

Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással

DOMOKOS GYÖRGY NÉ dr.

Bevezetés

Az épületfenntartási munkák (felújítás, karbantartás) volumene és igénye világviszonylatban megnőtt és egyre nagyobb súllyal terheli az egyes országok építőiparát.

Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága 1963-ban Genfben, a KGST államok szervezete 1967-ben Varsóban felhívta a figyelmet, hogy meg kell keresni az optimális egyensúlyt az új építkezések és az épületfenntartási költségek között. Hasonló problémáról folyt a vita 1967-ben az angliai Boiling Centre Forum-ban is. A Szovjetunió 1967-ben minisztertanácsi határozatot hozott megfelelő profilú kutatóintézet felállítására.

Mindenütt megállapították, hogy a meglévő épületek állagvédelmét elhanyagolták. Ennek következtében egyre gyakrabban és törvényszerűen jelentkeznek a fokozott állagromlás következményei. A környezetvédelem egyik feladata a lakóépületek külső, belső jó állapotban való tartása és az egészséges lakáskörülmények biztosítása.

Számos kutatóintézet foglalkozik a karbantartási költségek szükséges mértékének megállapításával. Az épületek újra előállítási értékének hányadaként vizsgálva a nagyságrendiséggel az ENSZ — EGB 1963. évi jelentése szerint az egyes országokban igen eltérő adatokat találunk [1].

Szovjetunió	2,5%
NDK	2,0%
Hollandia	1,2%
Franciaország	1,3%
USA	0,9%
NSZK	1,2%

Magyarországon a tanácsi kezelésben levő épületállomány — 1970. évi adat szerint — *újraelőállítási értéke 124 milliárd Ft.* Karbantartásra, felújításra és üzemeltetésre az említett érték 1,4%, 1,6 százalékat fordítják, ez azonban a szükségletnél mintegy 1%-kal kisebb érték. A szükséglet nem kielégítése miatt a meglévő felújítási munkák ellenére az épületek, vagy azok egyes szerkezetei idő előtt tönkremennek és a halmozódó fenntartási lemaradások — kapacitás hiányában — egyre nehezebben pótolhatók.

Különböző vizsgálatok azt igazolják, hogy a meglévő épületállomány karbantartása kifizetődő, alapvető szükséglet, (mert az épületek belátható időn belül nem pótolhatók), ezért az *új és felújított épületeknél* a TMK következetesen végrehajtandó feladat [2].

A zavartalan épülethasználat és a gyors állagromlás szempontjai azonban az épület TMK-val párhuzamosan szükségessé teszik az *összes lakóépületeknél a kritikus szerkezetek TMK-ját*. Ezek közül az első feladat a *tetők TMK-ja*, hogy az épületek beázásmentessége biztosítható legyen.

Ahhoz, hogy a szükséges előmunkálatok megtervezhetők legyenek, a tetőfelületeket fel kell mérni.

Ez a felmérés több emeleten, sok idomból összetett, tornyokkal díszített régi épületeknél földről becsléssel nem végezhető el megbízhatóan. Földszintes épületeknél vagy egyszerűbb szerkezetű tetőknél a hagyományos felmérés megoldható, de minden esetben komoly szakember-kapacitást igényel.

Kézenfekvő volt egy olyan módszer keresése, amelyik a jelzett feladatot leegyszerűsíti és a nehezen megközelíthető felületek jellemzőinek meghatározását lehetővé teszi anélkül, hogy ehhez ingatlankezelő szakember kapacitását venné igénybe.

A vázolt feladat korszerűen a légifotogrammetria alkalmazásával oldható meg. A sztereomodellekből meghatározható műszaki adatok a tetőfelületek nagysága és a tetőelemek hajlásszöge. Kiegészítő interpretációs adatszolgáltatást ad még a tetőhéjazatok fajtáinak minősítésére és szükség szerint a tető minőségi állapotára is.

Az új eljárás

A Fővárosi Ingatlankezelő Vállalat Műszaki Fejlesztési Osztályának megbízása alapján a Budapesti Műszaki Egyetem Fotogrammetriai Tanszékén a szerző elgondolása és útmutatása szerint egy olyan légifotogrammetriai felmérő eljárás került kialakításra, melynek eredménye épületenként olyan tetőkataszter (tetőnyilvántartó lap), amelyik az 1. ábra szerint a tető TMK előkészítéséhez szükséges fontosabb műszaki adatokat tetőidomokra bontva, készen szolgáltatja.

Az eljárás kialakítását a városokról készített légifényképek azon legjellegzetesebb tulajdonsága, hogy rajtuk az épületek tetőszerkezetei nagyon élesen és jól felismerhetően képződnek le, tette lehetővé. A feladat nagyjából számszerű adatmeghatározás, részben pedig szemléletes interpretációs feladat.

A feladat megoldása klasszikus (univerzális) fotogrammetriai feladat, amikor is a fényképen tárolt információk nagy részét egy cél érdekében tudjuk hasznosítani. A megfelelően tervezett légifényképezés szolgáltatja, általában 60%-os képek és 30 százalékos sorok közötti átfedéssel készített nagyméretarányú légifényképek sztereofotogrammetriai úton történő feldolgozásával lehetővé válik a tetőfelületek jellemző adatainak korszerű, esetleg programozott meghatározása.

A feladat megoldása általánosságban a következők szerint történik. Meglévő vagy külön a tetőfelmérés céljára tervezett és végrehajtott légifényképezés felvételeiből szabályos sztereofotogrammetriai kiértékeléssel elkészítjük a kijelölt terület — $M = 1:1000$ -es tetőtérképét, amelyen a tetőszerkezetek vízszintes vetületét ábrázoljuk. A vízszintes térképre örkeresztekkel ellátott magassági oleátát borítunk és a tetőszerkezetek jellemző idom-pontjait számszerű magassági adatokkal látjuk el, a

Kerület: BP. XIV. Utca, tér: Cserei Ilka Házszám: 12
9

Tetőnyilvántartó lap

Idom- szám	Tető- felület nagys: m ²	T. haj- lásszöge	T. héja- zat faj- tája	TMK idő- pontja			
1	303	50°	cserép				
2	15	24°	cserép				
3	17	22°	cserép				
4	16	23°	cserép				
5	16	23°	cserép				
6	9	43°	cserép				
7	209	50°	cserép				
8	15	22°	cserép				
9	15	22°	cserép				
10	161	29°	cserép				
11	196	35°	cserép				
12	13	40°	cserép				
13	58	52°	cserép				
14	129	41°	cserép				
15	101	40°	cserép				
16	110	38°	cserép				
17	47	30°	cserép				
Össz:	1430 m ²						

Kerület: V. Utca, tér: Váci Házsz: 79.
Felv. kelte: 1969. 09. 09.

Tetőnyilvántartó lap

Idom- szám	Tetőfe- lület nagys. m ²	T. haj- lásszöge	T. héja- zat faj- tája	TMK idő- pontja			
1	266,2	21°	cserép				
2	12,9	17°	cserép				
3	240,1	22°	cserép				
4	140,6	31°	cserép				
5	110,5	39°	cserép				
6	80,7	33°	cserép				
7	87,6	29°	cserép				
8	18,0	1°	bádog				
9	28,3	1°	bádog				

1. a ábra

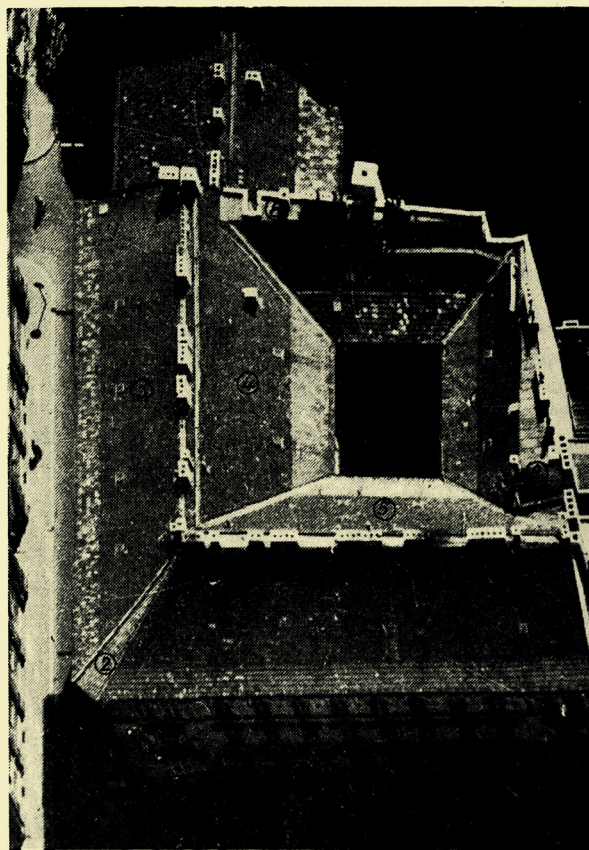
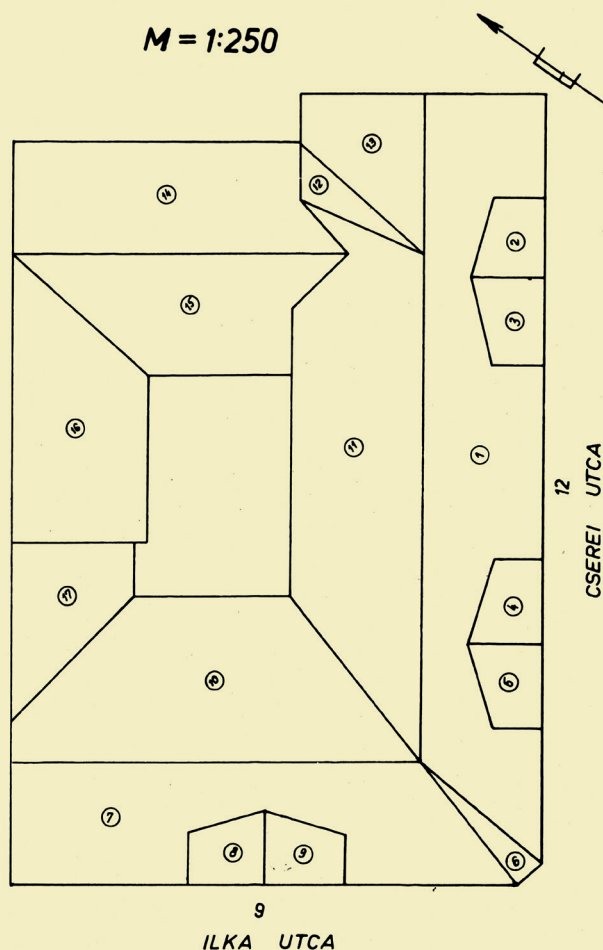
modellen végzett pontraállítások megfelelő magassági értékeinek leolvasásából.

A kiértékelés eredménye tehát egy vízszintes adatokat tartalmazó tetőtérkép — célszerűen tömbönként külön lapon ábrázolva — és egy magassági oleáta eresz és gerinc magassági adatokkal megírva, lásd 2. ábrán összesítve. A tetők vízszintes vetületét tartalmazó térképről levezethetők a tetőterületek meghatározásához szükséges adatok, a magassági értékekből a magasságkülönbségeket (a tetőtér magasságot) számíthatjuk. A kiértékelés nagyításán számítási vázlatot készítünk, a tetőfelületeket olyan elemekre bontva, melyek területei egyértelműen számíthatók.

A tetőelemek hajlásszögét a 3. ábra szerint a térképről levett megfelelő vetületi hosszából „v” az eresznél és a gerincen kapott magassági értékek különbségéből „m” a

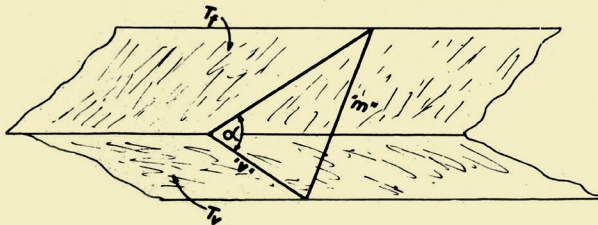
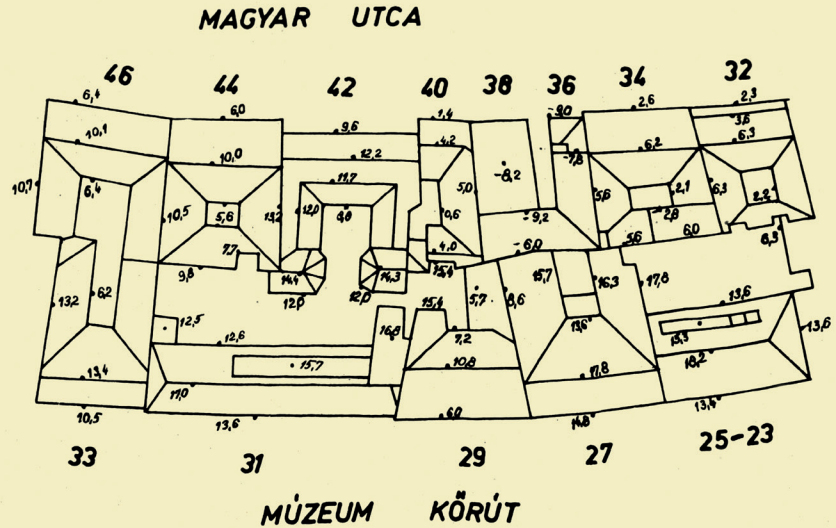
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{v}$$

M = 1:250



1b. ábra

2. ábra. Tetőtérkép



3. ábra

képlettel számíthatjuk. A vízszintes tetőfelületeket grafikus területszámítással határoztuk meg, majd az „ α ” ismeretében a ferde tetőfelületek nagysága m^2 pontossággal meghatározhatók. Az alkalmazott képlet:

$$T_f = \frac{T_v}{\cos \alpha} = \frac{T_v}{V} \sqrt{m^2 + v^2},$$

ahol T_f a ferde tetőfelület, T_v a tető vízszintes vetülete;
 α a tető hajlásszöge.

A számítás táblázatos alakban végezhető. A számítás pontosságát az szabja meg, hogy a tetőfelületeket $1 m^2$, a hajlásszögeket 1° pontossággal kívánjuk megállapítani. Tehát keressük az

$$\alpha = \arctg \frac{m}{v} \text{ függvény}$$

$\Delta\alpha$ változásánál „ m ” és „ v ”, illetve „ Δm ” és „ Δv ” függvényében. A megfelelő műveletek elvégzésével:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha^2 &= (\alpha' \Delta m)^2 + (\Delta v' \Delta v)^2 = \\ &= \left(\frac{1}{1 + \frac{m^2}{v^2}} \times \frac{\Delta m}{v} \right)^2 + \left(\frac{-1}{1 + \frac{m^2}{v^2}} \times \frac{m \Delta v}{v^2} \right)^2 = \\ &= \left(\frac{v^2}{m^2 + v^2} \times \frac{\Delta m}{v} \right)^2 + \left(\frac{m}{m^2 + v^2} \times \Delta v \right)^2 \\ \Delta\alpha &= \frac{1}{m^2 + v^2} \sqrt{(v \Delta m)^2 + (m \Delta v)^2}. \end{aligned}$$

Legyen $m = 5 m$, $v = 5 m$, $\Delta m = 0,1 m$ és $\Delta v = 0,1 m$ akkor

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \frac{1}{50} \sqrt{(5 \cdot 0,1)^2 + (5 \cdot 0,1)^2} = \\ &= \frac{1}{50} \sqrt{2 \cdot 0,25} = \frac{0,5}{50} \sqrt{2} = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{100} \end{aligned}$$

$$\Delta\alpha = 0,0141 = 0,8^\circ.$$

Tehát ha „ v ” és „ m ” értékét $0,1 m$ pontosan ismerjük, akkor „ α ”-t $0,8^\circ$ pontosan tudjuk meghatározni. Az „ m ” és „ v ” kívánt pontossága biztosítható, ugyanis „ v ” leolvasása léptékkel történik $\pm 0,05 mm$ pontossággal és ez a feldolgozás 1000-es méretarányban a legkedvezőtlenebb esetben $0,1 m$. A magasságmérés várható pontossága a repülési magasság $1/10000$ -ed része.

A tetőfelmérés feladatához, nagy képméretarány biztosítása érdekében, a repülési magasság 500 — 1000 méter között kerül megválasztásra. A magasságmérés várható hibája tehát 5 — 10 cm között fog mozogni. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a számításnál magasságkülönbségekkel dolgozunk, akkor kedvező esetben ez a hiba kiesik, kedvezőtlen esetben összegződik. A $0,1$ méteres leolvasás tetőfelületek számításához elegendő pontosságú, mivel

$$T_{f\text{átl}} = 50 m^2,$$

tehát az adatlevételben elkövetett $0,1 m$ -es hiba közelítőleg

$$\Delta T_f = 1 m^2$$

hibát okoz.

A számított adatokon kívül a légifelvételből a tetőhéjazat fajtáit és állagát is meg kell állapítani és az 1. ábra szerint részletezni. Ez a kimutatás kiegészítő, vagy vagylagos adatszolgáltatás.

A tetőhéjazat fajtáit a kontraktmásolatok sztereoszkopikus szemlélése útján interpretációval, vagy összehasonlító módszerrel lehet megállapítani. Az összehasonlító módszernél helyszíni minősítéssel típus-skálát készítünk és a továbbiakban ez képezi a szobai interpretálás segédeszközét.

A megállapítás biztosabban hajtható végre, ha fényképnagyításokon végezzük az értékelést, de ez költségesebb.

A műszaki állapotmeghatározás többféle módszerrel történhet a költség-lehetőségek, illetve a szükséges pontosság figyelembevételével.

1. Egyszerű interpretáció fekete-fehér, vagy színes felvételekből.
2. Rétegvonalas módszer.
3. Mikrofotogrammetriai eljárással, denzitás méréssel.

1. Az egyszerű interpretációs módszernél a tetőhéjazat fajtainak megállapításánál mondottak szerint kell eljárni.

2. A rétegvonalas módszernél a tetőelemeket szintvonalasan értékeljük ki. A szintvonalak 20 cm-enként kerüljenek megrajzolásra. A vonalrendszer szabálytalan alakzatai a tetőfelület állapotát jellemzik. A pontos értékeléshez ebben az esetben szükséges az összehasonlító módszer alkalmazása.

3. A mikrofotogrammetriai módszert a szerző felkérésére Gerencsér Miklós adjunktus dolgozta ki. Az eljárás lényege, hogy a légifényképen az ép tetőrészekről másféle denzitás-adatokat mérhetünk mint a hibás, már károsodott felületről. A módszert egy külön cikk keretében fogjuk ismertetni.

A tetőműtárgyak minősítését is elvégezhetjük, bár ez külön feladat.

Kísérleti munkák

Az új eljárás hazai alkalmazásának megszervezésére a Fővárosi Ingatlankezelési Főigazgatóság Műszaki Fejlesztési Osztálya a BME Fotogrammetriai Tanszékét kérte fel. Hároméves kutatási keretszerződés értelmében az első évben két kísérleti tömb, a második évben a Belváros és a harmadik évben egy laza beépítési kerületben terveztük az eljárás kipróbálását. A kísérleti időszak 1970–72 között volt.

1. 1969 őszén az első kísérlet céljára külön légifényképezést végeztünk. A légifényképezés WILD RC8-as kamarával történt (Universali Avio-gon F = 152,25 mm), 500 méter relatív repülési magasságból. Az expozíciós idő 1/600 mp., az alkalmazott filmanyag Kodak Plus X estar. A közelítő képméretarány $M_{k\text{ép}} \approx 1 : 3300$. A kísérleti terület két tömb melyből az egyik 16 épületből, a másik 6 épületből állt. A két tömb két különböző modellen helyezkedett el.

A modellek beállításához a vízszintes illesztőpontokat az $M = 1 : 1000$ -es városmérési térképről, — a jól azonosíthatóságot szem előtt tartva — grafikusán vettük le, a szükséges magassági pontokat szintezéssel határoztuk meg. A fotogrammetriai kiértékelés (a tetőtérképek készítése) a Jenai Zeiss gyár sztereometrográfján történt. A modell méretarány $M_m = 1 : 2000$ -es, a rajzi méretarány $M_r = 1 : 1000$ -es volt. A kiértékeléshez felhasználtuk a helyszíni minősítési vázlatot (utcanevekkel, házszámokkal megírt $M_{k\text{ép}} \approx 1 : 1000$ -es fénykép nagyítás). A kiértékelés alapegysége egy-egy tömb volt. Természetesen a kísérleti munka során sokféle nehézség merült fel, a kidolgozást három, négy

variációban próbáltuk ki, amíg a legkedvezőbb technológia kialakult.

A fotogrammetriai mérőeljárás tetőfelméréshez való alkalmazása világviszonylatban új megoldás. Bár hagyományosan fotogrammetriai alaplámpételekre építhető fel, mégis sok apró buktató volt és csak sokirányú szakmai tapasztalat birtokában sikerült ezt az életképes, gyors és gazdaságos módszert kialakítani. A fotogrammetriai és geodéziai ismeretek szellemes alkalmazásából áll az eljárás.

2. A második kísérleti munka Budapest zárt beépítésű V. kerület állami kezelésben levő tetőinek felmérése volt. A Budapest V. kerületben 762 jegyzék szerinti, állami kezelésben levő lakóépület és közel 20 nagyon jelentős középület (Technika Háza, MŰV. MIN, MEM, Vigadó, Interkontinentál, Bíróság, Fővárosi Tanács stb.) található. A megbízás sajnos csak az állami lakóépületekre vonatkozott, így a középületekkel nem foglalkozhattunk, de a felhasznált információmennyiség bármikor utólagosan feldolgozható, az érdeklődők szíves figyelmébe ajánljuk, hogy az alapadatok birtokunkban vannak. A légifényképanyag 1970-ben készült közelítő méretaránya $M_k \approx 1 : 6000$ -es, a modellméretarány $M_m = 1 : 2000$ -es és a rajzi méretarány $M_r = 1 : 1000$.

A teljes feldolgozáshoz 15 modell kiértékelése vált szükségessé. A 762 épület 162 tömböt alkot. Egyes tömbökben 4—18-ig épületszám fordul elő. Az egyes tetők 8—20 tetőidomból tevődtek össze. A modellek tájékozáshoz a vízszintes illesztési adatokat a városmérési térképről vettük le, a magassági adatokat utcaszintezéssel határoztuk meg.

A teljes feldolgozás nem üzemszerű körülmények között 10 munkahónapot igényelt 2 műszaki fő részére. A leadásra került munkarészek a következők: áttekintő tömbvázlat, 762 tetőnyilvántartó lap tömbönkénti csoportosításban, tömbönkénti fényképi manuálé, a tetőnyilvántartó lapokon pedig tetőrajz a sorszámozott tetőelemekkel és a számszerű adatok. A teljes dokumentáció két példányban készült és a munka menetét ismertető „Műszaki leírás” egészítette ki.

3. A harmadik kísérleti feladat egy laza beépítésű terület rész tetőinek felmérése volt. Budapest XIV. kerület Népstadion, Thököly út, Francia út, — Kerepesi út által határolt részen 25 tömb 444 épületének tetőfelmérését végeztük el. Ez a terület az előző feladattól eltérően ipari létesítményekkel, földszintes családi házakkal, emeletes házakkal tarkított, változó sűrűségű, fotogrammetriai kiértékelés szempontjából nehéz volt. A légifelvételek 1972. májusában Wild RC-8, $f = 152,36$ mm kamerával, 720 m tengerszint feletti magasságból készültek. Az alapanyag mérettartó, közelítő képméretarány $M_k \approx 1 : 5000$, modell méretarány $M_m = 1 : 2500$, a kiértékelés méretaránya $M_T = 1 : 1000$, vízszintes illesztési alapadatként a városmérési szelvényeket és a magassági adatokhoz a topográfiai alaptérképet használtuk fel. Az egyes tömbökben 1—34-ig épületszám fordult elő. A feldolgozott tetőknél 1—40 db tetőidom fordult elő. A teljes feldolgozás 3 hónapot igényelt 3,5 műszaki főnek. A dokumentáció az V. kerületnél ismertetett anyaggal

70%-ban megegyező. Az eltérés a fényképi manuálék hiánya és ezek helyett vonalas tömbrajzokat jelent. A tetőnyilvántartó lapokon 40%-ban pedig mérethelyes tetőrajz található. A „Műszaki leírás” a szokásosnál több részletre terjedt ki, mert a laza beépítés sok problémát jelentett.

A kísérletek értékelése

Az általános ismertetésből kitűnik, hogy a tető TMK-hoz szükséges műszaki adatok viszonylag egyszerű eljárással határozhatók meg. Az alkalmazott eljárás 90%-ban irodai feldolgozást kíván, tehát évszaktól, időjárástól független, amit a hagyományos eljárásnál nem mondhatunk el. Nem igényel ingatlankezelő szakember-kapacitást, sőt egy kis ügyes szervezéssel összekapcsolható a Budapestben folyó városméréssel ill. helyesbítési térképészeti munkákkal, amelyeket ugyancsak fotogrammetriai eljárással végeznek. Költségigénye meglehetősen alacsony, az elvégzett kísérletek alapján, nem üzemszerű rutin és adottságok mellett, épületenként a tetőfelület-elem számától függően 250–350 Ft összegért előállítható az összes műszaki adat és a rajzi dokumentáció. A kísérleti munkáknál az V. kerület tetőit 200 Ft-ért a XIV. kerület tetőit 250 Ft egységárért mértük, illetve dolgoztuk fel.

Az egész módszer legfárasztóbb mozzanata a számítási munka. A főproblémát a viszonylag egyszerű számítási metodika mellett a nagy tömegű adat kezelése és feldolgozása jelenti. Az épületeknél általában 15 tetőelemmel számolhatunk, tetőelemenként 5 adatot kell részben térképről levenni, részben számítani, ez épületenként 75 adat és a 2, 3.

kísérleti munka során közel 90 000 adatot jelent. A 90 000 adat egy része számítási munkába került, bár egyszer, de inkább kétszer le is kellett írni, az adatok egy nagy része pedig a Tetőnyilvántartó lapokra bejegyzésre kerül. A 2., 3. munka során legépelt adatok száma 22 000.

Meg kell említenem még, hogy a fenti adatokat ellenőrzés formájában a feldolgozón és gépelőn kívül még egy személy végigforgatta.

Az eljárás az említett nehézségek ellenére vitathatatlanul jól használható, olcsó, gyors és nagy összefüggő területek feldolgozására pusztán irodai munka alapján képes.

Az eljárás a tető TMK feladatain túl a műemlék jellegű városrészek, épületek teljes felmérésénél és rekonstrukciójánál jelent komoly műszaki előnyt.

Az eljárás továbbfejlesztését két irányban indítottuk be. Egyik a számítások programozása, amely a fotogrammetriai kiértékelés módszerét is megváltoztatja (numerikus modellen belüli pontsűrítést kíván). A másik terület az információ-mennyiség növelése a tetőfelületeken mérhető denzitásváltozások interpretálásával. A denzitásváltozás a tetőszerkezet belső állapotáról ad felvilágosítást és a tetőhéjázat minőségi jellemzői szerint alakul.

IRODALOM

- [1] United Nations Economic Commission For Europe 1963
- [2] Az építőipar fejlesztési koncepciója a IV. ötéves tervben ÉGSZI 1968 (Tanulmány).
- [3] M. Domokos: Datenlieferung durch Luftbildungsmessung für die Fotogrammetrische Instandhaltung von Dachflächen (Periodica Polytechnica, Vol. 16 No 1—2 Budapest 1972).

Horkai András*

KOMMENTÁR DOMOKOS GYÖRGYNÉ „TETŐFELÜLETEK FELMÉRÉSE FOTOGRAMMETRIAI ELJÁRÁSSAL” CÍMŰ 50 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 50 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF
DOMOKOS GYÖRGYNÉ “SURVEYING ROOF SURFACES USING PHOTOGRAMMETRY”

Domokos Györgyné *Tetőfelületek felmérése fotogrammetriai eljárással* c. cikke az 1970-es évek egyik kutatását mutatja be, mely egy világviszonylatban is új megoldást, a légifotogrammetriát alkalmazza épületfenntartási céllal, épületek tetőszerkezeteinek felmérésére. Az általa bemutatott módszer akkoriban újdonságnak számított, hiszen lehetővé tette a bonyolult tetőformák gyors és viszonylag pontos felmérését anélkül, hogy nagy számú szakembert vontak volna be a helyszíni munkába. A fotogrammetria jelentősége már akkor is nyilvánvaló volt az építőipar számára, hiszen gyorsabb és hatékonyabb adatgyűjtést tett lehetővé a hagyományos méréseknél.

Mi a fotogrammetria?

A Nemzetközi Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság meghatározása szerint: „A fotogrammetria és távérzékelés az a művészet, tudomány és technológia, amelynek célja, hogy a Földről és környezetéről, valamint más fizikai objektumokról és folyamatokról megbízható információkat nyerjünk érintésmentes képalkotó és egyéb érzékelőrendszerek segítségével, rögzítés, mérés, elemzés és ábrázolás útján.”[1]

A fotogrammetria tehát mindazon technikák összessége, amelyek fizikai világunk objektumainak és terepjellemzőinek képekből történő mérésével foglalkoznak. Ezek a képek lehetnek földfelszíni vagy légifelvétel, készítésüket tekintve leggyakrabban digitális kamerákkal készülnek kézből, állványról, légijárműről vagy űrhajóról. A kép-alapú mérések segítségével lehetséges többek között a koordináták mérése, a távolságok, magasságok, területek és térfogatok meghatározása, to-

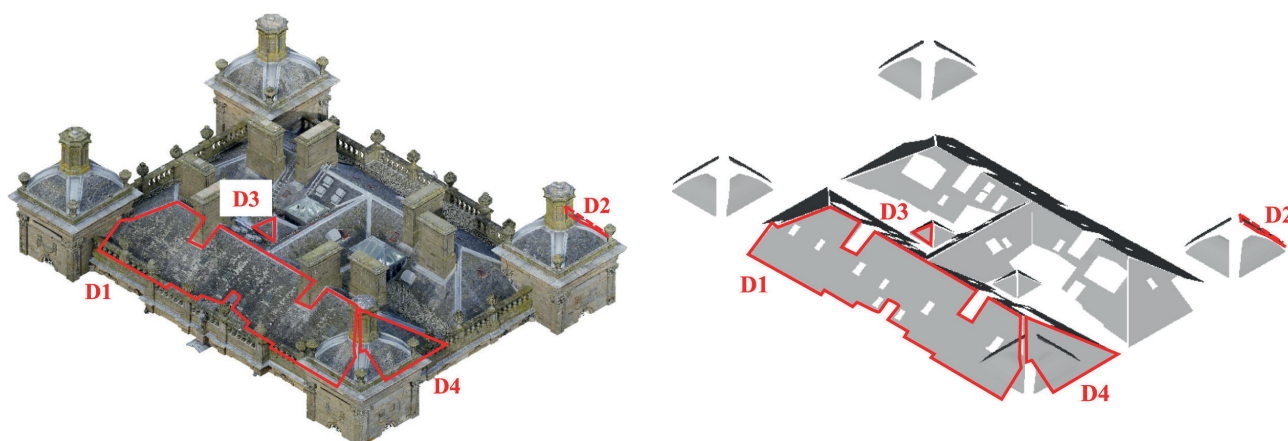
pográfiai térképek készítése, valamint digitális domborzati modellek és ortofotók készítése [2]. Az eredmények felhasználhatóak pl. az épített környezet, bányák, erdők felmérésére, régészeti dokumentálásra, légi térképészeti feladatokra.

Fotogrammetria napjainkban

Az 1974-es cikk óta a technológia rendkívül sokat fejlődött, és a fotogrammetria ma már alapvető eszközzé vált nemcsak a tetőszerkezetek, hanem teljes épületek, műemlékek és városrészek dokumentálásában is. A drónok (pilóta nélküli légi járművek) megjelenése jelentős előrelépést hozott, hiszen a légi fotogrammetria már nem igényli nagy költségű repülőgépek vagy helikopterek használatát. A manapság alkalmazott drónok képesek alacsony magasságban (akár a felmért objektumtól néhány méterre), nagy pontossággal rögzíteni a szükséges adatokat, így még pontosabb és részletesebb 3D modellek készíthetők. A fotogrammetria és a napjainkban szintén széles körben elterjedt épületinformációs modellezés (BIM) összekapcsolásával pontos és részletes „digitális ikrek” hozhatók létre épületeinkről, amelyek támogatják az épület fenntartását és a hatékonyabb tervezési döntéshozatalt.

Épületek esetében a módszer lehetővé teszi az épületburok: homlokzatok, tetők és akár belső terek felmérését és ez alapján 3D modellezését is, amely hasznos lehet karbantartási munkákhoz, felújítások tervezéséhez, vagy akár az épített örökség dokumentálásához, a digitális műemlékvédelemhez is. A 3D modellek készítése mellett a technológia alkalmas arra, hogy a tetőszerkezetek hajlásszögét, anyagi minőségét és állapotát is felmérje.

* okl. építészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, e-mail: horkai.andras@ybl.uni-obuda.hu



Fotogrammetriai rekonstrukció (3D pontfelhő) és a tetőfelületek geometriája [3]

A közelmúlt esettanulmányait vizsgálva, Li és munkatársai [2024] szintén fenntartási céllal vizsgálták a tetőfelületek fotogrammetria alkalmazásával. Módszerük előnyeként kiemelik (amit eredeti szerzőnk is), hogy csökkenti a tetők hagyományos állapotfelmérésével kapcsolatos időráfordítást, a költségeket és kiküszöböli a magasban végzett munka veszélyeit. Módszerük három fő lépésből áll: 1) automatikus tető-ortofotók előállítás 3D rekonstrukció és fotogrammetria alapján, 2) ortofotók szemantikai szegmentálása mélytanulási algoritmusokkal és 3) a hibák és károsodások észlelése a tetőn. A módszert három esettanulmányban validálták palatetős történelmi épületeken [3].

Lambarki és munkatársai [2025] marokkói mintaterületen zöldtetők létesítésének megvalósíthatóságát vizsgálták urbanizált környezetben. Lézerszkenneléssel és fotogrammetriai eljárással létrehozták a vizsgált terület (cca. 336 hektár) 3D modelljét. A tetők „zöldítésének” alkalmasságát egy összetett, Boole-alapú többkritériumos elemzés segítségével értékelték, amely figyelembe vette a minimális tetőméretet, a tető dőlésszögét és a napsütéses órák számát is. Ezen kritériumok vizsgálatával határozták meg, mely felületek alkalmasak a zöldtetők telepítésére a városi környezetben. Eredményeik szerint a tetőfelületek 64%-a alkalmas lehet ilyen hasznosításra [4].

A fotogrammetria előnyei a hagyományos módszerekkel szemben

Míg az eredeti cikkben bemutatott hagyományos felmérési módszerek – bár korukban úttörőnek számítottak – sok időt és emberi erőforrást igényeltek (a 3. kísérletben 444 épület felmérése, az eredmények értékelése

és dokumentálása 3,5 fő 3 hónapnyi munkájába került), addig a mai fotogrammetria sokkal hatékonyabbá és gazdaságosabbá vált. Az automatizált kiértékelési folyamatok, a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás is integrálható a fotogrammetriai rendszerekbe, így a kiértékelés során egyre kevesebb emberi beavatkozásra van szükség. A modern rendszerek képesek nagyszámú képet feldolgozni, így gyorsan tudunk előállítani részletes és pontos 3D modelleket.

Domokos Györgyné munkája jól mutatja a fotogrammetria alkalmazásának alapvető fontosságát az építőiparban, különösen a tetőszerkezetek felmérésében. A módszer azóta rendkívüli mértékben fejlődött, és ma már kulcsszerepet játszik az építőipar különböző területein. A digitális korszak technológiai fejlesztései, mint a drónok és az automatizált adatelemzés, jelentősen növelték a fotogrammetria hatékonyságát, így még szélesebb körű alkalmazásra vált alkalmassá.

FORRÁSOK

- [1] International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS Historical Background. <https://www.isprs.org/society/history.aspx>
- [2] J. S. Aber, I. Marzolff, J. B. Ries: Chapter 3 - Photogrammetry. In: Small-Format Aerial Photography, in: J. S. Aber, I. Marzolff, J. B. Ries (szerk.), Elsevier, Amsterdam, 2010, 23-39. o.
- [3] J. Li, B. Tao, F. Bosché, C. X. Lu, L. Wilson: Automated generation and semantic segmentation of roof orthophoto for digital twin-based monitoring of slated roofs. *Automation in Construction*, vol. 167, p. 105725, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105725>
- [4] R. Lambarki, A. Elmostafa, M. Maanan, H. Rhinane: Assessing the potential of green roofs in urban areas: A multicriteria Boolean analysis utilizing GIS and remote sensing data in the city of Nador, Morocco. *Green Technologies and Sustainability*, vol. 3, p. 100171, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100171>