

Zárójelentés - A városi felszíngeometria (épületek és fás növényzet) klimatológiai célú felmérése (OTKA PD-100352)

A projekt eredményei

A projekt célja egy új módszer kidolgozása volt, amellyel két fontos paraméter (égboltiláthatóság, felszínérdesség) kiszámítása lehetséges az eddigieknél pontosabban. Az égboltiláthatóság fontossága abban áll, hogy befolyásolja a városi területek éjszakai lehűlését, így a városi hősziget kialakulásának leírásához fontos információt szolgáltat. A felszínérdesség a felszín szélesség módosító hatását jellemzi, ismeretében kiszámítható a szélesség különböző magasságokban, a városklíma kutatásokon túl alkalmazható például szélérőművek tervezésénél, vagy akár időjárás előrejelző modellekben is. Az új számítási módszer szoftveres implementációja JAVA nyelven készült, így platform független. Továbbá a szükséges GIS műveleteket integráltan tartalmazza, tehát a használatához nem szükséges költséges térinformatikai szoftverek beszerzése. A szoftver a számítások elvégzéséhez épületeket és növényzeti adatokat is tartalmazó felszínadatbázist alkalmaz. A szoftver az SZTE, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék honlapján (<http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/>), valamint az SZTE, Városklimatológiai Kutatócsoport honlapján (<http://uhi.geo.u-szeged.hu/ucrg/>) is nyilvánosan elérhető, így a témával foglalkozó kutatók valamint alkalmazott kutatásokkal, várostervezéssel foglalkozó szakemberek szabadon elérhetik. A kapott visszajelzések alapján több példa is volt rá az elmúlt időszakban, hogy alkalmazott kutatásokkal és területi tervezéssel foglalkozó kutatók használták (pl. Szerbia, Csehország, Franciaország, Kína).

A módszertani fejlesztésen túl a projekt keretében részletes adatbázist hoztunk létre Szeged, Debrecen, Eger, Budapest IX. és XI. kerület területén. Ez az adatbázis és a kifejlesztett szoftver lehetőséget teremtett további vizsgálatokhoz pl. a Lokális Klímazónák térképezése, valamint a városi felszín éghajlati modellekben történő pontos jellemzése. A projekt alapjain induló további vizsgálatok segítik a város klímamódosító hatásának mélyebb megismerését, illetve a klímaváltozás városi területeken várható hatásainak előrejelzését. További előny, hogy ezek az adatbázisok a későbbiekben lehetőséget teremtenek további együttműködésekre más hazai intézmények kutatóival.

A projekt során létrehozott módszerekre, valamint szegedi adatok felhasználhatóságára jó példa, hogy ezeket alkalmazva került kiépítésre egy beruházási projekt keretében (URBAN-PATH projekt - Magyarország-Szerbia IPA Határon Átnyúló Együttműködési Program) egy városklíma és humán bioklíma monitoring rendszer Szegeden és Újvidéken. Mindkét városban a projektben fejlesztett szoftverrel történt az

égboltiláthatóság és a felszínérdesség kiértékelése. Az így kapott adatokat alkalmaztuk a Lokális Klímazónák lehatárolásánál valamint a mérőállomások elhelyezésénél.

A projekt eredményei 21 publikációban jelentek meg, amelyek közül 8 folyóiratcikk. Ezen publikációkon felül még megjelenés illetve bíráló alatt áll 2-2. A projekttel kapcsolatosan 8 konferencián vettem részt, amiből 2 volt hazai, ezek mindegyikén előadásban ismertettem a projekt eredményeit.

A projekt részeredményeinek ismertetése

A részletes zárójelentés további részében a projekt azon főbb eredményeit összegzem, amelyek még részben nem kerültek publikálásra. Továbbá a publikációkban megjelent a projekt szempontjából leginkább releváns eredményeit emelem ki, így reményeim szerint a megjelent publikációkkal kiegészítve megfelelő betekintés nyerhető az elvégzett munkába és annak eredményeibe.

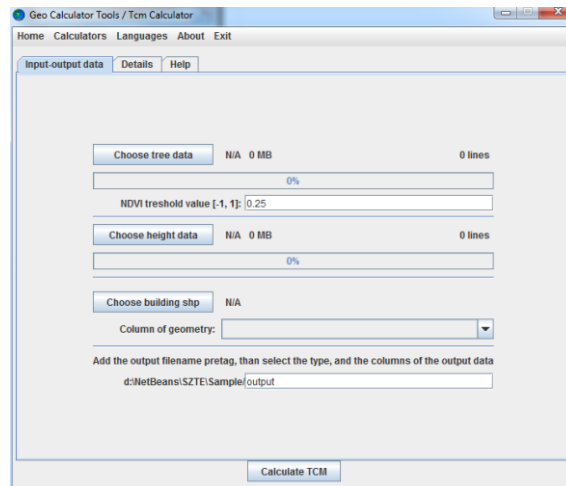
A városi lombkoronák kiértékelése

A kutatás során az első lépés az épületek és fák automatikus kiértékelése, illetve az erre alkalmas módszer kifejlesztése volt. A lehatárolás alapja két alapvető, több úton is beszerezhető adat. Az egyik a normalizált vegetációs index (NDVI), amellyel a növényzettel borított felszínek, felületek különíthetők el a mesterséges felületektől. Ennek kiszámítására szinte bármilyen légifotó vagy műholdfelvétel alkalmas, amelynek elégséges a felbontása és rendelkezik legalább vörös és közeli infravörös spektrális sávval. A másik pedig egy igen részletes 3 dimenziós pontfelhő, amely lehetőség szerint minél több objektum (épület, fa, felszín) tengerszint feletti magasságát tartalmazza. Az ilyen jellegű adat több forrásból származhat, például radar elven működő magasságmérés (LIDAR) vagy fotogrammetriai úton légifotók felhasználásával. A módszer tesztelésére a Földmérési és Távérzékelési intézettől szereztünk be 4 városra digitális 4 sávú, 0,5 m felbontású légifotókat, amelyeket az ERDAS szoftverrel valamint annak LPS nevű fotogrammetriai moduljával dolgoztunk fel.

A lehatárolás során a módszer a 3D pontfelhőből indul ki. Első lépésben megkeresi azon pontokat a szabálytalanul elhelyezkedő magassági pontokból, amelyek egymáshoz közel helyezkednek el, a magasságuk egy meghatározott határon belül azonos és az általuk lehatárolt területen belül nincsenek eltérő magasságú pontok. Miután minden pont egy-egy pontthalmazhoz került a módszer Thissen (vagy Voronoi) poligonokat rajzol ezen pontthalmazok közé így létrehozva egy folytonos felületet. Ezt követően a módszer minden egyes poligonra kiszámítja az átlagos NDVI értéket. Egy szabadon változtatható határérték megadásával kiválogatjuk a fákhöz, épületekhez tartozó pontokat. Az általunk alkalmazott

fotókon 0,35 volt az a határérték, amely felett egyértelműen fákat lehetett azonosítani, azonban ez nem tekinthető állandónak, hiszen az NDVI értéke az évszaktól, a pillanatnyi vízellátottságtól és a napsugarak beesési szögétől is függ. Amennyiben rendelkezésre áll épület alaprajz adatbázis, akkor a módszer pontosítható annak alkalmazásával.

A módszer fa lehatárolásra alkalmas részének kezelő felületét az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra Az elkészült módszer lombkorona kiértékelésre alkalmas része

Az égboltláthatóság számítása

Az égboltláthatóság (SVF) számításának alapja egy korábbi egyenlet (Unger, 2009; Gál et al. 2009) módosított változata. A módszer figyelembe veszi a felszín egy adott pontja körüli tereptárgyakat. Ilyen tereptárgy lehet épület (B) fa (T1) vagy esetleg olyan fa, amelynek a lombkoronája az adott pont felett található (T2). Ezekhez az objektumokhoz emelkedési szögeket rendeltünk. Az épülethez tartozó szög (β), az első típusú fához ($\beta + \gamma$) illetve a második típusú fához (δ) tartozó szögek, ez első kettőt a horizonttól az utóbbit a zenittől mérjük fel.

Ilyen adatok ismeretében az égboltláthatóságot a következő képlettel írhatjuk le:

$$SVF = 1 - \left(\int_0^{2\pi} VF_B d\omega + \int_0^{2\pi} \tau \cdot VF_{T_1} d\omega + \int_0^{2\pi} \tau \cdot VF_{T_2} d\omega \right)$$

ahol az összeg egyes tagjai a három különböző tereptárgyhoz tartozó láthatósági indexnek felelnek meg az adott pontból nézve a félgömb minden ω irányában. τ a fákhhoz rendelt transzparencia értéke. A módszer esetében ezt az értéket állandónak tekintettük, átlagos

értékének meghatározásához terepi méréseket végeztünk. A terepi mérések adatai alapján τ értékét 0,8636-nak vettük.

A három különböző láthatósági index számítását az Oke (1987) által megadott szabályos medencére vonatkozó SVF képlet átalakításával oldottuk meg. A szabályos medence középpontjára vonatkozó képlet $SVF_{\text{basin}} = \cos^2\beta$ és így a láthatósági index $VF_{\text{basin}} = 1 - \cos^2\beta = \sin^2\beta$. Ez a képlet csak az épületekre jelent megoldást, azonban a fák esetén analóg módon bevezethetjük a következő formulákat. A fák első típusának esetén $VF_{T1} = \sin^2(\beta + \gamma) - \sin^2\beta$, a második típus esetén $VF_{T2} = \sin^2 90^\circ - \sin^2(90^\circ - \delta) = 1 - \sin^2(90^\circ - \delta)$.

Az így megkapott láthatósági index képletek még nem elégségesek a valós területeken történő alkalmazásra, ellenben ha ismerjük a két emelkedési szög (β , γ), valamint a zenitszög (δ) alakulását az irány (ω) függvényében, akkor az SVF értéke kifejezhető a következő módon:

$$SVF = 1 - \left(\int_0^{2\pi} \sin^2 \beta d\omega + \int_0^{2\pi} \tau \cdot (\sin^2(\beta + \gamma) - \sin^2 \gamma) d\omega + \int_0^{2\pi} \tau \cdot (1 - \sin^2(90^\circ - \delta)) d\omega \right)$$

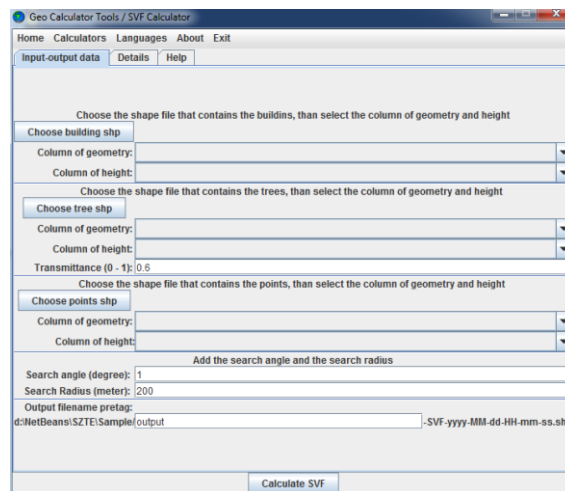
A képlet programozása során áttértünk a következő közelítő formulára, amellyel véges sok irányban összegezhető a láthatósági index értéke:

$$SVF = 1 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{\alpha}{2\pi} \cdot \sin^2 \beta_i + \sum_{i=1}^n \tau \cdot \frac{\alpha}{2\pi} \cdot (\sin^2(\beta_i + \gamma_i) - \sin^2 \beta_i) + \sum_{i=1}^n \tau \cdot \frac{\alpha}{2\pi} \cdot (1 - \sin^2(90^\circ - \delta_i)) \right)$$

ahol α az irányok bezárt szöge, ez az irányok számával (n) a következő összefüggésben áll: $n = 360^\circ/\alpha$.

A módszer alkalmazására fejlesztett szoftvert JAVA nyelven alkottuk meg. A választott nyelv előnye, hogy Linux és Windows operációs rendszereken is alkalmazható, mind a grafikus felületen mind parancssorból futtatva. A program kiolvassa a geometriai és attribútum információkat az épület és a fa adatbázisokból, amelyek formátuma a vektoros felépítésű ESRI shapefile fájlformátum. A számításhoz szükséges továbbá azon pontok listája (és koordinátái), amelyre a számítást el kell végezni. A szoftver ezt követően egyenesek segítségével letapogatja az adott irányokban az épületeket és fákat valamint kiszámítja a szükséges szögeket. Ezekhez a műveletekhez számos GIS függvény szükséges, amelyek nyílt forráskódúak így szabadon felhasználhatóak. A letapogató távolsága és felbontása valamint a fákra vonatkozó transzparencia értéke szabadon beállítható. Köszönhetően a hatékony felépítésnek a számítási igény igen alacsony, egy

átlagos személyi számítógépen (Core i3 processzor, 4 GB memória) egy pont esetén 0,6 s körül alakul. Az elkészült szoftver kezelőfelületét az 2. ábra szemlélteti.



2. ábra Az elkészült módszer SVF számításra alkalmas része

Az felszínérdesség számítása

A felszínérdesség számításának alapja Bottema (1997) modellje, amely a frontális felület arány (λ_F), sík terület arány (λ_P) és a térfogattal súlyozott átlagos magasság (h) alapján számíthatja az érdességi magasságot (z_0) és a kiszorítási réteg vastagságot (z_d).

$$z_0 = (h - z_d) \exp\left(-\frac{\kappa}{\sqrt{0.5 \cdot C_{Dh} \cdot \lambda_F}}\right), \quad z_d = h \cdot (\lambda_P)^{0.6}$$

A számítás alapegysége a szomszédos és érintkező épületek köré szerkesztett Thissen (vagy Voronoi) poligon. A poligonok létrehozása automatikus, a város határán illetve nagyobb parkok esetén egy előre definiált maximális távolsággal korlátozható a mérete.

A poligonokon belül definiálható az épületek (A_{Pb}), a fák (A_{Pb}) teljes alapterülete valamint magának a poligonnak a területe (A_T). A fák, mivel porózusak és az épületektől eltérő hatást gyakorolnak a határréteg légáramlásaira ezért a szakirodalmi példákat alkalmazva egy porozitás (p) értéket alkalmaztam a számításokban, amellyel megadható, hogy a légáramlás számára mennyire átjárható az a lombkorona térfogat. Ennek értékét korábbi források alapján 0,6 vettük lombos, 0,2 levéllel nem rendelkező fák esetén.

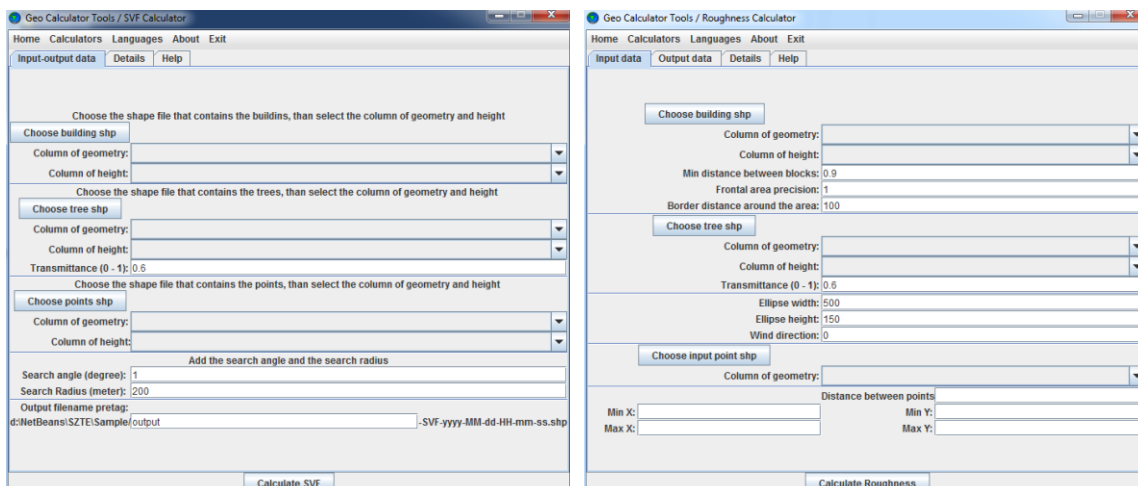
$$\lambda_P = (A_{Pb} + (1 - p) \cdot A_{Pb}) / A_T$$

A frontális felület számítását hasonló elvek alapján dolgoztuk ki. A poligonokon belüli objektumoknak képeztük a frontális vetületét. Mivel a magassági adatok rendelkezésre állnak ezért külön meghatározható, hogy ebből a frontális vetületből mekkora rész, amely csak épület, csak fa, illetve mindkettő közös vetülete. Mivel ha szélirányban egy azonos magasságú épület és fa is található, akkor az épület játsza a jelentősebb szerepet így ez esetben a fa felületét nem vettük figyelembe. Az épületek (A_{Fb}) és a fák (A_{Ft}) teljes frontális felületének kiszámítása, alkalmazva a már ismertetett porozitást a következő képlettel történt:

$$\lambda_F = (A_{Fb} + (1 - p) \cdot A_{Ft}) / A_T$$

A felszínérdesség végső és egyben kulcsfontosságú lépése a területi átlagolás. A számítás alapegységeként felhasznált poligonok mérete nem összemérhető a tér egy adott pontját befolyásoló hatásterülettel. Itt a Liu et al. (2009) által bemutatott méréseken alapú hatásterületi modellt alkalmaztuk. A felszínérdesség számítása így pontokra vonatkozóan történik, azonban minden pont esetén számos poligon egyedi érdességi értékeinek felhasználásával egy jelentős méretű hatásterületen határozzuk meg az átlagos érdességet.

Mivel fontos cél volt, hogy a számítás köztes eredményei is elérhetőek legyenek, ezért a kidolgozott szoftveres eljárás érdesség számító része jóval több beállítási lehetőséggel rendelkezik (3. ábra).



3. ábra Az elkészült módszer SVF számításra alkalmas része

A módszer tesztelése és alkalmazása

A módszer tesztelése és validálása folyamatos munka volt, amit részben diplomamunkásokkal és szakdolgozókkal közösen az elkészülő értekezésük részeként végeztük.

A módszer alkalmazási lehetőségei közül a Lokális Klímazónák térképezési eljárása emelkedik ki, amelyet a részben általam vezetett PhD hallgatóval közösen hoztunk létre. A kifejlesztett térképezési módszer nagyon hasonló alapműveleteket alkalmaz és felhasználja a létrehozott felszínadatokat (SVF, érdesség). A Lokális Klímazónák rendszerének végső formáját 2012-ben (az OTKA projekt első évében) publikálták (Stewart, Oke 2012), így a projekt elejétől kezdve a kifejlesztett felszínparaméter számító eljárás ez irányú alkalmazási lehetőségeire koncentráltam. Ennek eredményei lettek a Lokális Klímazóna térképezési módszer valamint a lokális klímazónákon alapuló klimatológiai elemző munkák.

A projektben létrehozott felszínérddesség számító eljárás tette lehetővé, hogy egy Szegedre és Újvidékre kiterjedő városi humánkomfort monitoring rendszer elkészülhessen. A rendszerek a városi területen nem alkalmaznak szélmérő műszereket, így a szélsébséget a projektben kifejlesztett módszerrel számított felszínérddesség és abból levezetett szélprofil alapján becsüljük minden egyes helyen ahol ez szükséges a városi területen belül.

A projekt utolsó időszakában egy városi léptékű klímamodell (MUKLIMO) parametrizációjához alkalmaztam a kifejlesztett számítási módszereket, valamint létrehozott adatbázisokat. Ez a terület szintén egy kiváló lehetőség az OTKA által támogatott kutatás további folytatására.

Említett források

- Bottema M., 1997: Urban roughness modelling in relation to pollutant dispersion, *Atmospheric Environment*, **31**, 3059-3075
- Liu G., Sun J., Jiang W., 2009: Observational verification of urban surface roughness parameters derived from morphological models, *Meteorological Applications*, **16**, 205-213
- Oke T.R., 1987: *Boundary layer climates*, Routledge, London-New York
- Stewart I.D., Oke T.R., 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* **93**, 1879–1900