Fotogrammetriai módszerekkel feldolgozott adatok használata épületek szolárenergia-potenciáljának számítása során

Varga Ákos[1] – Szatmári József – Tobak Zalán – Boudewijn van Leeuwen – Mucsi László

[1] PhD hallgató, Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2-6., vga.akos@gmail.com

Absztrakt: Az előadás fő témája a fotogrammetriai úton feldolgozott adatokon alapuló szolárenergia-potenciál számítások elvégzése, amely során fotogrammetriai módszerrel feldolgozott légi felvételekből kinyert adatokat használtunk fel 3D-s épületmodellek létrehozására, és ezeken alapuló szolárenergiapotenciál-számításokat végeztünk két szegedi mintaterületen. A felvételek fotogrammetriai feldolgozását követően az objektumalapú képelemzés segítségével a tetők fölé érő vegetációt különítettük el, majd RANSAC-algoritmuson alapuló síkdetektálást alkalmaztunk az egyes tetősíkok pontfelhőből történő kinyerésére. Ezen lépések kimeneteit felhasználva kiszámítottuk a rájuk eső szolárenergia-értékeket. Procedurális modellezési eljárásokkal vizualizáltuk a végső modelleket. A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a mintaterületek épületeinek döntő többsége alkalmas napelemek telepítésére és a bennük rejlő napenergia-potenciál mindenképpen említésre méltó mindkét vizsgált területen.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben az emberiségnek egyre komolyabb kihívásokkal és változásokkal kell szembenéznie, többek között olyan, egymásra kölcsönösen ható folyamatokkal, mint a klímaváltozás, a demográfiai változások, az urbanizáció, a globalizáció és a fogyasztás-orientált gazdaságok átalakulása energiahatékony és fenntartható gazdaságok felé. A városok 3D-s modellezése egyre nagyobb szerepet kap, egyre több területen válik kívánatossá, szükségessé a sokszínű felhasználási lehetőségeinek, az egyre növekvő információ-mennyiségnek és az ezzel járó folyamatos technológiai fejlődésnek köszönhetően. Napjaink egyik népszerű településfejlesztési irányzata az okosváros-koncepció mind a tudományos, mind a döntéshozói közegekben és a köztudatban is egyre népszerűbb (Szatmári et al. 2019). Mivel az emberiség számára egyre inkább nyilvánvalóvá válik, hogy a jövő kulcsa a fenntartható fejlődésben rejlik (Henits et al. 2017), világszerte számos ország és város ösztönzi a napenergia használatát az egyéb energiatechnológiák mellett.

A napenergia aktív és passzív felhasználása hatékonyabbá teheti az energiagazdálkodást a városi, kereskedelmi és ipari terekben egyaránt. Aktív működése során a rendszerbe visszatermelt villamos energia egyaránt tehermentesítheti a szolgáltatókat és fogyasztókat, hatékonyabbá téve az elosztást

a jogi és infrastrukturális környezet lehetőségein és korlátjain belül (Gál – Mucsi 2015). Passzív alkalmazása során az épületek tetőire, homlokzatára rögzített panelek segíthetik az energia-háztartás optimalizálását a tervezéstől kezdve a hosszú távú fenntartásig.

Az közelmúlt rohamos tempójú technológiai fejlődésének köszönhetően jelentős előrelépés történt a besugárzási modellek terén is analitikai, numerikus-szimulációs, statisztikai módszerek bevezetésével és fejlesztésével (Kodysh et al. 2013). Ezen módszerek közös jellemzője volt azonban, hogy nagy mennyiségű, többnyire empirikus úton beszerezhető adatot igényeltek, melyek gyakran (pl. a nehezen elérhető térszíneken) korlátozták a lehetőségeiket. A GIS megjelenése (Hofierka – Súri 2002; Hammer et al. 2003; Súri – Hofierka 2004), hardveres és szoftveres fejlődése a területen nagy előrelépést jelentett, többek között a felszínmodellek könnyebb elérhetősége, egyre jobb minősége egyaránt lehetővé tette a korábbi akadályok áthidalását és új módszerek kidolgozását. Különös figyelmet érdemelnek a mesterséges intelligenciát, gépi tanulást alkalmazó módszerek (Mohandes et al. 1998; Tymvios et al. 2005; Mubiru – Banda 2008), hiszen ezek révén gyorsabbá és hatékonyabbá válik a napelemek telepítésével kapcsolatos térbeli problémák megoldása. Ugyan hazánkban is számos tanulmány született a témában, (Gál – Unger 2011; Frank – Mucsi 2014; Gál – Mucsi 2015; Szabó et al. 2016), a terület nem tartozik a gyakran kutatottak közé.

A munka célja egy olyan módszer fejlesztése, bemutatása volt, amely a rendelkezésre álló adatokban rejlő lehetőségeket és korlátokat figyelembe véve lehetővé teszi a valósághű tetősíkokat tartalmazó 3D-s épületmodellek létrehozását, majd ezen eredmények további felhasználását az épületek, illetve az egyes tetőszegmensek napenergia-potenciáljának kiszámítása során.

Az előadás során az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

- Az alkalmazott módszerek alkalmasak-e a feldolgozás és a vizsgálatok hatékony elvégzésére?
- A mintaterület épületei alkalmasak-e napelemek telepítésére?
- Az eredmények alapján az egyes tetők mekkora napenergia-potenciállal rendelkeznek?

Adat és módszer

A felhasznált légi felvételek és feldolgozásuk

A feldolgozás során használt felvételek a Szegedi Tudományegyetem Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszékének, illetve a légi felvételezés platformjául szolgáló Cessna kisrepülőgépet üzemeltető külső partner munkatársainak együttműködésével készültek. A felvételezés két mintaterületen, a szegedi Alsóvárosban, illetve az Újrókus–Makkosháza–Északi-város városrészek által határolt Vértó környékén történt, kb. 600 méter felszín feletti magasságból, így elérve a kívánt 5 cm-es terepi felbontást. A tanulmányban ismertetett pontfelhő

az itt adott pontsűrűséggel légi lézeres eljárással is előállítható, amelynek gazdaságosságát nem vizsgáltuk. A rendelkezésre álló eszközeink az alapadatok fotogrammetriai úton történő előállítását tették lehetővé

A légi felvételeket az AgiSoft Metashape Professional fotogrammetriai szoftverrel dolgoztuk fel. Elsődleges bemeneti adatok a légi fotók, a hozzájuk tartozó metaadat, illetve a georeferálás során használt, a tanszék munkatársai által korábban felmért földi illesztőpontok voltak. A további másodlagos inputadatok (ortofotó, felszínmodell, pontfelhő, épületpoligonok) mind a különböző munkafolyamatok eredményeként jöttek létre a feldolgozás során.

1. ábra A felmérés során használt kamera és tartószerkezete a gimballal

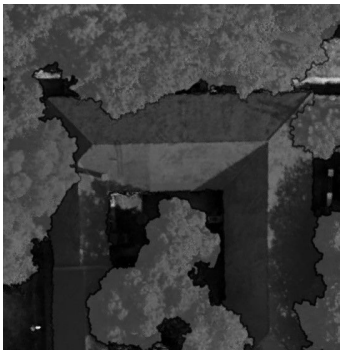
Az adatgyűjtés során használt eszközök paraméterei (*1. ábra*):

- Repülőgép típusa: Cessna-172
- Gimbal típusa: DJI Ronin MX
- Kamera típusa: PhaseOne iXU150 középformátumú RGB 50 MP, 8280 × 6208 felbontás
- Objektív: Schneider Kreuznach, 55 mm f/2,8
- Pixelméret: 5,3 µm

A végső eredmények előállításához számos lépést, illetve módszert alkalmaztunk, amelynek sarkalatos pontja a nyers légi fotók fotogrammetriai úton történő feldolgozása volt. Ez a munkafolyamat, illetve a megfelelően kiválasztott beállítások kulcsfontosságúak voltak a feldolgozás további részeit illetően, mivel nagyban meghatározták az ortofotó, a pontfelhő és a felszínmodell, ezáltal minden ezekre épülő lépés kimenetének a minőségét is. A feldolgozás célja nagy térbeli felbontású és pontosságú termék előállítása volt. Az alsóvárosi mintaterületet 102 db, a Vértó mintaterületet pedig 246 db kép fedte le. Előbbinél a georeferáláshoz 14 db, míg utóbbi esetében 6 db RTK GNSS-műszerrel mért felszíni illesztőpontot (GCP-t) használtunk fel, így a légiháromszögelés eredményeként a tömbökre kb. 4 cm-es RMS-hibát kaptunk.

Vegetáció eltávolítása objektumalapú képelemzéssel

A számítások pontosságának és a valósághű modellek létrehozásának érdekében szükséges volt a tetők fölé belógó vegetáció kiszűrése, elkülönítése és a pontfelhő tisztítása, melyekhez az objektumalapú képelemzés módszerét (OBIA – Object Based Image Analysis) alkalmaztuk (Hossain – Chen 2019). A hagyományos, pixelalapú képvizsgálati módszerekkel összevetve, amelyek leginkább a spektrális tulajdonságokon és textúrán alapulnak, ennek legfőbb jellemzője, hogy az objektumok térbeli viszonyai, jellemzői (alak, méret, objektumon belüli pixelértékek, szomszédság stb.) kerülnek előtérbe (Hay – Castilla 2008). Egyik



2. ábra Az OBIA után kapott vegetációs maszk részlete

kritikus lépése a szegmentáció, melynek célja a keletkező képobjektumok és a leképezett földfelszíni objektumok közötti kapcsolat megteremtése, illetve annak definiálása (Blaschke et al. 2008). Másik fontos lépése az objektumokon alapuló tulajdonságok kinyerése, illetve az osztályozás. A feldolgozás ezen részét Trimble eCognition szoftverrel végeztük el.

A folyamat során bemeneti adatként a légi felvételek feldolgozásából származó digitális felszínmodell, illetve az ortofotó szolgáltak. Az először elméleti, majd később empirikus úton létrejött szabálykészlet (ruleset) meghatározó elemei az objektumokat eredményező szegmentálás (chessboard, multiresolution), a különböző szomszédsági (relative to) és az egyes objektumok pixelértékein (brightness, greenness stb.) alapuló eljárások, végül az osztályozás (assign class) voltak. A módszert csak az alsóvárosi mintaterületen alkalmaztuk, annak családi házas, „zöldebb" jellege miatt, míg a Vértó mintaterületen található panel- és társasházak magasságából fakadóan nem volt zavaró a vegetáció jelenléte. Ezen lépés eredménye egy shape-állomány lett, amely a továbbiakban lehetővé tette a vegetáció többi tereptárgytól történő elkülönítését (*2. ábra*).

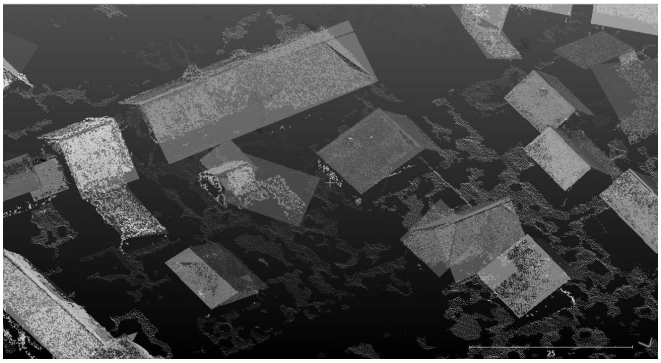
Digitalizálás és szűrés

A munkafolyamat során az eddig elkészült adatok szűrése és tisztítása mellett az épületek poligonjainak létrehozására is szükség volt, mely az ArcGIS Pro szoftver segítségével történt meg. A pontfelhőből a LAStools eszköztár eszközeinek segítségével a vegetáció kivágásra került az előzőekben létrehozott maszk alapján. További automatikus osztályzás és a nem szükséges pontok (kémények, tetők alatti részek stb.) eliminálása után az épületpoligonok alapján a tetőkön kívüli részeket is kivágtuk.

Síkdetektálás és modellalkotás

A feldolgozás egyik meghatározó lépése a 3D pontfelhőből az egyes tetősíkok kinyerése volt, ehhez a CloudCompare nyílt forráskódú, pontfelhők megjelenítésére és feldolgozására alkalmas szoftver, ezen belül pedig a különböző síkok detektálására alkalmas RANSAC-algoritmus, illetve a hozzá kapcsolódó, parancssorból futtatható „Ransac shape detection" nevű plugin (Schnabel et al. 2007) volt segítségünkre (Varga 2020).

A RANSAC (Fischler – Bolles 1981) egy iteratív módszer, mely egy matematikai modell paramétereinek becslését végzi olyan adathalmazból, amely nagyszámú, kilógó, oda nem illő pontot (outlier) tartalmaz. Működésének alapelve, hogy az algoritmus véletlenszerű módon (RANdom) egy részhalmazt (SAmple)



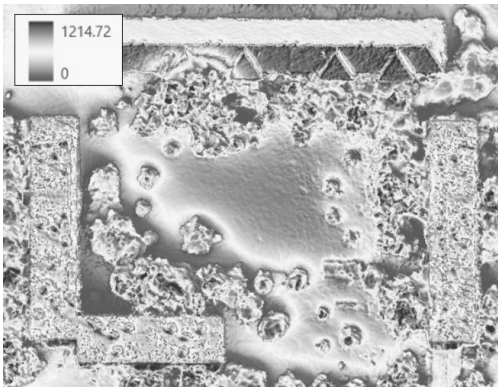
3. ábra A RANSAC síkdetektálás eredményeinek egy részlete

választ ki az adathalmazból, majd arra illeszt egy modellt. Ezután az algoritmus a többi pontra meghatározza, hogy azok mennyire illeszkednek az előzőleg kapott, becsült modellhez, amelynek feltétele, hogy a megadott küszöbértéknek (hibahatárnak) megfeleljenek (Barath – Matas 2018; Derpanis 2010). Az iteráció során a legtöbb illeszkedő ponttal (inlier) rendelkező modellt finomítja azok alapján (pl. legkisebb négyzetes illesztés), a halmaz pontjait az adott modellhez tartozónak feltételezi (Consensus) és tárolja a finomított verzió paramétereit. Az iterációk száma a feldolgozás idejére és az eredmények pontosságára is egyaránt erős befolyással van.

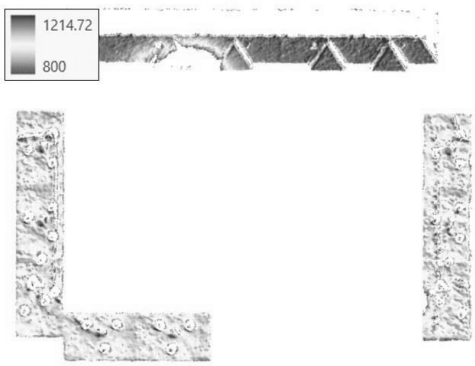
Az algoritmus futtatása előtt a szoftverben megtalálható eszközökkel a földi pontok elkülönítésre kerültek (CSF filter), illetve egy zajszűrő (noise filter) algoritmust is lefuttattunk a lehető legjobb eredmény érdekében. Az így kapott adat már alkalmas volt a RANSAC síkdetektáló és illesztő algoritmus alkalmazásával az egyes tetősíkok kinyerésére. Az eredményeket exportáltuk, majd ESRI (3D) Shape-formátumba konvertáltuk (*3. ábra*). Ahol a kapott objektumok nem illeszkedtek megfelelően, vagy átfedésben voltak, ott manuális módon a javításuk, egymáshoz illesztésük is megtörtént. Az digitalizált épületpoligonok és a tetősíkok 3D-ben történő kiterjesztése, majd az egymást térben átfedő részek kinyerése után létrejöttek a detektált síkokhoz és a digitalizált poligonokhoz egyaránt illeszkedő 3D-s épületmodellek.

Napenergiapotenciál számítása

Az ArcGIS Pro „Area Solar Radiation" eszközét alkalmaztuk a globális besugárzás értékeinek meghatározására, adott időpontokban, mely figyelembe veszi a felszínmodell magassági értékeit – ami a különféle kitakarások, árnyékok (pl. vegetáció, épületek stb.) szempontjából rendkívül hasznos –, továbbá a kitettségi és lejtőszögértékeket is. A számítás során számos, a Napra, a légkörre és az időpontra vonatkozó változó definiálása szükséges, melyek aztán az eredményre és a feldolgozás hosszára is jelentős hatással vannak. Mindkét mintaterületen a 2019-es év minden napján, óránkénti intervallumban történt meg a beeső sugárzás értékének kiszámítása (*4. ábra*). Az eszköz egyetlen bemeneti állománya az előzőekben létrehozott



4. ábra A teljes globális besugárzási raszter egy részlete (kWh/m²/év)

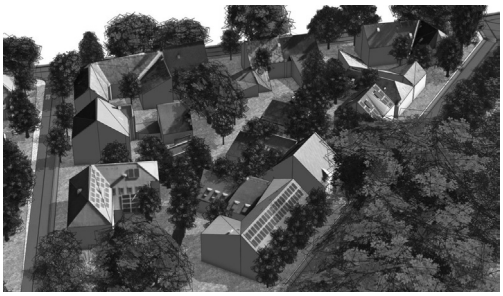


5. ábra A tisztított globális besugárzási raszter egy részlete (kWh/m²/év)

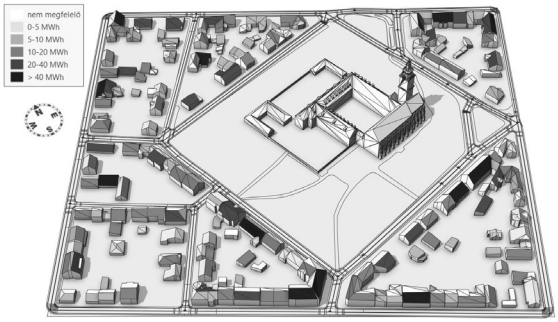
felszínmodell volt, a kalkulációhoz szükséges minden információt (magasság, lejtőszög és kitettség) ebből, illetve az adott pontok földrajzi helyzetéből (napsugarak beesési szöge, sugárzási idő, tulajdonképpen a Nap égbolti helyzete) nyertük ki a futtatás során.

Különböző feltételek megfogalmazásával a 800 kWh/m²/év-nél kisebb globális besugárzási értékkel rendelkező, az északi kitettségű és a 45 foknál meredekebb lejtőszögű területek kivágásra kerültek (*5. ábra*). Az egyes épületpoligonok területére eső pixelértékek statisztikai értékeit is kiszámítottuk, illetve hozzárendeltük (min, max, átlag, összeg). A kis területű tetőszegmenseket kizártuk a további számításokból, így a megmaradt tetőfelületek elméletben megfelelőek a panelek telepítésére.

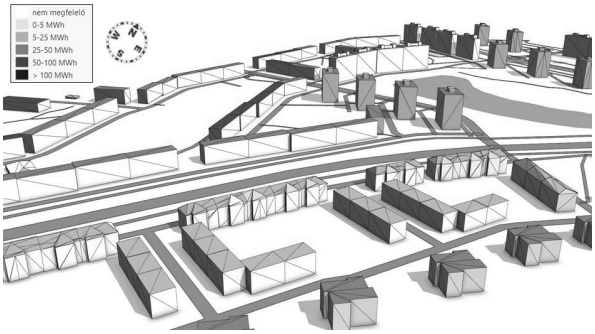
Az adattáblába két új mező is került, egy az adott szegmens területére eső teljes besugárzási értéket, egy pedig az ebből származtatott ténylegesen felhasználható energia-potenciál értékét tartalmazza. Előbbit az adott szegmens átlagos besugárzási értékének MWh/m²/év-be történő átváltása és a szegmens területével való szorzása után kapjuk meg. A tényleges kapacitás számításánál figyelembe kell venni a napelemek hatásfokát is, azaz azt, hogy a napelemet ért napsugárzás hány százalékát tudja hasznosítani az adott panel. Ez az érték átlagosan 15% körül mozog. A másik fontos tényező a rendszer működése során fellépő veszteség, amely alapvetően a rendszer felépítéséből adódik. Ez az érték is 15% körülire tehető (United States Environmental Protection Agency 2020). Így tehát, ha a tetőre érkező összsugárzást megszorozzuk 0,15-tel, megkapjuk a hatékonyan feldolgozott energiamennyiséget, melynek a 85%-át véve megkapjuk a végső, veszteség utáni értékeinket, azaz azt, hogy egy tetőszegmens potenciálisan mennyi energiát tud termelni (MWh-ban) az adott évben. Nyilvánvaló, hogy a valóságban ez kevesebb valamennyivel, hiszen a számítás során a sík teljes területére kapunk értéket, de nem mindig lehet a teljes tetősíkot napelemekkel lefedni, többek között a tetőkön található különféle objektumok, ablakok, kémények, szellőzők jelenléte miatt. Ezek elkülönítése a homogén tetőfelületektől további, jövőbeli munka célját képezi majd.



6. ábra Rekonstruált tetőszerkezetek textúrákkal és vegetációval megjelenítve



7. ábra Az egyes tetősíkok éves napenergia-potenciálja, az Alsóváros-mintaterületen



8. ábra Az egyes tetősíkok éves napenergia-potenciálja, a Vértó-mintaterületen (részlet)

A modellek vizualizációja

Az eredményül kapott 3D-s modellek bemutatása az ESRI CityEngine, procedurális modellezési eljárásokon alapuló szoftverének használatával történt (*6.* és *7. ábra*). A módszer alkalmazása során a számítógép egy, a felhasználó által megfogalmazott, több parancsból álló kódalapú „eljárást”, végrehajtási módot kap. A felhasználó nem közvetlen módon szerkeszti a modellt, hanem az elvégzendő feladatot attól elvonatkoztatva, szabályokkal, egy rule-fájlban fogalmazza meg. A program a szabályokat a CGA (Computer Generated Architecture) shape grammar, azaz egy alakzatokra vonatkozó programozási nyelv alkalmazásával értelmezi és hajtja végre, melyet 3D-s építészeti objektumok létrehozására terveztek.

1. táblázat A mintaterületek épületeire vonatkozó eredmények

	Vértó-mintaterület	**Alsóváros-mintaterület**
összes épület (db.)	159	232
összes szegmens (db.)	395	380
alkalmas szegmens (db.)	322	248
átlag (MWh/év)	33,34 (26,17)	8,23
terület összpotenciál (MWh/év)	10736,63 (8402,31)	2041,04

2. táblázat Az elméleti fedettségi értékeknek megfelelő szegmensek

	2.16 MWh/év teljesítményt elérő szegmensek (db)	
elméleti fedettség (%)	Vértó-mintaterület	Alsóváros-mintaterület
100	310 (96,27%)	183 (93,79%)
75	288 (89,44%)	177 (71,37%)
50	237 (73,62%)	169 (68,14%)
25	177 (54,97%)	112 (45,16%)

3. táblázat A mintaterületekre eső potenciál-értékek

	Vértó-mintaterület	**Alsóváros-mintaterület**	**Mértékegység**
az összes alkalmas terület	86609,35	15744,23	m^2
az alkalmas területekre jutó összes energia	84208,8516	15513,6782	MWh/év
1 m^2-re jutó évi energia	0,97228	0,98536	MWh/év
1 m^2-re jutó napi energia	0,00266	0,00270	MWh/nap
1 m^2-re jutó napi energia	9,58965	9,71859	MJ/nap

Eredmények

A számításokból kiderült, hogy az alsóvárosi területen található tetőszegmensek átlagos szolárenergia-potenciálja 8,23 MWh/év, míg a vértói mintaterületen ez az érték 33,34 MWh/év volt. Az *1. táblázatban* látható eredmények jól mutatják a két mintaterület jellege közötti különbséget. Alsóvároson sokkal inkább a családi, társas- és sorházak dominálnak, kisebb és alacsonyabban található tetőfelületekkel, melyeken a vegetáció hatása is sokkal jobban érvényesül. A vértói mintaterületen alapvetően panelek, nagyobb méretű társasházak és üzletek (kiugróan nagy területe miatt zárójelben a Tesco áruház értékei nélkül mért eredmények) a jellemzőek, nagy területű, lapos, takarásmentes tetőfelületekkel. A *2. táblázat* értékei megmutatják, hogy egy elméleti, napelemekkel történő befedés esetén hány szegmens éri el az egy háztartási fogyasztóra jutó évi villamosenergia-fogyasztást, mely Magyarországon 2018-ban kb. 2,16 MWh volt (Központi Statisztikai Hivatal 2019). A *3. táblázatban* a kapott eredmények 1 négyzetméterre vonatkoztatott értékei találhatóak. Fontos

megemlíteni, hogy a vizsgálat egy erősen idealizált helyzetet feltételez, a panelek teljesítménye rendkívül sok tényezőtől függ. Ilyen például elsősorban a földrajzi helyzet, az időjárás és a légkör jellemzői, a panelek típusa, minősége stb. Amennyiben az lehetséges, a tényleges rendszerek tervezése és kivitelezése során számolnunk kell ezekkel a változókkal a megfelelő eredmény érdekében.

Összefoglalás

A munka során a fő cél a fotogrammetriai módszerekkel feldolgozott légi felvételekből kinyert adatok felhasználása volt 3D-s épületmodellek létrehozása, illetve az azokon alapuló szolárenergia-potenciál számításának elvégzése érdekében. A különböző lépések során számos módszert alkalmaztunk. Az objektumalapú képelemzés – amellyel a vegetációt különítettük el – megfelelő eredményt szolgáltatott, ám ehhez az egyes beállítások és küszöbértékek gondos megválasztása elengedhetetlen volt. A RANSAC algoritmuson alapuló síkdetektálás is alkalmasnak bizonyult a kívánt eredmények tekintetében, azonban a módszer korlátjaira is fény derült: az algoritmus számára nem ismert, hogy a pontfelhő, amiben a síkokat detektálja, mit „ábrázol", azaz pl. az egymáshoz kapcsolódó, lapos tetőkkel rendelkező épületeket egy síkként kezelte. További problémát jelentett, hogy az eredményül kapott tetősíkok sok esetben nem illeszkedtek egymáshoz megfelelően, vagy túllógtak a tető valós kiterjedésén. Ennek oka, hogy az algoritmus komplex alakzatok detektálására nem alkalmas, így a hibák javítása manuális módon történt meg, ezzel jelentősen megnövelve a folyamat idő- és munkaigényét. A jövőben ezt a lépést célszerű továbbfejleszteni, vagy egyéb alakzatfelismerő és -illesztő eljárásokkal bővíteni. A számítások során felhasznált geometriákon található egyedibb, összetettebb objektumokat (ablakok, kémények, antennák stb.) nem vettük figyelembe. Ezek detektálása és modellezése a továbbiakban a feldolgozás hasznos lépése lehet. Az alkalmazott módszerek összességében tehát alkalmasak az ilyen jellegű vizsgálatok elvégzésére, a fentebb említett korlátok és esetleges fejlesztések, finomítások figyelembevételével.

A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a mintaterületek épületeinek döntő része alkalmas napelemek telepítésére, és a bennük rejlő potenciál mindenképpen említésre méltó mindkét vizsgált területen. Fontos megjegyezni, hogy számos változó befolyásolhatja az eredményeket, megválasztásuk mindig az adott vizsgálat körülményeitől függ. A számítások során ideális, napos időt, tiszta égboltot feltételeztünk, melynél a valóság nyilvánvalóan árnyaltabb. Ahogyan azt Gál – Unger (2011) kutatása is jól mutatja, az épületek árnyékoló, kitakaró hatása számottevően befolyásolja a tetők potenciális szolárisenergia-bevételét, az évszakok és az időjárás változásainak függvényében. Munkájuk során az év négy kitüntetett napján (nap-éj egyenlőségek, napfordulók) vizsgálták Szeged belvárosában található tetők energiapotenciálját. Míg nyáron, júniusban az értékek 25 MJ/m^2 körül mozogtak, ugyanezen területen decemberben már csak 5 MJ/m^2

körüli értékeket kaptak, átlagosan 14,84 MJ/m²/nap volt a potenciál. Az általunk kapott értékek egy napra átlagosan az Alsóváros mintaterületen 9,72 MJ/m², a Vértó mintaterületen pedig 9,59 MJ/m² voltak. A nagyságrendileg egyező eredmények megerősítést adnak a számítások helyességéről, a különbségek pedig alátámasztják a befolyásoló tényezők (pl. időjárás, időbeli felbontás) és körülmények (pl. a terület adottságai, épületmagasságok) fontosságát a hasonló vizsgálatok során. Az Alsóváros mintaterületen az épületek magasságának változatossága és a vegetáció jelenléte erősen befolyásolja a potenciált. A vértói mintaterületen az épületek nem takarták ki egymást, a növényzet jelenléte sem jellemző. Az alacsonyabb értékeket magyarázhatja, hogy a belvárossal ellentétben itt szinte csak lapos tetők találhatóak, ennek megfelelően a számítások során használt lejtőszög- és kitettségi értékek is ezeken alapultak. A napelemeket viszont az ilyen felületekre is döntve, az adott viszonyoknak megfelelően szokás telepíteni.

Az elméleti eredmények mellett érdemes figyelembe venni az aktuálisan adott jogi, technológiai, illetve infrastrukturális körülményeket is, melyek gyakran inkább korlátozói, mint elősegítői a napelemes rendszerek telepítésnek. Kedvező fekvésének köszönhetően Szegeden a geotermikus energia mellett számottevő lehetőség rejlik a Napból származó sugárzás megújuló, zöld energiaforrásként való hasznosításában is, melynek jelenlegi, alacsony részesedése a többi energiaforráshoz képest a jövőben orvosolandó feladatunk lesz.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium TKP2020 Tématerületi Kiválósági Program (NKFIH-1279-2/2020. azonosító szám) és a NKFI-6 K124648 sz. projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

Barath, D. – Matas, J. (2018): Graph-cut ransac. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 6733-6741. DOI: 10.1109/CVPR.2018.00704

Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing. In ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 65(1), pp. 2-16. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004

Derpanis, K. G. (2010): Overview of the RANSAC Algorithm. In Image Rochester NY, 4(1), pp. 2–3.

Fischler, M. A. – Bolles, R. C. (1981): Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. In Communications of the ACM, 24(6), pp. 381-395. DOI: 10.1145/358669.358692

Frank M. – Mucsi L. (2014): Automatikus felületmodell-előállítás és szoláris energia-

bevétel számítása egy szegedi mintaterületen. Geodézia és Kartográfia, 2014/1-2, 66, pp. 16–22.

Gál T. – Unger J. (2011): Tetők potenciális szoláris energia-bevételének kiszámítása egy belvárosi területen. In Magyar Épületgépészet, 60(10), pp. 7–10.

Gál T. – Mucsi L. (2015): Naperőmű termelésbecslése rövidtávú időjárás előrejelző modell segítségével. In: Tovább egy zöldebb úton: A Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport részvétele a ZENFE programban (2013-2015), pp. 27–31.

Hay, G. J. – Castilla, G. (2008): Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In Blaschke, T., Lang, S., Hay, G. (Eds.): Object Based Image Analysis. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, pp. 75–89. DOI: 10.1007/978-3-540-77058-9_4

Hammer, A. – Heinemann, D. – Hoyer, C. – Kuhlemann, R. – Lorenz, E. – Müller, R. –Beyer, H. G. (2003): Solar energy assessment using remote sensing technologies. Remote Sensing of Environment, 86(3), pp. 423-432. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00083-X

Henits L. – Mucsi L. – Liska Cs. M. (2017): Monitoring the changes in impervious surface ratio and urban heat island intensity between 1987 and 2011 in Szeged, Hungary. Environmental Monitoring And Assessment, 189(2) Paper(86), 13 p. DOI: 10.1007/s10661-017-5779-8

Hofierka, J. – Suri, M. (2002): The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. In Proceedings of the Open source GIS-GRASS users conference, Vol. 2002, pp. 51–70.

Hossain, M. D. – Chen, D. (2019): Segmentation for object-based image analysis (obia): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 150, pp. 115–134. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.02.009

Kodysh, J. B. – Omitaomu, O. A. – Bhaduri, B. L. – Neish, B. S. (2013): Methodology for estimating solar potential on multiple building rooftops for photovoltaic systems. Sustainable Cities and Society, 8, pp. 31-41. DOI: 10.1016/j.scs.2013.01.002

Mohandes, M. – Rehman, S. – Halawani, T. O. (1998): Estimation of global solar radiation using artificial neural networks. Renewable energy, 14(1–4), pp. 179–184. DOI: 10.1016/s0960-1481(98)00065-2

Mubiru, J. – Banda, E. J. K. B. (2008): Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. Solar Energy, 82(2), pp. 181–187. DOI: 10.1016/j.solener.2007.06.003

Schnabel, R. – Wahl, R. – Klein, R. (2007): Efficient RANSAC for point-cloud shape detection. In Computer graphics forum (Vol. 26, No. 2) Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, pp. 214–226. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2007.01016.x

Szatmári J. – Tobak Z. – Varga Á. (2019): Okos város – 3D GIS fejlesztés Szeged városi mintaterületekre. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás, Debrecen, 2019. máj. 23–24. pp. 412–413.

Szabó Sz. – Enyedi P. – Horváth M. – Kovács Z. – Burai P. – Csoknyai, T. – Szabó, G. (2016): Automated registration of potential locations for solar energy production with Light Detection And Ranging (LiDAR) and small format photogrammetry.

Journal of Cleaner Production, Volume 112, Part 5, pp. 3820–3829. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.117

Šúri, M. – Hofierka, J. (2004): A new GIS-based solar radiation model and its application to photovoltaic assessments. Transactions in GIS, 8(2), pp. 175–190. DOI: 10.1111/j.1467-9671.2004.00174.x

Tymvios, F. S. – Jacovides, C. P. – Michaelides, S. C. – Scouteli, C. (2005): Comparative study of Ångström's and artificial neural networks' methodologies in estimating global solar radiation. Solar energy, 78(6), pp. 752–762. DOI: 10.1016/j.solener.2004.09.007

Varga Á. (2020): 3D városmodellezés fotogrammetriai módszerekkel előállított adatok felhasználásával. Diplomadolgozat, Szegedi Tudományegyetem, Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék, témavezető: Szatmári József.

Internetes hivatkozások

1. Green Power Equivalency Calculator – Calculations and References. https://www.epa.gov/greenpower/green-power-equivalency-calculator-calculations-and-references
2. KSH – Idősoros éves adatok – Lakás, kommunális ellátás / Villamosenergia-ellátás. https:/www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk004.html