



Hrabovszky-Horváth Sára

Az energiatudatos panel-rehabilitáció klímastratégiai aspektusai

c. doktori értekezés
rövid összefoglalója

Témavezető:
Dr Szalay Zsuzsa

Konzulens:
Dr Petró Bálint
Dr Pálvölgyi Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Épületszerkezzettani Tanszék
2015

I. A témaválasztás indoklása

A klímaváltozás korunk egyik legnagyobb kihívása, s az épített környezetünk ennek egyszerre **aktív és passzív** részese. Jelentős energiafelhasználása – s így az üvegházhatású gázok kibocsátása – által részben okozója a változásnak, ugyanakkor a széleskörű következményekkel járó éghajlatváltozás hatásainak is kitett, és el kell viselnie a klímaváltozás következményeit.

Számos szakirodalmi forrás hangsúlyozza, hogy szükség van átfogó **klímastratégiára**, mely magában foglalja az emberi tevékenységek miatt a légkörbe jutó, ill. ott felhalmozódó üvegházhatású gázok mennyiségének csökkentését (mitigáció) és a klímaváltozáshoz, a szélsőséges meteorológiai és környezeti eseményekhez való aktív alkalmazkodást (adaptáció) [Láng et al, 2007], [IPCC, 2007]. A klímastratégia **mitigációs** szegmensét szem előtt tartva azt kell vizsgálnunk, hogy miként tudjuk mind a meglévő, mind az újonnan létesülő épületeink károsanyag-kibocsátását csökkenteni azok teljes élettartama alatt, az építéstől a használaton át egészen a bontásig. Az **alkalmazkodás** célja pedig a jelenlegi és jövőbeli ártalmas éghajlati hatásokból eredő kockázatok és károk csökkentése költséghatékony módon.

A hazai meglévő lakásállomány kb. 4.383ezer lakás [KSH, 2012], ezen épületállomány lecseréléséhez – a gazdasági válság előtti átlagos éves új lakásépítési ütemével, azaz – kb. 30ezer lakás/évvel számolva is közel 150 évre lenne szükség, de az új lakásépítés üteme 2008 után drasztikusan visszaesett [KSH, 2014], ezért **a meglévő épületeink felújítása** egyre hangsúlyosabb feladat.

Épületállományunk jelentős részét képviseli a jellemzően típustervek alapján épült **panelos lakóépületeink**. Hazánkban a házgári hálózatban 1965-től összesen mintegy 510.000 lakás épült, s a lakosság körülbelül 13,8%-a él ilyen típusú lakásokban [Birghoffer et al, 1994], ezért a részletes vizsgálathoz a meglévő épületállományunk jelentős szegmensét képviselő panelos épületeket választottam.

II. Az értekezés célja

Kutatásom átfogó céljai, hogy a panelos épületek energiatudatos felújítási lehetőségeit tanulmányozva, megbecsüljem az épületállomány felújítása során elérhető károsanyag-kibocsátás csökkentési potenciált valamint meghatározzam azokat a szempontokat, amelyek befolyásolják a panelos épületek éghajlati sérülékenységet és annak – az épületenergetikai felújítás során bekövetkező – esetleges változását.

Kutatásom részletes céljai:

- a mitigációs és adaptációs számítások alapjául szolgáló hazai panelos lakóépület állomány **épülettípusainak** meghatározása;
- az épületállomány felújítása során elérhető **károsanyag-kibocsátás csökkentési potenciál** számítása;
- az üvegházhatású gázok kibocsátás csökkentési számításai során, a különböző bemenő **paraméterek hatásának** elemzése;
- **azon tényezők** meghatározása, amelyek segítségével az épületszerkezetek egyszerűsített, energetikai szemléletű életciklus elemzése alapján **becsülni** lehet a mindenre jelentős szempontra kiterjedő elemzés eredményét, az építésre, a felújításra, a karbantartásra valamint a bontásra vonatkozólag;
- **döntéstámogató módszer** kidolgozása, mellyel egyszerű lépések segítségével közelítően megállapítható panelos épületek, lakótelepek ill. az egész ország panelos

épületállományának relatív sérülékenysége a három legfontosabb éghajlati tényező: a szél, a csapadék és a hőmérséklet változásának tekintetében;

- eredeti állapotban lévő panelos lakóépületek **éghajlat-sérülékenységi vizsgálatához** releváns műszaki tényezők meghatározása;
- a panelos épületek **energetikai felújításának** eredményeként bekövetkező éghajlati-érzékenység változásának vizsgálata.

III. Kutatási módszerek és alapfeltételezések

Egy részletes, mind mitigációs számításokra, mind adaptációs kutatásra alkalmas tipológia létrehozásához számos forrást felkutattam: a fellelhető országos statiszták, a szakirodalom illetve a budapesti lakótelepekre részletesen kiterjedő térinformatikai vizsgálatom alapján **iteratív módszer** segítségével összeállítottam a hazai panelos lakóépület-állomány tipológiáját.

A mitigációs lehetőségeket kutatva **életciklus-elemzési számítások segítségével** modelleztem, hogy a meghatározott panelos épülettípusok eltérő felújítási scénárióival – a fennmaradó teljes élettartamot szem előtt tartva – hosszútávon milyen környezetterhelés-csökkentési lehetőségek állnak rendelkezésünkre.

Az életciklus elemzési számításaim **alapfeltételezései:**

- A számításaim alapegysége, tehát az ún. **funkcionális ekvivalens:** 1 m² alapterület egy panelos lakóépületben Budapesten: 5, 45 és 75 éves időtartam alatt vizsgálva.
- Az elemzés során az épület élettartamát az alábbi **öt életciklus szakaszra bontottam:** építés, karbantartás, energetikai felújítás, üzemeltetés, életút vége (bontás).
- A vonatkozó szakirodalom alapján a vasbeton szendvicspanelos tartószerkezet várható **élettartamát** 80 évnél tételeztem fel [Birghoffer et al, 1994][Gilyén, 1982].
- Mivel az épület élettartama tekintetében kritikus a panelillesztések esetleges korróziója [ÉMI, 2007][Gilyén, 1982][Hradil et al, 2014], valamint egyes források az időjárástól védett betonfelület élettartamát 40-50 évvel hosszabbnak tételezik fel [Bundesinstitut, 2009], ezért az energetikai felújítás – ezen belül elsősorban a homlokzati hőszigetelés - hatására az épület **élettartama** az eredetileg várható 80 évhez képest **legalább 25%-kal megnövekszik.**
- Az iparosított épületek döntő többsége távfűtésű [Birghoffer et al, 1994], így az életciklus-elemzéshez összeállítottam a hazánkban jellemző **táv hő-összetételeket.** Alapszcenárióként - a budapesti lakótelepek számításai során - a leggyakrabban alkalmazott földgáz alapú, kombinált ciklusú kogenerációs erőművet és annak exergia alapú allokációját használtam.
- A rendelkezésre álló tervdokumentációk alapján meghatározott tájolásra megterveztem, hogy az épülettípusokon milyen elrendezésben és mekkora felületű **napkollektor** helyezhető el a tetőn, és egyszerűsített módszerrel számítottam a hasznosítható szoláris hőt [Naplopó, 2008].
- A **használati energiafelhasználás** során a jelenleg hatályos rendelet módszertanát alkalmaztam [TNM, 2006], a fűtési hőigény meghatározásához az EN ISO 13790:2008 szabvánnyal kiegészítve [EN ISO, 2008]. Alapszcenárióként csupán épületfüggő tényezőket vettem számításba, a használat által meghatározott tényezőket (pl. háztartási berendezések energiaigénye) elhanyagoltam.
- A számításaimhoz a svájci fejlesztésű Ecoinvent v2.0 **adatbázist** használtam [ecoinvent, 2007] és egy excel-alapú programot fejlesztettem.

- Az épületek esetében jelentős hatással bíró **indikátorokat** vettem figyelembe: a nem megújuló kumulatív energiaigényt, az éghajlatváltozást, az ózonréteg vékonyodását, a savasodást és az eutrofizációt.

Szcenáriók: A meglévő - hozzávetőlegesen 40 éves - panelépület felújításának lehetséges változatait három alapvető csoportra bontottam:

- **Nincs felújítás (NF):** Az épület változatlanul marad, energetikai felújítás nélkül, csupán a szükséges karbantartással üzemel tovább. A bontás a várható élettartamának végén, azaz 40 év múlva következik be, amit egy energiatudatos új épület építése követ.
- **Felújítás (F):** Átfogó energetikai felújítást hajtunk végre, így a használati energiaigény lecsökken, és a várható élettartam megnövekszik (a növekményt 20 évre becsülve), így mind a bontás, mind az új épület építése eltolódik. Az energetikai minőség szerint négy eltérő változatot számítottam:
 - o F1: a jelenleg hatályos energetikai előírásoknak megfelelő felújítás [TNM, 2006];
 - o F2: a 2015-től pályázatok esetén hatályos szabályozásnak megfelelő felújítás [TNM, 2006];
 - o F3: az F2 scenárió a fűtési rendszer korszerűsítésével, illetve napkollektorok telepítésével kiegészítve;
 - o F4: mélyfelújítás, a közel nulla energiafelhasználású feltételeknek megfelelő felújítás, az F3 scenárió hővisszanyerő szellőzéssel kiegészítve [Csoknyai et al, 2013].
- **Bontás és új épület építése (UE):** A vizsgált időpontban az épület elbontásra kerül és a helyébe új, azonos méretű és formájú alacsony energiafogyasztású épület kerül, a társasház építés során napjainkban általánosan használatos épületszerkezetekkel és gázfűtéssel. Energetikai minőség alapján két eltérő változatot számítottam:
 - o UE1: a 2015-től pályázatok esetén hatályos szabályozásnak megfelelő új épület [TNM, 2006];
 - o UE2: a közel nulla energiafelhasználású feltételeknek megfelelő új épület [Csoknyai et al, 2013].

Az egyes épülettípusok elemzése után az eredményeket összesítettem, s ezzel meghatároztam a **Kelenföldi lakótelep felújításával** elérhető mitigációs potenciált. A helyszíni felmérés alapján az épületállomány alapterületre vetített **30%-át a jelenleg hatályos rendelet alapján felújítottak** (F1 scenárió) tételeztem fel, s ezekre további energetikai minőséget növelő felújítással nem számoltam.

Az egyszerűsített épületenergetikai szemléletű életciklus-elemzés eredményeit összehasonlítottam a holisztikus – valamennyi ismert és lényeges szempontra – kiterjedő számításokkal. Bevezettem a **holisztikus szorzó** fogalmát, meghatároztam a vizsgált reprezentatív épületekre annak számszerű értékeit, amelyek segítségével az egyszerűsített, energetikai szemléletű elemzés alapján **becsülni lehet** a holisztikus életciklus elemzés eredményt. A tényező segítségével már a tervezés során előzetes környezeti vizsgálatot tudunk végezni, amikor az energetikai számításhoz szükséges mennyiségek már rendelkezésünkre állnak, de a pontos adatok csak a későbbiekben határozhatóak meg. A számításaim során a korábbiakban ismertetett hatáskategóriákat vizsgáltam, s a környezetterhelési számításokat az **alábbi lépésekben** végeztem:

- 1.) lépés: energetikai szemléletű életciklus elemzés: a számítás során csupán az épület fűtött térfogatának határoló szerkezeteivel számoltam, azok belső méretei alapján számított lehűlő felületével; a hőátbocsátási tényező számításakor, a meglévő szerkezeten kívül csak a jelentős hővezetési ellenállású tételeket (hőszigetelés) vettem figyelembe.

- 2.) lépés: az 1.) lépés holisztikus rétegrenddel számítva (tartalmazza az összes szükséges kiegészítő- és rögzítő elemet).
- 3.) lépés: holisztikus rétegrenddel és külső méretekkal számítva: a szerkezetek külső méretei alapján számított lehűlő felülettel.
- 4.) lépés: a 3.) lépés a holisztikus épületszerkezeti kiegészítésekkel együtt: a hőhídmentes kialakítás érdekében az épület termikus burkából kinyúló szerkezetek (pl. loggialemez és attika fal) hőszigetelésére is megoldással, a tűzvédelmi előírások figyelembe vételével.
- 5.) lépés: a 4.) lépés a belső szerkezetek számításával kiegészítve: a holisztikus vizsgálat része a belső szerkezetek (pl. födémek, falak, nyílászárók) illetve a fűtött térfogaton kívül eső épületrészek (pl. pince, fűtetlen földszint) számítása is.

Érzékenységvizsgálattal értékeltem az alábbi paraméterek hatását a végeredményre:

- Az épület fennmaradó élettartam-növekedésének mértéke;
- Karbantartási gyakoriság;
- Távhő összetétel.

Az adaptációs képességet vizsgálva elemeztem, hogy az épületállomány mennyire sérülékeny a megváltozott klimatikus viszonyok hatására, elsősorban a **szélsőséges időjárási eseményeket** elemezve (szélviharok, özvízyszerű esőzések valamint hóhullámok). A **sérülékenység**, vagy más szóval, sebezhetőség, az IPCC definíciója szerint annak a mértékét fejezi ki, hogy egy rendszer mennyire érzékeny a klímaváltozás káros hatásaira (érzékenység), és mennyire képes elviselni e hatásokat (alkalmazkodó képesség). A sérülékenység ezeken túl függ a klímaváltozás jellegétől, mértékétől, a változás gyorsaságától, illetve attól is, hogy mekkora az épület kitettsége az éghajlatváltozásból származó, vagy annak következtéből felerősödő hatásoknak (kitettség) [IPCC, 2007].

A **sérülékenységi** vizsgálatomban az „Éghajlati Hatások és Sérülékenységi Elemzések Módszerét” alkalmaztam [Pálvölgyi-Hunyadi, 2008]. Ez alapján kidolgoztam egy kvalitatív jellegű **döntéstámogató módszert**, mellyel egyszerű lépések segítségével becsülhető egy panelos épület, egy lakótelep, vagy akár egy ország panelos épületállományának sérülékenysége a három legfontosabb éghajlati tényező a szél, a csapadék és a hőmérséklet változásának tekintetében.

A kidolgozott **alulról építkező megközelítés** alapeleme az épület. Az eredeti állapotban lévő panelos lakóépület típusok meteorológiai kitettségének, érzékenységének illetve alkalmazkodó képességének kvalitatív indikátorait a hazai és nemzetközi szakirodalom illetve az elérhető biztosítói adatbázis segítségével határoztam meg. Vizsgáltam továbbá, hogy ezen tényezők (s ezzel együtt a sérülékenység) miként változnak az **energetikai felújítás következtében**. Vizsgálataimat a **nagyobb budapesti lakótelepekre** végeztem el.

A szélsőséges időjárási események várható jövőbeni intenzitására vonatkozóan jelenleg csak előrejelzések vannak és azok is vitatottak, ezért nem állt módomban konkrét részletes épületszerkezeti számításokat végezni, így a **meglévő éghajlattal** szembeni sérülékenységet vizsgálom és a modellezett tendenciák alapján **becsülöm a jövőbeli sérülékenységet**.

A sérülékenységi számítás menete:

- Az **érzékenység** számítás során az első lépés az adott meteorológiai terhekre történő méretezési előírások tanulmányozása, majd a hazai és nemzetközi szakirodalom kutatása és az elérhető biztosítói adatbázis elemzése. Mindezek alapján az épülettípusokat 1-5 osztályba soroltam, majd az eredmények összesítésével számítottam a lakótelepek érzékenységét.
- A **kitettség**i indikátorok a rendelkezésre álló jelenlegi meteorológiai adatok, valamint jövőre vonatkozó becslések alapján határozhatóak meg. A rendelkezésre álló meteorológiai adatok segítségével a budapesti lakótelepeket – kitettségük alapján - 1-5 osztályba soroltam.
- Az **alkalmazkodó képesség** a rendszer reakciója a megváltozott körülményekre. Szakirodalmi kutatás alapján a panelos épületek alkalmazkodó képességének becslésekor az alábbi tényezőket vettem figyelembe: a tulajdonosok társadalmi és gazdasági környezete és életkora. A számítás során a budapesti lakótelepeket 1-5 osztályba soroltam.
- A **sérülékenységet** a kitettség, az alkalmazkodó képesség illetve az érzékenység alapján számítottam, majd a lakótelepeket 1-5 osztályba soroltam.

Fontos kiemelni, hogy az egyes tényezőket mindhárom éghajlati összetevő (szél, csapadék és hőmérséklet) vizsgálata során külön számítottam. Az osztályba sorolást - az adott tényező vizsgálata folyamán – számított értékek arányában határoztam meg, ezért azok csak a panelos épületek, illetve lakótelepek egymáshoz viszonyításakor informatívak.

IV. Az értekezés új tudományos eredményei**0. tézis:**

A lakóépületek jelenlegi építési ütemének figyelembe vételével hozzávetőlegesen 150-200 évre lenne szükség ahhoz, hogy a meglévő épületállományunk megújuljon, ezért az új épületek építése mellett kiemelt figyelmet kell fordítani a meglévők felújítására is. A klímastratégia mindkét aspektusát – azaz a mitigációs lehetőségeket valamint az adaptációs kapacitást – figyelembe véve kell lépéseket tennünk.

1. tézis:

[Hrabovszky-Horváth, Szalay, 2014]

A hazai panelos épületállományt vizsgálva meghatároztam, hogy mitigáció és adaptáció szempontjából a panelos lakóépületek tipizálása a következő tényezők szerint lehetséges: alaprajzi elrendezés, szintszám, építési idő, panelkapcsolatok kialakítása, ablakszerkezetek típusa, tetőforma és azok szerkezeti kialakítása, ill. fűtési rendszer.

*A fellelhető országos statisztikák, a szakirodalom, a rendelkezésemre álló títustervek, illetve Budapest nagyobb (több mint 800 lakásos) lakótelepeire kiterjedt térinformatikai vizsgálatom eredményeit összevetve iterációs eljárással határoztam meg a hazai panelos **lakóépület állomány tipológiáját**. Ezen módszer segítségével összesen 14 eltérő títust határoztam meg.*

kép							
alaprajzi vázlat							
épület kódja	3FOG - hőhidas	3FOG	KY	6FOG	TB 51	GYŐR 6/73	H0
házgyár	BHK. 1.	BHK. 1.	BHK.2.	BHK. 1.	Békéscsaba HGY	Győr HGY	BHK.3
építési időszak	1960 - 1967	1967 - 1974	1967 - 1974	1967 - 1974	1974 - 1982	1974 - 1982	1974 - 1982
fűtött szintek száma	10	10	11	10	5	5	5
épületmagasság (attika)	29,50	28,90	33,30	29,75	16,40	17,30	15,00
nettó szintterület	13 812,7	12 787,2	11 642,4	19 292,0	4 528,9	4 211,3	2 660,2
szekciók száma	3	3	4	5	2	3	3
lakások száma	180	180	176	300	30	63	30
panel típusa	erősen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas
ablakszerkezet	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú
tetőforma	lapostető, kéthéjú	lapostető, kéthéjú	lapostető, kéthéjú	lapostető, kéthéjú	lapostető, egyhéjú	lapostető, kéthéjú	lapostető, egyhéjú
fűtési rendszer	kétcsöves	kétcsöves	kétcsöves	kétcsöves	egycsöves, átfolyós	egycsöves átkötőszakaszos	egycsöves, átfolyós

kép							
alaprajzi vázlat							
épület kódja	K-1	A10	KB-512	KF10	P100	4M	1301
házgyár	BHK. 2	BHK. 1.	Békéscsaba HGY	BHK. 2.	BHK. 3.	BHK. 3.	BHK.3.
építési időszak	1974 - 1982	1974 - 1982	1974 - 1982	1974 - 1982	1974 - 1982	1982 - 1992	1982 - 1992
fűtött szintek száma	11	10	10	11	15	5	10
épületmagasság (attika)	33,00	33,48	32,40	32,80	47,10	15,00	26,00
nettó szintterület	7 691,2	6 770,8	5 040,6	4 083,6	9 753,1	1 134,2	8 974,9
szekciók száma	1	1	2	1	1	1	2
lakások száma	132	100	80	66	165	15	120
panel típusa	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	közepesen hőhidas	kissé hőhidas	kissé hőhidas
ablakszerkezet	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	egyesített szárnyú	fejlesztett tokszerkezet	fejlesztett tokszerkezet
tetőforma	lapostető, egyhéjú	lapostető, kéthéjú	lapostető, egyhéjú	lapostető, egyhéjú	lapostető, egyhéjú	magastető	magastető
fűtési rendszer	kétcsöves	egycsöves, átfolyós	egycsöves, átfolyós	egycsöves, átfolyós	egycsöves, átfolyós	egycsöves átkötőszakaszos	egycsöves átkötőszakaszos

1. ábra: Hazai panelos lakóépület állomány (épület)típusai

2. tézis:

[Hrabovszky-Horváth, Szalay, 2014] [Hrabovszky-Horváth et al, 2013a] [Hrabovszky-Horváth, Szalay, 2012] [Horváth, 2012]

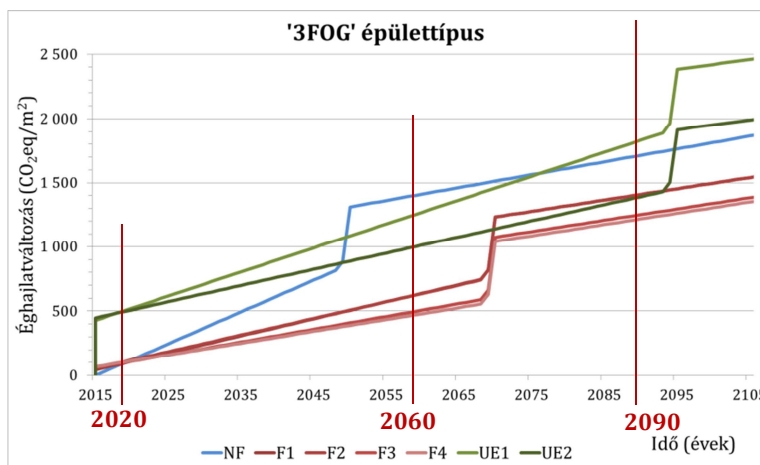
A panelos lakóépület típusokra elvégzett életciklus-elemzéssel bizonyítottam, hogy a vizsgált 75 éves időtartamban, az épületek mélyfelújítása kevesebb károsanyag kibocsátással jár, mint ha azokat lebontanánk és újat építenénk. A mélyfelújítás minden számításba vett opciónál alacsonyabb kibocsátással jár a vizsgált hatáskategóriák: az éghajlatváltozási potenciál, a savasodás, valamint az ózonréteg károsodása tekintetében.

A fennmaradó teljes életciklus szempontjából megállapítottam, hogy az összes vizsgált épülettípus esetében a mélyfelújítás, azaz a „felújítás 4” Szenárió okozza a legalacsonyabb környezetterhelést az elkövetkezendő 75 év folyamán, a vizsgált hatáskategóriák esetében. Az épületek mélyfelújításával a „nincs felújítás” Szenárióhoz képest fajlagosan 1 m² alapterületre vetítve az éghajlatváltozást tekintve 2060-ra 63-71%-os, 2090-re pedig 30-37%-os CO₂-eq/kg kibocsátás csökkenést érhetünk el.

A további indikátorok tekintetében is hasonló eredményre jutottam: 2060-ra a savasodást tanulmányozva: 50-57% SO₂-eq/kg csökkenés, az ózonréteg vékonyodását tekintve: 38-60%

CFC-11eq/kg, és az eutrofizációt tekintve pedig 52-57% PO_4 -eq/kg kibocsátás csökkenés érhető el.

A legjellemzőbb épülettípus eltérő scenárióinak eredményeit az alábbi 2. ábrán illusztrálom:



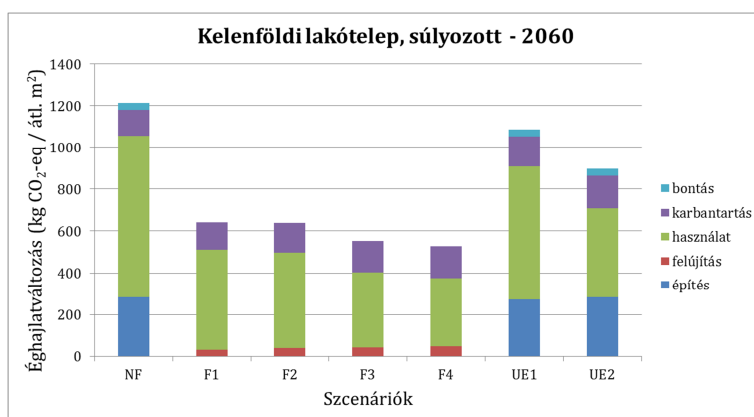
2. ábra: 3FOG épülettípus, éghajlatváltozási potenciál és a vizsgált időpontok (2020, 2060 és 2090)

3. tézis:

[Hrabovszky-Horváth, Szalay, 2014]

Az egyes épülettípusok eredményeinek összesítésével kimutattam, hogy a kelenföldi lakótelep eredeti állapotban lévő épületeinek mélyfelújításával: 2020-ra mintegy 8%-os, 2060-ra közel 57%-os, 2090-re pedig közel 25%-os éghajlatváltozási potenciál csökkenést érhetünk el a nincs felújítás scenárióhoz képest.

A helyszíni felmérés alapján az épületállomány (alapterületre vetített) 30%-át a jelenleg hatályos rendelet alapján felújítottak (F1) tételeztem fel, s további energetikai felújítással nem számoltam.



3. ábra: A kelenföldi lakótelep éghajlatváltozási potenciáljának alakulása a scenáriók függvényében 2060-ban, 1 m² átlagos alapterületre vetítve

4. tézis:

[Hrabovszky-Horváth et al, 2013a]

Kidolgoztam egy egyszerűsített számítási módszert, aminek segítségével – panelos épületek felújítása esetén – egy egyszerűsített életciklus elemzésből becsülhető az épületszerkezettani szempontból holisztikus eredmény. Bevezettem a **holisztikus**

szorzó fogalmát, mely az energetikai szemléletű életciklus elemzés és a – vizsgálat tárgyának megfelelő mélységű – holisztikus elemzés arányát fejezi ki, az építésre, a felújításra, a karbantartásra valamint a bontásra vonatkozólag.

Az életciklus elemzés mélysége a vizsgálat tárgyának függvénye. Alapvetően két eltérő szempont alapján határoztam meg a szorzó értékét az épülettípusokra: az első a tervezett épület-felújítás épületenergetikai minőségének a meghatározása, míg a második a meglévő épület esetleges felújítása vagy bontása közötti döntést segíti elő.

Az éghajlatváltozási hatáskategória tekintetében meghatároztam, hogy amennyiben egy meglévő panelos épület esetében a célunk

4.a. a felújítás épületenergetikai minőségének vizsgálata:

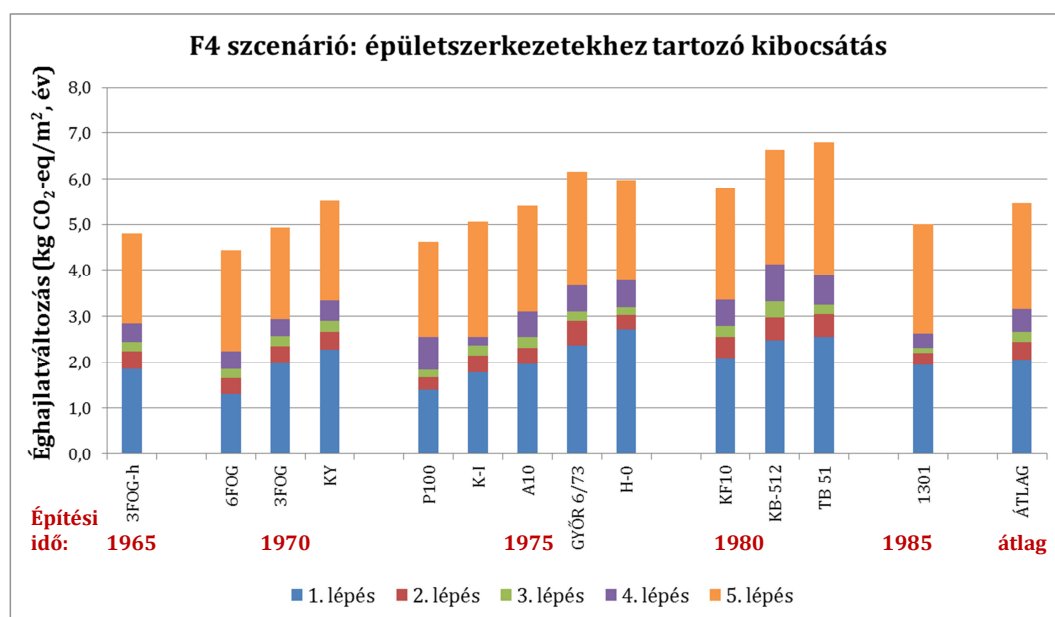
akkor a ma hatályos rendeletnek megfelelő felújítás (F1) esetén átlagban 1,67 holisztikus szorzót, míg a mélyfelújítás (F4) esetén 1,54 holisztikus szorzót alkalmazva egy energetikai számításból becsülhető a holisztikus eredmény.

4.b. a meglévő épület bontása vagy felújítása közötti döntés esetében:

az épülethatároló szerkezeteken túl szükséges a belső szerkezetek számításba vétele is, így a ma hatályos rendeletnek megfelelő felújítás (F1) esetén 3,34 holisztikus szorzót, míg a mélyfelújítás (F4) esetén 2,70 holisztikus szorzót alkalmazva egy energetikai számításból becsülhető a holisztikus életciklus eredmény.

A holisztikus szorzó az épülettípusokra számított értékek súlyozás nélküli átlaga. Az eredmények szórása az épületek eltérő lehűlő felület és fűtött térfogat (A/V) arányából, valamint azok építési idejéből, ezáltal eltérő hosszú fennmaradó élettartamából adódik.

Az alábbi 4. ábrán az egyes lépések közötti többletet ábrázoltam F4 scenáriót számítva, az épületeket építési idejük szerint csoportosítva (1965, 1970, 1975, 1980, 1985) és a csoporton belül a sorrendet azok A/V aránya szerint alakítottam ki (ld. 4. ábra).



4. ábra: Az épületszerkezetekhez tartozó kibocsátások az F4 scenárió esetében: csoportosítás építési idő szerint és sorrend a lehűlő felület - fűtött térfogat aránya alapján

5. tézis:

[Hrabovszky-Horváth et al, 2013a]

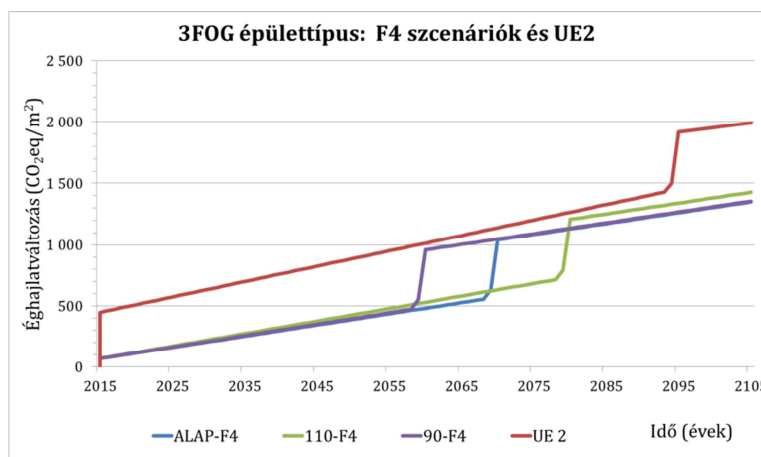
Érzékenységvizsgálatot végeztem a legjellemzőbb épülettípusra és értékeltem az alábbi paraméterek hatását az éghajlatváltozási potenciálra:

5.a. Az épület fennmaradó élettartam-növekedésének a mértéke

Az alapszcenárióban a meglévő épület élettartamát 80 évnél tételeztem fel, s a felújítás hatására a fennmaradó élettartamát 25%-kal (20 évvel) megnöveltem. Megvizsgáltam az élettartam-növekedés mértékének a hatását az végeredményre, amennyiben azt 10 illetve 30 évnél feltételezzük. Az új épület szcenárióban energetikai minőséget érintő felújítást nem tételeztem fel.

Az érzékenységvizsgálat során kimutattam, hogy az élettartam-növekedés mértékének – a vizsgált 75 éves időtartamban – nincs jelentős hatása az éghajlatváltozás végeredményre, a mélyfelújítás minden esetben alacsonyabb környezetterheléssel jár, mint a bontás és új épület építése szcenárió.

A korábbiakban legjobb szcenáriónak számított mélyfelújítást (F4) vizsgáltam az „új épület 2” (UE2) szcenárióval összehasonlítva. Az alábbi 5. ábrán illusztrálom a számított eredményeimet.



5. ábra: a 3FOG épülettípus F4 szcenáriói és az UE2 szcenárió

5.b. Karbantartási gyakoriság

Az épülettípusok összes épületszerkezetét vizsgálva kimutattam, hogy amennyiben az épületszerkezetek – szakirodalom szerint feltételezett – várható élettartamát 20%-kal rövidebbre vesszük, azaz a karbantartási időszakot rövidítjük, ez 2060-ra 13-21%-os növekedést, míg 2090-ra 8-11%-os többletet eredményez a karbantartás okozta éghajlatváltozási kibocsátásokban. Amennyiben a karbantartási gyakoriságot csökkentjük, csupán 1-2%-os kibocsátás csökkenést érünk el 2060-ra és 2-3%-os csökkenést 2090-re az alapszcenárióhoz képest.

5.c. Távhő-összetétel

Alapesetben a földgáz alapú kogenerációs távhő-előállítással végeztem a számításokat, s az érzékenységvizsgálat során további három eltérő hazai távhő-mixszel kalkuláltam: földgáz alapú fűtőmű, biogázt és földgázt együttesen használó ill. faaprítékkal fűtött kogenerációs

erőmű. A kapcsolt energiatermelés esetén a hőenergia meghatározásához az exergia allokációt használtam.

Kimutattam, hogy amennyiben a meglévő panelos lakóépületek mélyfelújításával a jelenleg jellemző földgáz-alapú kogenerációs távhő-előállításon is változtatunk, akkor 2060-ra a biogázt és földgázt vegyesen használó kogenerációs távhő esetén további 5%-os, biomassza alapú kogenerációs távhő esetén pedig további 36%-os CO₂-eq kibocsátás csökkenés érhető el. Nem számítva – releváns adatok hiányában – az ehhez szükséges infrastrukturális fejlesztés károsanyag kibocsátását.

A kedvező eredmény ellenére a hazai biomassza potenciál korlátossága miatt nagyvárosokban, így Budapesten nem javasolható a biomassza alapú távfűtés megvalósítása.

Budapesten a fűtőművel előállított távhő igen elterjedt, de ennek környezetterhelése – a kogenerációs erőműhöz képest – 115%-kal magasabb, így javasolt a kapcsolt energiatermelés további kiterjesztése.

6. tézis:

[Hrabovszky-Horváth, 2014] [Hrabovszky-Horváth et al, 2013b] [Horváth, Pálvölgyi, 2012] [Horváth, 2012]

A vonatkozó szakirodalom alapján az épületek éghajlatváltozással szembeni sérülékenysége azok éghajlati kitettsége, érzékenysége valamint alkalmazkodó képessége alapján határozható meg.

Kidolgoztam, egy olyan döntéstámogató módszert, amellyel egyszerű lépések segítségével becsülhető panelos épületek és lakótelepek relatív sérülékenysége a három legfontosabb éghajlati tényező: a szél, a csapadék és a hőmérséklet változása szempontjából. Az épületek érzékenysége, valamint a helyszíntől függő éghajlati kitettsége, és lakóinak alkalmazkodó képessége alapján a budapesti panelos lakótelepeket 1-5 osztályokba soroltam, és ezek szorzata alapján osztályoztam a sérülékenységeket.

A kidolgozott módszer és az érzékenységi szempontok kiterjeszthetők más épülettípusokra és lakótelepekre is.

Az eredeti állapotban lévő panelos lakóépületek érzékenységi vizsgálatához – széleskörű szakirodalmi és szerkezettervezési szabvány-elemzés alapján – az alábbi műszaki tényezők meghatározása szükséges:

6.a. Szélviharokkal szemben

Az épület érzékenysége elsősorban annak magasságától függ ezért ennek hatása a legjelentősebb. További jellemző tényező a tetőfedés típusa, mely szoros kapcsolatban áll a tető formájával.

6.b. Özönvízszerű esővel szemben

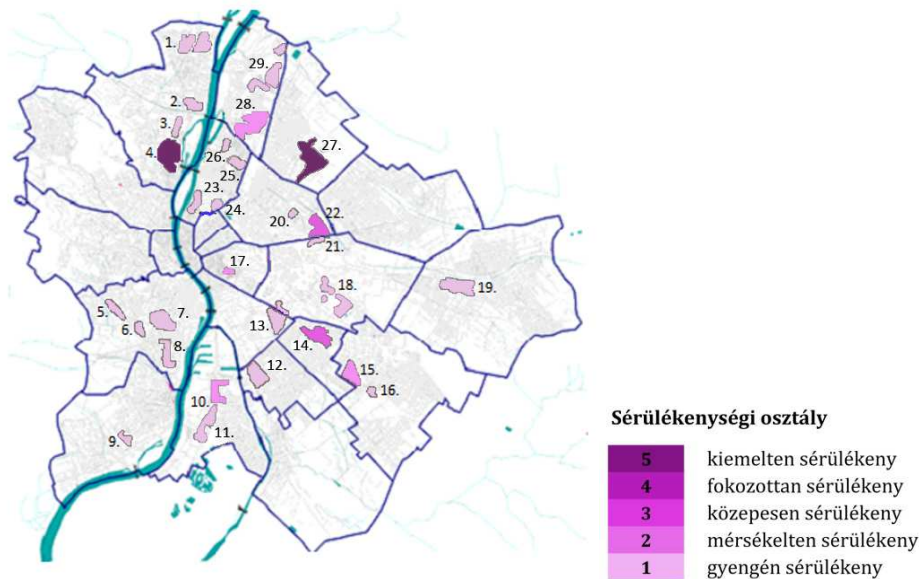
Az érzékenység legfontosabb tényezője a homlokzati panelcsatlakozások kialakítása – mely jellemzően korrelál az építési idővel – valamint az épület magassága, ezeket nagyobb súllyal vettem figyelembe. Emellett az épület tetőformája is befolyásolja a homlokzatot érő csapadék mennyiségét.

6.c. Hőmérséklet-emelkedéssel szemben

Az eredeti állapotú, külső árnyékolás nélküli lakóépületek érzékenységének a legfontosabb tényezője a lakások átszellőztethetősége, ezen belül a nyílászárók homlokzati elhelyezkedése. Kisebb súllyal, de a tető formája és épületszerkezeti kialakítása, valamint az épület közvetlen környezete is releváns tényező.

Az ismertetett módszertan alapján elvégzett számításaim szerint:

- **szélviharok** tekintetében két lakótelep sérülékenysége kiemelkedő Budapesten: az Óbudai valamint a Békásmegyeri lakótelepé.
- **az özvízszerű esők** szempontjából kiemelkedően sérülékeny lakótelep Budapesten az Újpalotai lakótelep, de fokozottan sérülékeny még a Kispesti, a Kőbánya újhegyi és az Óbudai lakótelep is.
- **a növekvő hóhullámos napok száma** miatt a nyári felmelegedés szempontjából kiemelten sérülékeny lakótelep Budapesten az Újpalotai és az Óbudai lakótelep (ld. 6. ábra).



6. ábra: A budapesti nagyobb panelos lakótelepek túlzott felmelegedés okozta sérülékenysége

7. tézis:

[Hrabovszky-Horváth, 2014] [Hrabovszky-Horváth et al, 2013b]

Vizsgáltam, hogy a panelos épületek érzékenysége miként változik az energetikai felújítás következtében:

7.a. Szélviharokkal szemben

A homlokzat utólagos hőszigetelése, a külső árnyékoló szerkezetek valamint a napkollektorok, napelemek növelik az épület érzékenységét.

7.b. Özvízszerű esőkkel szemben

Az energetikai felújítás hatására a panelos lakóépületek özvízszerű esőkkel szembeni érzékenysége csökken.

7.c. Hőmérséklet-emelkedéssel szemben

Az energetikai felújítás „komplexitása” jelentős hatással bír a felújított lakóépületek érzékenységeire a hőmérséklet-emelkedéssel szemben. Amennyiben nyílászáró csere és külső árnyékolás készül, az épület érzékenysége csökken. Azonban ha csak a határoló szerkezetek hőszigetelése készül el, az épület érzékenysége növekszik, feltételezve, hogy a használói szokások nem változnak a jövőben.

V. A tudományos eredmények hasznosítási lehetőségei és a jövőbeni kutatási feladatok

Kutatásaim, illetve számított eredményeim tudományos alapját jelenthetik országos vagy regionális **klímastratégiai döntések** meghozatalának, mind az alkalmazkodó képesség, mind pedig a károsanyag-kibocsátással kapcsolatosan. Összességében meglévő épületek felújításának a tervezésekor kiemelt figyelmet kell fordítanunk arra, hogy a kidolgozott stratégiával az épület károsanyag kibocsátása csökkenése mellett növekedjen annak adaptációs képessége.

Az általam kidolgozott panelos **lakóépület tipológia** – a jelen kutatás témakörétől eltérő, de az egész hazai épületállományt érintő – számítások alapjául szolgálhat, például a távhő-ellátást érintő hosszú távú stratégiai döntések meghozatalakor.

Az energia megtakarítási valamint üvegházhatású-gázokra vonatkozó **kibocsátás csökkentési** eredményeim az energetikai felújításra kiírt támogatási pályázatok alapjául szolgálhatnak.

A bevezetett **holisztikus szorzó** elősegíti az életciklus elemzés széleskörű elterjedését az építészek körében. A tényező segítségével már a tervezés során **előzetes környezeti vizsgálatot** tudunk végezni amikor az energetikai számításhoz szükséges mennyiségek már rendelkezésünkre állnak, de a pontos adatok csak a későbbiekben határozhatóak meg.

A kutatásom során kidolgozott **sérülékenységi módszertan** alapján egyszerű lépések segítségével becsülhető a panelos lakóépületek éghajlati sérülékenysége és könnyen kiterjeszthető más épülettípusokra is, ezáltal – a klímastratégiai döntések mellett – jól alkalmazható ingatlan biztosítások esetén az egyes ingatlanok kockázati besorolásainak meghatározásakor.

További kutatási lehetőségek

Az épület-felújítások mitigációs potenciálját tekintve további kutatási lehetőség egy olyan módszertan kidolgozása, mely az **életciklus-elemzések** során figyelembe veszi az **éghajlat jövőbeli változását**. Az éghajlatváltozáson belül elsősorban a hőmérséklet várható emelkedését, mivel az jelentősen befolyásolja az épületek energiafogyasztását, s ezáltal károsanyag-kibocsátásukat.

Az épület-felújítások mitigációs potenciálját tekintve további kutatási lehetőség az életciklus elemzéssel kapcsolatosan a **holisztikus szorzók kiterjesztése** más épületcsoportokra.

Az adaptációs képesség tekintetében érdemes lenne **elemezni az utóbbi évtizedek csapadékvíz, szél és hőmérséklet mérési adatait** az Országos Meteorológiai Szolgálat bevonásával. Ennek alapján lehetne vizsgálni a méretezési alapadatokat, és elkészíteni az eljárások esetleges felülvizsgálatát, egységesítését.

További kutatásokat javasolok folytatni arra a szélsőséges esetre, ha **egyszerre több éghajlati tényező** - elsősorban a csapadék és a szél - hat az épületre, s egymás hatásait fokozva növelhetik az épület sérülékenységét.

A kidolgozott döntéstámogató sérülékenységi módszertan és érzékenységi szempontok kiterjesztése **egyéb épülettípusokra**.

VI. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek a kutatásom során. Elsősorban témavezetőmnek dr. Szalay Zsuzsának a türelmet és az útmutatást, konzulenseimnek dr. Petró Bálintnak és dr. Pálvölgyi Tamásnak hasznos tanácsait, tanszékvezetőmnek dr. Becker Gábornak a lehetőséget, valamint a doktoranduszi szeminárium résztvevőinek a kritikus megjegyzéseket és javaslatokat, elsősorban dr. Dobszay Gergelynek, Kapovits Gézának, Bakonyi Dánielnek, Páricsy Zoltánnak és dr. Takács Lajosnak, valamint az összes tanszéki kollégámnak.

Köszönöm a szakmai segítségét dr. Zöld Andrásnak, dr. Csoknyai Tamásnak és Horváth Miklósnak.

Az adatszolgáltatásért és a segítségért köszönet Némethi Balázsnak (FŐTÁV Zrt), Demeter Csabának (Miskolci Hőszolgáltató Kft) és Gyenis Miklósnak (Pannon Hőerőmű Zrt) valamint az ALLIANZ Hungária Zrt-nek és a CARPATCLIM projektnek.

Köszönettel tartozom a HORBER Mérnökiroda Kft munkatársainak a segítségért.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm a családomnak a biztatást és a végtelen türelmet :)

VII. A tézispontokhoz kapcsolódó publikációim jegyzéke

Hrabovszky-Horváth S., Szalay Zs. (2014). Environmental assessment of a precast concrete building stock in a time perspective. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13 (11), 2997-2804.

Hrabovszky-Horváth S. (2014). The assessment of the refurbished reinforced concrete buildings in point of the climate change. *Advanced Materials Research*, 899, 440-445.

Hrabovszky-Horváth S., Szalay Zs., Csoknyai T. (2013a). Comparative analysis for the refurbishment of the high-rise concrete building stock based on life cycle assessment scenarios. In: Proceedings of the International Sustainable Building Conference Graz 2013. Graz, Ausztria, 2013.09.25-2013.09.28. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz, Passer A., Höfler K., Maydl P. (szerk.) 241-250 (ISBN: 978-3-85125-301-6)

Hrabovszky-Horváth S., Pálvölgyi T., Csoknyai T., Talamon A. (2013b). Generalized residential building typology for urban climate change mitigation and adaptation strategies: the case of Hungary. *Energy and Buildings*, 62, 475-485

Horváth Sára Erzsébet: *Panel-rehabilitáció, az energiatudatos felújítás klímapolitikai aspektusai*, TERC Kiadó, 2012 (ISBN: 978-963-9968-43-1)

Horváth S., Szalay Zs. (2012). Decision-making case study for retrofit of high-rise concrete buildings based on life cycle assessment scenarios. In: International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction – Civil Engineering and Buildings, Nantes, Franciaország, 2012.07.10-12., Ventura A., de la Roche C. (szerk.) 116-124. (ISBN: 978-2-35158-127-8)

Horváth S., Pálvölgyi T. (2011). Buildings and climate change: impacts on roofs and vulnerability to wind storms. *Építőanyag*, 63 (3-4), 62-66.

VIII. Hivatkozások a tézisfüzetben

- Birhgoffer P., Hikisch L. (szerk.) (1994). *A panelos lakóépületek felújítása*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2009): *Info-Blatt Nr. 4.2. Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten*. Letöltve a http://www.rosental-immobilien.de/file_PDF/Lebensdauer%20von%20Bauteilen%20Broschuere%20Kompetenzzentrum.pdf weboldalról
- Csoknyai T., Kalmár F., Zöld A. (2013). *A megújuló a közel nulla energiafogyasztású épületek követelményrendszere*. Letöltve a 2015.02.10.-én a <https://www.e-epites.hu/2400> weboldalról
- Ecoinvent (2007). ecoinvent data v2.0 and final reports ecoinvent 2000. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CD ROM; 2007.
- ÉMI (2007) A panelos lakóépületek csomóponti korróziójának vizsgálata c. tanulmány az ÖTM Lakásügyi Titkárság megbízásából, 2007
- EN ISO (2008). EN ISO 13790:2008 Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása
- Gilyén J. (1982). *Panelos épületek szerkezetei, tervezés, méretezés*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó
- Hradil P., Toratti T., Vesikari E., Ferreira M., Hakkinen T. (2014). Durability considerations of refurbished external walls. *Construction and Building Materials*, 53, 162-172.
- IPCC (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change- Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of WG II to the The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, New York
- KSH (2014): Lakásépítés, lakásmegszűnés, üdülőépítés (2001–), lementve: 2014.11.05.-én a http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrs001.html weboldalról
- Pálvölgyi, T., Hunyady, A. (2008). Common methodological framework of CLAVIER impact case studies. In: Database on the statistical-empirical interrelations between the high resolution climate indicators and the parameters of impact issues. CLAVIER Report
- Láng I., Csete L., Jolánkai M. (szerk). 2007. *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok, A VAHAVA jelentés*. Budapest, Szaktudás Kiadó Ház
- Naplopó (2008). *Tervezési segédlet*, Naplopó Kft, Budapest
- TNM (2006). 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról