyenlőnek mutatkozik, továbbá a SZIE ABPK–óvoda állomáspár kivételével a kapcsolatok erősödése jelentkezik.

A település levegőminősége és a meteorológiai adatok közötti kapcsolatok feltárása kétféle megközelítés alapján történt. Az egyik cél a meteorológiai paraméterek és a városi légszennyezettség közötti kapcsolatok általános vizsgálata, a másik pedig extrém körülmények között, az esetleges légszennyezési epizódok felderítése céljából. Hazánk medencefekvése és éghajlati sajátosságai miatt a légszennyező anyagok feldúsulására a legkedvezőbb feltételeket az anticiklon, illetve anticiklon peremhelyzetek nyújtják (HORVÁTH ET AL, 2003). A hazai gyakorlatnak megfelelően a fűtési és a nem fűtési félévek adatait külön-külön vizsgáltam. A meglévő adatbázis lehetőségeit, illetve a légszennyezők tulajdonságait figyelembe véve mindhárom légszennyező esetén a napi átlagos immisszió és a koncentrációt feltehetően jelentősen befolyásoló meteorológiai paraméterek összehasonlítására került sor.

1. táblázat. A meteorológiai paraméterek és a légszennyezők koncentrációjának kapcsolata

		szél		légköri stabilitás	keveredési rétegvastagság	hőmérséklet	csapadék
		irány	sebesség				
NO ₂	fűtési időszak	független	közepesen erős kapcsolat	független	független	független	-
	fűtésmentes időszak	független	gyenge kapcsolat	független	független	független	-
SO ₂	fűtési időszak	-	gyenge kapcsolat	-	-	gyenge kapcsolat	-
	fűtésmentes időszak	-	független	-	-	független	-
Űp	fűtési időszak	-	független	-	-	közepesen erős kapcsolat	független
	fűtésmentes időszak	-	gyenge, illetve közepesen erős kapcsolat	-	-	független	közepes, illetve gyenge közepesen erős kapcsolat

Forrás: saját szerkesztés

Az általános kapcsolatok feltárása céljából a szélirány és az immisszió kapcsolatát 95%-os megbízhatósági szintű khi-négyzet próbával, míg a többi esetet korrelációs együttható

segítségével vizsgáltam. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza. Az alkalmazott statisztikai módszerek légszennyezőkként eltérő eredményeket jeleztek. Nitrogén-dioxid esetén a légköri stabilitás, a keveredési rétegvastagság, szélirány, hőmérséklet és a koncentráció kapcsolata nem volt kimutatható, de szélsébség hatása bizonyos esetekben jelentkezett. Kén-dioxid esetén a vizsgálat arra az időszakra tevődött, mikorra a városi fűtőkorszerűsítés, illetve a településtől légvonalban 30 km-re található hőerőműben végbemenő füstgázleválasztó beüzemelése végbement. Feltehetően a regionális folyamatok is hozzájárultak, hogy az immisszió fűtésmentes időszakban lényegében független a vizsgált paraméterektől, továbbá fűtési időszakban is csak gyenge kapcsolat mutatható ki. Ülepedő por esetén a korrelációs együtthatók csak a belvárosi nem fűtési időszakra vonatkozó adatsorok esetén jelezték a nedves ülepedés hatását, emellett az adatok alacsony fűtési eredetű por emissziót mutatnak.

A légszennyező anyagok feldúsulására kedvező meteorológiai körülmények kiválasztása az egri, szolnoki és budapesti adatsorokat felhasználva fűtési időszakban a napi minimum hőmérséklet, nem fűtési időszakban pedig a napi maximum hőmérséklet alapján történt. Az előbbi időszakban összes állomás esetén a legfeljebb $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ minimum hőmérséklettel rendelkező napi immisszió értékeket hasonlítottam össze az ezt meghaladókkal. Fűtésmentes időszakban az egyik csoportba a legalább $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ maximum hőmérséklettel rendelkező napi adatok kerültek, míg a másik csoportba az ennél kisebbekkel jellemezhetők. E kritériumoknak mindhárom mérőállomás esetén együttesen kellett teljesülniük. Az egyik feltételnek sem megfelelő adatok kimaradtak az elemzésből. Az összehasonlítás alapját képező 95%-os megbízhatósági szintű t-próba értékek hosszabb időintervallumon, fűtésmentes időszakban NO_2 esetén egyetlen mérőállomás esetén sem mutattak ki eltérést a csoportátlagok között. Fűtési időszakban azonban az óvodai állomás adatsorainak várható értékei között szignifikáns különbség jelentkezett, amely nagy valószínűséggel lokális hatásokra vezethető vissza. Kén-dioxid kapcsán az előbbi eljárás alátámasztotta, hogy anticiklonra utaló meteorológiai körülmények téli időszakban hozzájárulnak a belvárosi kén-dioxid koncentráció növekedéséhez. A többi állomás esetén azonban ez a különbség nem szignifikáns. Ez az eltérés egyúttal arra is utal, hogy elsősorban a városi kibocsátások okozzák ezt a kismértékű koncentrációnövekedést. Nyáron ezzel ellentétes hatás tapasztalható, hiszen egyedül a SZIE ABPK adatsora nem jelez kimutatható különbséget a várható értékek között. Feltehetően ennek az állomásnak a speciális elhelyezkedése indokolja, hogy ez a különbség itt nem jelentkezik, hiszen a leggyakoribb szélirány miatt ide gyakran érkezik a települési emisszió hatásaitól szinte teljesen mentes

levegő. Ebben az esetben, az elvárással szemben, a kedvezőtlen körülmények között alacsonyabb átlagos immisszió volt mérhető. Ennek azonban oka nagy valószínűséggel, hogy hidegebb időszakban, minimális mértékben még nem fűtési időszakban is van kommunális eredetű kibocsátás, ami leginkább a belvárost és az óvodát érinti. Ez a hatás jelenhet meg az átlagokban is. A 2011. évi adatok NO₂ kapcsán lehetővé tették a keveredési rétegvastagság és a szélsőbesség figyelembevételét is, de szignifikáns különbség itt sem mutatkozott meg egyetlen időszakban sem.

4.5. Elemeztem a pontforrások hatása és a város levegőminősége közötti összefüggéseket

A mérési adatok és a modelleredmények összevetése nem mutatott ellentmondást, emellett a transzmissziós modellszámítások lehetőséget nyújtanak a mérőállomások helyszínének kiválasztásában. Az immissziómezők megmutatták, hogy a jelenlegi kibocsátások alapján, amennyiben elsősorban az ipar hatását vizsgáló új állomások telepítésére kerülne sor, azok optimális helyszíne a település keleti, illetve nyugati területe lenne. Tetszőleges település esetén a mérési és a modellezési eljárás együttes használata tekinthető optimálisnak. Ez nagyban megkönnyíti a gazdaságfejlesztési, közlekedéshálózati és fűtőkorszerűsítési programok koordinálását, az ideális nyomvonalak, telephelyek és technológiák kiválasztását.

5. A kutatás további irányai

Az immisszió adatok matematikai statisztikai módszerekkel történő feldolgozása a későbbi időszakban is lehetőséget ad a mintaterület levegőkörnyezetének megismerésére. Hátrányként jelentkezik a mért komponensek és állomások számának folyamatos csökkenése, ebből következően felértékelődik a modellezés szerepe. A transzmissziós modellszámítások megbízhatóságának biztosításához, a gazdasági folyamatok miatt, mintegy ötévente szükség lesz a bejelentésre kötelezett pontforrások helyének újbóli meghatározására. Mint már említettem, nagyban megkönnyítené a terjedési modellek alkalmazását, ha az adatszolgáltatási kötelezettség kiterjedne a források koordinátaira is. A megfelelő jogszabály ilyen irányú változása elősegítené a terjedési modellek általános használatát. A transzmissziós modellszámításokba, amennyiben megfelelő adatbázis kialakítására lesz lehetőségem, be kívánom vonni a vonal, illetve a területi forrásokat is. Távlati célként természetesen előnyös lenne az AERMOD algoritmusainak az alkalmazása, viszont az ehhez szükséges adatbázis kialakításának költség és időszüksége véleményem szerint meghaladja a bevezetésével járó előnyöket.

6.1. A disszertáció alapjául szolgáló publikációk

6.1.1. Közlemények, tanulmányok

1. SZÜCS J. – BÍRÓ T. 2012: *Analysis of urban air imission and meteorological parameters using mathematical statistical method*. Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment, 4. pp.31–41.
2. SZÜCS J. – Lénárt CS. – BÍRÓ T. 2011: Az érdességi paraméter geoinformatikai alapú meghatározásának jelentősége a transzmissziós modellezésben. Földrajzi Közlemények, 135. (3) pp. 219–227.
3. SZÜCS J. 2011: *Városi légszennyezettség vizsgálata terjedési modell alkalmazásával*. Légkör, 56. (2) pp. 65–68.
4. SZÜCS J. – NAGYVÁRADI L. 2010: *Térinformatikai és matematikai statisztikai módszerek használata települési kutatásokban Jászberény környezetállapot vizsgálatának példáján*. Területfejlesztés és Innováció, Pécs 4. (3) pp. 2–9.
5. SZÜCS J. 2009: *Review of the effects of point sources in Jászberény by applying the Gauss model and the methods of mathematical statistics* - In: (Antal Bege) Agriculture an Environment, Sapientia Hungarian University of Transilvania, Scientia Publishing House, 1. (1) pp. 99–110.
6. SZÜCS J. 2009: *Examination of the effect of point sources in Jászberény on air quality applying Gaussian model*. Bulletin of Szent István, Szent István Egyetem, Gödöllő, pp. 90–97.
7. SZÜCS J. 2008: *Air pollution in Jászberény*. Bulletin of Szent István, Szent István Egyetem, Gödöllő, pp. 134–142.

6.1.2. Konferencia előadásokhoz kapcsolódó publikációk

8. SZÜCS J. – NAGYVÁRADI L.: *Pontforrások által okozott immisziómező modellezése és megjelenítése Jászberény példáján*. V. Magyar Földrajzi Konferencia
9. SZÜCS J. 2010: *A jászberényi pontforrások városi immiszióra gyakorolt hatása a tér, az idő és a meteorológiai paraméterek függvényében*. VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, pp. 253–258.
10. SZÜCS J. 2009: *A levegőminőséget befolyásoló tényezők vizsgálata Jászberényben*. V. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia kiadványa, Kolozsvár, 2009. március 26–29., pp. 59–64.
11. SZÜCS J. 2009: *A jászberényi pontforrások hatásnak analízise terjedési modell alkalmazásával*. – In. Szolnoki Tudományos közlemények XIII, pp. 1–10.
12. SZÜCS J. 2008: *Jászberény légszennyezettség adatainak vizsgálata matematikai statisztika alkalmazásával*. XIV. Nemzetközi környezetvédelmi és vidékfejlesztési diákkonferencia, Mezőtúr, p. 75.
13. SZÜCS J. 2008: *Jászberény légszennyezettségében bekövetkezett változások vizsgálata a rendszerváltástól napjainkig*. II. Terület-és vidékfejlesztési konferencia Dél-Dunántúli Regionális Fejlesztési Ügynökség Kht., Kaposvár, pp. 101-105.
14. SZÜCS J. 2008: *A levegőminőség változása Jászberényben*. HUNGEO 2008 Magyar Földtudományi Szakemberek IX. Világtalálkozója, A földtudományok az emberiségért a Kárpát-medencében, ELTE, Budapest, p. 58.

15. **SZÜCS J.** 2007: *Távérzékelés alkalmazása a környezetvédelemben.* PAIDEIA Szent István University Press, Jászberény, pp. 126–130.

6.2. Egyéb publikációk

6.2.1. Konferencia előadásokhoz kapcsolódó publikációk

1. **SZÜCS J.** 2008: *Ivóvíz-felhasználás és szennyvízkibocsátás Jászberényben.* In: CSAPÓ T. – KOCSIS Zs. (szerk.): *Nagyközségek és kisvárosok a térben,* Savaria University Press, Szombathely, pp. 317–329.
2. **SZÜCS J.** 2007: *Szélerőmű Erken.* I. Terület- és vidékfejlesztési konferencia, Dél-Dunántúli Regionális Fejlesztési Ügynökség Kht, Kaposvár, p. 56.
3. **SZÜCS J.** – LÁSZLÓ I. 2006: *Kiskunhalas és Jászberény GPS rendszerű parlagfű-figyelési eredményei.* In: FÜLEKY Gy. (szerk.): *A táj változásai a Kárpát-medencében,* Gödöllő, Tokaj p.143.
4. **SZÜCS J.** – LÁSZLÓ I. 2006: *A jászberényi tanítóképző főiskola és az Eötvös József fakultás összehasonlító elemzése* (poszter). HUNGEO-2006 Magyar Földtudományi Szakemberek VIII. Világtalálkozója, Energiahordozók nyomában – Pannon tájakon, Pécs, p. 82.