



# Területi Statisztika

Közzététel: 2022. május 26.

**A tanulmány címe:**

Az épületállomány tömegének és anyagösszetételének kísérleti térinformatikai elemzése budapesti mintaterületeken

Szerző:

*Szabó Elemér*

<https://doi.org/10.15196/TS620303>

***Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Területi Statisztika c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány, vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.***

- 1) A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Szt.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
- 2) A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
- 3) A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
  - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
  - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
  - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
- 4) A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Szt. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
- 5) A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
- 6) A 3. a)–c.) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:

***„Forrás: Területi Statisztika c. folyóirat 62. évfolyam 3. számában megjelent, Szabó Elemér által írt, Az épületállomány tömegének és anyagösszetételének kísérleti térinformatikai elemzése budapesti mintaterületeken c. tanulmány”***

- 7) A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem esnek szükségképpen egybe a KSH, vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

# **Az épületállomány tömegének és anyagösszetételének kísérleti térinformatikai elemzése budapesti mintaterületeken**

## **Experimental GIS analysis of the mass and material composition of the building stock in sample areas in Budapest**

**Szabó, Elemér**

Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és  
Innovációs Hivatal  
E-mail: szabelem@gmail.com

A városokban épületek és infrastrukturális hálózatok formájában található anyagok potenciálisan újrahasznosíthatók, így részben helyettesíthetik az elsődleges nyersanyagforrásokat. A tanulmányban bemutatott módszer alkalmas az épületállomány tömegének és anyagi összetételének, továbbá térbeli eloszlásának meghatározására, az épületszerkezetre és a különböző épülettípusokra jellemző anyagintenzitás-tényezők kombinációjára támaszkodva. A teljes épületállomány jellemzéséhez az épület korára és a használat típusaira vonatkozó térinformatikai (GIS) adatbázisok összekapcsolása szükséges, amihez az épülettípustól függő fajlagos anyagintenzitás-tényezőket kell hozzárendelni. Az épületállomány nagyvárosi szinten akár százezres nagyságrendű egységből is állhat, ezért a megvalósíthatóság és a pontosság közötti kompromisszum a szintetikus épületek fogalmának bevezetésével és alkalmazásával köthető meg. A mintaterületeken végzett feltárás alapján figyelembe vehető 490 épület szintetikus térfogata a számítások szerint 9,3 millió köbméter és összes anyagállománya 3674 kilotonna. Az eredmények azt igazolják, hogy a bemutatott módszertan alkalmazásával felállítható az épületállomány folyamatos nyomon követéséhez, valamint a városi anyagáramlások és anyagállományok (együtt: városi metabolizmus) pontosabb megismeréséhez szükséges erőforrás-nyilvántartás.

**Kulcsszavak:**  
épületállomány,  
térinformatika,  
városi metabolizmus,  
anyagállomány,  
anyagintenzitás

Materials in urban areas in the form of buildings and infrastructure networks have the potential to be recycled and thus partially substitute primary raw material sources. The method presented in this study is suitable for determining the mass and material composition of the building stock and its spatial distribution, based on a combination of material intensity factors specific to the building structure and different building types. The characterisation of the whole building stock requires the linking of geographic information system (GIS) databases for building age and use types, to which specific material intensity factors depending on the building type should be assigned. At the metropolitan level, the building stock may consist of up to hundreds of thousands of units, and a trade-off between feasibility and accuracy can be made by introducing and applying the concept of synthetic buildings. Based on the sample area survey, the 490 buildings to be taken into account are calculated to have a synthetic volume of 9.3 million m<sup>3</sup> and a total material stock of 3674 kilotonnes. The results demonstrate that the methodology presented can be used to establish the resource inventory necessary for the continuous monitoring of the building stock and for a better understanding of urban material flows and stocks (together: urban metabolism).

**Keywords:**

building stock,  
GIS,  
urban metabolism,  
material stock,  
material intensity

*Beküldve:* 2021. február 22.

*Elfogadva:* 2021. szeptember 6.

**Alapvetések, főbb fogalmak és célkitűzés**

Bolygónk az elmúlt hat évtizedben gyors urbanizáción ment keresztül, és ez a folyamat még napjainkban is zajlik. 2007-ben, az emberiség több ezer éves történelme során első ízben a világon a városlakók száma meghaladta a vidéki népességét. 2014-ben a világ lakosságának 54%-a élt városokban. A népesség-előreszámítások szerint a városi lakosság száma várhatóan tovább növekszik: a 2050-re a Föld lakóinak már kétharmada (66%) lesz városi és egyharmada (34%) vidéki. Eszerint körülbelül száz év alatt megfordul a városi és a vidéki népesség XX. század közepi aránya (Bocquier 2014).

A világgazdaság mérete az utóbbi három évtizedben gyorsuló ütemben bővül, és a társadalmi fogyasztás növekedése korábban nem tapasztalt környezeti terheléssel párosul. Minden évben több millió tonna anyagot termelnek ki világszerte a földkéregből, hogy fogyasztási és tőkejavakká alakítsák azokat. Évtizedek vagy akár évszázadok múltán ezeknek az anyagoknak a többsége eltűnik a szemünk elől, „elveszik”: néhány műemlék vagy vallási emlék kivételével már nem is részei a fogyasztási és társadalmi-jóléti folyamatnak. De vajon hol vannak ezek anyagok? Néhány értékes fém (például arany, platina) vagy egy-két más anyag kivételével valójában nem ismerjük a választ. Különös azzal szembesülni, hogy jelenleg mennyire hiányos ismeretekkel rendelkezünk az antroposzféra biogeoszférával való anyagcseréjének (metabolizmus) meghatározó részleteiről és mennyiségi viszonyairól.

Az anyagfelhasználás intenzitása – a termelési folyamatok észszerűsítése, továbbá a szolgáltatásokon és az infokommunikációs technológián alapuló globális gazdaság részleges, de fokozatosan növekvő dematerializációja ellenére – világszerte növekszik. A gazdasági rendszeren keresztülfolyó, természetes eredetű anyagáramlások mutatói felhasználhatók a környezetterhelés és a fenntarthatóság mérésére. A pénzügyi mutatókkal (például GDP) szemben az anyagáramlás mint fizikai jellemző alkalmasabb az egyes régiók és különféle időszakok fenntarthatóságának mérésére és összehasonlítására.

Becslések szerint míg a prehisztórikus ember anyagfelhalmozása nem érte el az 1 tonna/főt, addig egy mai város lakó esetében ugyanez körülbelül 200–400 tonna/fő (Brunner–Rechberger 2004), ráadásul ennek a felhalmozott állománynak a fenntartásáról is gondoskodni kell valamilyen módon. A városi anyagállományok (például az épületek, az energiaellátás, a közlekedés és a kommunikáció hálózatai) felújítására és fenntartására vonatkozó mai döntések messzemenő következményekkel járnak, ugyanis az anyagok állományban maradásának ideje elérheti vagy meg is haladhatja a száz évet is. Ez egyszerűen azt is jelenti, hogy az egyszer az állományba bekerülő anyag nem fog gyorsan felbukkanni a kikerülési oldalon, például hulladék formájában.

Annak érdekében, hogy teljes mértékben megértsük az országok társadalmi-gazdasági metabolizmusának dinamikáját és anyagi egyensúlyát, az anyagáramlások már létező nyilvántartása mellett szükség van a nemzetgazdasági szintű anyagállomány hosszú távú elszámolási rendszerének kialakítására is. Az anyagállományok elszámolási módszerének alkalmazása jelenleg még nem elég elterjedt a gyakorlatban, inkább elszigeteltnek tekinthető, és többnyire egyetlen anyagra, rövid időtartamra vagy kis földrajzi területre (régiora) összpontosít (Tanikawa et al. 2015).

Már az 1990-es években végzett anyagáramlás-vizsgálatok (Adriaanse et al. 1997, Matthews–Hammond 1999) is rámutattak arra, hogy – a vízforgalmat nem számítva – az építőanyagok kitermelése, előállítása jelenti a legnagyobb városi anyagáramlást, miközben a keletkező hulladékok legnagyobb hányada is hozzájuk kötődik. Ezeknek a többnyire nem megújuló építőanyagoknak a felhasználása a XX. század közepétől a legtöbb városi területen jelentősen emelkedett (Kennedy et al. 2007).

A világ iparosodott nemzetei nagy mennyiségű anyagot halmoztak fel épületek, infrastruktúra és egyéb tartós fogyasztási cikkek formájában. Ezek az anyagállományok idővel a másodlagos nyersanyagok értékes forrásává válnak, és olyan jövőbeli tőkevagyonnak tekintendők, amelyet rendszerszinten kell kezelni és hasznosítani. Utóbbi eddig szinte teljes mértékben figyelmen kívül hagyták az inkább az elsődleges nyersanyagok bevitelére összpontosító erőforrás-hatékonyságról folytatott viták során, ami részben azzal magyarázható, hogy nincs elegendő ismeretünk az anyagállományok méretéről és szerkezetéről, valamint dinamikájáról (Schiller et al. 2017b).

Az anyagáramlás-elemzés (material flow analysis – MFA) területfejlesztési politikákban és tervezési gyakorlatban való alkalmazhatóságát az adja, hogy segítségével megérthető és növelhető az épített környezetet alkotó anyagok áramlásának hatékonysága, s ezáltal hozzájárulhat a társadalom fenntarthatóbb jövő felé való átmenetéhez. Az MFA és a térbeli eloszlások kezelésére alkalmas földrajzi információs rendszer (geographical information system – GIS) erőteljes kombinációja lehetővé teszi a társadalom és a környezet közötti kölcsönhatások komplex dinamikájának elemzését, valamint a hatékony kormányzás különböző forgatókönyveinek modellezését.

A városi bányászat a mai városokban épületek és infrastrukturális hálózatok formájában található anyagok potenciális újrahasznosíthatóságára irányul, és anyagtípustól függően részben helyettesítheti, és a legjobb esetben csaknem teljes mértékben ki is válthatja az elsődleges nyersanyagforrásokat a nagymértékben urbanizált országokban (Brunner 2011). Az anyagáramlások és -állományok együttes (egyidejű) elemzése ezért fontos kérdés egy adott társadalmi-gazdasági rendszer anyagcseréjének megértése és kezelése szempontjából (Fischer-Kowalski 2011), ugyanakkor utóbbi folyamat feltárása és leírása módszertani kihívásokat jelent mind mennyiségi, mind minőségi szempontból. Mivel a társadalmi metabolizmus fogalma szoros kapcsolatban áll a körforgásos gazdaság újabb keletű fogalmával, ezért az anyagáramlások és -állományok ismerete a körforgásos gazdaság építőiparba történő bevezetésének előmozdításához is szükséges (Heinrich–Lang 2019).

Az ipari ökológia szakterületén már több országban készítettek felméréseket az épületállományról. Tanikawa et al. (2015) az elmúlt évtizedben végzett ilyen irányú kutatásokat tekintette át. Az épületállomány jellegének és dinamikájának vizsgálata ellenére az állomány anyagintenzitása (anyagigényesség: az állomány létrehozásához szükséges anyagmennyiség) még mindig nem teljes mértékben tisztázott (Kohler–Yang 2007), különösen a nem lakáscélú épületállomány esetében (Kleemann et al. 2016).

A legtöbb tanulmány csak a lakóépület-állományt vizsgálja (Bergsdal et al. 2007), a nem lakáscélú épületállomány elemzését szolgáló anyagintenzitás meghatározását célzó kutatások pedig szinte teljesen hiányoznak. Néhány tanulmány különbséget tesz ugyan a lakó- és a nem lakáscélú épületállomány között, de nem végzi el a nem lakáscélú épületek csoportosítását (Hong et al. 2014). További tanulmányok vagy csak a kiemelkedő gazdasági értékkel rendelkező anyagokat (például a réz vagy az

acél), vagy csak a nagy mennyiségben jelenlévő ásványi anyagokat vették figyelembe (Rauch 2009).

Az 'állomány' és a 'készlet' gyakran egymás szinonimái, azonban vannak olyan esetek, amikor jelentésüket el kell egymástól különíteni. Jelen tanulmányban a következőképpen különböztetjük meg őket. Anyagállományon a társadalmi-gazdasági tevékenységek során felhalmozott, beépített anyagok mennyiségét (tömegét) értjük, anyagkészleten pedig az emberi felhasználás szempontjából valamilyen anyag rendelkezésre álló mennyiségét (például kőolajkészlet, vasérckészlet, vízkészlet). Épületállományon az adott területen található összes épület számát vagy valamilyen más, az egész állományt jellemző tulajdonságot (például alapterület, hasznos terület), az épületek anyagállományán pedig a beépített anyagok össz mennyiségét (tömegét) értjük.

Esettanulmány keretében bemutatunk egy lehetséges eljárási modellt a lakó- és nem lakáscélú épületek építése által generált anyagáramlások és -állományok meghatározására. Az anyagállományok (lakóépületek nyersanyagkatasztere) feltárása mellett központi jelentőségű a jövőbeli hulladékáramlások meghatározása, a potenciális másodlagos nyersanyagok előrejelzése, a felújítási stratégiák kidolgozása és az ellenőrzési feladatok ellátása érdekében. A tanulmány a következő kérdésre keres választ: Mekkora az épületállományban felhalmozott anyagállomány nagysága, különös tekintettel a fémek és nem fémtartalmú ásványi anyagok mennyiségére?

## Általános módszertani megközelítés

Az anyagáramlás-elemzés hasznos eszköz a körforgásos gazdaság megértéséhez és fejlesztéséhez. A zárt hurkok kialakítása érdekében figyelembe kell venni a beáramlások és kiáramlások minőségi szempontjai mellett a mennyiségieket is, mivel az újrahasznosítás műszaki lehetőségeit valójában az anyagok minősége és mennyisége együttesen határozza meg. Az újrahasznosításhoz a folyamatok tervezése, a hulladékgazdálkodás technológiájára és az épületek szerkezetére vonatkozó ismeretek integrálása szükséges (Schiller et al. 2017a).

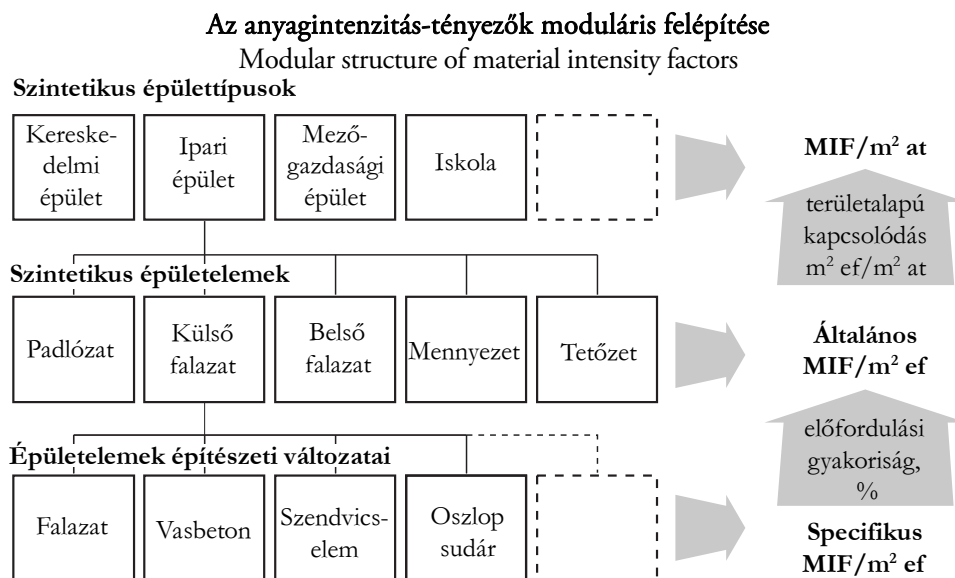
Az anyagállomány-elszámolásokat jellemzően négyféle módszert alkalmaznak, melyek a következők: az alulról felfelé (bottom-up) és a felülről lefelé (top-down) építkezések, valamint a sajátos igényeket kiszolgáló modellezésen és a műholdas távérzékelésen alapulók. Az elmúlt évtized anyagállományokkal foglalkozó tanulmányainak rövid áttekintése során Tanikawa et al. (2015) rávilágított arra, hogy a legtöbb vizsgálat a sokfajta tényező miatt a felülről lefelé irányuló anyagelszámolást alkalmazza (főként a részletes adatok hiánya és az alulról felfelé építkező vizsgálatok idő- és erőforrásigénye miatt), ugyanakkor kiemelte az alulról felfelé építkező módszer alapján történő, országspecifikus vizsgálatok elvégzésének szükségességét is.

A meglévő épületek anyagállományának aktuális becslései vagy makrogazdasági statisztikákból származnak (felülről lefelé építkezés), vagy az építési adatokból (alulról felfelé építkezés). A felülről lefelé irányuló módszer (Fishman et al. 2014, Müller

2006) hiányossága, hogy csak elvétve foglalkozik az anyagtípussal, és nem különbözteti meg az épületállomány különböző formáit, például a lakóépületeket a nem lakás-célú épületektől. Ezzel szemben az alulról felfelé építkező módszerrel részletes ismeretek szerezhetők az épületállomány alkotóelemeiről és szerkezetéről is.

Ebben a tanulmányban az alulról felfelé építkező megközelítést követjük, ami olyan jellemzők meghatározását igényli, amelyek az egyes épülettípusok jellegzetes anyagtartalmát fajlagos anyagintenzitás-tényezőkkel írják le (1. ábra), és emellett az épületállomány fizikai méretének becslésére szolgáló paramétereket is használnak (például alapterület, térfogat) (Kleemann et al. 2016, Ortlepp–Deilmann 2015). A fajlagos anyagintenzitás-tényezők (fizikai értelemben intenzív mennyiségek) olyan egyedi paraméterek, amelyek felhasználhatók a teljes anyagállományok és -áramlások kiszámításához. Az anyagállomány teljes nagyságát a fajlagos anyagintenzitás-tényezők és az adott épülettípus állományának szorzatösszegeként számíthatjuk ki (Schiller 2007). Az anyagintenzitások adatforrásai pontosságukat tekintve az adott fogyasztói termék előállításánál felhasznált anyagok tényleges mennyiségétől a tipikus modellhöz építéséhez felhasznált anyagok becsült vagy átlagos mennyiségéig terjednek.

1. ábra



*Megjegyzés:* az ábrán szereplő rövidítések kifejtése a következő: MIF (material intensity factor): anyagintenzitás-tényező; at: alapterület; ef: épütelelem-felszín.

*Forrás:* Ortlepp–Deilmann (2015) alapján saját szerkesztés.

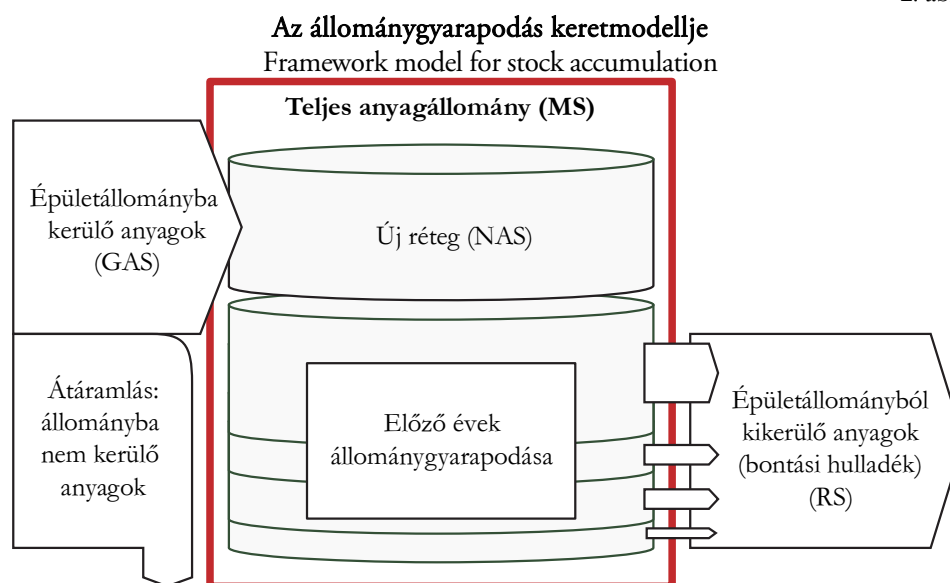
Az alulról felfelé építkező elszámolás eredménye egy adott időpontban az anyagállomány „pillanatfelvétele”, amihez időbeli függés nem kötődik, ezért statikus elemzésnek is nevezik. Ez a módszer részletesen jellemzi az anyagállomány állapotát, de az anyagállományok korát és a kapcsolódó anyagáramlásokat csak durván tudja

közelíteni, kivéve, ha a „pillanatképek” időben sűrű sorozata áll rendelkezésre, amiből – negyedik dimenzióként – feltárhatók az időbeli változások (Tanikawa et al. 2015). A paraméterek alkalmazásán nyugvó, alulról felfelé építkező anyagáramlás-elemzés megfelelő eszköz a társadalmak által használt anyagok beáramlásának, kiáramlásának és állománydinamikájának meghatározásához, így stratégiai ismereteket is szolgáltatót a körforgásos gazdaságpolitikák kialakításához.

A GIS-adatok fajlagos anyagintenzitással való kombinációja lehetővé teszi egy olyan erőforrás-nyilvántartás létrehozását, amely az anyagok városon belüli térbeli eloszlását tárja fel. Míg az ásványi anyagok térbeli eloszlása elsősorban az épületek magasságától, addig a faanyag eloszlása az épületek korától is függ. Az anyagállomány-elemzés pontossága egyaránt függ az épületszerkezeti adatok minőségétől és a különböző épülettípusok fajlagos anyagintenzitás-tényezőitől. Az épületszerkezeti adatok javítása főként az épületek méretét és – GIS segítségével történő – térképezését foglalja magában (Kleemann et al. 2017).

Az 1990-es évek vége óta végzett kutatások különböző célokat tűztek ki maguk elé, és egymástól nagyon eltérő tér- és időskálákat, épített állományokat és beépített anyag típusokat vizsgáltak. Végül soron ezek a kutatások vezettek az építőanyag-áramlásokhoz és az állományelszámoláshoz kapcsolódó módszerek kifejlesztéséhez, amelyek az előfeltevések és a felhasznált adatok tekintetében térnek el egymástól (Augiseau–Barles 2017), általános kereteiket a 2. ábra mutatja.

2. ábra



*Megjegyzés:* az ábrán szereplő rövidítések kifejtése a következő: GAS (gross additions to stock): bruttó állománygyarapodás; NAS (net additions to stock): nettó állománygyarapodás; RS (removal from stock): állományból való kikerülés –  $RS = GAS - NAS$ .

*Forrás:* Fishman et al. (2014) alapján saját szerkesztés.



Mivel az épületekben jelenlévő anyagmennyiség jelentős része a földben vagy a föld alatt található, ezért foglalkozni kell a felszín alatti részek tömegének becslésével is. A felszín feletti és felszín alatti épületrészek tömegarányának becsléséhez szükség van a városi metabolizmus számszerűsítésére és a felszín alatti szerkezetekbe történt anyagbeépítés feltárására. Az adatbázisnak ezért magában kell foglalnia a felszíni (föld feletti), valamint a felszín alatti (föld alatti) struktúrákat is. A föld feletti rész, mint például az épület felépítménye, könnyen felmérhető, de a föld alatti részt alkotó anyagokat nehéz feltárni, így az újrafeldolgozásra alkalmas anyagmennyiséget is nehéz meghatározni (Hashimoto et al. 2009).

Az épületállomány anyagmennyiségének meghatározásában nehézséget jelentenek az épületállomány szerkezeti jellemzői, anyagintenzitása és kor szerinti eloszlása, valamint a bontási és karbantartási ráta pontosabb ismeretének hiánya is (Wiedenhofer et al. 2015). Bár a köz- és kereskedelmiépület-állomány nagysága és jellemzői fontos és meghatározó tényezők, azonban európai szinten alig állnak rendelkezésre róluk adatok.

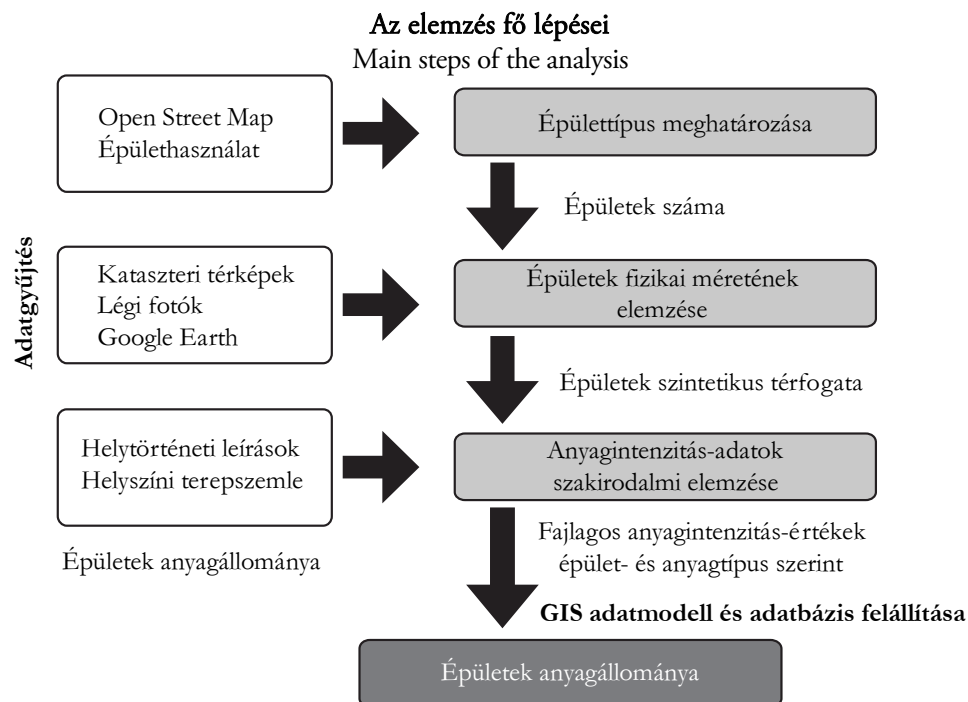
A vizsgálatok során skálaproblémák is jelentkeznek: egy családi ház beépített anyagtartalma ugyanis pontosan meghatározható, de egy egész országra elvileg ugyan lehetséges, gyakorlatilag azonban kivitelezhetetlen. E skálaprobléma megoldására különböző megközelítéseket alkalmaznak: jellemző épülettípusok (Nemry et al. 2010); az építés idején érvényes, alapterületre vagy térfogatra vetített átlagos anyagintenzitások (Bergsdal et al. 2007, Müller 2006, Schiller 2007); a településszerkezet, az építési szabványok és a kor szerinti eloszlások téradatbázisainak összekapcsolása (Tanikawa–Hashimoto 2009); az anyagfelhasználás összekapcsolása az építmény élettartamával és a hulladékkeletkezési tényezőkkel (Cochran–Townsend 2010); az input-output módszerek kombinálása az alapterületre vonatkozó adatokkal, az építési előírásokkal és az építési tevékenységgel (Hashimoto et al. 2007).

### **Módszertani keret**

Az anyagáramlás-elemzés – standard megközelítésén túl – a tanulmányban bemutatott alapelvét tekintve egy dinamikus, alulról felfelé építkező módszer. Míg a statikus megközelítések az anyagállományokat és -áramlásokat egy adott időpontban (például egy év), addig a dinamikus megközelítések azokat több időpontban (a referenciaidőponthoz képest előretekintő vagy visszatekintő időpont) vizsgálják. Az alulról felfelé építkező megközelítések alapvető módszere a vizsgálatba vont épületek egyes anyagállomány és -áramlás jellemzőinek (például négyzetméter alapterület, térfogat) a fajlagos anyagintenzitás-tényezőkkel való szorzatának meghatározása (Hashimoto et al. 2009), ezért az alulról felfelé építkező módszerek paraméteres megközelítések (Schiller et al. 2017a). Az anyagintenzitás-tényezők, valamint az állomány és az áramlások leírására szolgáló anyagok mennyisége általában épülettípusok szerint osztályozható, az épületek egyedi felhasználásának és építésének figyelembevételével (Hashimoto et al. 2009, Kleemann et al. 2017, Michel et al. 2012, Ortlepp et al.

2018, Tanikawa et al. 2015). Így az alulról felfelé építkező megközelítések három alapvető lépése különböztethető meg: (1) épülettípusok, amelyek jellemzik az épületek felhasználásának és/vagy építésének típusát; (2) a fajlagos anyagintenzitásra jellemző paraméterek (tényezők); (3) a teljes anyagállomány és -áramlások mérőszáma (például alapterület [ $m^2$ ] vagy bruttó térfogat [ $m^3$ ]) (3. ábra).

3. ábra



*Forrás:* Mesta et al. (2018) alapján saját szerkesztés.

Az anyagállományok és -áramlások számszerűsítéséhez szükséges a fajlagos anyagintenzitás-tényezők meghatározása. Az e tanulmányban alkalmazott bruttó térfogat leginkább az épület méretéhez, s ezen keresztül építésanyag-tartalmához kapcsolódik. A falazat által határolt belső hasznosítható alapterületet nettó dimenzióként figyelembe véve az épület kevésbé pontos méretét kapjuk (Ortlepp–Deilmann 2015). A legtöbb ország statisztikáiban a nettó alapterületről közölnek adatokat, azonban a falazattal növelt bruttó alapterületről sokkal ritkábban. A statisztikai adatokat az épület mérete (például családi ház/társasház) és kora alapján is osztályozzák, ami megfeleltethető az épülettípusoknak (Ortlepp et al. 2018, Ortlepp–Schiller 2016).

## Épülettípusizálás

Az anyagáramlások elemzése során általános gyakorlat az épülettípusok használat (például lakó- vagy nem lakáscélú épület) vagy épületszerkezet szerinti elkülönítése. Az épülettípusizálás az épületeket használatuknak, méretüknek és koruknak megfelelően osztályozza, ami a szerkezetben megnyilvánuló formákon alapul. Az épülettípusok „szintetikus épületeknek” tekinthetők abban az értelemben, hogy a meglévő épületek adott építési időszakot jellemző, átlagos fajlagos anyagintenzitását jelentik meg (Ortlepp et al. 2018).

### Lakóépületek

A lakóépületek magukban foglalják az összes olyan épületet, amely elsősorban az életvitelt szolgálja. A lakóépületeket általában a méret (például családi ház vagy társasház), az építés típusa és a kor szerint osztályozzák. A lakóépületeket további sajátos felhasználásuk (például magánház, kollégium, szálloda) vagy felépítésük (például teraszos vagy sorház, családi ház, alacsony tömbházak, magas toronyházak) szerint is csoportosítják.

### Nem lakáscélú épületek

A nem lakáscélú épületeket általában az adott felhasználás (irodai, ipari, mezőgazdasági stb.) szerint tovább osztályozzák. Az épületek kora különösen fontos az energetikai teljesítmény vizsgálatának szempontjából (Loga et al. 2016, 2012), és ezt a paramétert gyakran az anyagáramlás-elemzésben is figyelembe veszik, a forma és az építési időszak közötti egyértelmű kapcsolat miatt (Berghsdal et al. 2007, Kleemann et al. 2016).

## Anyagintenzitás-tényezők

Az anyagintenzitás kulcsfontosságú adat a városi térségben felhalmozódott anyagállomány meghatározásához. Minél pontosabb az anyagállomány tér- és időbeli ismerete, az annál inkább támogathatja az anyaggazdálkodás tervezését.

A különböző vizsgálatokkal megállapított anyagintenzitások szakirodalmi feltárással választhatók ki a tanulmány szempontjából releváns, magyar viszonyok között is alkalmazható fajlagos anyagintenzitás-tényezők. A definíciójukban szereplő különbségek elsősorban a kiválasztott épülettípusokat megalapozó változatokhoz kapcsolódnak. Az épülettípusokat általában a felhasználás formái határozzák meg, amelyek mindegyike eltérő szerkezeti megoldásokat tartalmazhat. E tényezők könnyebben átvehetők abban az esetben, ha azok épülettípusokon (szintetikus épület) alapulnak, nem pedig felhasználási típusokon, mivel a teherhordó szerkezeteket általában a nemzetközi normák szabályozzák, legalábbis a fejlett országokban (például az Eurocodes Európában, az amerikai vagy a brit szabványok) (Ortlepp–Deilmann

2015). A tényleges kivitelezésben rejlő különbségek tükrözhetik az egyes országok építőmérnöki gyakorlatának irányelveit.

A különböző típusú, nem lakáscélú épületekre vonatkozóan differenciált fajlagos anyagintenzitás-tényezők állnak rendelkezésre, többek között Németország, Ausztria, Franciaország és Japán esetében. Az osztrák és a francia tanulmányokban (Kleemann et al. 2016, Michel et al. 2012) használt fajlagos anyagintenzitás-tényezők csak egy-egy várost jellemeznek. A teljes országra érvényes fajlagos anyagintenzitás-tényezőkről egyelőre csak Japánban és Németországban készült becslés (Gruhler–Deilmann 2015, Tanikawa et al. 2015).

Jelen tanulmány az átlagos fajlagos anyagintenzitásokat a lakóépületekre elsősorban Kleemann et al. (2017), kisebb részben Daxbeck et al. (2009) és Ortlepp et al. (2018) munkáiból veszi át, míg a nem lakáscélú épületek (kereskedelmi és ipari épületek) esetében Kleemann et al. (2017) vizsgálata mellett a más megközelítést alkalmazó német kutatások Ortlepp–Deilmann (2015) által feltárt paraméterek használata is indokolt, hiszen a német építészeti megoldások sem állnak távol a magyar gyakorlattól. Kleemann et al. (2017) nyomán minden releváns információt anyagintenzitássá kell alakítani és az adott épülettípushoz rögzíteni, majd ezt követően minden egyes épülettípusnál az átlagos fajlagos anyagintenzitásokat kell meghatározni (lásd [Internetes melléklet M1–M6. táblázat](#)). Ezek az értékek végül a GIS-adatokkal együtt lehetővé teszik a budapesti mintaterületeken található épületek összesített anyagállományának kiszámítását<sup>1</sup>.

### Az anyagállomány becslése

Az állományok kiszámításához az összes épület adatai szükségesek. A teljes állomány kiszámításához a használatban lévő egységek számának és átlagos tömegének a szorzatait kell összegezni. Kleemann et al. (2017) különböző megközelítéseket ötvöz a bécsi épületállomány elemzésére, figyelembe véve a méretet (bruttó térfogat), az építési időszakot és az épülethasználatot, valamint a fajlagos anyagintenzitások (kilogramm/bruttó köbméter) adatbázisának felállítására. Az épületszerkezetre és a különböző épülettípusok fajlagos anyagintenzitására vonatkozó adatok kombinálása lehetővé teszi az épületállományba épített anyag értékelését és földrajzi helyzetének rögzítését:

$$M = \sum_{i=1, j=1, m=1}^{k, l, n} GV_{i,j} \cdot MI_{m,i,j} \quad (1)$$

ahol  $M$  az összes épülettípusra és anyagra összegzett teljes anyagállomány,  $GV_{i,j}$  az  $i$ -edik épülettípus bruttó térfogata (gross volume) a  $j$ -edik időszakban,  $MI_{m,i,j}$  az

<sup>1</sup> A tanulmány az anyagállomány meghatározásához szükséges számítások elvégzéséhez Bécs városának különböző épülettípusok anyagintenzitására vonatkozó értékeit (Kleemann et al. 2017) vette figyelembe.

m-edik anyagra és az i-edik épülettípusra vonatkozó fajlagos anyagintenzitás (specific material intensity) a j-edik időszakban.

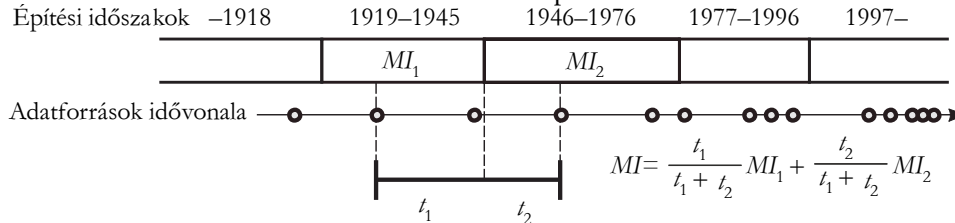
Először az épületállomány összetételét tárjuk fel egy GIS adatbázis létrehozásával, amely a bruttó térfogatról, az építési időszakról és az egyes épülettípusokról tartalmaz információkat.

A fajlagos anyagintenzitás szintetikus épületekre vonatkozó értékeinek meghatározása abban az esetben igényel külön megfontolást, amikor az épület építési idejére vonatkozó becült időszak a rögzített építési időszakokkal átfedésben van. Ebben az esetben az „átfedés” arányában vesszük figyelembe az egyes időszakokra jellemző fajlagos anyagintenzitás-tényezőket (4. ábra).

4. ábra

#### Az anyagintenzitás számítása a rögzített építési időszakokkal átfedő becült építési időintervallumok esetében

Calculation of material intensity for estimated construction intervals overlapping fixed construction periods



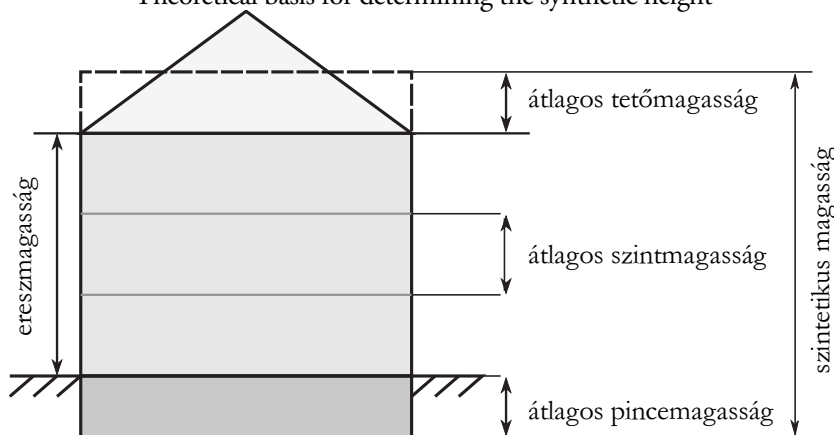
Megjegyzés:  $MI_1$  és  $MI_2$  az egyes építési időszakokra jellemző,  $MI$  az idővel súlyozott anyagintenzitást jelöli.

Az épületek bruttó térfogatának (illetve: szintetikus térfogat) meghatározásához szükséges szintetikus magasság kiszámításának elvi alapját az 5. ábra mutatja be.

5. ábra

#### A szintetikus magasság meghatározásának elvi alapja

Theoretical basis for determining the synthetic height



Az (1) egyenlet változóinak értékeit meghatározó tényezők hibáiból (a szórások ismeretében) lineáris hibaterjedéssel meghatározható az egyedi épületek össztömegének kiszámítása során jelentkező statisztikai és relatív összes hiba. Ehhez a következő összefüggést használjuk:

$$\begin{aligned} \Delta M &= \sum_{i=1, j=1, m=1}^{k, l, n} (\Delta GV_{i,j} \cdot MI_{m,i,j} + GV_{i,j} \cdot \Delta MI_{m,i,j}) = \\ &= \sum_{i=1, j=1, m=1}^{k, l, n} A((\Delta hp_{i,j} + \Delta ht_{i,j}) \cdot MI_{m,i,j} + hs \cdot \Delta MI_{m,i,j}) \end{aligned} \quad (2)$$

ahol  $\Delta M$ ,  $\Delta GV$  értékek az (1) egyenletben szereplő tényezők hibái az  $i$ -edik épület-típusra és a  $j$ -edik időszakban, illetve  $\Delta MI_{m,i,j}$  az  $m$ -edik anyagra, az  $i$ -edik épület-típusra és a  $j$ -edik időszakra,  $A$  az épület alapterülete (itt feltételezzük, hogy ez kis hibával meghatározható, ezért eltekintünk a hibájától),  $\Delta hp_{i,j}$  és  $\Delta ht_{i,j}$  rendre a pince- és tetőszint átlagos magasságának hibája (szórása),  $hs$  az épület szintetikus magassága (5. ábra).

Az állománybecslés módszereinek általános átvételi lehetősége megalapozottnak tekinthető, de ez nagyban függ a szükséges adatok rendelkezésre állásától. Mivel azonban a nem lakossági célú épületállományokat és azok változásait jelenleg csak Japánban követik nyomon a hivatalos statisztikák (Tanikawa et al. 2015), ezért elkerülhetetlen az állomány nagyságának becslésére szolgáló módszerek alkalmazása (Ortlepp–Deilmann 2015).

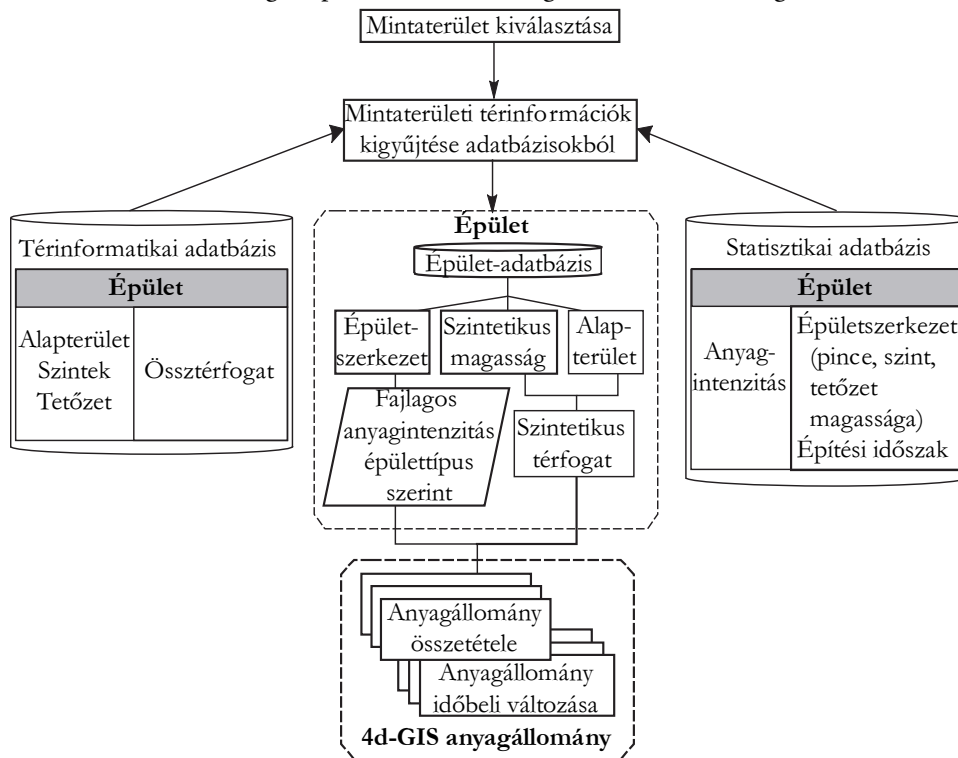
## GIS elemzési környezet, adatmodell

A várostervezőknek és a helyi döntéshozóknak az anyagáramlás-elemzés városi szinten való megvalósítása érdekében ismerniük kell az anyagállományok térbeli eloszlását, valamint az anyagbevétel alakulását is a városi anyagcsere-folyamatok teljes megértéséhez. Több tanulmány, például Tanikawa–Hashimoto (2009) is igazolja, hogy egy 4d-GIS modell városi szinten képes bemutatni az anyagállományok térbeli eloszlását és az anyagbevétel időbeli változását.

Az anyagállomány-becslések elvégzéséhez alapvetően Tanikawa–Hashimoto (2009) és Licheng et al. (2012) eljárási módszerét követjük. A felépített adatbázis alapján az egyes területeken található anyagállományok alapvető jellemzőinek eloszlása meghatározhatóvá válik. A 6. ábra a statisztikai és GIS-adatok felhasználásával történő anyagállomány-becslés módszertani keretét mutatja be. Jelen tanulmányban csak azok az épületek szerepelnek, amelyek jelenleg is léteznek, tehát a javításoktól, a felújításoktól és a bontásoktól eltekintettünk.

6. ábra

**Az anyagállományok GIS segítségével történő becslésének módszertani folyamata**  
Methodological process for estimating material stocks using GIS



Forrás: Tanikawa–Hashimoto (2009) és Licheng et al. (2012) alapján saját szerkesztés.

Sok település, különösen a nagyobb városok ma már rendelkeznek GIS-adatokkal a településtervezéshez, azonban digitális térképi adatok a GIS megjelenése előtt nem léteztek. Lehetséges megoldás erre a problémára egy digitalizált, analóg papírtérképeken alapuló áthidaló adatbázis létrehozása. A régi légi felvételek és a múltban a földön készített képek alapján egyes épületek tulajdonságairól lehet információkat gyűjteni, ilyen például az emeletek száma, az épülethasználat típusa. Ezek az épületjellemzők a digitalizált térképekkel integrálhatók.

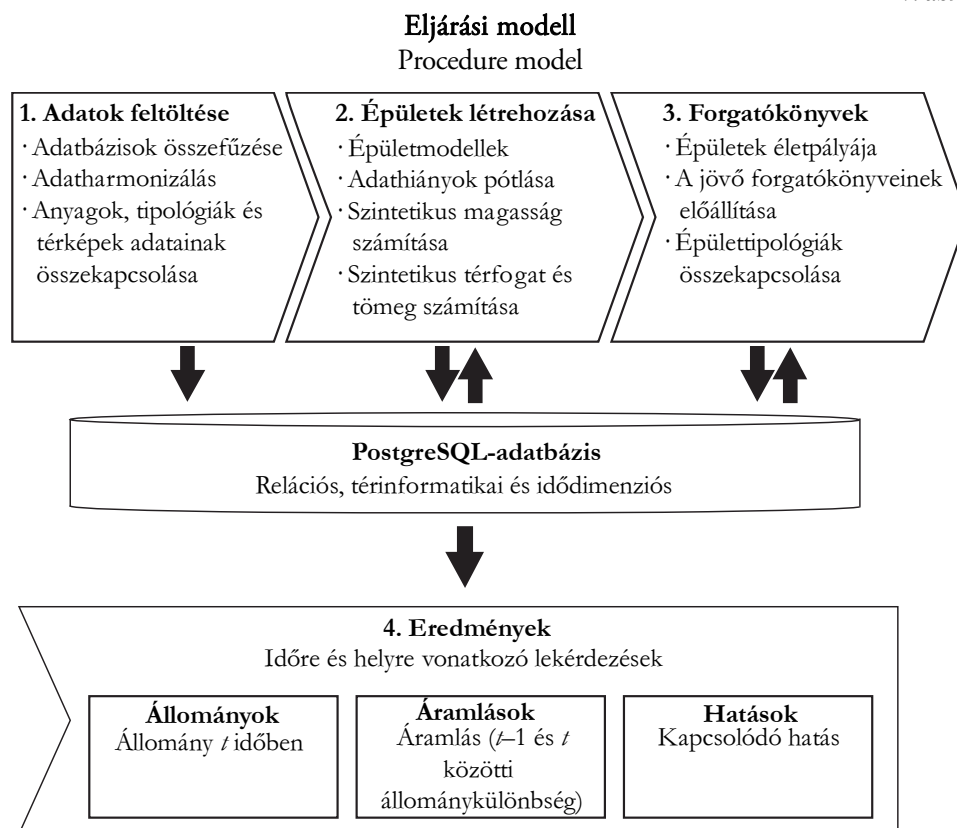
### A GIS-adatbázis építésének lépései

Mivel az épületállomány nagyvárosi szinten százezres nagyságrendű egységből is állhat, nehezen állítható össze egy olyan modell, amely a meglévő épületek valamennyi egyedi jellemzőjét figyelembe veszi. Ezért a megvalósíthatóság és a pontosság közötti kompromisszum érdekében korlátozni kell az elemzéshez elengedhetetlenül szükséges épülettípusok számát. Ehhez ismerni kell a szintetikus épületeket. A

szintetikus épületeken alapuló állománymodellezés ígéretes eszköz az erőforrás- és a kibocsátáscsökkentés feltárásához, továbbá különösen alkalmas a szintetikus állományok összetett elemzésére, valamint felhasználható a jövőbeli előrejelzések forgatókönyveinek kidolgozásához is (Famuyibo et al. 2012).

Azokban az esetekben, amikor valamilyen ok miatt (például távoli múlt) az alapterületről és a magasságról vagy emeletszámról nem állnak rendelkezésre adatok a digitális nyilvántartásban, akkor szükség van egy áthidaló megoldásra, ami lehet például egy légi fotó értelmezése (épülettípezálás).

7. ábra



Forrás: Heeren–Hellweg (2019) alapján saját szerkesztés.

Az eljárás konkrét megvalósítása négy egyedi lépést tartalmaz, a térbeli SQL adatbázis pedig a modell központi eleme (7. ábra).

1. lépés: Az általános adatmodell szerint szükséges adatok elemzése, majd azok adatbázisba töltése. A georeferált adatállomány (épületek nyilvántartása) mintaterületi lehatárolását és a további adatok (például épületspecifikációk, fajlagos anyagintenzitás-tényezők) adatbázisba vitelét követően mindezek összekapcsolása.



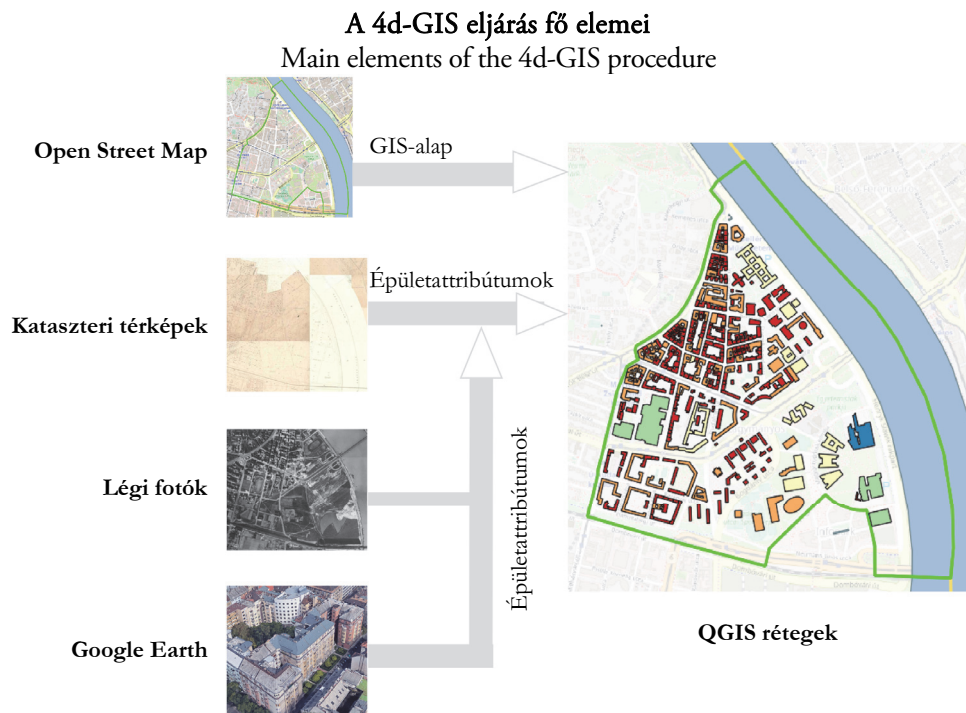
2. lépés: Az épületmodell előállítás az egyesített adatbázisból. Az épület térfogata az épülettípustól függő paraméterek segítségével határozható meg. Az épület tömegét a térfogat és az épülettípushoz tartozó fajlagos anyagintenzitás-tényező szorzata adja.

3. lépés: Az épületállomány jövőbeli változásának szimulálása különböző forgatókönyvekkel. Ehhez az egyes épületek élettartamát és típusát kell figyelembe venni, majd az összes épületre külön-külön lefuttatni a forgatókönyveket. Ezzel megbecsülhető a jövőbeli változások nagysága és területi eloszlása, de jelen tanulmány ennek részleteivel nem foglalkozik.

4. lépés: A szimuláció befejezése után az adatbázis lekérdezése, SQL parancsokkal. Az adatok és számított eredmények területi alapon és/vagy különböző időpontokra összevonhatóak, így az anyagállományok tér- és időbeli változása (anyagáramlás), valamint a fajlagos anyagintenzitás ismeretében az egyes anyagok mennyisége is meghatározható. Emellett további, a tömegén kívüli mutatók (például a térfogat vagy az élethciklus) hatása is megismerhető.

A 4d-GIS adatbázis konkrét megvalósítását célzó legfontosabb térinformatikai és egyéb adatforrások körét a 8. ábra mutatja be.

8. ábra



A 7. ábrán bemutatotthoz hasonlóan, a Stephan–Athanassiadis (2017) által kidolgozott modell paraméteres jellege lehetővé teszi annak alkalmazását bármely más olyan városra, amelyről rendelkezésre állnak a szükséges adatok, tehát amelyek épületállományuk adataihoz nyílt hozzáférést biztosítanak. A következő öt adatállomány szükséges a javasolt keretrendszer alkalmazásához:

1. Az egyes épületek geometriája (például shp fájlformátum, vagy egyszerűen az alapterület, a magasság vagy az emeletek száma stb.).
2. Az egyes épületek építési ideje.
3. Az egyes épületek típusa (lakóépület, irodaépület, kereskedelmi épület stb.).
4. Az egyes típusok és építési időszakok kombinációinak megfelelő épületelemek és szerelvények (ezeket építészettörténészekkel és építési szakértőkkel konzultálva kell meghatározni).
5. Az átlagos életciklust magában foglaló és a földrajzilag releváns, közvetett (járulékos) anyagintenzitás-tényezők (ez az adatállományrész nem szükséges az anyagállomány modellezéséhez, ahhoz elegendők az első négy pontban szereplő adatállományok).

Az első négy adatállomány kiépítésével és integrálásával épületszinten meghatározható az anyagállomány anyagok, épületelemek és épületek szerint. A közvetett anyagigények az ötödik adatállomány figyelembevételével számíthatók ki. Az első három adatbázis sok város esetében viszonylag könnyen elérhető, például kataszteri adatok alapján (bár néha ezek az adatok bizalmasak vagy drágán hozzáférhetőek). A negyedik adatállomány szakértői ismereteket igényel, és jellemzően minden egyes esettanulmány esetében nulláról kell fejleszteni a szakértők által az egyes típusokhoz kiválasztott építési idők szerint. Ez azonban megvalósítható és sok város esetében lehetővé teszi az épületállomány alulról felfelé építkező módszerrel történő számszerűsítését. A közvetett anyagigényt nagyfokú bizonytalanság terheli, és minősége nagymértékben függ az ötödik adatállomány minőségétől.

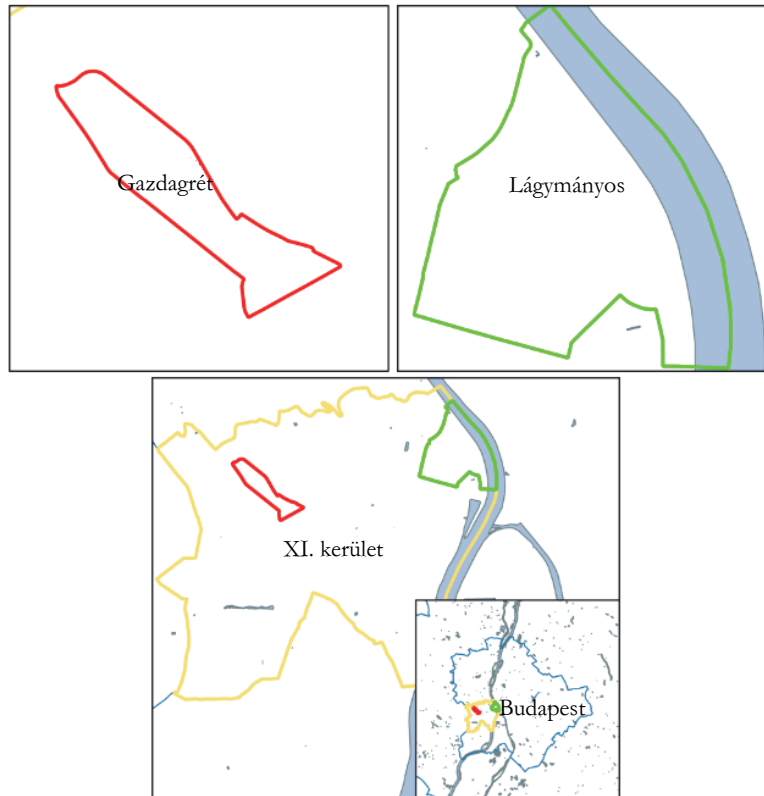
## Mintaterületek és adatforrások

A budapesti mintaterületek kiválasztásánál az volt az egyik fő szempont, hogy közgazdaságilag homogén egységet alkosson, ugyanakkor ne legyen túlságosan nagy területű. A főváros budai oldalán elhelyezkedő XI. kerület (Újbuda) esetében megfelelő minőségű és elegendő mennyiségű, könnyen hozzáférhető adat áll rendelkezésre. Ez a kerület jelenleg 21 kisebb-nagyobb városrészből áll, közülük többet csak néhány éve határoltak le és neveztek el. A kiválasztott két városrész egyike (Lágymányos) hosszú múltra tekint vissza, másik (Gazdagrét) ennél jóval fiatalabb, mindössze néhány évtizedes új múlttal rendelkezik, noha kora középkori településnyomokat is feltártak a területén. A két mintaterületet úgy választottuk, hogy az egyiket vegyes (lakó- és kereskedelmi épületek, ipari létesítmények), a másikat inkább ho-

megőn területhasználat (főleg lakóépületek) jellemezze, s emellett az átlagos városi területre jellemző tulajdonságokkal rendelkezzenek (9. ábra).

9. ábra

**Mintaterületek: Gazdagrét és Lágymányos**  
Sample areas: Gazdagrét and Lágymányos



**Gazdagrét városrész**

Lágymányoshoz képest ez a terület sokáig mezőgazdasági művelés (szőlő, gyümölcsös) alatt állt, azonban a Magyarországon az 1950-es években elindult, majd az 1960-as évek fellendülő lakótelepi építkezések terjedésével megkezdődött a főváros határterületein új lakótelepek felhúzása. Ennek egyik célpontja az 1847 óta Gazdagrétként ismert terület panelépületekkel való beépítése volt 1983–1989 között, a szocializmuskori házgyári lakásépítések utolsó fénykorában. Mivel ez a terület elsősorban lakófunkciókkal rendelkezik, kiegészülve a szükséges szolgáltató és kereskedelmi funkciókkal, épületállományát tekintve sokkal homogénebb és időbelileg is szűkebb tartományú, mint a lágymányosi mintaterületé.

### Lágymányos városrész

A Duna szabályozása kapcsán a XIX. század második felében kialakult itt egy tó, amit a József Műegyetem építését megelőzően feltöltöttek. Történelmi múltját tekintve színes és gazdag épületállománya hűen tükrözi, hogy milyen sokoldalú funkciókkal ellátott az 1990-ben városrészként elismert terület. Gyakorlatilag minden épülettípus megtalálható itt: a lakás célú épületek esetében a kertes háztól a lakóparkokon át a lakótelepekig (a Lágymányosi lakótelep 1956–1964 között, több ütemben épült), oktatási intézmények esetében az általános iskolától a középfokú oktatáson át a felsőfokú oktatásig (a jelenlegi Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem legnagyobb, központi épülete 1909-ben épült, Hauszmann Alajos tervei alapján), szolgáltató és kereskedelmi célú épületek sokasága és az ipari termelésnek otthont adó épületek. Ezenkívül számos, ma már műemléki védetség alatt álló épületegyüttes, templom is található itt.

### Adatforrások

Az épületállomány térinformatikai alapját az [1] honlapról ingyenesen elérhető adatállomány képezi.

### Légi fotók, ortofotók és kataszteri térképek

A kiválasztott mintaterületekre vonatkozóan a [2] honlapon keresztül elérhető, ingyenes felhasználású légi fotók 1963 és 1990 között készültek. Míg a gazdagréti mintaterület esetében 17, addig a lágymányosi mintaterület esetében 32 darab infravörös és látható hullámhossztartományban készült kép áll rendelkezésre. A kizárólag infravörös felvételek száma megfelelően 4 és 8 darab. A kiválasztott két mintaterület esetében végül csak az 1. táblázatban felsorolt képeket használtuk fel. Noha a legáltalább megfelelő georeferáltság követelményének csak a képek egy része felelt meg, ugyanakkor az időbeliség kiterjesztéséhez – vagyis az egyedi épületek építésének minél pontosabb meghatározása érdekében – elkerülhetetlen volt a többi kép felhasználása is. Nagyobb időráfordítás mellett azonban ezek is kielégítő adatokkal tudtak szolgálni.

1. táblázat

**A mintaterületekhez felhasznált légi fotók**  
Aerial photographs used for the sample areas

Mintaterület	fentrol.hu	terinfo.ujbuda.hu	mapire.eu
Gazdagrét		1966-0670-0267	1944
	1972-0054-0036		
	1972-0009-0266		
	1977-0062-6611		
	1977-0062-6609		
	1977-0062-6667		
	1977-0074-8301		
	1990-0027-5263		
	1992-0033-9485		
Lágymányos		1963-0078-0214	1944
	1963-0076-2829		
	1963-0077-2778		
	1963-0078-0214		
	1972-0054-0011		
	1972-0054-0044		
	1977-0062-6754		
	1979-0274-4355		
	1990-0027-5255	1988-0118-1236	

*Megjegyzés:* A dőlten kiemelt légi fotók georeferáltság tekintetében legalább megfelelő minősítésűek.  
*Forrás:* [2–4] alapján saját szerkesztés.

A [3] honlapon található ortofotók készítési ideje: 2000, 2005, 2007, 2008, 2010, 2015, 2017, 2019.

A [4] honlapon elérhető kataszteri térképek digitális állománya a kiválasztott mintaterületekre:

Budapest (1908) Budapest közigazgatási térképsorozata,

Budapest (1912) Budapest kataszteri térképsorozata utólagos bejegyzésekkel,

Budapest (1918–1946) Budapest kataszteri térképsorozata az 1918 és 1946 közötti időszakból.

Jelen tanulmány Internetes melléklete az átlagos fajlagos anyagintenzitás-tényezőket a lakóépületekre, kereskedelmi és ipari épületekre vonatkozóan a Budapesthez nagyon hasonló fejlődési pályát és építési formákat mutató Bécsre kiszámított fajlagos anyagintenzitás-tényezőit tartalmazza. Az adatbázis fizikai megvalósítása teljes egészében nyílt forráskódú szoftverek bázisán történt. Az adatbázis-kezeléshez a PostgreSQL 1.18.1, míg az adatbázis térinformatikai megjelenítéséhez a QGIS 2.18.19 szoftvert alkalmaztuk.

## Eredmények és értékelés

A két mintaterületen, Gazdagréten (G) és Lágymányoson (L) az [1] adatbázis összesen 553 épületegységet tart nyilván. Ebből a templom (G: 0; L: 3), a bódé/kioszk (G: 3; L: 5), a melléképület/kiegészítő építmény (G: 14; L: 7), az üvegház (G: 1; L: 1), a tető (G: 0; L: 13) besorolású építményeket kizártuk, mert ezek nem tipizálhatók azokba az osztályokba, amelyekre vonatkozóan rendelkezésre állnak fajlagos anyagintenzitás-tényezők, ez összesen 47 épületegység. További 16 épületet azért kellett kizárni a vizsgálatból, mert nem lehetett meghatározni az építésük idejét. Végeredményben a két mintaterületen összesen 490 épületre becsülhető meg a tömeg, a tanulmányban részletezett eljárás segítségével (2. táblázat).

Összesen 24 különféle épülettípus van az [1] általunk kiegészített adatbázisában, amit három nagy, szintetikus épülettípusnak elnevezett osztályba (kereskedelmi, ipari és lakóépület) soroltunk egy meghatározott fordítókulcs felhasználásával (Internetes melléklet M7. táblázat). Erre azért volt szükség, mert a fajlagos anyagintenzitás-tényezők csak ilyen szintetikus épületekre vonatkozóan álltak rendelkezésre (lásd Internetes melléklet M1–M6. táblázat).

2. táblázat

### Összefoglaló adatok a mintaterületekről Summary data on sample areas

Megnevezés	Gazdagrét	Lágymányos	Összesen
Terület, km <sup>2</sup>	0,56	1,86	2,42
Épületek száma	175	378	553
ebből: vizsgálatból kizárt	13	50	63
Épület			
tetőszerkezettel ellátott, darab	71	177	248
összalapterület, m <sup>2</sup>	82 404	352 043	434 447
Összalapterület/terület, %	14,7	18,9	18,0

Kritikus lépésnek számít az épületállományt napjainkban alkotó egyedi épületek építési idejének meghatározása vagy valamilyen korlátok közé szorítása, ugyanis ennek ismeretében nyílik csak mód a szintetikus épületekre vonatkozó fajlagos anyagintenzitás-tényezők építési időszakokra érvényes értékeinek megfelelő felhasználására.

A továbbiakban a mintaadatbázis alaptáblázataiból történő különféle leválogatásokkal és számításokkal meghatározható sajátosságok térbeli eloszlását bemutató, QGIS-alapú térképi megjelenítéssel szemléltetjük a térinformatikai adatbázis elemzési potenciálját.

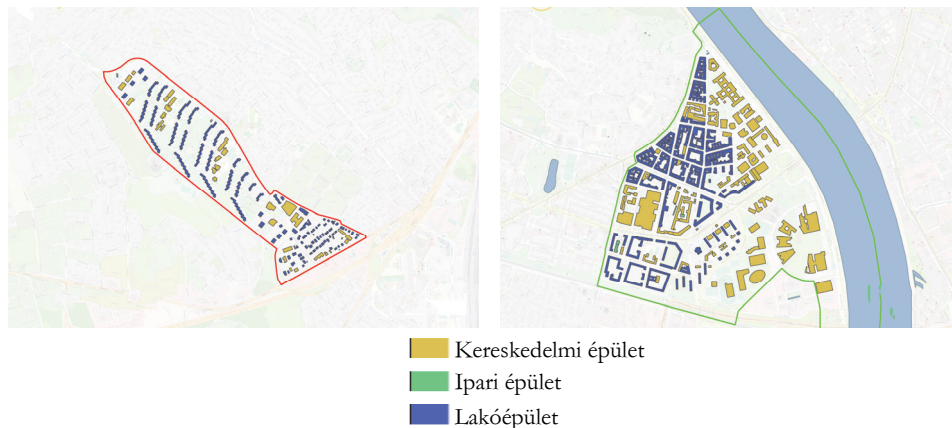
A mintaterületeken található épületek három fő épületosztályának térbeli eloszlását mutatja be a 10. ábra.

Fontos szempont az épületek szintetikus térfogatának meghatározásához, hogy az egyedi épületek rendelkeznek-e tetőszerkezettel. Gazdagréten jellemzően tetőszerkezet nélküli társasházi épületek találhatók, a déli részen többségükben tetőszer-

kezetes családi házak sorakoznak. Ezzel szemben Lágymányoson családi házak nincsenek, a tetőszerkezettel ellátott épületek túlnyomó többsége pedig a múlt század első felében épült társasház.

10. ábra

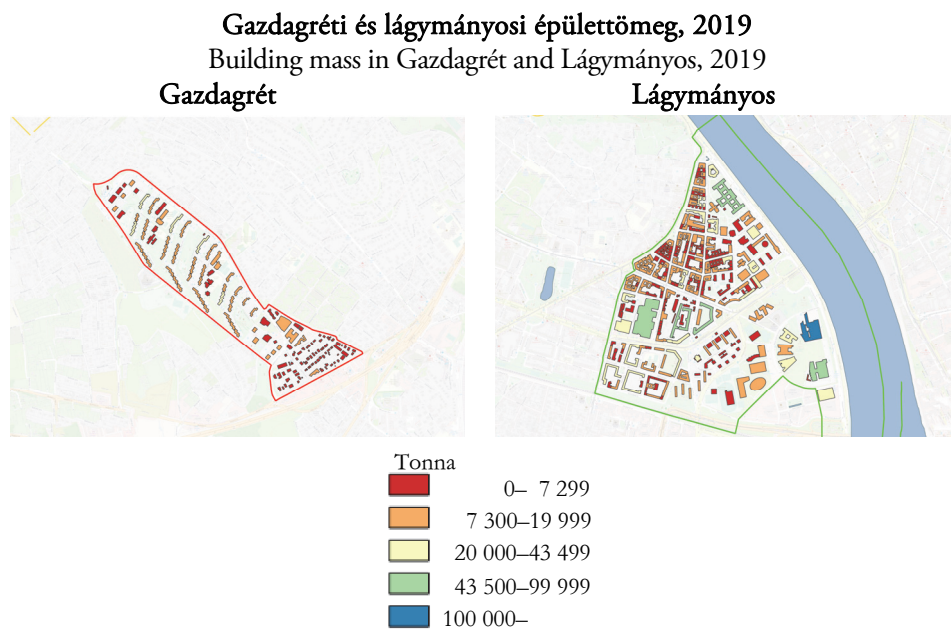
**Gazdagréti és lágymányosi épülettípusok, 2019**  
**Building types in Gazdagrét and Lágymányos, 2019**



Az épület szintetikus térfogatának és az egyedi épülethez tartozó fajlagos anyagintenzitás-tényezőik szorzatával megbecsülhető az egyedi épületek tömege (11. ábra), továbbá a bennük tárolt anyagok (összesen 31-féle) vagy anyagcsoportok (ásványi anyagok, szerves anyagok és fémek) mennyisége.

A tanulmányban bemutatott modell mintaterületekre felállított adatbázisa kizárólag a ma is álló épületek előéletére vonatkozóan képes információkat biztosítani, mert nem tartalmazza a ma létező épületek előtt bontással eltávolított egykori épületek tömegáramlását. Az adatbázis összeállítása során ugyanis kiderült, hogy sok esetben vannak ilyen bontással helyettesített épületek, de ezek pontos feltárása olyan mértékű időráfordítást igényelne, ami csak további elmélyült vizsgálatokkal lehetséges, így ezeket végül figyelmen kívül hagytuk. Ennek következtében csak a jelenlegi épületállományba bekerült anyagmennyiség becslését végeztük el.

11. ábra



A 12. ábra Lágymányos beépülésének alakulását mutatja, mely szerint a Duna felől való terjeszkedés jelentette az első hullámot az I. világháború végéig tartó építési időszakban. A két világháború között mérsékelt ütemben folytatódott az építkezés, ami a II világháborút követően – elsősorban az 1950-es és az 1960-as években – ismét nagy lendületet vett. A legújabb építkezési hullám a Duna felé terjeszkedésben, az egyetemi, továbbá a kutatási, fejlesztési és innovációs betelepülésben nyilvánul meg.

12. ábra





Végső soron a gazdagréti és a lágymányosi mintaterületre felállított adatbázis összesítő lekérdezésével választ kaptunk arra a kiinduló kérdésre, hogy mekkora az épületállományban felhalmozott anyagállomány nagysága, különös tekintettel a fémek és nem fémtartalmú ásványi anyagok mennyiségre (3. táblázat).

3. táblázat

**A gazdagréti és a lágymányosi épületekben felhalmozott anyagállomány főbb méretei, 2019**

Main dimensions of the stock of accumulated material in the buildings of Gazdagrét and Lágymányos, 2019

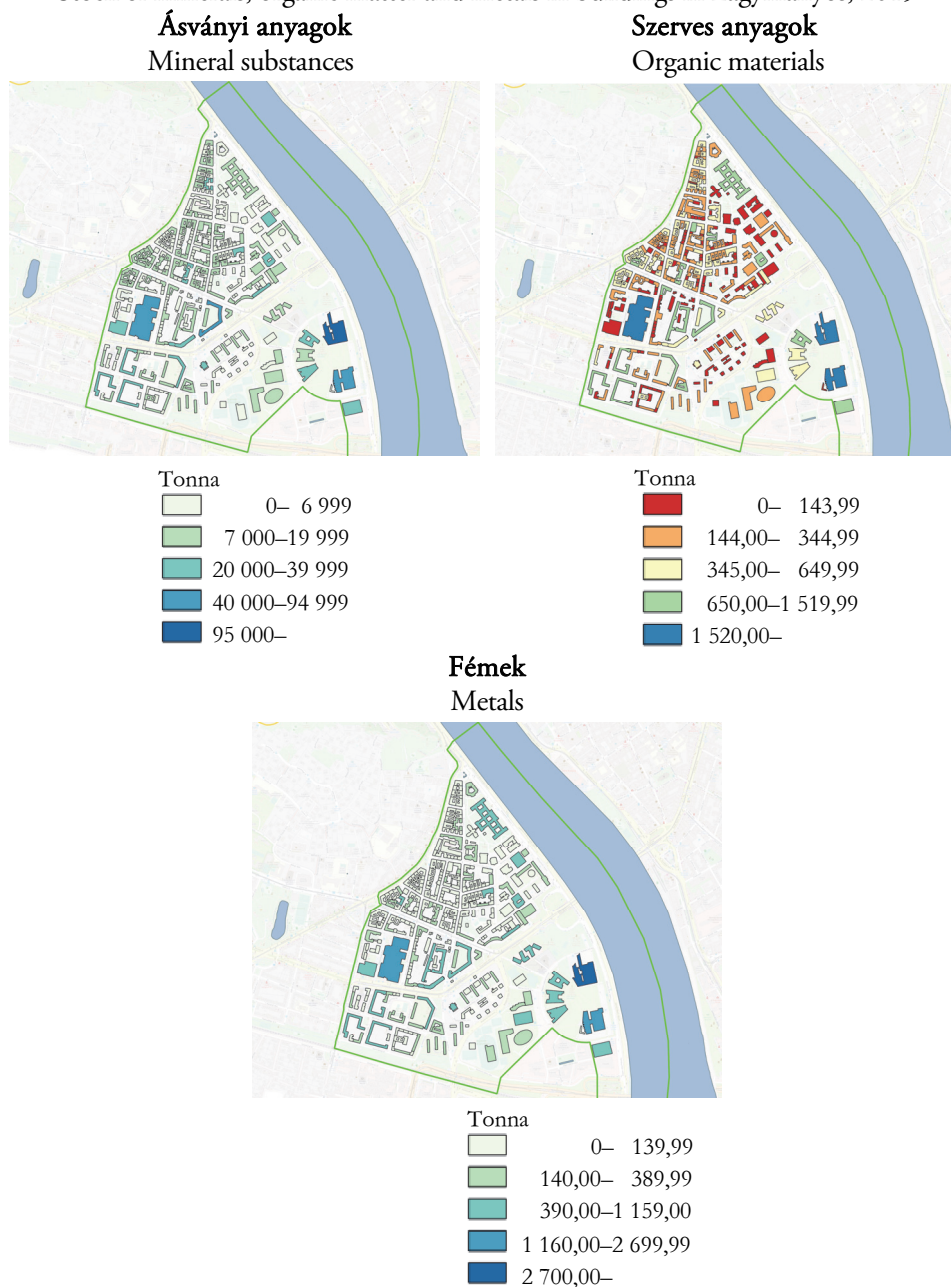
Épülettípus	Épületszám	Összalapterület, m <sup>2</sup>	Össztérfogat, m <sup>3</sup>	Anyagcsoport	Tömeg, tonna
Gazdagrét					
Kereskedelmi épület	32	29 698	291 594	Összesen	106 521
				Ásványi	101 983
				Fém	3 011
				Szerves	1 527
Ipari épület	7	481	1 699	Összesen	419
				Ásványi	396
				Fém	23
Lakóépület	123	52 225	1 566 793	Összesen	785 137
				Ásványi	748 705
				Fém	17 768
				Szerves	18 664
Lágymányos					
Kereskedelmi épület	101	197 393	3 194 959	Összesen	923 753
				Ásványi	877 871
				Fém	23 729
				Szerves	22 153
Ipari épület	5	1 964	11 903	Összesen	4 142
				Ásványi	3 992
				Fém	150
Lakóépület	222	152 686	4 220 608	Összesen	1 854 217
				Ásványi	1 771 744
				Fém	24 285
				Szerves	58 188
Együtt					
–	490	434 447	9 287 556	–	3 674 189

A 3. táblázat alapján megállapítható, hogy a módszertanban rögzített eljárással és paraméterértékekkel a két városrészben található (a vizsgálatból bármilyen ok miatt ki nem zárt) épületek összesített tömege megközelíti a 3,67 millió tonnát. A potenciálisan értékes fémek összmenyisége mintegy 70 ezer tonna. A 13. ábra épületszinten szemlélteti Lágymányos példáján az ásványi anyagok, szerves anyagok és fémek állományát.

13. ábra

**Az ásványi anyagok, a szerves anyagok és a fémek állománya  
a lágymányosi épületekben, 2019**

Stock of minerals, organic matter and metals in buildings in Lágymányos, 2019



A (2) egyenlet alapján végzett számítások szerint a szintetikus magasság meghatározásában rejlő hibákat, valamint a fajlagos anyagintenzitás-tényezők hibáit figyelembe véve a lineáris hibaterjedési modell alapján az egyedi épületek összömegének meghatározásában a mintaterületi épületekre átlagosan 33,8% hiba adódott. 10% alatt van azon épületek aránya, amelyekre a tömegmeghatározás relatív hibahatára megközelíti vagy meghaladja a 100%-ot. A legjobb adatminőséget a lakóépületeket közelítő szintetikus épületek mutatják, ahol a relatív hiba az épületek többségénél 20–25% közötti. A kereskedelmi és ipari épületek adatai kevésbé robusztusak, és előfordulnak jelentős, az 50%-ot is meghaladó relatív hibák. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy kevesebb mintaelemről készült el a vonatkozó szintetikus épületmodell fajlagos anyagintenzitás-tényezője, másrészt nagyobb a szabadság a kivitelezésben, mint a lakóépületek esetében, ezért nehezebb egyetlen jó modellel közelíteni ezeket az épülettípusokat. Mindezek figyelembevételével a mintaterületi épületek összömege közel – 34%-os relatív hibatarományal számolva – 2,42–4,92 millió tonna.

## Összegzés és következtetések

Rendszerszempontról az anyagok bemenő áramlása jelenti az állomány forrását. Ha a bemenő áramlás nagyobb, mint a kimenő áramlás, akkor az anyag felhalmozódik az állományban. Előbb vagy utóbb azonban az állományból kimenő áramlások (például bontási hulladék, amely újrahasznosítható vagy lerakható) indulnak. Ezenkívül az állomány állandóan anyagáramlásokat gerjeszt a használat és a fenntartás miatt is. Feltételezhető, hogy minél nagyobb az állomány, annál nagyobb áramlások szükségesek a fenntartáshoz. Ez alkalmazható mind az anyagáramlásokra, mind a költségekre, ebből következően az anyagáramlás-gazdálkodásra is. Az infrastruktúra folyamatos bővülése megköveteli az – akár fizikai, akár pénzügyi – erőforrások növekvő megosztását fenntartási célokból, ami maga után vonja a jövőbeli erőforrás-áramlásokkal való gazdálkodás terének szűkülését is.

A tanulmányban alkalmazott eljárás a bemutatott eredmények tükrében alkalmas tetszőleges területre való kiterjesztésre, azonban tekintettel kell lenni arra, hogy a mintaadatbázis felállítása során részben alkalmazott félmanuális adatfelvétel nagyobb léptékű elemzésekhez nyilvánvalóan már nem járható út. Meg kell találni a hatékony, legalább félautomatikus adatfelvétel módját, ami elsősorban a légi fotókon, ortofotókon, digitalizált kataszteri térképeken található épületek térbeli és időbeli azonosítását jelenti. Ezzel lehetőség nyílik a vizsgált területen történt bontások és bővítések (például alapterület-változások) számbavételére is, amire a tanulmányban bemutatott eljárás nem terjedt ki.

A digitálisfelszín-modell adatainak figyelembevételével a felszín feletti magasság (az ereszcsontra szintjéig) szintén automatizálható, de az átlagos pince- és tetőmagassággal mint a szintetikus magasság másik két összetevőjével ugyanúgy kell számolnunk, mintha a szintek száma alapján történő felszín feletti magasságmegállapítás szerint járnánk el. Amennyiben a térfogat fajlagos anyagintenzitásával számo-

lunk, akkor nincs szükség a szintek számának ismeretére, ha viszont az alapterületi fajlagos anyagintenzitással számolunk, akkor a digitálisfelszín-modell magassági adatai mellett ismernünk kell a szintek számát is.

Mivel a különböző épülettípusokhoz tartozó tetőzet és pince átlagos magassága szakértői becsléseken alapul, nagyobb a bizonytalansága. Tekintettel azonban arra, hogy nincs más információforrás, a választott megközelítés az egyetlen lehetőség a bruttó összterfogat becsléséhez. A tetőzet és a pinceszint figyelembevételével a járulékos térfogat a teljes térfogat közel 30%-át teszi ki (Kleemann et al. 2017), ezért ez a rész igen jelentős szerepet játszik az épületek összesített anyagállományának becslésében. Léteznek olyan gépi tanuláson alapuló megoldások, amelyek alkalmasak lehetnek az épületek tetőszerkezetének automatikus, de legalább félautomatikus felismerésére (például a konvolúciós neurális hálózatok különböző típusai).

Az anyagállomány becslésének bizonytalanságai az adatgyűjtés és -elemzés különböző fázisaiban merülnek fel. A bizonytalanságok lehetséges forrásai közé tartoznak az épületek és épületrészek vizsgálata során gyűjtött adatok, más régiókra vonatkozó, átvett szakirodalmi adatok és a felhasznált GIS-adatok. Az építési időszakokra és a hasznosításra vonatkozó adathiányok kiküszöbölése épületszintű adatpótlással lehetséges az épülettömbökről rendelkezésre álló adatok felhasználásával, amelyeknek természetesen nagyobb a bizonytalansága.

A módszertani korlátokat mutatja, hogy az alulról felfelé építkező GIS és a mért magassági adatok használata csökkenti az adatok bizonytalanságát, mivel így a tényleges építési geometriák használhatók a szintetikus épületek átlagos értékei helyett. Ugyanakkor az adatbázisok kis pontossága korlátozza az összeolvasztás hasznosságát. További módszertani nehézséget okoz, hogy miközben a felszín feletti rész, mint például az épület felépítménye, könnyen felmérhető, de a felszín alatti részt alkotó anyagokat nehéz feltárni.

A hasonló földrajzi régiók ellentmondásos fajlagos anyagintenzitás-tényezőit elemezve megállapítható, hogy egy következetes, szabványos anyagintenzitás-adatbázis létrehozásához szükség van a különböző földrajzi skálákra és régiókra vonatkozó egyedi anyagintenzitás-adatbázisok további vizsgálatára. Nagy erőfeszítést igényel a különféle forrásokból származó adatok alapján az egyes épülettípusok fajlagos anyagintenzitás-tényezőinek minél pontosabb meghatározása, de hosszabb távon a sajátos magyar anyagintenzitás-tényezők adatbázisának kialakítására is szükség van. Ez a feladat nagyon munkaigényes, de az alulról felfelé építkező megközelítés szempontjából el- és megkerülhetetlen, mivel az egyes épülettípusok fajlagos anyagintenzitás-tényezőivel kapcsolatos adatok általában nagyon korlátozottan állnak rendelkezésre.

Végül, hosszabb távon az építési tevékenységek teljes anyagcseréjének tisztázásához ismerni kell a felújításhoz szükséges anyag- és energiamennyiséget is. A felújításra vonatkozó információkat forгатókönyvek vagy statisztikai anyagáramlás-elemzések szolgáltathatják. Ebben az esetben a strukturált térképi adatok és attribútumok idősorának hiánya jelenti a fő problémát. A továbblépés ezen irányok részletesebb feltárásával lehetséges.

## INTERNETES MELLÉKLET

- M1. táblázat Az 1918 előtt épült lakóépületek, kereskedelmi és ipari építmények anyagintenzitása
- M2. táblázat Az 1919–1945 között épült lakóépületek, kereskedelmi és ipari építmények anyagintenzitása
- M3. táblázat Az 1946–1976 között épült lakóépületek, ipari és kereskedelmi építmények anyagintenzitása
- M4. táblázat Az 1977–1996 között épült lakóépületek, ipari és kereskedelmi építmények anyagintenzitása
- M5. táblázat Az 1997 után épült lakóépületek és kereskedelmi építmények anyagintenzitása
- M6. táblázat Az épületszint, a pince- és tetőszerkezet átlagos magassága építési időszak és szintetikus épülettípus szerint
- M7. táblázat Az Open Street Map épülettípus-attribútumok és a szintetikus épülettípus-kategóriák közötti kapcsolat

## IRODALOM

- AUGISEAU, V.–BARLES, S. (2017): Studying construction materials flows and stock: A review *Resources, Conservation and Recycling* 123: 153–164.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.002>
- BERGSDAL, H.–BRATTEBO, H.–BOHNE, R. A.–MÜLLER, D. B. (2007): Dynamic material flow analysis for Norway's dwelling stock *Building Research and Information* 35 (5): 557–570. <https://doi.org/10.1080/09613210701287588>
- BOCQUIER, P. (2014): World urbanization prospects: An alternative to the UN model of projection compatible with the mobility transition theory *Demographic Research* 12 (9): 197–236. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2005.12.9>
- BRUNNER, P. H. (2011): Urban mining a contribution to reindustrializing the city *Journal of Industrial Ecology* 15 (3): 339–341.  
<https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00345.x>
- BRUNNER, P. H.–RECHBERGER, H. (2004): *Practical handbook of material flow analysis* (2nd ed.) Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.
- COCHRAN, K. M.–TOWNSEND, T. G. (2010): Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach *Waste Management* 30 (11): 2247–2254. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.008>
- FAMUYIBO, A. A.–DUFFY, A.–STRACHAN, P. (2012): Developing archetypes for domestic dwellings – An Irish case study *Energy and Buildings* 50: 150–157.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.033>
- FISCHER-KOWALSKI, M. (2011): Analyzing sustainability transitions as a shift between socio-metabolic regimes *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1 (1): 152–159.  
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.04.004>
- FISHMAN, T.–SCHANDL, H.–TANIKAWA, H.–WALKER, P.–KRAUSMANN, F. (2014): Accounting for the material stock of nations *Journal of Industrial Ecology* 18 (3): 407–420. <https://doi.org/10.1111/jiec.12114>

- GRUHLER, K.–DEILMANN, C. (2015): *Materialaufwand von Nichtwohngebäuden* IRB Verlag, Fraunhofer.
- HASHIMOTO, S.–TANIKAWA, H.–MORIGUCHI, Y. (2007): Where will large amounts of materials accumulated within the economy go? – A material flow analysis of construction minerals for Japan *Waste Management* 27 (12): 1725–1738.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.10.009>
- HASHIMOTO, S.–TANIKAWA, H.–MORIGUCHI, Y. (2009): Framework for estimating potential wastes and secondary resources accumulated within an economy – A case study of construction minerals in Japan *Waste Management* 29 (11): 2859–2866.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.011>
- HEEREN, N.–HELLWEG, S. (2019): Tracking construction material over space and time: Prospective and geo-referenced modeling of building stocks and construction material flows *Journal of Industrial Ecology* 23 (1): 253.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12739>
- HEINRICH, M. A.–LANG, W. (2019): Capture and control of material flows and stocks in urban residential buildings *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 225: 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012001>
- KENNEDY, C.–CUDDIHY, J.–ENGEL-YAN, J. (2007): The changing metabolism of cities *Journal of Industrial Ecology* 11 (2): 43–59.  
<https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>
- KLEEMANN, F.–LEDERER, J.–ASCHENBRENNER, P.–RECHBERGER, H.–FELLNER, J. (2016): A method for determining buildings material composition prior to demolition *Building Research and Information* 44 (1): 51–62.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2014.979029>
- KLEEMANN, F.–LEDERER, J.–RECHBERGER, H.–FELLNER, J. (2017): GIS-based analysis of Vienna's material stock in buildings *Journal of Industrial Ecology* 21 (2): 368–380.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12446>
- KOHLER, N.–YANG, W. (2007): Long-term management of building stocks *Building Research and Information* 35 (4): 351–362. <https://doi.org/10.1080/09613210701308962>
- LOGA, T.–STEIN, B.–DIEFENBACH, N. (2016): TABULA building typologies in 20 European countries – Making energy-related features of residential building stocks comparable *Energy and Buildings* 132: 4–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.094>
- MATTHEWS, E.–HAMMOND, A. (1999): *Critical consumption trends and implications: Degrading earth's ecosystems*. <http://pdf.wri.org/critcons.pdf>
- MESTA, C.–KAHHAT, R.–SANTA-CRUZ, S. (2018): Geospatial characterization of material stock in the residential sector of a Latin-American city *Journal of Industrial Ecology* 23 (1): 280–291.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12723>
- MÜLLER, D. B. (2006): Stock dynamics for forecasting material flows – Case study for housing in The Netherlands *Ecological Economics* 59 (1): 142–156.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.09.025>
- NEMRY, F.–UIHLEIN, A.–COLODEL, C. M.–WETZEL, C.–BRAUNE, A.–WITTSTOCK, B.–HASAN, I.–KREIBIG, J.–GALLON, N.–NIEMEIER, S.–FRECH, Y. (2010): Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the

- European Union-Potential and costs *Energy and Buildings* 42 (7): 976–984.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.009>
- ORTLEPP, R.–DEILMANN, C. (2015): The other „half of the city” – Analysis of non-residential building stock and its materials *Sasbe 2015 Proceedings* pp. 271–280., 9–11 December 2015, Pretoria, South Africa.
- ORTLEPP, R.–SCHILLER, G. (2016): Material stocks in Germany’s non-domestic buildings: A new quantification method *Building Research & Information* 44 (8): 840–862.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1112096>
- ORTLEPP, R.–GRUHLER, K.–SCHILLER, G. (2018): Materials in Germany’s domestic building stock: Calculation model and uncertainties *Building Research and Information* 46 (2): 164–178.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1264121>
- RAUCH, J. N. (2009): Global mapping of Al, Cu, Fe, and Zn in-use stocks and in-ground resources *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 18920–18925.
- SCHILLER, G. (2007): Urban infrastructure: Challenges for resource efficiency in the building stock *Building Research and Information* 35 (4): 399–411.  
<https://doi.org/10.1080/09613210701217171>
- SCHILLER, G.–GRUHLER, K.–ORTLEPP, R. (2017a): Continuous material flow analysis approach for bulk nonmetallic mineral building materials applied to the German building sector *Journal of Industrial Ecology* 21 (3): 673–688.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12595>
- SCHILLER, G.–MÜLLER, F.–ORTLEPP, R. (2017b): Mapping the anthropogenic stock in Germany: Metabolic evidence for a circular economy *Resources, Conservation and Recycling* 123: 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.007>
- STEPHAN, A.–ATHANASSIADIS, A. (2017): Quantifying and mapping embodied environmental requirements of urban building stocks *Building and Environment* 114: 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.006>
- TANIKAWA, H.–FISHMAN, T.–OKUOKA, K.–SUGIMOTO, K. (2015): The weight of society over time and space: A comprehensive account of the construction material stock of Japan, 1945-2010 *Journal of Industrial Ecology* 19 (5): 778–791.  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12284>
- TANIKAWA, H.–HASHIMOTO, S. (2009): Urban stock over time: Spatial material stock analysis using 4d-GIS *Building Research and Information* 37 (5–6): 483–502.  
<https://doi.org/10.1080/09613210903169394>
- WIEDENHOFER, D.–STEINBERGER, J. K.–EISENMENGER, N.–HAAS, W. (2015): Maintenance and expansion: Modeling material stocks and flows for residential buildings and transportation networks in the EU25 *Journal of Industrial Ecology* 19 (4): 538–551. <https://doi.org/10.1111/jiec.12216>

#### INTERNETES FORRÁSOK

- ADRIAANSE, A.–BRINGEZU, S.–HAMMOND, A.–MORIGUCHI, Y.–RODENBURG, E.–ROGICH, D.–SCHÜTZ, H. (1997): Resource flows: The material base of industrial economies. In: *World Resources Institute Wuppertal Institute Netherlands Ministry of housing Spatial Planning and Environment Japans National Institute for*

- Environmental Studies Washington DC World resources institute report* World Resources Institute, Washington, D.C.  
[http://pdf.wri.org/resourceflows\\_bw.pdf](http://pdf.wri.org/resourceflows_bw.pdf) (letöltve: 2021. február)
- DAXBECK, H.–BUSCHMANN, H.–NEUMAYER, S.–BRANDT, B. (2009): *Overall mapping of physical flows and stocks of resources to forecast waste quantities in Europe and identify life-cycle environmental stakes of waste prevention and r.*  
<http://forwast.brgm.fr> (letöltve: 2021. február)
- HONG, L.–ZHOU, N.–FRIDLEY, D.–FENG, W.–KHANNA, N.–BERKELEY, L. (2014): *Modeling China's building floor-area growth and the implications for building materials and energy demand ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* 10: 146–157.  
<http://aceee.org/files/proceedings/2014/data/papers/10-230.pdf>  
(letöltve: 2021. február)
- LICHENG, Z.–JI, H.–SHIRAKAWA, H.–TANIKAWA, H. (2012): *Spatial material stock analysis of Shenyang City in China using 4D-GIS.*  
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00063/2012/2012-07-0013.pdf>  
(letöltve: 2021. február)
- LOGA, T.–DIEFENBACH, N.–BRITTA STEIN, B. (eds.) (2012): *Typology approach for building stock energy assessment: Main results of the TABULA project.*  
[https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA\\_FinalReport\\_AppendixVolume.pdf](https://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/report/TABULA_FinalReport_AppendixVolume.pdf) (letöltve: 2021. február)
- MICHEL, P.–SERRAND, M.–MONTFORT-CLIMENT, D.–JAYR, E.–PAPINOT, P.-E. (2012): *Rapport final du projet ANR ASURET: Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire.*  
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61849-FR.pdf> (letöltve: 2021. február)

#### HONLAPOK/ADATBÁZISOK

- [1] Open Street Map (OSM): [geofabrik.de](http://geofabrik.de) (letöltve: 2019. június 7.)
- [2] [fentrol.hu](http://fentrol.hu) (letöltve: 2020. augusztus)
- [3] Újbuda Önkormányzat térinformatikai portál: <https://terinfo.ujbuda.hu> (letöltve: 2020. augusztus)
- [2] MAPIRE – Historical Maps Online:  
<https://mapire.eu/en/browse/city/budapest/> (letöltve: 2020. augusztus)