

## Válasz

Dr. Anda Angéla

### Gál Tamás: A lokális klímazónák városklimatológiai alkalmazása című MTA doktori értekezéséről készített opponensi véleményére

---

Mindenekelőtt szeretném megköszönni opponensemnek a bírálat elkészítését, pozitív megjegyzéseit, illetve azt, hogy kiemelt számos az általam is fontosnak tartott jelentősebb eredményt.

A bírálatban megfogalmazott felvetésekre (amit itt szürke színnel szerepeltetek) a következő válaszokat fogalmazom meg.

A disszertáció témája „review” jelleggel öleli fel a városklíma alapvető ismeretanyagát az elmúlt évtizedekben napvilágot látott publikációk segítségével, középpontban a szegedi kutatócsoport nagy múltra visszatekintő munkásságával. A téma aktualitását a disszertáció végén felsorolt 400-on felüli idézett publikáció jól alátámasztja. A szegedi kutatóműhely eredményességét, a hazai vonatkozásokat is reprezentáló mű közvetítette városklíma kutatás jelentőségét az is aláhúzza, hogy a kutatóhely felkerült a jelentősebb városklíma-kutatással foglalkozó műhelyeket bemutató világtérképre is.

A disszertáció célkitűzése a városon belüli termikus klíma-osztályok (LCZ) elkülönítése, térképezése, melynek alapján egyik lehetőség egy monitoringhálózat kialakítása volt, melynek adatai a klímamodellekbe beépítve jövőbeni scenáriók kidolgozására biztosított lehetőséget. A vizsgálat végén a modellezett eredmények alapján mitigációs útmutatóval zárul a disszertáció gondolatsora.

A jelölt a PhD fokozat megszerzését követően tevékenységét, LCZ-re vonatkozó eredményeit a szegedi kutatócsoportban érte el, melyek közül azokat mutatta be, amelyek elérésében jelentős, vagy meghatározó szerepe volt. Ennek megvalósítása nem könnyű feladat, különösen egy jól körül határolt disszertáció keretei között. Ha a disszertáció tagozását nézzük, formáját tekintve teljesíti az elvárt követelményeket [bevezetés + célkitűzés 2 old., irodalmi áttekintés 2 fejezetben 30 old., anyag és módszer 11 old., eredmények 61 old., összegzés szerű tézisek 3 old., irodalomjegyzék 19 old.]. A dolgozat nem választotta szét az eredményeket, azok értékelését és a következtetéseket, mely így együttesen – címtől függetlenül- csaknem a disszertáció felét tette ki. Az anyag tartalmi bemutatása a témának megfelelő logikai elrendezést követte. Ennek oka, hogy a vizsgálatok jelentős része módszertani jellegű, így a szokásos természettudományos tagozás (eredmények és értékelésük, következtetések) nem a legcélravezetőbb eljárás. A jelölt a módszertani elkülönítésnél döntött arról, hogy csak az általános módszertani rész került be az Anyag és módszer fejezetbe, s a jobb érthetőség, követhetőség szempontjából az eredmények fejezetben több módszertani rész közvetlenül megelőzi az eredményeket; mégpedig ott, ahol aztán az abból levonható következtetések is vannak. Végül a disszertáció egy jól olvasható városklíma összesítő anyaggá állt össze, ahol a szokásos formai részek a megértést segítően keveredtek egymással. A mű irodalmi megalapozottságát a 19 oldalas irodalomjegyzék támasztja alá, mely számozás hiányában becslésem szerint mintegy 400-450 közötti forrás felsorolását tartalmazza. Az idézetek néha nem teljesek (pl. Unger J, Gál T, 2017: Városklíma. GeoLitera...??; Gál T, Bechtel B, Unger J, 2015. Comparison of two different Local Climate Zone mapping methods. Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate, ...hely, idő). A kiadók neve mellett a kiadás helyének megnevezése tovább emelte volna azok információtartalmát. Az új eredményeket az összegzés címet viselő fejezetben sorolja fel 20 pontban, tézis-szerűen. A szöveget 86 ábra és fényképfelvétel, valamint 27 táblázat teszi teljessé. A disszertáció nyelvezete olvasmányos, alig néhány elütést tartalmaz.



Ami számomra hiányzott a disszertációból egy rövidebb lélegzetű összefoglalás (nemcsak az új eredmények felsorolása), egy rövidítések jegyzéke, valamint az egyenletek számozása.

Köszönöm opponensem méltató szavait, különös tekintettel a dolgozattal, valamint a szegeledi kutatóműhellyel kapcsolatban. Opponensem pontosan meghatározza a dolgozat elkészítése kapcsán felmerült legnehezebb feladatot, miszerint a kutatócsoportban végzett tudományos munka hogyan foglalható össze egy koherens doktori műbe. Bevallom, a legtöbb időt és energiát ez emésztette fel a munka során, mindazonáltal örömmel adok hangot, hogy a bíráló alapján ez a munka sikeres volt. Örömteli, hogy opponensem értékeli az eredmények és a módszerek szokásostól némileg eltérő – azonban ez esetben véleményem szerint is jóval célravezetőbb – szerkezetét a doktori műben.

A munka során mind az 523 hivatkozott forrást egyesével megkerestem a Google Scholar segítségével, majd az ott generált Harvard stílusú hivatkozási formát – minimális egyszerűsítést követően – helyeztem el az irodalomjegyzékben. Ennek ellenére, sajnálatosan, egy-két helyen valóban kimaradt néhány információ, amire opponensem fel is hívta a figyelmet.

Opponensemnek az összefoglalás kapcsán felvetett hiányérzetével egyetértek, az ilyen jellegű összefoglalás kihagyása szándékos, mindazonáltal fájó döntés volt a részemről. A disszertáció írása során a fő szempontom az volt, hogy az elkészült doktori mű alkalmas legyen – mint ahogyan a doktori szabályzat is fogalmaz – „a kérelmező eredeti, önálló tudományos teljesítményének megítélésére”. Ennek szellemében fontosabbnak éreztem az összefoglalás esetén a tézis-szerű formát, amelyben pontosan megfogalmazom saját szerepemet a korábban bemutatott eredményekben.

Egyetértek opponensem véleményével, hogy mind az egyenletek számozásának, mind a rövidítésjegyzéknek helyet kellett volna kapnia a dolgozatban. Mindkét eszközt előszeretettel alkalmazom általában, ez esetben azonban alkalmazásuktól – hosszas vívódást követően – eltekintettem. Az egyenletek számozását végül azért töröltem, mert nem volt köztük egy sem, amire a szöveg távolabbi részén hivatkozok, így véleményem szerint némileg okafogyottá vált. A rövidítések jegyzékét pedig a munka elején még feszesnek tűnő terjedelmi korlátok miatt vettem el.

Az irodalmi áttekintés a városklíma kutatás közelmúltbeli eredményeinek felvonultatásával indul. Itt a városklíma fogalma, meghatározói és az éghajlat módosulásban betöltött szerep került bemutatásra. A klíma-módosulást tartalmazó alfejezet kivételével nagy számú önhivatkozás szerepel, főképpen társszerző kollégáival (Unger). A klímaváltozás városklímát érintő kérdéseinek bizonytalanságára, a rendelkezésre álló jövőbeli változások ismeretének hiányára, már itt felhívja a figyelmet. A városi klímamodellek bemutatására is itt került sor.

Részletesen tekinti át az elmúlt két évtizedben megalkotott néhány száz m<sup>2</sup>-es kiterjedésű homogén városi klímazónákat (UCZ), azok metaadatainak és környezetének áttekintését tartalmazó legfontosabb kategóriáival. A néhány évtizedes lokális klímazónák (LCZ) bemutatása – módszereivel együtt- időben ezt követte, mely a város klimatológiai szempontú térképezésére összpontosult kezdetben egy-egy városra, később egyre inkább kiterjedtebb léptékű megfigyelésekben. Az LCZ klímamodellekben való alkalmazhatósága széles teret kapott a disszertációban, hasonlóan a humánkomfort viszonyok és az LCZ közötti kapcsolat elemzéséhez.

Az irodalmi feldolgozás kapcsán a fő célom az volt, hogy egy rövidebb áttekintést követően részletesen bemutassam a szűk tématerület (LCZ) eredményeit és a dolgozat keretében bemutatásra kerülő eredmények helyét ebben a nemzetközi kontextusban. Így külön öröm számomra, hogy opponensem méltányolja ezt a megközelítést.

LCZ lehatárolás térképezés célzatú alkalmazhatósága nyitja az eredményeket, mely a szerző szerint egy jelentős új területet jelent a városklimatológia témakörén belül. A szubjektív térképezés



mellett egy GIS alapú, 7 definiált felszín paraméteren (irodalom) nyugvó eljárás került bemutatásra. A felszínparaméter poligonokra nyert értékek és az egyes LCZ osztályokhoz rendelt értéktartományok alapján poligononként minden LCZ kategóriához pontokat rendel (kategóriába sorolás hasonlóság alapján). A besorolás több lépésben került további korrigálásra.

A GIS alapú eljárást a városklimatológiában elterjedt WUDAPT módszerrel is összevetette, ahol az eltérő lokális klímazónaként azonosított 100 m-es pixelek aránya (szűrő típustól függően) 21 - 30 % közötti volt. A két módszer előnyei alapján kifejlesztésre került egy új, kombinált térképezési eljárás. A kombinált módszer eredménye hasonló pontosságú, előnye, hogy ez csak a műholdképek adatait használja fel.

Ezután az LCZ rendszerre reprezentatívan kialakított új szegedi monitoring hálózat kifejlesztése történt. A bemutatott új monitoring rendszer nemzetközileg is újdonságnak tekinthető. A kritériumok alapján Novi Sad példáján szemléltetve tíz reprezentatív állomáshelyet határozott meg. Szegeddel együtt került kialakításra az Urban-Path városi mérőállomás hálózat. A modellezett és az interpolált hőmérsékleti mezők különbsége Szegeden a 24 elemű hálózat interpolációból adódó hibája a terület 78%-án  $0,5^{\circ}\text{C}$  alatt maradt. A mérés és az adatfeldolgozás folyamatai részletesen kerültek bemutatásra. Az LCZ alapján meghatározott városklíma monitoring rendszer a szegedi mintaterületre összegyűjtött felszíni statikus adatbázisokkal alapot biztosít városklíma modell fejlesztéshez, közepes méretű városok esetében.

A városklíma jellemzésben a léghőmérséklet városi eloszlását mobil méréseken alapuló vizsgálat keretében mutatta be a szerző az LCZ kategóriák figyelembe vételével. Ebben eltérő időintervallumokban követhetjük az egyes eltérő kategóriák léghőmérséklet alakulásában fellépő különbségeket. Expedíciós mérések szerint Szegeden a legnagyobb léghőmérsékleti differencia a város közepén lévő legintenzívebb beépítés (kompakt, közép magas beépítés) és a természeteshez közeli alacsony növényzet és ritkán beépített területek között több, mint  $5^{\circ}\text{C}$  volt. Az éves átlagokban az eltérések tendenciái azonosak, csak a különbségek kisebbek.

Fontos megállapítás szerint a városi környezetben a levegő nedvességtartalmának abszolút karakterisztikái pontosabb következtetés levonását eredményezhetik, mint e relatív légnedvesség. A gőznyomás és az LCZ kapcsolat viszont nem volt egyértelmű, a mérési helyszínek mikroskálájú környezetének hatásai miatt, ezért a nedvességviszonyok jellemzésétől további információk hiányában a dolgot eltekintett.

Az LCZ területek térbeli helyzetével összhangban volt a terhelő humánkomforttal jellemezhető területek elhelyezkedése (LCZ 2, 3, 5, 6) is. A hőhullámnál ez a PET többlet magas,  $5^{\circ}\text{C}$  volt. A városklíma elviselhetőségének jellemzéséhez a nyári nap (napi maximumhőmérséklet  $25^{\circ}\text{C}$  felett) és a trópusi éjszaka (napi minimum meghaladja a  $20^{\circ}\text{C}$ -ot) klímaindexét alkalmazta. Megállapítást nyert, hogy az LCZ rendszerrel leírható városi hatás éjjel, míg a mikrokörnyezet hatás inkább nappal dominál. Az évszakos eltérésekhez hideg- és meleg klímaindexeket alkalmazott a jelölt.

Előzetes vizsgálatok alapján a LCZ rendszer termikus szempontból leképezte a városfelszínt, ezért a különböző modellekben történő alkalmazása javasolt (UHI becslés). Ezt számos modellbecslés alkalmazásával, annak eredményeivel igazoltnak tekinthetjük.

A vizsgálatok végére került a hazai városok jövőbeli termikus viszonyainak előrejelzése, mely jelentős munícióval szolgálhat a városvezetők, tervezők számára. Ennek keretében a Kárpát-medence 26 különböző méretű városában felmérték a trópusi éjszakák ( $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ) mintázatát és annak változását a 21. században. Kidolgozásra került a WUDAPT módszer műholdkép osztályozásán és a GIS módszer telek poligon összevonásán alapuló LCZ osztályozás (Landsat felvételek). Megállapítást nyert, hogy a trópusi éjszakák 31, illetve 35 közöttiek lesznek Budapesten, az RCP4.5 és az RCP8.5 forgatókönyvek szerint. Ezek a számok tovább emelkednek, ha nem a

2021-2050-es időszakot, hanem az évszázad végét tekintjük. Ennél kisebb értékek kisebb városoknál, ill. magasabban fekvő helyeken várhatóak.

A disszertáció végére került a modellezett eredmények gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata, mely különösen a várostervezésben jól felhasználható. Tanulságosnak tekinthető az a modell-kísérlet, mely az erdős és a nyitottabb növényborítottságú területek viselkedésbeli eltérését taglalta. Ebben értékes elem a városokban található eltérő növényi „foltok” hatása az eltérő napszakok hőmérséklet alakulására. A zöldterületek többféleségéről mindenki hallott, de azok tudatos megválogatása még nem tekinthető mindennapos gyakorlatnak. A megfelelően összeválogatott zöld-felszínek vegyes forgatókönyve számos előnnyel járhat, ha ismerjük az eltérő növényborítottságok mikroklímára gyakorolt hatásait. A nappali és éjjeli hatások együttes elemzésre rámutatott arra, hogy a zárt lombkoronájú erdős területek nappali kedvező árnyékoló hatása éjjel részben megfordul. A gyepek területek kedvező hűtő hatása éjszaka jelentkezik. A jó kombináció záloga lehet a legkedvezőbb városklíma kialakításának.

A véderdő összetett Janus arca is bemutatásra került azzal a megjegyzéssel, hogy a légszennyezettségre gyakorolt hatásai további megfigyeléseket igényelnek.

Köszönöm opponensem alapos munkáját, amely keretében rámutat a dolgozatban bemutatott kutatómunka főbb eredményeire. Örömteli, hogy opponensem kiemel számos olyan fontos eredményt, amelyeket magam is kulcsfontosságúnak gondolok. Így azt, hogy: (i) városi környezetben a légnedvesség abszolút karakterisztikáinak alkalmazása a célravezetőbb; (ii) az LCZ rendszer alkalmas a város termikus viszonyainak jellemzésére és ezáltal kiváló alapot jelent a városi léptékű időjárás és klíma modellezésre; (iii) a hazai városok várható termikus viszonyainak, valamint a különböző szerkezetű városi zöldterületek, vagy a véderdő kapcsán bemutatott eredmények jelentőségét a várostervezéssel foglalkozó szakemberek számára. Elismerésnek érzem, hogy a zöldterületek klimatikus hatásaival kapcsolatos modellkísérletek eredményeit részletesen elemzi és tanulságosnak értékeli. Opponensem rámutat több eredmény kapcsán is, hogy vannak még olyan aspektusok (városi nedvességviszonyok, véderdő légszennyezettségre gyakorolt hatásai), amelyek további vizsgálatok keretében még részletesebben elemezhetőek. Úgy vélem természetes, hogy a bemutatott kutatómunka kapcsán több ilyen elvarratlan szál is megjelenik, hiszen a bírált doktori mű nem egy végösszegzése hanem egy rendkívül fontos köztes lépése kutatói életpályámnak.

A disszertációban foglalt eredmények és a jelölt eddigi tudományos tevékenysége alapján eredményes védést követően az MTA doktori cím odaítélését támogatom.

Végezetül szeretném megköszönni opponensemnek a doktori műben bemutatott eredményeimre, valamint tudományos tevékenységemre vonatkozó méltató szavait, illetve azt, hogy az MTA doktori cím odaítélését támogatja.

2023. május 25.



Gál Tamás