

A VÁROSI FELSZÍN ÉS A HŐSZIGET KAPCSOLATA SZEGEDEN

1. rész: Térinformatikai eljárás a felszíngeometria számszerűsítésére

1. Bevezetés

Települési környezetben a megváltozott felszínborított-ság jelentősen befolyásolja a terület energia- és víz-egyenlegét, ami lokális léptékű klímamódosuláshoz vezet. A változások közül a városok hőmérsékleti többlete jelenik meg a legmarkánsabban (*Landsberg 1981, Kuttler 2005*). A kialakuló városi hősziget (urban heat island – UHI) három szinten lehet világosan megfigyelni és elkülöníteni: a felszínen (e.g. *Voogt and Oke 1997, Dezső et al. 2005*), a jelen tanulmányban is vizsgált felszínközeli (házak közötti) néhány méteres légrétegben (e.g. *Unger 1996*) és a városi tetőszint feletti légtérben (e.g. *Rotach et al.*).

A felszínközeli UHI elsősorban az urbanizált részek és a külterületek között jelentkező eltérő hűlési és felmelegedési ütem következménye. Nagysága (intenzitása) amellet, hogy jellegzetes napi járást mutat, a városon belül meglehetősen eltérő mértékű. A hősziget kialakulására és intenzitására hatással lévő faktoroknak, illetve azok nagyságrendi szerepének meghatározása, modellezése bonyolult, részben a város összetett vertikális és horizontális tagoltsága, részben pedig a mesterséges hő- és szennyezőanyag-kibocsátás miatt.

A témával foglalkozó kutatások számos lehetséges kiváltó tényezőt vizsgáltak meg. Már a kezdeti lépéseknél nyilvánvalónak látszott, hogy a hősziget maximális erőssége a város méretétől függ. A különböző kontinensek városait összehasonlító vizsgálatok rámutattak arra, hogy az egyes földrészekeken tapasztalható városi hőszigetek jellege, erőssége más és más, melyre legkézenfekvőbb magyarázatként az adódik, hogy a különbséget az eltérő építési anyagok és szokások okozzák (*Park 1987*).

Az éjszakai hősziget elsősorban a városi felszínnek a külterülettől eltérő hosszúhullámú kisugárzása miatt alakul ki. A nappal eltárolt hőmennyiség a tagolt felszíngeometria miatt csak korlátozottan tud a sugárzás révén eltávozni, hiszen annak egy része az égbolt helyett az épületek falában nyelődik el és részben onnan visszasugárzódik a felszín felé. Így a városi felszín módosítja a sugárzási viszonyokat, ezzel a város sugárzási mérlegét és energiaegyenlegét is, amelynek következtében a város légtere melegebbé válik környezeténél, vagyis kialakul a hősziget.

A városi hősziget kifejlődésének vizsgálatához tehát fontos a városi felszín geometriáját jellemezni. Ennek a felszíni tagoltságnak a számszerűsítésére az *égboltláthatósági index* (sky view factor – SVF) az egyik megfe-

lelő paraméter (*Oke 1988*). E paraméter fizikai megmondolásból származtatható, részletesebb kifejtését a következő fejezet tartalmazza.

A geometriai szerkezet feltárásában nagy segítséget jelenthet a térinformatikai megoldások alkalmazása. A városi geometria ugyanis nagyon jól modellezhető 3D-s adatbázis segítségével, amely azután térinformatikai alapokra helyezett elemzések adatforrásként szolgálhat.

E cikkben célunk egy olyan eljárás bemutatása, amely képes megoldani a városi geometria jellemzését és számszerűsítését egy 3D-s épület-adatbázis alapján. Így lehetővé válik, hogy az összetett városi felszín szerkezete teljes egészében feltérképezhető legyen időigényes terepi mérések nélkül. A cikk 2. részében (amely a *Légekör* folyóirat következő számában jelenik majd meg) az új eljárással kapott eredmények segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden (a város területének egyharmadát lefedő mintaterületen), valamint, hogy az eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével.

2. Az SVF megközelítése, értékének számítása

A *láthatósági index* (view factor – VF) egy arányszám, amely azt fejezi ki, hogy egy adott felületről kisugárzott energiameennyiség mekkora része nyelődik el egy másik felület által (*Oke 1987*). Tehát ez egy dimenzió nélküli mennyiség, melynek minimális értéke 0, maximális értéke pedig 1 lehet (ekkor az összes kisugárzott energia elnyelődik). A VF értékek összege az adott, 1-lel jelölt felületről „látható” összes felületre természetesen 1 lesz, azaz:

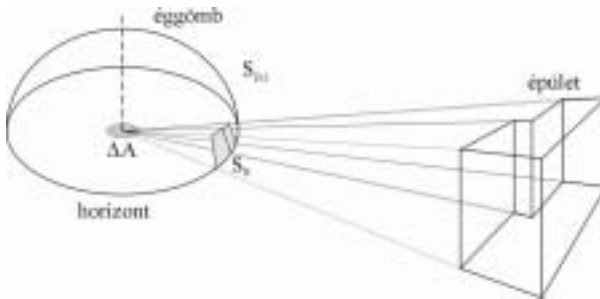
$$VF_{1-2} + VF_{1-3} + \dots + VF_{1-n} = 1$$

Tekintsük a felszín egy pontját, amelyből az égboltnak valamely része látható, valamint tegyük fel, hogy ez a pont a hosszúhullámú tartományban sugároz. A pontból kiinduló sugárzás egy része a pont körüli felületeken elnyelődik (épületek, növényzet, stb.), a maradék része viszont az égbolt irányába távozik. Így kiszámíthatjuk, hogy a felszín egy pontjából származó sugárzás mekkora része nem nyelődik el a pont környezetében. Ez az arány az *égboltláthatósági index* (SVF). Értelmszerű tehát, hogy az SVF kiszámítható, ha az 1 értékből levonjuk az összes, a földfelszíni pontból „látható” felületekre számított VF-t.

Városi felszín esetében az épületek – hiszen ezek a felszín legfontosabb építőelemei – befolyásolják legin-

kább az SVF értékét. A továbbiakban, leegyszerűsítve, városi felszínen szigorúan csak a legjellemzőbb városi objektumok, az épületek együttesének felszínét értjük.

Az égbolt egy részét tehát az épületek eltakarják, a maradék része pedig látható marad. Az adott – végtelen kicsinek tekintett – felületelemből (ΔA) nézve az égbolt épületek által eltakart részét úgy kapjuk meg, hogy az egyes épületeket vetítősugarakkal leképezzük az éggömböt reprezentáló félgömbre (1. ábra).

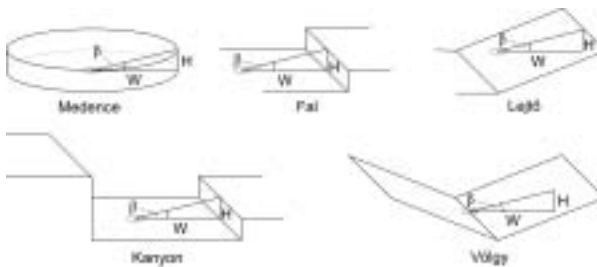


1. ábra Egy adott épület által korlátozott égboltláthatóság meghatározása

Az éggömbön keletkezett S_B -vel jelölt rész azt mutatja, hogy milyen részt takar ki az épület a ΔA -ra vonatkoztatva az égboltból, azaz milyen alakúnak „látszik” az épület az adott földfelszíni pontból. Ebben az esetben tehát az égboltláthatósági index nem más, mint:

$$SVF = 1 - VF_{\Delta A-\text{épület}} = 1 - VF_{\Delta A-SB}$$

Néhány tipizált és leegyszerűsített geometriai elrendezés esetében viszonylag egyszerű feladat meghatározni az SVF értékét. A 2. ábra ezeket az eseteket szemlélteti.



2. ábra Néhány egyszerű geometriai konfiguráció (a jelek magyarázata a szövegben) (Oke 1987)

A medence, a fal, valamint a kanyon esetében a függőleges kiterjedés mértékét H jelöli (mélység, magasság), az adott földfelszíni ponttól való távolságukat pedig W . A medencét teljesen zártnak kell tekinteni, a falat, lejtőt, kanyont és a völgyet pedig végtelen hosszúságúnak. A β -val jelölt szög a lejtő és a völgy esetében azok meredekséget jelzi ($\beta = \arctg(H/W)$), a többi esetben pedig emelkedési szög. Az égboltláthatósági index – az ellipszisekkel jelölt felületekre vonatkoztatva a 2. ábrán – ezekben a speciális esetekben a következő (Oke 1987):

$$SVF_{\text{medence}} = \cos^2\beta \quad (1)$$

$$SVF_{\text{fal}} = SVF_{\text{lejtő}} = (1 + \cos\beta)/2$$

$$SVF_{\text{kanyon}} = SVF_{\text{völgy}} = \cos\beta$$

A későbbiekben (ld. 4.2. szakasz) a medencére vonatkozó SVF értéket használjuk majd fel a kifejlesztett algoritmusban.

3. Az SVF értékének meghatározása városi felszín esetén (irodalmi áttekintés)

A városi környezetre alkalmazott SVF becslési módszereket a következőképpen lehet csoportosítani, címszavakban kiemelve a módszerek lényegét, a megközelítés módját:

- méretarányosan kicsinyített modell,
- analitikus módszer (terepi felmérés – távolság és szögmérés, H/W arány), grafikus becslés,
- halszemoptikával készült fotó manuális és szoftveres kiértékelése,
- GPS* vevő jeleinek kiértékelése,
- geometriai attribútumokat leíró adatbázis (3D) elemzése számítógépes algoritmusokkal.

Oke (1981) egy $0,5 \times 0,5$ m alapterületű makettet épített fából annak demonstrálására, hogy nyugodt, tiszta időjárás esetén a sugárzási veszteség kisebb volta a városi felszín esetén hőmérsékleti többletet eredményez a vidéki környezethez képest. A modellben különböző H/W (utcamagasság/szélesség = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4) értékekkel kísérletezett, amely azt mutatta, hogy a maximális intenzitás időben annál később következik be, minél nagyobb a H/W érték (minél szűkebbek az „utcák”). A továbbiakban becslést adott a VF és az SVF kiszámítására a H/W hányados segítségével, a városi utcákat végtelen hosszú, állandó magasságú „kanyonként” kezelve.

Az Oke (1981) által megállapított, egyszerűsített utcákra érvényes H/W -SVF kapcsolatot a valós környezetben fekvő utcákra is ki lehet terjeszteni. Ugyanis az utca valamely pontján felállított, s annak irányára merőlegesen mindkét oldalra végrehajtott épületmagasság mérés (pl. teodolit segítségével), valamint az utca szélességének ismerete elegendő a VF, így az SVF értékének megbecsléséhez (Bottyán and Unger 2003). Különálló ház láthatósági faktorának meghatározására Johnson and Watson (1984) adott egy módszert. Később kifejlesztettek egy grafikus megoldást is, melyről leolvasható a keresett SVF érték, ha az adott épület emelkedési és az épület szélességét kifejező azimut szögei rendelkezésre állnak (Watson and Johnson 1987).

Steyn (1980) az SVF értékét halszemoptikával készült fotók alapján közelítette meg (a halszemoptika a középponti szöggel arányos leképezést valósít meg).

A becslés egy integrálközelítő összegben, valamint a kép koncentrikus körgyűrűre való felosztásán alapult. Gondosan megválasztott közelítés segítségével a hiba alacsony értéken tartható. A papírképeket manuálisan értékelték ki, amely igen időigényes eljárás volt. *Barring et al.* (1985) kísérelték meg először a módszer automatizálását videokamerával készített képek digitalizálásával. *Holmer* (1992) a képeket egy számítógéppel összekötött digitalizáló táblán értékelt ki. Az eljárás pontossága és időigénye nagymértékben a körgyűrűk szélességén múlott. A felvételek készítésekor *Grimmond et al.* (2001) alkalmaztak először digitális kamerát, majd a kiértékelést egy erre a célra írt Fortran programmal végezték el. Az autóra szerelt kamera gyors és részletes geometriai információt szolgáltatott egy egész városrészről. Ezt a képanalízist a fényesség és a kontraszt változtatásával *Brown and Grimmond* (2001) fejlesztette tovább. *Chapman et al.* (2002) egy teljesen automatizált eljárást alkalmaztak az égbolt elkülönítésére a sötét skála digitális színfokozatait elemezve az átalakított képeken.

Érdekes annak vizsgálata, hogy hogyan becsülhetők ismeretlen városi területekre az SVF értékek. Arra ugyanis nincs kapacitás, hogy a városi felszín minden egyes pontjáról halszemoptikával készített fotók álljanak rendelkezésre. Lehetséges viszont a városi felszín területhasznosítási klasszifikációja, majd az egyes osztályokhoz tartozó SVF értékek statisztikai elemzése (szórás, variancia, stb.). Az osztályozás alapján lehetséges a módszer további területekre történő kiterjesztése (*Bradley et al.* 2001).

Egy újabb megközelítés az SVF értékének becslésére a helymeghatározó műholdak bevonása a mindenki által elérhető GPS hálózat segítségével. A GPS vevőt ugyanis zavarják az épületek, amelyek a műholdtól érkező jeleket leárnyékolják, valamint a csökkentik a műholdláthatóságot, amiből az SVF közelítő értéke számíthatóvá válik (*Chapman et al.* 2002, *Chapman and Thornes* 2004). A legjobb eredményeket belvárosi területeken mutatták ki, ahol sokkal erősebb a korreláció a GPS készülékkel becsült, valamint a halszemoptikával készített fotók kiértékeléséből származó SVF értékek között, mint a külvárosi és vidéki területeken.

Pontos digitális térképek, valamint a hozzájuk kapcsolódó térbeli adatbázis alapján szintén lehetséges az SVF értékének a kiszámítása (*Souza* 2003, 2004). Az így kapott érték természetesen sosem lesz olyan pontos (hiszen egyfajta modelltől van szó), mint a halszemoptikával készített felvétel kiértékelésekor kapott, ezt viszont elég jól ellensúlyozza, hogy tetszőleges földfelszíni pontra számítható az érték, amennyiben rendelkezésre áll a területre vonatkozó 3D-s adatbázis.

Egy alternatív lehetőség, hogy raszteres állományt alakítunk ki (akár a rendelkezésre álló 3D-s adatokból), amely lefedi a vizsgált területet és e raszteres állomány alapján becsüljük az SVF-t. Természetesen ebben az

esetben olyan algoritmust kell használni, amely a raszteres állománnyal képes dolgozni. A kapott eredmény pontosságát növeli, ha rendelkezésre áll az egyes épületek tetőszerkezetét leíró állomány is (*Brown et al.* 2001, *Lindberg* 2005).

4. Algoritmus az SVF számításához

4.1. A 3D-s adatbázis

A város szerkezetére vonatkozó 3D-s adatbázis tartalma erősen befolyásolja az SVF meghatározására irányuló algoritmus számítási lehetőségeit, pontosságát. Ez az adatbázis gyakorlatilag a valós világ egyfajta modellje, mely egy ideális (kissé leegyszerűsített) városi felszínt reprezentál.

A Szegedre vonatkozó adatbázis tartalmazza az egyes épületek magasságát, valamint a tető típusát (lapos, sátor, donga, stb.), azonban a tető maga grafikusan nincs reprezentálva. Az adatbázis által leírt városi felszín legfontosabb, az épületek alakját érintő egyszerűsítései a következők: minden épület lapos tetős és egy épület minden fala azonos magasságú.

Az egyes épületeknek az égboltra vetülő képét (ld. *1. ábra*) kezelhetjük az őt alkotó, az adott felszíni (ΔA) felületelemből látható falainak a vetületével. A fal egy élének a képét úgy kapjuk meg, hogy ΔA középpontja és az épület látható éle által meghatározott síkkal elmetsszük az éggömböt. Tehát idealizált városi felszín esetén egy tetszőleges fal képe főkörív szakaszok által határolt gömbnégyszög lesz. Ezek összessége adja meg az épületek vetületét az éggömbön.

4.1.1. A 3D-s adatbázis felépítése

Az adatbázis felépítése térinformatikai szoftverekkel és eljárásokkal történt. A magassági adatok mérését a digitális fotogrammetria eszköztára tette lehetővé. A kiértékelés különböző lépéseihez több adatforrást is felhasználtunk:

- Raszteres alap: A Szeged várost lefedő 1992-es légifelvételek eredeti negatívjait, melyek kb. 60%-osan fedik egymást, szkennelre digitalizáltuk 14 mikron felbontásban. Pontos mérés csak a kiváló minőségű digitalizált negatívok felhasználásával lehetséges, ugyanis szembevető minőségbeli különbség tapasztalható az alkalmazott negatív szkennelése és a gyakran használt papírfotó szkennelése között.

- Vektoros alap: Az épületek alaprajza DXF formátumban áll rendelkezésünkre. A vektoros állomány közelebbi 10 cm, tehát geodéziai pontosságúnak tekinthető. Az állomány konvertálása után erre illesztettük rá a teljes vizsgált terület cella-hálóját.

- Térképek: A feldolgozás során felhasználtuk a Szeged területéről rendelkezésre álló 1:10.000 méretarányú EOTR földmérési-topográfiai térképszelvényeket. A térképek szintvonalait digitalizálva állítottuk elő a Digi-

tális Domborzatmodell (DDM), amely a tereptárgyak nélküli lecsupaszított földfelületet jelenti.

Az OrthoBASE modullal végeztük el a légifotók tájolását (légi-háromszögelést) és összeillesztését egy olyan rendszerbe, amiből a magassági adatok mérhetővé válnak. A 3D-s mérés az elkészített sztereó képpárokon az ERDAS IMAGINE Stereo Analyst moduljával történt, lebegő kurzor segítségével, ami nemcsak x és y, hanem z irányban is mozgatható. Így a mérőjelek egyszerre láthatóak térben, valamint külön-külön is a sztereopárokhoz tartozó képeken is. Ezt követően a szoftver a x-parallaxis alapján kiszámítja a pont x, y és z koordinátáit.

Az épületek magassági adatait és a tetőtípust az ArcView-ban rögzítettük. Ehhez felhasználtuk az épületek alaprajzát, amit az eredeti DXF formátumból *shapefile* formátumba konvertáltuk. Az épületek adatait az attribútum táblázat tartalmazza külön-külön oszlopokban. További oszlopokban egyéb értékeket is rögzítettünk (pl.: épületkód, alapterület, térfogat) a későbbi elemzések megkönnyítése végett.

Az adatok rögzítése közben a könnyebb tájékozódás érdekében az épület-alaprajzok alá az IMG formátumú ortofotókat helyeztünk, amiket a több lépcsős munkafolyamatból álló ortokorrekció eredményeként kaptunk meg. Ezekre a képeken a földfelszíni objektumok már a síkrajzi helyükön találhatóak. Mind a vektoros, mind a raszteres adatok EOVS (Egységes Országos Vetület) koordinátákkal rendelkeztek, így ezek pontosan átfedték egymást.

Az adatokról leolvasható információk korlátozott volta miatt – a kis méretű épületek nem mindig képződnek le – a 15 négyzetméternél kisebb területű épületek kimaradtak a további vizsgálatokból. Ezeknek az apró épületeknek a hőfelvétele és hőleadása igen kicsi, így a városi környezet klímamódosító hatása szempontjából elhanyagolhatók.

Az eredményül kapott 3D-s épület-adatbázis egy részletének térbeli megjelenítése a 3. ábrán látható.



3. ábra Az épület-adatokból generált kép a város egy részéről

4.1.2. Az adatbázis frissítése és pontosság

Az 1992-es légifelvételre a jelenlegi nagy bevásárlóközpontok még nem jelentek meg, viszont az épület-alaprajzos állományon már rajta vannak. Mivel ezek az óriási épületek a hozzájuk tartozó nagy parkolókkal je-

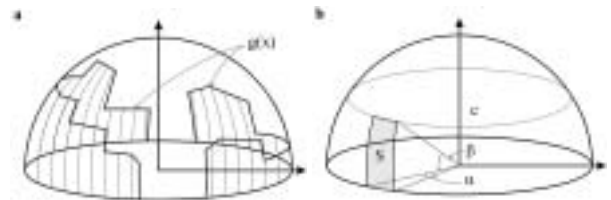
lentősen befolyásolhatják környezetük termikus viszonyait, fontos volt az adatok frissítése, amihez a 2003. augusztus 5-én készült légifotókat használtuk fel. Ezáltal a jelenlegi legújabb és legmegbízhatóbb felszínparaméter adatokhoz jutottunk, amelyek így már időben szorosan kapcsolódnak a városi hőmérsékletmérések periódusához (2002. április – 2003. március).

A vizsgált terület szélén elhelyezkedő cellákban teodolitos mérésekkel ellenőriztük az ERDAS-szal mért épületmagassági adatokat. Itt, ahol a légi-háromszögelésből adódó hiba várhatóan a legnagyobb, az értékek differenciájának az épület teljes magasságához viszonyított részaránya átlagosan 5% körülnek bizonyult, és az átlagos eltérés közel 100 elem alapján csak 58 cm-nek adódott.

4.2. Az SVF számítás/becslés algoritmizálása idealizált városi felszín esetén, programfelépítés

Az alkalmazott eljárás hasonló a közelítő integrálás módszeréhez, amely többek között egyváltozós függvények görbéje alatti terület meghatározására alkalmas, gyakorlatilag annak átültetése félgömb esetére. A félgömbön kapott területekhez fogunk SVF értékeket rendelni, felhasználva azt, hogy a medencére vonatkozó SVF számítási képlet ismert.

A $g(x)$ poligon a látható égbolt határa, az alatta lévő területen az égbolt már takarva van az épületek miatt (4a. ábra). Felosztjuk a félgömböt α szögenként félgömbcikkre, majd berajzoljuk a „téglalapokat” úgy, hogy azok magassága egyenlő legyen a $g(x)$ -nek az intervallum felezőpontjában felvett értékével. Meg kell jegyezni, hogy $g(x)$ nem egy függvény, csak egy egyszerű görbe. A kapott felületelemek VF értékeinek összegének felhasználásával közelítjük a $g(x)$ görbéhez tartozó SVF-et.



4. ábra (a) A látható égbolt határa ($g(x)$ görbe) alatti terület egyenletes felosztása szeletekre (egy szelet magassága egyenlő a $g(x)$ által a felezőpontban felvett értékkel), (b) a medence egy α szélességű és β magasságú szelete (S)

A kérdés tehát az marad, hogy hogyan számítható ki az S -el jelölt felületelemhez tartozó VF (4b. ábra)? Felhasználva a medencéhez tartozó (1) egyenlet szerint a β látószögű medence égboltláthatósági indexe $\cos^2\beta$, tehát magának a medencének a láthatósági indexe $1 - \cos^2\beta = \sin^2\beta$, tehát egy α „szélességű” darabjára ennek az $\alpha/360$ szorosa. Ezt kell összegezni a cikkekre, majd az értéket 1-ből kivonni, hogy az SVF értéket megkapjuk. Látható tehát, hogy az eljárás pontosságát nagyban befolyásolja,

hogy milyen nagyságúnak választjuk az α értéket. Minél kisebb ez a szög, annál jobb a becslés, de ez azt is jelenti, hogy jelentősen megnövekedhet a számítási igény.

Egy adott pontra vonatkozó SVF érték meghatározását a következőképpen végzi el az algoritmus. Az adott α szögenként egyeneseket rajzol a pontból. Megkeresi az adott irányba eső azon épületet, amely a legnagyobb mértékben takarja az égboltot, és megállapítja a hozzá tartozó β szöget. Az egyes épületek magasságát az adatbázis megfelelő oszlopából olvassa ki. Kiszámítja az S értéket, majd ezeket a megfelelő módon összegzi. Azt, hogy a ponttól milyen távolsáig vegye az algoritmus figyelembe az épületeket, a felhasználónak kell eldönteni. A kapott SVF értékek egy táblázatban kerülnek rögzítésre.

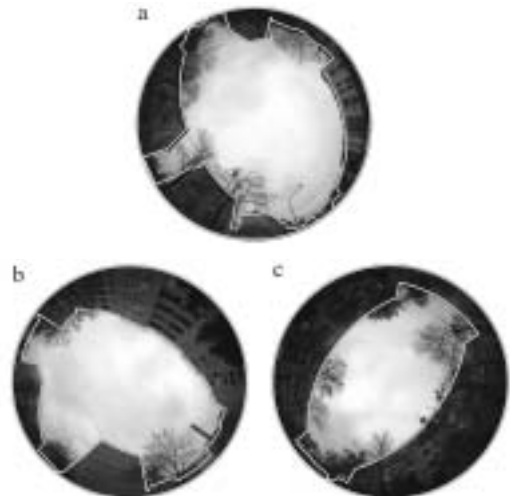
Először azt a térinformatikai szoftvert kellett kiválasztani, amely rendelkezik azokkal a lehetőségekkel, amelyekre a feladat megoldásához szükségünk van. Magas fokú programozhatósága, valamint széles körű felhasználása miatt kézenfekvő volt az ESRI által forgalmazott ArcView szoftvercsalád 3.2-es verziójának használata (www.esri.com), amit Souza et al. (2003) és (2004) által tárgyalt hasonló algoritmus is alátámaszt. Az ArcView 3.2 saját beépített *szkript*-nyelvvvel rendelkezik (Avenue), amellyel a szoftver teljes egészében programozható, azaz bármely eleméhez hozzáférhetünk általa.

Az elkészített algoritmus összesen 9 *szkriptből* épül fel. Mindegyik *szkript* egy részfeladat végrehajtásáért felelős (grafikus felület, paraméterek ellenőrzése, SVF számítás, stb.). Például az egyik legszemléletesebb eredmény az, amely a kijelölt pont körül megrajzolja az égbolt és az épületek látszólagos képét. A vetítés a

Postel-féle síkvetülethez hasonlóan történik, ami a gömbnek egy kiválasztott pontjából kiinduló irányok mentén hossztorzulásmentes ábrázolást tesz lehetővé. Ez a vetítési eljárás megegyezik az SVF meghatározásánál széleskörűen felhasznált halszemoptika leképezésével, így egy adott pontról készült fényképpel vizuálisan is összevethető az algoritmus eredménye (ld. 4.3. szakasz). Az 5. ábra a kifejlesztett algoritmus folyamatábráját mutatja be.

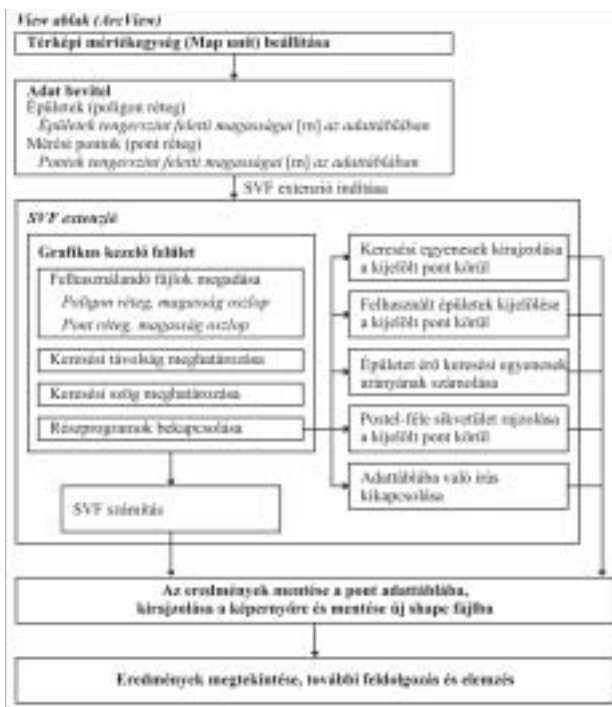
4.3. Az algoritmus ellenőrzése, tesztfuttatás „városi felszín” esetében

Magának a kész algoritmusnak az ellenőrzése során először halszemoptikával felszerelt digitális kamerával képeket készítettünk a város számos, beépítettség szempontjából jellegzetes pontján. Ezeket a fényképeket összevetettük az algoritmus által a 3D-s épületadatokból generált, az adott pontok 180°-os térbeli környezetét bemutató vetületekkel. Illusztrációként a 6. ábra bemutat néhány ilyen összehasonlítást, amelyek szerint az épületek körvonalait tekintve igen jó az egyezés a helyszínek körüli „valóságos” és a „virtuális” környezet között. Természetesen a növényzetet az algoritmus nem vehette figyelembe.

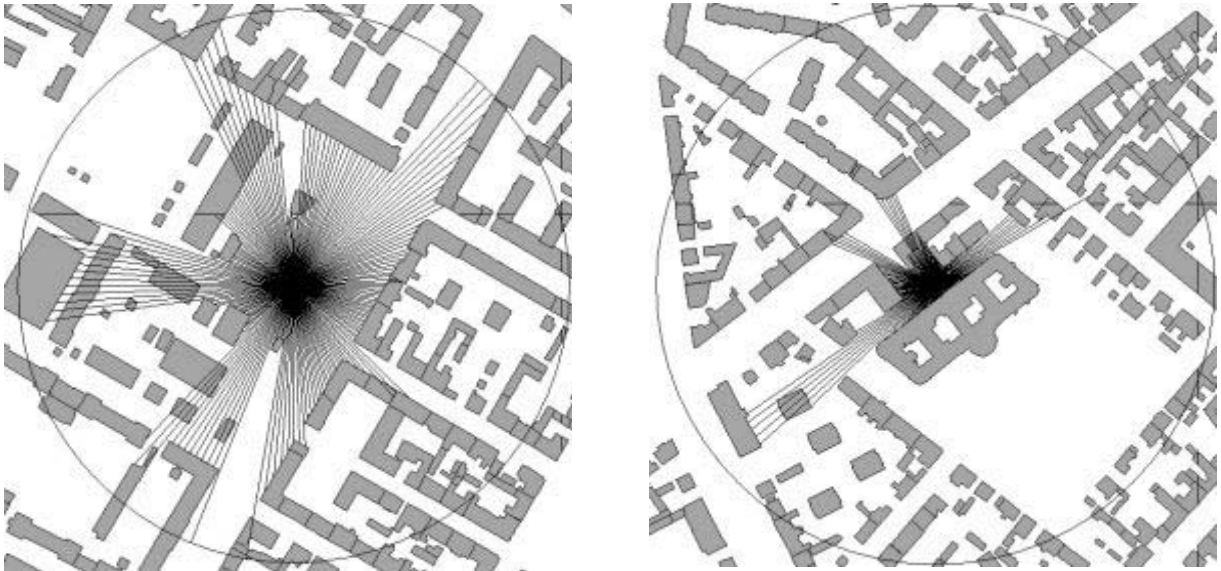


6. ábra Halszemoptikával készült és az algoritmus által generált (fehér vonal) 180°-os térbeli környezet három kiválasztott városi helyszín körül Szegeden (Nikon Coolpix 4500 digitális kamera FC-E8 halszemoptikával)

Az ellenőrzés második lépését két speciális SVF érték kiszámolásával – medence és „végtelen” hosszú kanyon – valósítottuk meg (2000 m, 1 fok). Először egy medencét reprezentáló poligonon futtattuk le az algoritmust, a poligon magasságát véletlenszerűen megválasztva. A számított és a program által adott érték közötti különbség 0,4% volt, ami abból származik, hogy a pontot nem sikerült tökéletesen a medence középpontjába helyezni. A végtelen kanyont két véges hosszúságú poligonon helyettesítve, a kapott érték 0,01%-os pontosságú volt.



5. ábra Az algoritmus lépéseinek áttekintése



7. ábra Az algoritmus futtatásának grafikus eredménye (az első tesztpont a szegedi Mars-térnél, a második a Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának bejáratánál található)

„Városi” felszín esetén némileg hosszabb futási időre lehet számítani. Két különböző elhelyezkedésű tesztpontot választottunk. Az első pont egy viszonylag nyitott helyen, a szegedi Mars-térnél helyezkedett el (7a. ábra), míg a másik egy zártabb városi környezetben, az egyetem BTK-épületénél (7b. ábra). A tesztpontokra az algoritmus kb. 10-10 másodperc alatt futott le. Mindkét esetben 200 méter sugarú környezetben térképezte fel az épületeket, a forgatási szög 2 fokos volt (hogy az ábrákon ne folyjanak nagyon össze a „letapogató” egyenesek). A kapott SVF értékek: 0,9795 vagy 97,95%, és 0,5758 vagy 57,58 % (az algoritmus százalékban kifejezve rögzíti az SVF értékeket). Az eltérő SVF értéket magyarázata jól látható a 7. ábrán. A Mars-térnél viszonylag nyitottabb a terület, főképp a körút irányában és a teret határoló épületek sem túl magasak. A BTK mellett már egészen más a helyzet, a szűk utca oldalait viszonylag magas épületek alkotják, tehát az SVF érték ennek megfelelően sokkal kisebb lesz, mint az előző esetben.

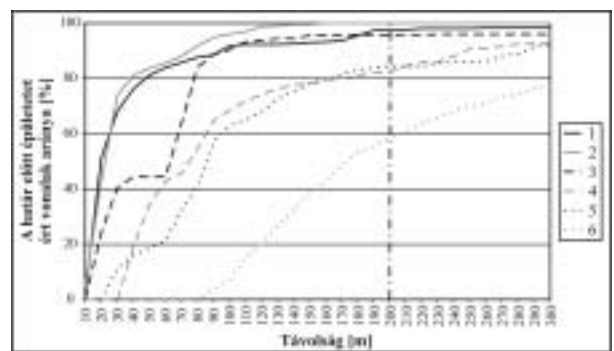
Az előzőeket figyelembe véve, az eljárás alkalmaznak tűnik a megfelelő pontosságú SVF értékek kiszámítására. Az értékek az igényeknek megfelelő sűrűségben állíthatók elő, kiváltva ezzel az idő- és költségigényes terepi mérést vagy fényképelemzést.

5. Az algoritmus paramétereinek meghatározása

Az algoritmus bemutatásánál már szerepelt, hogy két fontos paramétert a felhasználónak kell megadnia: (1) az adott pont körüli sugár, (2) hány fokozként kövessék egymást az egyenesek.

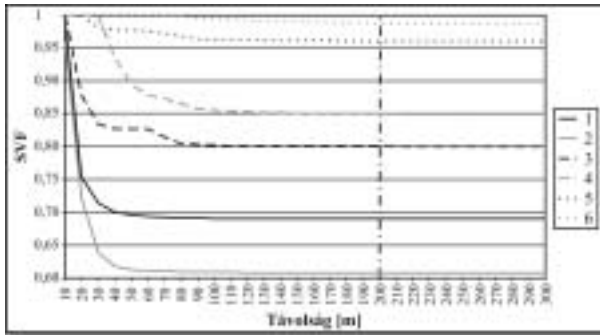
Szeged esetében a 200 m-es sugarú környezet tűnt kézenfekvőnek. Ennek alátámasztására kiválasztottunk

hat helyszínt, amelyek különböző beépítettségű területeket reprezentálnak. A 8. ábra a keresési távolságon belül az épületet ért vonalak arányának változását mutatja a távolság függvényében, míg a 9. ábra az SVF értékének változását szemlélteti a keresési távolság függvényében. Látható, hogy a sűrűbben beépített részeken (1-3. pont) már a 100 m körüli sugár is megfelelő lenne, míg a 4-6. pontok esetében inkább a 300 m-es sugár javasolható a 8. ábra alapján. Ha azt nézzük azonban, hogy az SVF értéke hogyan változik a kör sugarát növelve (9. ábra), egyértelműen adódik, hogy már a ritkább beépítésű részekben sincs lényeges értékváltozás a 200 m-es értéket túllépve.



8. ábra A keresési távolságon belül épületet ért vonalak arányának változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugarút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

A sugár megadásánál még azt is figyelembe kell venni, hogy az nem növelhető bármekkora, mivel távolság növelésével egy felületelem hatása hatványozottan csökken az adott pontra jellemző sugárzási viszonyok-



9. ábra Az SVF értékének változása a keresési távolság függvényében. (1: belváros, két utca kereszteződése, 2: belváros, szűk utca, 3: lakótelep, házak között, 4: lakótelep, egy széles sugárút kereszteződése, 5: családi házakkal beépített terület, széles útkereszteződés, 6: kis beépítettségű terület)

ra. Mindezeket mérlegelve a 200 m-es keresési távolságot találtuk megfelelőnek a számításokhoz.

A letapogató egyenesek egymással bezárt szögénél az 1 fokos értékre két ok miatt esett a választás. Egyrészt az algoritmus számítási idejének optimális szinten belüli tartása volt a cél. A szög értékének csökkentésével a számítási idő jelentősen nő. Az 1. táblázat bemutatja a számítási idő és az SVF értékének változását a keresési szög függvényében. Látható, hogy – négy tizedes pontosság esetén – az 1°-nál kisebb érték megadása már nem változtat a számítás végeredményén. Másrészt, ilyen paraméter mellett 200 m-es távolságban már csupán a 3,5 m-nél keskenyebb épületek képesek elsiklani a letapogató egyenesek között, egy ekkora épületnek viszont már elenyésző a sugárzási viszonyokra gyakorolt hatása.

1. táblázat

Keresési szög	30°	10°	5°	2°	1°	0,5°	0,25°
Számítási idő	< 1s	~ 1s	~ 2s	~ 4s	~ 9s	~ 20s	~ 42s
SVF értéke	0,9837	0,9826	0,9812	0,9810	0,9808	0,9808	0,9808

Az egyes keresési szög értékekhez tartozó számítási idő és az SVF értéke

6. Összegzés, további lépések

Ebben a cikkben felvázoltuk a városi felszíngeometria jelentőségét a város légtérében kialakuló termikus viszonyok szempontjából. Bemutattuk a Szeged épületeit leíró 3D-s épület-adatbázis létrehozását, majd ennek az adatbázisnak a felhasználását az összetett városi felszíngeometriát jellemző mérőszám, az égboltláthatóság (SVF) meghatározására egy általunk kifejlesztett eljárás alapján. Ez az eljárás nagy területre képes nagy sűrűséggel és viszonylag gyorsan SVF értékeket szolgáltatni, amennyiben a 3D-s adatbázis rendelkezésre áll az adott területre.

A cikk 2. részében, amely a Légekör folyóirat következő számában jelenik majd meg, az új eljárással kapott

SVF értékek segítségével elemezzük a városi hősziget és a városi geometria kapcsolatát Szegeden, valamint a kapott eredményeket összevetjük a korábbi kutatásokból származó terepi mérések eredményével. Végetetül bemutatunk még egy alkalmazási lehetőséget is.

Köszönetnyilvánítás: A kutatást az OTKA (T049573) támogatta. Külön köszönet illeti a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium Földügyi és Térképészeti Főosztályát a légifelvétel negatívjaiért, Szeged Megyei Jogú Város Önkormányzatát a szegedi digitális épület-alaprajz adatbázisért, valamint Zboray Zoltán kiértékelő mérnököt a térinformatikai feldolgozás során nyújtott hasznos tanácsaiért.

Unger János – Gál Tamás – Kovács Péter
Szegedi Tudományegyetem

Irodalom

- Brring L, Mattsson JO and Lindqvist S, 1985: Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *J Climatol* 5, 433-444
- Blankenstein S and Kuttler W, 2004: Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. *Meteorol Zeitschrift* 15, 373-379
- Bottyán Z and Unger J, 2003: A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor Appl Climatol* 75, 233-243
- Bradley AV, Thornes JE and Chapman L, 2001: A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmos Science Letters* 2, 155-165
- Brown MJ, Grimmond CSB and Ratti C, 2001: Comparison of methodologies for computing sky view factor in urban environment. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-4107, 6 p
- Brown MJ and Grimmond CSB, 2001: Sky view factor measurements in downtown Salt Lake City – Data report for the DOE CBNP Experiment, October 2000. Internal Report Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-01-1424, 16 p
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2001: Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theor Appl Climatol* 69, 81-89
- Chapman L, Thornes JE and Bradley AV, 2002: Sky-view factor approximation using GPS receivers. *Int J Climatol* 22, 615-621
- Chapman L, Thornes JE, 2004: Real-time sky-view factor calculation and approximation. *J Atmos Oceanic Technol* 21, 730-741
- Dezső Zs, Bartholy J and Pongrácz R, 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109, 217-232
- Grimmond CSB, Potter SK, Zutter HN and Souch C, 2001: Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *Int J Climatol* 21, 903-913
- Holmer B, 1992: A simple operative method for determination of sky view factors in complex urban canyons from fisheye photographs. *Meteorol Zeitschrift* 1, 236-239
- Johnson GT and Watson JD, 1984: The determination of view-factors in urban canyons. *J Climate Appl Meteorol* 23, 329-335
- Kuttler W, 2005: Stadtklima. In Hupfer P und Kuttler W (eds): *Witterung und Klima*. Teubner, Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden, 371-432
- Landsberg HE, 1981: *The urban climate*. Academic Press, New York, 275 p
- Lindberg F, 2005: Towards the use of local governmental 3-D data within urban climatology studies. *Mapping and Image Science, Swedish Cartographic Society*

Oke TR, 1981: Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1, 237-254

Oke TR, 1987: *Bounary layer climates*. Routledge, London and New York, 405 p

Oke TR, 1988: Street design and urban canopy layer climate. *Energy Buildings* 11, 103-113

Park H-S, 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, The University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 79 p

Rotach MW, Vogt R, Bernhofer C, Batchvarova E, Christen A, Clappier A, Feddersen B, Gryning S-E, Martucci G, Mayer H, Mitev V, Oke TR, Parlow E, Richner H, Roth M, Roulet Y-A, Ruffieux D, Salmond JA, Schatzmann M and Voogt JA, 2005: BUBBLE – an Urban Boundary Layer Meteorology Project. *Theor Appl Climatol* 81, 231-261

Souza LCL, Rodrigues DS and Mendes JFG, 2003: The 3DSkyView

extension: an urban geometry acces tool in a geographical information system. In *Klysik K, Oke TR, Fortuniak K, Grimmond CSB and Wibig J*: Proceed Fifth Int Conf on Urban Climate Vol. 2, University of Lodz, Lodz, Poland, 413-416

Souza LCL, Pedrotti FS and Leme FT, 2004: Urban geometry and electric energy consumption in a tropical city. *Proceed 5th Conf on Urban Environment, AMS Meeting, Vancouver*, CD 4.10

Steyn DG, 1980: The calculation of view factors tron fisheye-lens photographs. *Athmosphere-Ocean* 18, 254-258

Unger J, 1996: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor Appl Climatol* 54, 147-151

Voogt JA and Oke TR, 1997: Complete urban surface temperatures. *J Appl Meteorol* 36, 1117-1132

Watson ID and Johnson GT, 1987: Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *J Climatol* 7, 193-197

Faludy György recski emlékei Tóth Gézaról

2006. szeptember 1-jén meghalt Faludy György író, költő, műfordító, a Meteorológiai Intézet igazgatójának egykori fogolytársa. A – többek között – Villon-fordításairól híressé vált Faludyról, József Attila kortársáról kevesen tudják, hogy az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet igazgatójának, dr. Tóth Gézanak* volt rabtársa a recski internálótáborban. Közös éveikről a Pokolbéli víg napjaim** című önéletrajzi regényében a következőképpen emlékezik meg:

„Az Északkeleti Betörés az első sorban állt, Egri Gyurka mellett. Nyájás és jóindulatú férfiúnak ismertük, óriási fejével és hatalmas állával, mely elfedte nyakát, sőt melle egy részét is, ő volt a tábor legkisebb embere; az egyetlen, aki az alsó ágyisorban egyenesen ülni tudott, anélkül, hogy beverte volna fejét. Polgári nevén Tóth Gézanak hívták; szemtől szembe Géza bácsinak szólítottuk, de háta mögött mindenki Északkeleti Betörésnek mondta. Az öregúr a Meteorológiai Intézet egyik vezetője volt. Letartóztatását és csúfnevét annak köszönhettem, hogy az általa szerkesztett meteorológiai jelentésben másnapra "lágny nyugati szellőket" ígért, a következő két napra pedig "északkeletről, a Szovjetunió irányából közelgő fagyos légrétegek betörését" jósolta. Ha jósolta, kétségtelenül így volt, mert az öregúr millibár fokokban, szélsébségben és hasonlókban nem ismer tréfát. A következő napon elvitte az ÁVO, "a meteorológiai jelentésbe csempészett imperialista propaganda- és kémtevékenység" címén. Czebe Valér vezérkari százados, aki a katonapolitikai osztályon dolgozott, s akút rögtön Géza bácsi után tartóztattak le, azt állította, hogy a nevezett két napon, a fagyos légrétegekkel együtt, egy-egy szovjet hadosztály érkezett Magyarországra. E kínos coincidência okozta, nézete szerint, Géza bácsi vesztét; de azért óvakodott, hogy e feltevését – mely az öregot végső kétségbeesésbe kergette volna – közölje vele.

Az Északkeleti Betörés derűsen viselte sorsát. A Mátra vidéke Magyarország klimatikusan legérdekesebb pontja: a legtöbb csapadékkal, váratlan felhőátvonulásokkal és egyéb meteorológiai fenoménnel, melyek újabb és újabb gyönyörűséget szereztek neki. Aprócska testének a sovány

koszt elegendő táplálékot biztosított; a munkánál erdei manóhoz hasonlított, vagy kerti törpe szobrához, mely megelevenedett, és gigantikus szerszámot – fűrész, ácsbárdot, baltát – emelget. Közben-közben gyors és átható pillantásokat vetett a felhőkre. A barakkban is folyton tett-vett, fúrt-faragott: polcot gyalult fekhelye mögé, libellával egyenesre szintezte, zöldre festette: mindenféle tárgyakat gyűjtött, melyeket gondos elrendezésben rakott ki, hogy – mint mondani szokta "mentől otthonosabban érezhessem magamat". Csak éjjel ült néha ágyán, hatalmas állát kezébe temetve. Egyszer megkérdeztem, min töri a fejét. Elmondta, hogy ötszobás, rendkívül drága házbéru lakásban hagyta feleségét. Kétségtelen, barátai álltak össze, és fizetik a lakbérét. A kérdés, mely nem hagyja nyugodni, a következő: ha majd 10-15 év múlva szabadon engedik, miből fizeti vissza barátainak horribilis tartozását?

Felszólítottam, magyarázza el a különféle felhőalakzatokat. Az Északkeleti Betörés megbiccintette lőfejét, és elmosolyodott örömben. Szárazon, elég körülményesen beszélt, de rövidesen vagy harmincan tolongtak körötte: az időjárás mindenkit érdekelt. Már jó háromnegyed órája beszélt, amikor az ajtónál kukucskáló volt vezérkari főnök jelentette: jönnek...

Forrás: <http://www.irodalmiakademia.hu/dia/diat/muvek/html/FALUDY/faludy00690/faludy00690.html>

* Tóth Gézával interjú olvashatunk a Légekör 1993-as 2. számában. Meteorológiai működéséről az 1994-es 2. számban és a Simon Antal által összeállított Magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonában találunk részletes adatokat.

** Heitere Tage in der Hölle. Rütten und Loening Verlag, München, 1964; Myne lykkelige Dage i Helvede. Forlaget Fremad, Koppenhága, 1964; Les beaux jours de l'enfer. John Didier, Párizs, 1965; Pokolbéli víg napjaim. AB Független Kiadó (szamizdat), Budapest, 1987; Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1989.

Gyuró György