

dc_2011_22



ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS
GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA
TANSZÉK

A magyarországi lakóépület-állomány energetikai
modellezése, a korszerűsítés lehetőségei

MTA doktori értekezés

Csoknyai Tamás

PhD, okleveles gépészmérnök

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Budapest
2022

dc_2011_22

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton mondok köszönetet volt PhD témavezetőmnek és mentoromnak, Prof. Zöld Andrásnak az elmúlt években nyújtott biztatásáért és segítségéért, Prof. Láng Péternek, Prof. Garbai Lászlónak és Dr. Jasper Andornak különösen hasznos észrevételeiért. Külön köszönet illeti Dr. Horváth Miklós kollégámat az adatfeldolgozásban való intenzív közreműködésért és az építő jellegű kritikákért. A munkám során tanúsított segítségükért és támogatásukért köszönettel és hálával tartozom a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék összes munkatársának.

Külön köszönetemet fejezem ki:

- Prof. Orbulov Imre Norbertnek, a BME Gépészmérnöki Kar dékánjának, valamint a Gépészmérnöki Kar kari vezetőinek támogatásukért és biztatásukért,
- Prof. Czigány Tibornak, a BME rektorának, a BME Gépészmérnöki Kar volt dékánjának biztatásáért,
- Dr. Szalay Zsuzsának a szakmai tapasztalatcseréért és támogatásáért,
- a kutatáshoz kapcsolódó IEE Episcopo projekt megvalósítása kapcsán Dr. Hrabovszky Horváth Sárának, valamint a BME Környezetgazdaságtan Tanszékének, Dr. Pálvölgyi Tamásnak, Szendrő Gábornak,
- a kutatáshoz kapcsolódó KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt megvalósítása kapcsán az ÉMI Minőségellenőrzési és Innovációs Nonprofit Kft.-nek, Farkas Jánosnak, a KSH volt szakértőjének, Seprődi-Egeresi Mártának, valamint a Magyar Mérnöki Kamarának (MMK),
- a MEHI Magyar Energiahatékonysági Intézetnek, Koritár Zsuzsának és Dr. Sáfián Fanninak a rendelkezésemre bocsátott adatokért.

Hálával tartozom családomnak azért, hogy mindvégig mellettem álltak és segítettek munkámat, nélkülük ezt a dolgot nem tudtam volna elkészíteni.

TARTALOMJEGYZÉK

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	3
TARTALOMJEGYZÉK	4
FOGALOMMAGYARÁZAT.....	8
1. Bevezetés	10
2. Célkitűzés.....	11
3. Szakirodalmi áttekintés	12
3.1. Háttér	12
3.1.1. Szakpolitikai környezet	12
3.1.2. A lakóépület szektor energetikai jelentősége	14
3.1.3. A hazai lakóépület-állomány áttekintése.....	16
3.2. Lakóépület-állomány modellezés	17
3.2.1. „Top-down” modellezés	17
3.2.2. „Bottom-up” modellezés	17
3.2.3. A hazai lakóépület-állományra vonatkozó kutatások.....	18
3.3. Fogyasztói magatartás szerepe, a prebound és a rebound hatás	23
3.3.1. Prebound hatás	24
3.3.2. Rebound hatás	25
4. Módszertani áttekintő.....	26
5. A lakásállomány statisztikai adatai	28
6. Tipológia	30
6.1. Módszertani lehetőségek, előzetes tipológiák	30
6.2. Az épülettípológiai mátrix	31
6.3. Energetikai szempontból meghatározó korszak- és technológia váltások a lakóépület-állományban.....	35
7. Épületek felmérése.....	37
7.1. Mintavételezés módja	38
7.2. Területi rétegzés	40
7.3. Helyszíni szemlék, számítások, épület adatbázis	41
7.4. Adattisztítás és feldolgozás	42
7.4.1. Adatellenőrzés és szűrés.....	42
7.4.2. Statisztikai és valószínűségelméleti megfontolások	42
7.4.3. Típusokra jellemző számszerű mutatók meghatározása	43
7.4.4. Épületgépészeti jellemzők kiértékelése.....	44
7.4.5. A szerkezeti- és rendszerelemek állapota és korszerűsítési lehetőségei	44

7.4.6.	Eredeti állapot értékelése	44
7.4.7.	Modellezési adattáblák	44
8.	Az épülettípusok energetikai állapotának értékelése	45
8.1.	Felújítottság	46
8.1.1.	Összevetés más felmérések eredményeivel.....	47
8.2.	Határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezői	48
8.3.	Nyílászárók, árnyékolók	50
8.4.	Fűtési rendszerek	52
8.5.	HMV rendszerek.....	53
8.6.	Gépi szellőzés és hűtés	54
8.7.	Alternatív energiaellátás lehetőségei	55
8.8.	Számított eredmények	59
8.8.1.	Összesített energetikai jellemző és fajlagos hőveszteség tényező	60
8.8.2.	Szén-dioxid kibocsátás	63
8.8.3.	Energiahordozó felhasználások.....	64
8.9.	Módszertani javaslat energiahatékonysági határértékek megállapításához.....	65
8.9.1.	Problémafelvetés	65
8.9.2.	Módszertani javaslat.....	67
8.9.3.	Egy lehetséges módosított skála.....	68
9.	Referencia épület modellek és korszerűsítési opciók	70
9.1.	Referencia épület modellek	70
9.2.	Korszerűsítési változatok áttekintése.....	73
9.2.1.	Referencia korszerűsítés – a költségoptimalizált követelményszint szerinti felújítás	74
9.2.2.	Részleges felújítások vizsgálata	75
9.2.3.	Biomassza alapú hőellátás.....	75
9.2.4.	Elektromos hőellátás	76
9.2.5.	Gépi hűtés.....	77
9.2.6.	Napkollektoros hőtermelés.....	78
9.2.7.	Napelemes energiatermelés.....	78
9.3.	Modellépület számítások	79
9.3.1.	Referencia korszerűsítés – a költségoptimalizált követelményszint szerinti felújítás	79
9.3.2.	Részleges felújítások	80
9.3.3.	Biomassza alapú hőellátás.....	80
9.3.4.	Elektromos hőellátás	82

9.3.5.	Gépi hűtés.....	84
9.3.6.	Napkollektoros hőtermelés.....	85
9.3.7.	Napelemes energiatermelés.....	86
9.3.8.	Elektrifikáció és napelemes energiatermelés	88
9.3.9.	Megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás.....	92
10.	Szektoriális kivétítés	94
10.1.	Eredeti állapot	94
10.2.	Összevetés az energiamérleggel	98
10.2.1.	Prebound hatás.....	101
10.2.2.	Az épületfelmérés után eltelt 5 évben történt korszerűsítések hatása	102
10.2.3.	Energetikai célú biomassza felhasználás statisztikák értékelése	106
11.	Összefoglalás.....	108
12.	TÉZISEK.....	110
A)	Módszertani keret.....	110
1.	Tézis: Lakóépület tipológiai mátrix [10,41,67,68,74,82,168].....	110
B)	A magyarországi lakóépületek jelenlegi állapota.....	110
2.	Tézis: Eredeti állapot értékelése: indikátorok, aggregált energiafelhasználás [10,41,67,68,74,82,168].....	110
3.	Tézis: Effektív prebound hatás [41,74,168]	111
4.	Tézis: Energiahatékonysági skála [9,155,168].....	111
C)	A korszerűsítés lehetőségei	111
5.	Tézis: Biomassza alapú hőtermelés [41,74,82,168]	111
6.	Tézis: Napenergia hasznosítás [59,168–171].....	112
7.	Tézis: Hőtermelés elektrifikációja [41,162,168].....	112
8.	Tézis: Gépi hűtés [41,162,168]	113
9.	Tézis: Elektrifikáció és napelemek együttes alkalmazása [41,59,114,162,168–173].	113
10.	Tézis: Helyben termelhető megújuló energia hasznosítás lehetőségei [41,59,162,168–173]	114
13.	HIVATKOZÁSOK	116
14.	MELLEKLETEK	127
1.	Melléklet: Az épületfelmérés során gyűjtött kiegészítő adatok	128
2.	Melléklet: Az épületfelmérés további eredményei.....	130
3.	Melléklet: Energiahatékonysági skála alternatív javaslata.....	136
4.	Melléklet: Napkollektorok energiahozamának számítási módszere [12].....	137
5.	Melléklet: Napelemek energiahozamának számítási módszere [12]	139

dc_2011_22

6. Melléklet: Széndioxid emisszió számítási módszertan	141
7. Melléklet: Felújítási változatok technikai adatai	142
8. Melléklet: Modellépület számítások további eredményei	144
9. Melléklet: Országos extrapoláció során alkalmazott háttér adatok	152
10. Melléklet: A 2016-2020 közötti öt éves időszakban történt korszerűsítésekre vonatkozó MEHI felmérés eredményei	157
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	159
ÁBRÁK JEGYZÉKE	161
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	165
JELÖLÉS JEGYZÉK	166

FOGALOMMAGYARÁZAT

bottom-up modell: Az épületállomány energiafelhasználásának meghatározását célzó, alulról felfelé építkező számítási modell, mely jellegzetes, vagy statisztikai mintavételezés alapján felmért épületek geometriai és műszaki tulajdonságaiból indul ki, és épületfizikai számítási modell eredményeket extrapolálja szektorális szintre.

családi ház: 1-3 lakásos épület

fajlagos széndioxid emisszió: Az épület üzemeltetéséhez köthető széndioxid kibocsátási egyenérték hasznos fűtött alapterület egységre vetítve, mely általános esetben nem tartalmazza a világítás, liftek, háztartási gépek és szórakoztató elektronika hatását.

hasznos alapterület: A lakáshoz tartozó valamennyi helyiség alapterületének egész m²-ben kifejezett nagysága. Az előszobák (szélfogók, belépők), beépített szekrények, öltözők (gardróbok), éléskamrák, a konyhai, fürdőszobai stb. berendezések alapterülete beletartozik a lakás alapterületébe. A lodzsa, a fedett (zárt) terasz és fedett (zárt) erkély alapterületének a fele, tetőtér (manzárd) esetében az 1,9 m vagy magasabb belmagasságú területet tartozik a lakás alapterületébe.

kis társasház: 4-9 lakásos épület

költségoptimalizált követelményszint: A 7/2006 (V.24.) TNM rendelet 2021. december 10-én hatályos változatának 5. mellékletében definiált követelményszint [1].

közel nulla energiaigényű követelményszint: A 7/2006 (V.24.) TNM rendelet 2021. december 10-én hatályos változatának 6. mellékletében definiált követelményszint [1].

nagy társasház: 10 vagy több lakásos épület

összesített energetikai jellemző (E_P): Az épület fajlagos nem megújuló primer energiafelhasználása hasznos fűtött alapterület egységre vetítve, a 7/2006 (V.24.) TNM rendelet szerint definiálva [1]. Nem tartalmazza a világítás, liftek, háztartási gépek és szórakoztató elektronika hatását. A gyakorlatban és a disszertációban a *fajlagos primer energiafelhasználás* alatt is ezt a fogalmat értjük, nem pedig a teljes fajlagos primer energiafelhasználást. Az épület *teljes primer energiafelhasználása* a *nem megújuló primer energiafelhasználás* és a *megújuló primer energiafelhasználás* összege.

primer energiafelhasználás: ld. összesített energetikai jellemző

prebound hatás: Az a jelenség, hogy a fogyasztók kevesebb energiát használnak, mint ami az épületek fizikai tulajdonságai alapján elvárható, ami különösen az energiaszegénység sújtotta régiókra jellemző.

referencia szerkezeti felújítás: Az épület fűtött burkát határoló szerkezetek korszerűsítése a 7/2006 (V.24.) TNM rendelet [1] 2021. december 10-én hatályos változata 5. mellékletének I. részében definiált követelmények szerint.

referencia korszerűsítés: A költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő korszerűsítés, melyben az épület fűtött burkát határoló szerkezetek korszerűsítése a referencia szerkezeti felújítás szerint valósul meg, a feltételezett hőhordozó kondenzációs kazán, egyéb vonatkozásban pedig a 7/2006 (V.24.) TNM rendelet [1] 2021. december 10-én hatályos változatának 5. melléklet III. rész 2. pontjában leírt referencia épülettechnikai rendszer az irányadó.

top-down modell: Az épületállomány energiafelhasználásának meghatározását célzó, felülről lefelé építkező számítási modell, mely az értékesített energiahordozókból indul ki, azt bontja le szektorok és felhasználási célok szerint.

1. Bevezetés

Az energia hatékony felhasználása napjaink egyik alapvető kérdése. Az elkövetkező évtizedekre vonatkozó stratégiai döntéseket a globális környezeti problémákhoz, a fosszilis energiahordozó készletek végeességéhez, az energiatülszórás csökkentéséhez kapcsolódó nemzetközi egyezmények, európai uniós vállalások és hazai célkitűzések határozzák meg. Ebben a lakóépület-állomány szerepe kiemelkedő, hiszen egy olyan szektorról van szó, melyhez a legnagyobb energiamegtakarítási és üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentési potenciál köthető, ami ráadásul költséghatékonyan ki is aknázható. Az EU célkitűzése az, hogy 2050-ig nagyon energiatülszóró és dekarbonizált legyen az európai épületállomány, melyben a közel nulla energiaigényű épületek a meghatározóak, jelentős mértékű helyszínen vagy a közelben előállított megújuló energia hasznosítással [2], [3].

A célok teljesítéséhez energiatülszóró új épületek létesítése távolról sem elégséges. Gondoljunk arra például, hogy Magyarországon az elmúlt 20 év átlagában évente kevesebb, mint 24.000 lakás épült [4]. Ilyen ütem mellett 2050-ig a lakásállomány legfeljebb egyhatalma újulhat meg, feltéve, ha ugyanennyi lakás bontásra vagy használaton kívül kerül. A meglévő lakóépület-állomány energetikai korszerűsítése tehát jóval nagyobb jelentőséggel bír, mint az új építés. A meglévő lakóépület-állomány felújítási rátájára nincs egyértelmű adat, ami abból adódik, hogy jellemzően részleges felújítások történnek. A MEHI felmérései alapján az elmúlt 10 évben az éves megújulási ráta 2-7% közé tehető (a nyílászárócserék gyorsabban, a hőszigetelések és a gépészeti korszerűsítések lassabb ütemben zajlanak) [5]. Ha 3%-os rátával számolunk, akkor 2050-ig majdnem a teljes állomány megújulhat, de a végeredmény szempontjából nem mindegy milyen felújítási mélység társítható a korszerűsítésekhez.

A stratégiai felújítási célok eléréséhez stratégiai tervezés szükséges, melynek kulcseleme a minél megbízhatóbb kiindulási adatállomány. Csak megfelelő felbontású, szakszerűen gyűjtött épületinformációk alapján lehet a jelenlegi lakóépület-állomány energetikai minőségéről megbízható képet kapni, ami alapját képezheti a különböző korszerűsítési lehetőségek által realizálható energiamegtakarítási potenciál meghatározásának, illetve korszerűsítési forgatókönyvek, prognózisok felállításának. Egy megfelelő kiinduló adatbázisra épített lakóépület-állomány modell alapját képezheti számos további, energetikán túlmutató elemzésnek, mint például a felújítási stratégiák pénzügyi, makrogazdasági, munkaerőpiaci, egészségügyi, szociális (energiaszegénységhez kapcsolódó) vonatkozásainak vizsgálata ([6]).

Az épületállományon belül a lakóépületek szerepe meghatározó [7], [8]. A lakóépület-állomány energiatülszórásának meghatározására elsődlegesen két lehetőség kínálkozik, melyeket a nemzetközi szakirodalom „top-down” és „bottom-up” modellként említ. A „top-down” modell az értékesített energiatülszórókból indul ki, azt bontja le szektorok és felhasználási célok szerint. Ezzel szemben a „bottom-up” modell jellegzetes, vagy statisztikai mintavételezés alapján felmért épületek geometriai és műszaki tulajdonságaiból indul ki, és épületfizikai számítási modell eredményeket extrapolál szektorális szintre. Mindkét módszer mellett és ellen szólnak érvek, de azt ki kell emelni, hogy érdemben csak a „bottom-up” modell alkalmas különböző korszerűsítések megtakarítási potenciál és költséghatékonyági vonatkozások meghatározására.

Az elsődleges stratégiai cél a lakóépület-állomány nem megújuló primer energiatülszórásának jelentős mértékű csökkentése kell legyen, ami az energiaigény csökkentésével (energiatülszóró javító intézkedésekkel), valamint megújuló energiatülszóró alkalmazásával érhető el. Ezekben belül számos technológia közül választhatunk. Felmerülő kérdés, hogy hosszú távon hová vezet egyes, a szakpolitika vagy a

piaci mechanizmusok által preferált intézkedések általános alkalmazása. Kiemelt fontosságú kérdés például, hogy célszerű-e, szabad-e biomassza alapú energiatermelésre átállni, mit bírnak el az erdőink, kezelhető-e megnyugtatóan a háztartási méretű, korszerűtlen biomassza alapú hőtermelőkhöz köthető a porszennyezés problématicája. Hasonlóan, célszerű stratégia-e az épületek hőellátásának elektrifikációja nagyléptékben, képesek leszünk-e stabilan fedezni az igényeket? Mi lehet ebben a tetőkön elhelyezhető napelemek szerepe? A lakóépület-állomány modellek ilyen kérdések mérlegeléséhez is hasznos eredményeket szolgáltathatnak, bár kétségtelenül a kérdéskör átfogó vizsgálata jóval túlmutat az épületenergetika tárgykerén.

2. Célkitűzés

A kutatás általános célja fentiek tükrében a hazai lakóépület-állomány energetikai modellezése, a meglévő állapot feltérképezése, korszerűsítési lehetőségek elemzése, valamint modellezett alapadatok szolgáltatása kapcsolódó, más szakterületekhez tartozó elemzésekhez, szakpolitikai forgatókönyvek készítéséhez. A konkrét célkitűzések pedig a következők:

- Épületek reprezentatív felmérésén alapuló hazai lakóépület-állomány tipológia létrehozása, mely alapot jelent „bottom-up” típusú modellezéshez és alkalmas korszerűsítési intézkedések várható hatásainak energetikai és költséghatékonysági vizsgálatára.
- A lakóépület-állomány statisztikai adatainak áttekintése és modellbe való integrálása.
- A lakóépület típusok jelenlegi energiafelhasználásának, és további értékelési indikátorainak meghatározása, azaz a meglévő helyzetkép kialakítása és objektív értékelése.
- Számos szempont mérlegelése alapján a leginkább releváns, bizonyos esetekben épülettípus specifikus felújítási változatok meghatározása és az azokkal elérhető megtakarítások értékelése.
- A feltárt meglévő állapot eredményeinek extrapolációja a teljes lakóépület-állományra, és az így kapott eredmények összevetése az energiastatisztikai („top-down”) adatokkal. Az eltérés okainak és az összehasonlítás módszereinek kritikai elemzése.
- Egyes, kiemelten fontos, specifikus kérdések vizsgálata, mint a gépi hűtés meglévő lakóépületekben történő alkalmazásának várható következményei, a biomassza elterjesztésének lehetőségei (a háztartások energetikai célú biomassza igényének összevetése az erdészeti statisztikák szerinti felhasználással) vagy a hőellátás elektrifikációjának hosszú távú kérdései.

A disszertáció terjedelmi korlátai miatt a bemutatott kutatási eredményeket le kellett határolni, így nem terjed ki a következőkre:

- A korszerűsítési változatokkal elérhető energetikai hatásokat épülettípusok szintjén, a fajlagos indikátorok meghatározásáig közöltem, ami alapján le tudtam vonni az érdemi következtetéseket. Az országos szintű kivetítéstől terjedelmi okból eltekinttem.
- Kézenfekvő szakpolitikai igényként merülhet fel, hogy prognózisokra is kiterjedjen a vizsgálat. Ilyen korszerűsítési forgatókönyveket azonban nem tartalmaz a disszertáció. Ennek a terjedelmi korlátokon kívül az is oka, hogy az ilyen prognózisok felállításához számos feltételezéssel kell élni (mint az új építési, felújítási és bontási ráták alakulása az elkövetkezendő 30 évben, döntéshozói preferenciák). A disszertációban közölt vizsgálatok a tényadatokon nyugvó területekre korlátozódnak.
- A kutatás több eredménye kívül esik az értekezés témakörén: ilyenek például a költséghatékonysági, makrogazdasági és egyéb externális hatások elemzésére, mint például a korszerűsítésekkel elérhető belső környezeti minőségre gyakorolt hatások, az

ezzel összefüggő egészségre gyakorolt hatások, vagy akár a lakóépület-állomány értékének növekedése, az energiaszegénységre gyakorolt hatások. Ilyen vizsgálatok azonban készültek a bemutatott eredményekre építkezve, részben a szerző közreműködésével [9], [6] (lásd erről bővebben 3.2.3. pontot).

A disszertációban bemutatott kutatás csapatmunka eredménye, ezért fontos tisztázni a szerző szerepét.

A tipológia első publikált, 11 típusból álló változatát egy Tatabánya városára végzett esettanulmányhoz szerző Hrabovszky-Horváth Sárával együttműködve dolgozott ki [10]. A 2013-as Nemzeti Épületenergetikai Stratégiában és valamivel később a Tabula-Episcopo projektben megjelenő továbbfejlesztett változat már egy szisztematikus módszertanon alapult, mely a szerző munkája. Az itt bemutatásra került, a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projektben [11] kiérlelt tipológia ennek továbbfejlesztése, szintén a szerző eredménye.

A KEOP projekt során kitűzött cél volt a lakóépület-állomány reprezentatív felmérése 2029 épület helyszíni szemléje keretében. A munkában számos szakértő vett részt, de az épületenergetikai felmérés módszertanának (beleértve minőségellenőrzési elemeket is), a felmérendő adatok körének meghatározása elsődlegesen a szerző munkája. A konkrét épületfelméréseket a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) és az ÉMI Minőségellenőrzési és Innovációs Nonprofit Kft. energiatanúsítói jogosultsággal rendelkező szakértői végezték.

Ilyen mennyiségű adat kezeléséhez szükség volt adatbázis kezelő szoftver fejlesztésére. A szükséges importálandó és a későbbi elemzésekhez exportálandó energetikai jellegű adatok körét elsősorban a szerző határozta meg.

A KSH-tól a szerző által meghatározott típusokra jellemző megyei bontású épület-, lakás- és alapterület értékeket Farkas János (a KSH volt szakértője) kérte be a KSH-tól, illetve az alapján határozta meg lakásszám arányosan a felmérendő épületek megyénkénti darabszámát.

Az adatok tisztításában, és feldolgozásában Horváth Miklós nyújtott segítséget (ma tanszékünk adjunktusa), akinek a szerző PhD-témavezetője volt.

Az eredmények kiértékelése, elemzése elsődlegesen a szerző munkája. Ez alól kivételt képez a napenergia hasznosításra vonatkozó eredmények egy része ([12] disszertáció, szerző témavezetésével), azonban a két disszertációban megfogalmazott, témakörhöz kapcsolódó tézisek eltérőek.

Természetesen a projektek és későbbi kapcsolódó kutatások számos más szakértővel együttműködésével valósultak meg, de az ő munkájuk eredményei nem képezik jelen disszertáció anyagát.

A disszertáció szövegtörzsében megjelenő konkrét eredmény diagramok és táblázatok túlnyomó része a KEOP projekt zárójelentésében nem szerepel, ezek a projekt lezárása után, kifejezetten tudományos elemzésekhez készültek.

3. Szakirodalmi áttekintés

3.1. Háttér

3.1.1. Szakpolitikai környezet

Az épületszektor kiemelkedő energiamegtakarítási és üvegházhatású gáz mitigációs potenciállal bír, mert megfelelő piacképes intézkedésekkel a fogyasztás drasztikusan csökkenthető [13], [8]. Széleskörű a tudományos konszenzus arról, hogy a lakóépület-állomány

energiahatékonyt javító korszerűsítési intézkedések negatív vagy nulla költségekkel járnak az épület teljes életciklusára vetítve [14],[8].

Mindez visszaköszön a globális és hazai szakpolitikai stratégiákban és intézkedésekben. Az EU 2050-re karbonsemleges gazdaság megvalósítását tűzte ki stratégiai célként. Ez az Európai Zöld Megállapodás központi eleme [2], és összhangban van a Párizsi Egyezményben vállalt globális éghajlatváltozási kötelezettségekkel [3]. A szakirodalom szerint az országok már korábban is jelentős erőfeszítéseket tettek a mitigáció érdekében, a korábbi erőfeszítések azonban még messze nem bizonyultak elegendőnek a célkitűzések eléréséhez [15]. A témával foglalkozó nemzetközi szakirodalom áttekintése alapján is arra a következtetésre juthatunk, hogy a műszaki, pénzügyi, és szemléletformálási szakpolitikák komplexebb összehangolására van szükség a célok eléréséhez [16], [17], [18], [15], mely a szakpolitika folyamatos szigorodását és egyre ambiciózusabb célok kitűzését eredményezi.

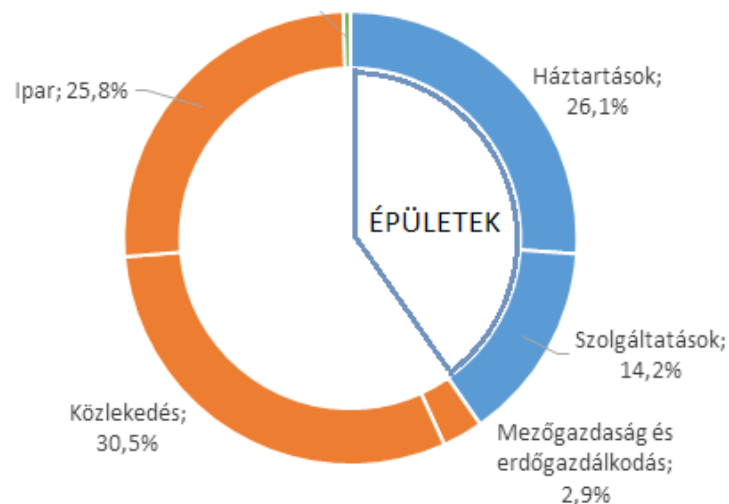
Az EU által létrehozott jogszabályi keretek tehát fenti stratégiai célhoz igazodnak, melyek közül a legnagyobb jelentőséggel az épületek energiahatékonytáról szóló irányelv (EPBD) bír, mely 2002 óta határozza meg a szakpolitikát [19], és megalkotása óta kétszer módosították, 2010-ben (EPBD recast 2010) [20] és 2018-ban (EPBD recast 2018) [21]. Az irányelvnek köszönhető az energiatanúsítványok rendszere, az új építésű épületekre és jelentős felújításokra vonatkozó követelményrendszere, illetve az is, hogy 2021-től az új építésű épületeknek meg kell felelni a közel nulla energiaigényű követelményszintnek, de említhető a mélyfelújítás fogalma, és számos további szakpolitikai ösztönző intézkedés. Az EPBD recast 2018 [21] kimondja, hogy az európai épületállományt 2050-ig „nagyon energiahatékony és dekarbonizált épületállománnyá kell átalakítani, megkönnyítve a meglévő épületek költségvetés hatékony átalakítását közel nulla energiaigényű épületekké” [21]. Az irányelv által definiált közel nulla energiaigényű épület „igen magas energiahatékonytással rendelkező épület. A felhasznált közel nulla vagy nagyon alacsony mennyiségű energiának igen jelentős részben megújuló forrásokból kellene származnia, beleértve a helyszínen vagy a közelben előállított megújuló forrásokból származó energiát is” [20].

A lakóépület-állomány korszerűsítése az energiahatékonytást és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését egyaránt szolgálja. Megemlítendő ugyanakkor, hogy a globális felmelegedés várható következményeihez alkalmazkodni is szükséges, mely a lakóépület-állományt is érinti [22], különös tekintettel a nyári túlmelegedés kockázatának várható növekedésére, mely a hűtési energiaigények növekedése irányába is hat. Ugyanakkor várható a fűtési igények csökkenése, ami a mérleg másik oldalán jelenik meg. Természetesen más tényezőkkel is számolni kell épületek kapcsán (pl. viharkárok, árvízkarok, hőterhelés, szélnyomás változása), melyek jelen kutatás tárgykörén kívül esnek. Ezért az épületek tervezése, karbantartása, korszerűsítése során a mitigációs és az alkalmazkodási célokat egyaránt szem előtt kell tartani [13], [8].

A megtakarítási és alkalmazkodási célkitűzések teljesítésében a szakpolitikai döntéshozóknak, várostervezőknek jelentős szerepük és felelősségük van [23]. A döntéshozók gyakran szembesülnek azzal a problémával, hogy nincsenek megbízható információk a lakóépület-állomány tényleges energiahatékonytáról, az épületek energiahatékonytájának költségvetés hatékony javításának módjáról, valamint az érintett lakóépület-állomány éghajlati sérülékenységről és az épített környezet ellenálló képességének javítását szolgáló lehetőségekről. Nyilvánvaló, hogy a meglévő lakóépület-állományra vonatkozó megfelelő információk elengedhetetlenek a hatékony energiapolitika [8], [7] és az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodási stratégiák kidolgozásához [24]. Mindez a probléma értelmezhető és kezelendő település-, régiós, országos és globális szinten.

3.1.2. A lakóépület szektor energetikai jelentősége

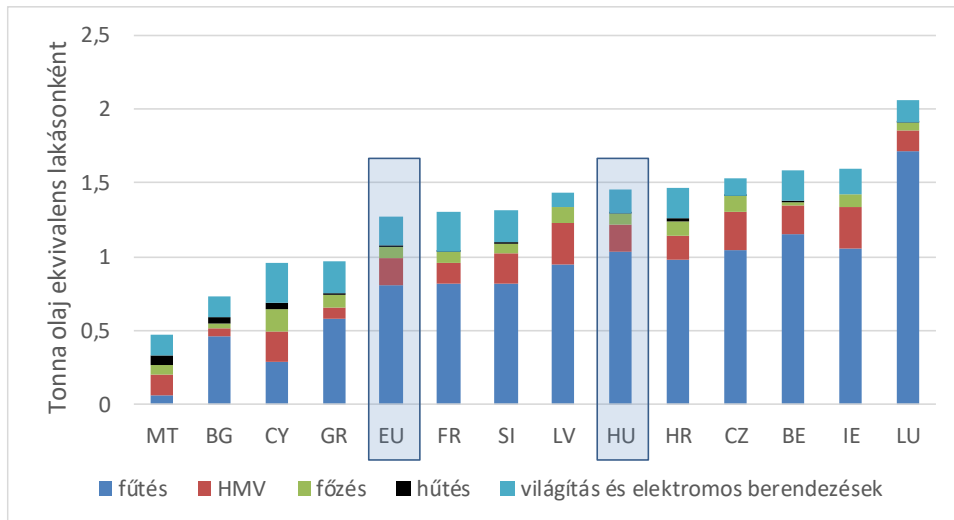
Európában a teljes energiafogyasztás 40%-át az épületekre jut (3.1. ábra). Szektoriális összehasonlításban az épületek okozzák a legnagyobb széndioxid kibocsátást, messze megelőzve az ipart, a szállítást és a mezőgazdasági célú földhasználatot.



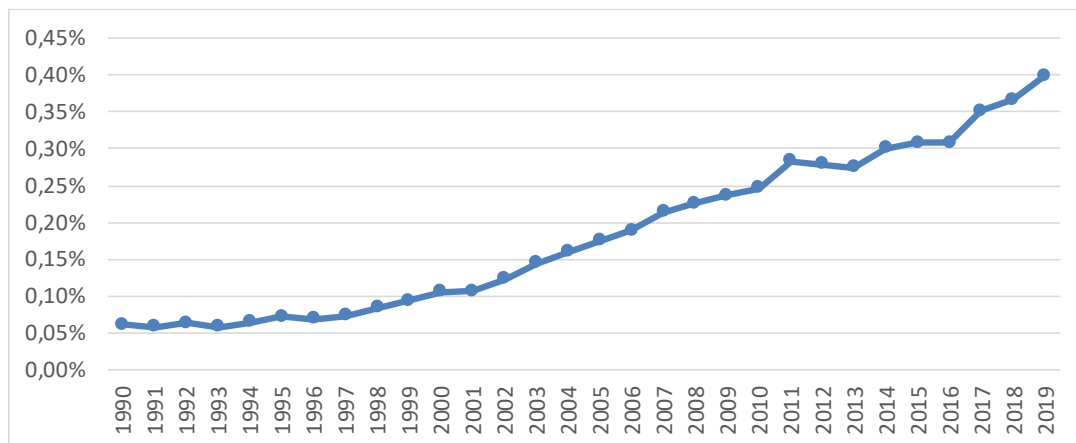
3.1. ábra: Végso energiafogyasztás ágazonként, EU-27, 2018 (az összes%-a, olajegyenérték tonna alapján) [25]

A lakóépületek energiafelhasználásának 64 %-a helyiségfűtésre (Magyarországon: 71%) fordítódik, ezt követik a világítás és elektromos berendezésekre (EU: 15%, Magyarország: 11%), majd a HVM ellátásra (EU: 14%, Magyarország: 13%), a főzésre (EU: 6,4%, Magyarország: 5,0%), és a hűtésre (EU: 0,4%, Magyarország: 0,2%, Görögországban is csak 1,24%!) jutó fogyasztások (3.2. ábra) [26]. A hűtés alacsony értéke nehezen hihető, vélhetően a világítás és elektromos berendezésekre jutó hányad egy része valójában hűtési célra fordítódik. Kérdéses a statisztikák mögötti módszertan, ami országonként is eltérhet: a jelenleg általánosan elterjedt éves leolvasású mérőkkel a felhasználási célonkénti bontás nem lehetséges, csak több áramkörre beépített okos mérőkkel lehetne pontos meghatározást végezni vagy az országos aggregált adatokból lehetne a nyári többletfogyasztásból becsülni.

A helyiségűtés energiaigénye a statisztikák szerint ugyan csekély, de értéke folyamatosan növekszik, 1990 és 2019 között meghétszereződött (3.3. ábra) [26].

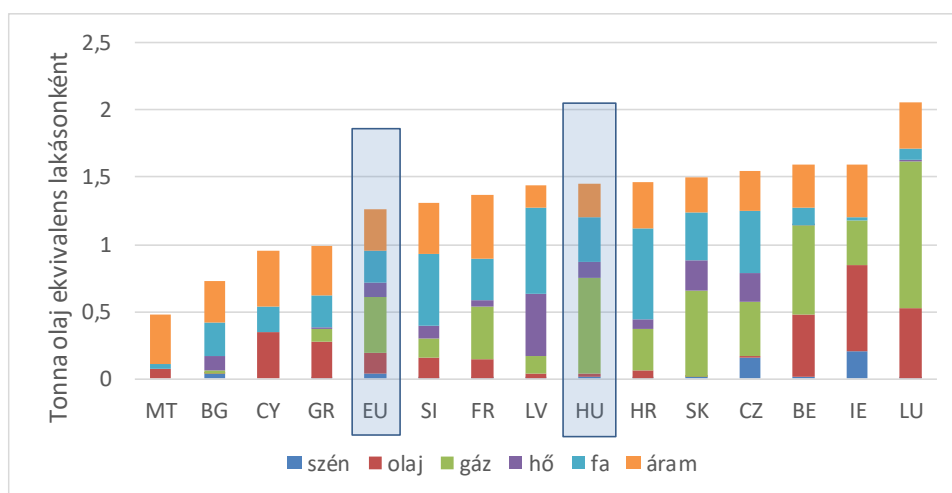


3.2. ábra: Felhasználási célonkénti háztartási energiafelhasználás néhány uniós országra és az EU egészére, folyamatosan lakott lakásszámra vetítve, 2019 (saját szűrés [26] adatbázisból)



3.3. ábra: Háztartások hűtési célú energiafelhasználásának alakulása a teljes energiafelhasználáshoz képest (EU, 1990-2016) (saját szűrés [26] adatbázisból)

A 3.4. ábra az energiahordozónkénti energiafelhasználásokat mutatja néhány uniós országra és a teljes EU-ra. A legnagyobb energiafelhasználás a földgázhoz (EU: 33%, Magyarország: 49%) köthető, ezt követi a villamos áram (EU: 25%, Magyarország: 18%), a tűzifa (EU: 18%, Magyarország: 22%), az olaj (EU: 12%, Magyarország: 1%) és a távhő (EU: 9%, Magyarország: 8%) [26]. A szén és az olaj szerepe Magyarországon jelentéktelen. A diagram nem tartalmazza a tűzifán kívüli egyéb megújulókat (pl. napenergia, hőszivattyú által hasznosított környezeti hő), nem tükrözi továbbá a villamos áram és a távhő energiahordozónkénti összetételét.



3.4. ábra: Energiahordozónkénti háztartási energiafelhasználás néhány uniós országra és az EU egészére, folyamatosan lakott lakásszámra vetítve, 2019 (saját szűrés [26] adatbázisból)

3.1.3. A hazai lakóépület-állomány áttekintése

A magyarországi épületállomány karakterének kialakulását éghajlati, történelmi, kulturális és gazdasági okok határozták meg és érdemes régiós kitekintésben vizsgálni. Mind a hagyományos paraszti építési kultúra, mind az Osztrák-Magyar Monarchia, mind a szocializmus rányomta bélyegét épületállományunkra, a legutóbbi évtizedeket pedig az uniós keretrendszerre visszavezethető épületenergetikai követelmények [19] és a piaci trendek határozták meg.

Lakóegységeink mintegy negyede 1945 előtt épült, több mint fele 1945 és 1990 között. Az állomány kétharmada családi ház, de ha nem lakásszámot, hanem épület darabszámot nézünk, akkor 96% a családi házak aránya [27]. Külön kategóriát képviselnek a vályog és iparosított technológiával létesült épületek. A vályogépületek sokszor a gazdaságosan fel nem újítható kategóriába tartoznak, arányuk mintegy 15%.

Az iparosított technológiával létesített épületek a hetvenes és nyolcvanas években épültek nagy számban. A technológiát valójában nyugaton találták ki, először Dániában, Angliában, Franciaországban és más országokban alkalmazták nagy számban, mielőtt a Szovjetunió és a szovjet blokk adoptálta a technológiát és kifejlesztette saját rendszereit. A volt szovjet blokk országaiban eltérő mértékben vált meghatározó tényezővé a „panel”. A mai Oroszország területén a lakóházak többsége 1960 és 1985 között épült, és ennek eredményeképpen a városi lakásállomány ma főként néhány szabványos iparosított technológiájú épülettípusból áll [28], [29], [30]. Magyarországon az iparosított technológiával létesített lakások aránya 16 % (lakásszámot tekintve valamennyi arányszámnál a bekezdésben) ami mérsékelt értéknek számít a régióban. Összehasonlításképpen Szlovákiában 778 000 ilyen lakóegység található, ami a lakóépület-állomány 40%-át teszi ki [31], ugyanez a szám Lengyelországban 6 171 000 (49%) [32]. Ezen lakóegységek aránya különösen magas a balti országokban [33], [34]. Például Észtországban a lakásállomány 45% - a 1961 és 1990 között épült - többszintes lakóházak, többnyire előregyártott technológiával [35]. Romániában a lakások 29,4%-a társasházakban található, amelyek 68,3%-a panelépület [36]. A volt NDK-ban több mint 2 millió ilyen lakás létezik [37].

3.2. Lakóépület-állomány modellezés

3.2.1. „Top-down” modellezés

A lakóépület-állomány energiafelhasználásának modellezési eljárásait a szakirodalom két csoportba sorolja, így beszélhetünk „top-down” (felülről lefelé építkező) és „bottom-up” (alulról felfelé irányuló) modellezésről.

A „top-down” modellek általában nemzeti szinten meghatározott értékesített energia adatokból vezetnek le az épületszektor energiafogyasztását és összefüggéseket keresnek más makrogazdasági mutatókkal (pl. nemzeti össztermék, munkanélküliségi ráta, infláció, energiaárak). Például, [38] egy energetikai és környezetvédelmi modellt javasol, és határozza meg az épületszektor széndioxid kibocsátását, illetve vizsgálja egy adócsökkentési politikának a várható hatásait.

3.2.2. „Bottom-up” modellezés

A „bottom-up” modellek viszont az épületegységből indulnak ki, meghatározzák reprezentatívnak tekinthető egyedi épületek energiafogyasztás értékeit, majd extrapolálják az eredményeket az épülettípusra jellemző statisztikai mutatók figyelembe vételével. A „bottom-up” modellek tovább bonthatók statisztikai és mérnöki módszerekre [41]. A statisztikai módszerek idősoros és regressziós elemzéseken alapulnak, amelyek az energiafogyasztást a különböző végfelhasználásokhoz rendelik hozzá. A mérnöki módszerek a végfelhasználások energiafogyasztását a hőtechnikai összefüggésekkel számolják a mintaépületek épületfizikai és az épülettechnikai rendszerek energetikai mutatói alapján.

A „bottom-up” módszerek lényegesen magasabb részletettségű tesztet tesznek lehetővé, mint a „top-down” módszerek. Másik nagy előnyük, hogy a modellépületek fizikai tulajdonságainak változtatásával modellezhető a korszerűsítési intézkedések hatása, mely „top-down” módszerekkel nem is lehetséges. Ennek ára viszont az, hogy a „bottom-up” modellek bemeneti adatigénye sokkal nagyobb, mint a „top-down” modelleké, valamint speciális szaktudást is igényelnek [8].

A szakirodalomban számos lakóépület-állomány modellel találkozhatunk [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48]. A modellek terjedelmükben, méretükben, a bemeneti adatok típusában és felbontásában, valamint a modellezés összetettségében különböznek. A „bottom-up” modelleknek korlátot szab az adathiány, így egy ilyen modell is lehet nagyon elnagyolt, ha a mintaépület tipológia nem megalapozott, illetve ha az épületenergetikai számítás túlzottan leegyszerűsített. Validálásra általában nincs, vagy csak korlátozottan van lehetőség. Az épületfizikai modell nem tudja figyelembe venni az épülethasználat módját, ami gyakori oka az elméleti és a valós fogyasztás között tapasztalható különbségnek. Ennek kiküszöbölésére kombinált statisztikai és épületfizikai hibrid modelleket is alkalmaztak, például a kanadai [49] és a dán épületállomány energiafelhasználásának modellezésére [50].

A modellezés fókuszja lehet kisebb és nagyobb léptékű, kezdve a kistéleptől a globális, világszintű elemzésig. Egy kisebb léptékű elemzés, például az önkormányzatok esetében, lehetővé teszi a helyszíni felméréseken alapuló, nagyfelbontású adatok beszerzését, mint ahogy az történt Tatabánya mitigációs és sérülékenység vizsgálata esetében [10] vagy öt település megtakarítási potenciál vizsgálatakor Milánó körzetében [42]. Nem csak területileg, hanem épülettípusra is szűkíthető az elemzés, mint a bolgár panelépület állomány esetében [51], [52]. A hazai panelépületek tipizálására és különböző célú elemzésére is vannak példák [53], [54].

Míg ezek a modellek megbízható eredményeket adnak a valódi energiatakarékosági potenciálról, nagyobb léptékben ilyen részletes vizsgálatra nincs sem adat, sem erőforrás. Ilyen

az Ecofys által kifejlesztett épített környezet elemzési modell (BEAM), mely igen leegyszerűsített, mégis alkalmazták több nemzeti és nemzetközi épületállomány modellezéséhez és megtakarítási forgatókönyv elemzésekhez, többek között az Európai Bizottság politikájának kialakításakor [55].

A bemeneti adatok minősége és a modell javítható, ha nagymintás épület adatbázisok állnak rendelkezésre. Ilyenek lehetnek az energiatanúsítvány adatbázisok, melyek általában a statisztikai reprezentativitáshoz szükségesnél jóval nagyobb számú lakóegység adatait tartalmazzák [44]. Probléma lehet ugyanakkor az adatok hozzáférhetősége és részletessége. Sokszor (Magyarországon is) csak végeredmények szűrhetők le, érdemi elemzéshez szükséges részletek nélkül. Probléma lehet az is, hogy a tanúsítványok lakóegységekre vonatkoznak, melyekből megfelelő társasház modellek nem hozhatók létre, illetve korszerűsítési alternatívák érdemi vizsgálata sem lehetséges.

Egyes modellek nagyléptékű várostervezési célokra is használhatók szakpolitikai döntések előkészítéséhez. Kellő részletességű adatok esetén térinformatikai modell is létrehozható, mellyel modellezhető az energiafelhasználás vagy meghatározható a napenergia potenciál, melyben megjelenhet az épületek egymáshoz képesti térbeli elhelyezkedésének tipizálása is [56], [57], például a vetett árnyék hatásának figyelembe vételére. Kombinálhatók felmérhető adatok konkrét épületre nem rendelkezésre álló tipológiai adatokkal, mint ahogy az történt a chilei Concepción városa esetén. Ebben a kutatásban először épületek tetőtípusait határoztak meg, majd a mintaterület egyes épületeit besorolták a tipológiai szerint, de a valós tájolást figyelembe véve, majd a modellel meghatározták a napenergia termelési potenciált [58]. Hasonló módszert alkalmaztunk saját kutatásban Debrecen városára, ahol nem csak az épülettípusok, hanem az épületek egymáshoz való viszonya (vetett árnyék hatása), illetve a városrészek is tipizálásra kerültek [59].

Az elemzések sokszor kiterjednek további makro hatások, például szennyező anyag kibocsátás és annak várható egészségügyi hatásai, energiaszegénység, az építőipar várható élénküléséhez köthető adóbevételek elemzésére [49], [60]. Az ilyen teljeskörű vizsgálatok számos szakterületi elemző összehangolt vagy egymásra épülő munkáját igénylik, nem beszélve az adatgyűjtés erőforrásigényéről.

3.2.3. A hazai lakóépület-állományra vonatkozó kutatások

Az első komolyabbnak tekinthető, a hazai lakóépület-állomány energiafelhasználását elemző modellt a Közép-Európai Egyetemen (CEU) dolgozták ki 2008-ban [8], [61]. A bottom-up módszeren alapuló kutatásban a szóba jöhető különböző korszerűsítési intézkedéseket hasonlítottak össze a mitigációs potenciál és megtérülési idő szempontjából. A munka egyik legnagyobb nehézsége és korlátja volt, hogy 2008-ban nem állt rendelkezésre megfelelően megalapozott lakóépület kataszter, ezért csak leegyszerűsített tipológiára (3 típus: családi ház, hagyományos építésű társasház és panel) és energetikai modell alkalmazására kerülhetett sor. Ennek mintegy folytatásaként középületekre végeztek hasonló kutatást a CEU-n 2010-ben, melynél szintén a lakóépület-állományra vonatkozó megfelelő felbontású hiánya okozott nehézségeket [7], [62].

Az Energiaklub által 2010-ben végzett, Negajoule2020 projekt [63] keretében szintén „bottom-up” modellt alkalmaztak, ami kérdőíves adatgyűjtésen alapult 2000 háztartásban. Az adatokat a lakók szolgáltatják. A szerzők szerint a mintavétel a következő szempontok szerint történt: „A mintavételi eljárás során kétlépcsős, rétegzett, kvótás mintavételt alkalmaztunk, ahol az első lépcsőben a településminta kialakítása történt meg. A településminta településtípusra és a KSH

régióira reprezentatív, az ott élő háztartások számának figyelembe vételével. A kvóta kialakítása során a KSH adataira támaszkodtunk.” A modellhez tipológia készült, energetikai számításokat a 7/2006 (V.24.) rendelet [1] szerint végezték, adatok feldolgozása az SPSS statisztikai programmal készült. A munka célkitűzését a szerzők így fogalmazták meg: „Az ún. bottom-up, vagyis alulról felfelé történő vizsgálat segítségével épülettípusonként számba vettük a lakossági szektor energiahatékonyságát javító technológiai lehetőségeket, és országos szinten aggregáltuk azokat. A vizsgálat során a háztartások beruházási hajlandóságát és pénzügyi lehetőségeit, attitűdjeit is beépítettük a modellbe, így nem csak az elméleti-műszaki potenciált, hanem a gazdasági potenciált is feltártuk. A vizsgálatok célja és eredménye a lehetséges energiahatékonyságot javító intézkedések bemutatása, a hatások számszerűsítése, a költségek és hasznok pénzbeli kifejezése volt.” Korábban nem készült ilyen részletességű és szakszerű adatgyűjtés, pozitívuma a számításokhoz megfelelően megválasztott energetikai számítási módszer, ugyanakkor az eredmények megbízhatóságát csökkentette az, hogy háztartásokra és nem teljes épület adatokra épült, valamint hogy a számítás bemeneti adatainak meghatározása lakói adatszolgáltatás alapján történt.

Néhány speciális fókuszú elemzést is érdemes megemlíteni, ilyen volt a Tatabánya városára végzett sérülékenységi és mitigációs kombinált kutatás [10], illetve Debrecen városára végzett napenergia potenciál elemzés [59]. Megemlítendő továbbá a kifejezetten panelépületekre kidolgozott tipológiák is [53], [64], [54]. Hrabovszky Horváth Sára 7 alaptípusból álló tipológiát dolgozott ki panelületekre az energiatudatos panel-rehabilitáció klímastratégiai aspektusainak vizsgálatához [65].

A jelen értekezésben bemutatott kutatás közvetlen előzményének tekinthetők az az épülettípológia és elemzés, melyet a Nemzeti épületenergetikai stratégiához [66] dolgoztam ki háttér tanulmányként [67]. Ennek a tipológiának kissé módosított változata került alkalmazásra a Tabula-Episcopo projektben [68], a szerző közreműködésével. Ezek a tipológiák még a “valós példaépületek” módszerére épültek, figyelembe véve a lakóépület-állomány statisztikai adatait, de akkor még nem álltak rendelkezésre megfelelően megalapozott reprezentatív épületfelmérési adatok.

Az értekezésben ismertetett tipológiát (lásd 6. fejezet, [69]) a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 [11] keretében dolgoztam ki. Ebben már meg tudott valósulni a megalapozott, szakszerűen végzett, reprezentatív helyszíni adatgyűjtés. A projekt a lakóépület-állomány energiafelhasználásának és széndioxid kibocsátásának meghatározására, típusberuházásokkal elérhető megtakarítások számítására, valamint kapcsolódó gazdaságossági számításokra terjedt ki.

A projektben létrehozott tipológiát és modellezési eredményeket számos későbbi tanulmányban felhasználták. Ezek közül kiemelném a Habitat for Humanity Magyarország a HÉTFA Kutatóintézet és Elemzői Központ által 2021-ben kidolgozott “A legrosszabb energiahatékonyságú hazai lakóépületek felújításának gazdasági és társadalmi hatásai” egyelőre nem publikus tanulmányt [6], melyhez szennyezőanyag emissziós (NO_x , por, CO) számításokat végeztünk épülettípusonként. Megemlítendő tovább az Európai Fejlesztési Bank megbízásából a Multicontact Kft. által 2020-ban készített “Magyarország: Lakó- és középületek modernizálása – Támogatási programok meghatározása és kidolgozása” c. tanulmány is, melyben ezt a tipológiát használták kiindulásként. Ez a tanulmány szintén nem publikus. A Magyar Nemzeti Bank is támogatta a tipológiára épülő kutatásokat, melyek célja a lakosság hitelképességének vizsgálata épületkorszerűsítések finanszírozásához kapcsolódóan, illetve a mélyfelújítások költségvonzatainak elemzése volt [9].

A legfontosabb statisztikai adatforrás a hazai lakóépület-állományról a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projektben összegyűjtött adatokon kívül a 2011-es népszámlálás, illetve a 2016-os

mikrocenzus. A 2022-es népszámlálás eredményei a disszertáció készítése idején még nem álltak rendelkezésre.

Nem tárgyaltam azokat az adatgyűjtéseket, tanulmányokat, szakpolitikai dokumentumokat, melyek nem “bottom-up” módszerre épültek, mert azok csak közvetve kapcsolódnak a témához (például [70]).

3.1. táblázat: Hazai lakóépület-állomány „bottom-up” modellezéséhez kapcsolódó fontosabb forrás dokumentumok és adatforrások

Forrás	Referencia év
“A legrosszabb energiahatékonyságú hazai lakóépületek felújításának gazdasági és társadalmi hatásai” (Habitat, HÉTFA)	2021
“Energiahatékonyság hitelkockázatcsökkentő hatásának vizsgálata (lakóingatlan)” (MNB-BME együttműködés)	2020-21
“Magyarország: Lakó- és középületek modernizálása – Támogatási programok meghatározása és kidolgozása” c. tanulmány (Multicontact)	2020
KSH Mikrocenzus	2016
KEOP-7.9.0/12-2013-0019 (ÉMI, MMK) és kapcsolódó háttér tanulmány (Csoknyai T.)	2015
Nemzeti épületenergetika stratégia (ÉMI) és kapcsolódó háttér tanulmány (Csoknyai T.)	2015
Lakóépület Tipológia Magyarországon Episcope – Tabula (BME, Csoknyai T.)	2014
Negajoule2020 (Energiaklub)	2011
Népszámlálás	2011
„Carbon dioxide mitigation potential in the Hungarian residential sector”, PhD disszertáció (A. Novikova, témavezető: D. Ürge-Vorsatz)	2008

3.2.3.1. Lakóépület tipológiák

A „bottom-up” módszerek alapvető eleme a vizsgált meglévő épületállomány kategorizálása, mely több szempont figyelembevételével történhet: egy görögországi elemzésben a 2001-es népszámlálás alapján a lakóépületek kora szerinti kategorizálást alkalmaztak [71]. Az építési időszak meghatározza a korszakban alkalmazott technológiákat, építőanyagokat, szerkezeti és épületgépészeti megoldásokat. Más kutatások esetén az épületek kora és mérete (pl. családi ház vagy többlakásos épület) képezi az épületek kategorizálásának alapját [72], [73]. Egyes kutatások klímazónák szerint is kategorizálnak, ami elsősorban azon országoknál érdekes, ahol markáns klimatikus eltérések jellemzők és a különböző klímazónákban más technológiai megoldások, hőtechnikai előírások jellemzők. Ilyet alkalmaztunk a SLED projektben is, Albánia lakó- és középület állományának modellezésekor [74], [75]. Sok esetben az építési idő, a méret és a klímazóna egyaránt figyelembeveendő a tipológia kialakításánál, de Magyarország esetén ez nem indokolt.

Egységes tipizálási elveket és számítási módszert alkalmazott az EU Intelligens Energia Programja keretében megvalósult TABULA-EPISCOPE projekt, melyben 18 uniós ország, valamint Szerbia és Norvégia lakóépület tipológiája készült el [76]. A projekt magyarországi elemzésében részt vettem [68]. A projekt célja a tipológia létrehozása, a típusépületek energetikai modellezése és korszerűsítési alternatívák kidolgozása és statisztikai adatgyűjtés volt, országos kivetítések, szcenárió elemzések nem történtek. A projekt erőssége az egységes módszertan volt, így a különböző országok tipológiái és eredményei összevethetők. Ugyanakkor ez hátrány is, mert az egységes számítási módszertan bizonyos lokális sajátosságokat és a rendelkezésre álló adatok minőségi eltéréseit nem, vagy csak kompromisszumok árán tudta figyelembe venni. Például, a CEN szabványokon alapuló egyszerűsített számítás nem volt alkalmas az alacsony légtömörségű épületek vagy a rossz hatásfokú gázkonvektorok, kályhák kezelésére [76], [68].

A projekt számos tudományos publikációt generált, jellemzően eltérő fókusszal, ami jól illusztrálja a tipológiák sokrétű felhasználási lehetőségeit. Görögország lakóépület-állományára statisztikai elemzést végeztek [43], míg [60] a francia lakóépületek energiahatékonyságát az energiaszegénység szempontjából elemezték. A [41] kutatás négy kelet-európai ország (Csehország, Szerbia, Bulgária és Magyarország) épületállományát elemezte és mutatott rá a régió sajátos problémáira. Dániára vonatkozóan a „top-down” és „bottom-up” megközelítések közötti különbségeket vizsgálták [77]. Történt kísérlet a nemzeti tipológiák összehangolására és az uniós épületállomány modellezésére is 72 épülettípus definiálásával [78]. Az épületeket reprezentativitásuk, földrajzi megoszlásuk, méretük, anyagösszetételük és hőszigetelésük alapján osztályozták, a felújítási lehetőségeket életciklus szemléletben elemezték. A projekt módszertanának és eredményeinek átfogó ismertetésére is született egy publikáció [46].

Egy nagyon részletes lakóépület katasztert dolgoztak ki [79], melyhez nagyfelbontású adatbázist hoztak létre a szerb épületállomány felmérése alapján. A projekt részeként családi [80] és társasház atlasz [81] is készült. A módszerrel a TABULA projektre épült [76]. A munka megalapozásaként összesen 6000 épületben történt helyszíni adatgyűjtés. Az épületek kiválasztásánál figyelték a földrajzi reprezentativitásra. Ezt mélyinterjúk követték minden ötödik, azaz összesen 1200 épületben. Ez a tipológia került továbbfejlesztésre a SLED projekt Szerbiára vonatkozó elemzéseinél, melynek célja országos szintű és széndioxid energiamegtakarítási potenciálszámítás, valamint költség-haszon elemzés volt [82]. A szerbiai tapasztalatok hasznosításra kerültek a KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt helyszíni adatgyűjtéseinek előkészítése során is, mely szorosan kapcsolódik a jelen értekezésben ismertetett kutatásokhoz [11].

Megemlítendő még az ENTRANZE projekt is [83], melynek célja az volt, hogy szcenárió elemzésekkel és egy döntéstámogató alkalmazással felhasználóbarát módon segítse az uniós szakpolitikát, a közel nulla energiaigényű épületeket és az épületekbe integrált megújuló rendszerek elterjesztését helyezve a fókuszba. Az energiaprognózis adatok 11 uniós országra érhetők el, viszont az adatok felbontása kisebb, mint az Episcopo/Tabula (Bulgária, Csehország, Finnország, Franciaország, Németország, Olaszország, Románia, Spanyolország) esetén, és a projekt fókusza is eltérő.

3.2.3.2. *Nem lakó épületek*

A legtöbb modell lakóépületekre készült. Nem lakóépületek esetén nehézséget jelent az azok heterogén jellege, akár funkcionálisan belül is nagyon nagy méretbeli, és használati módot érintő eltérések jelentkeznek, amihez viszonylag alacsony épületszám társul. Nehézséget okozhat az

alacsony felmérési mintaszám is, ami miatt a reprezentativitás nehezen biztosítható. Természetesen előfordulnak mind „top-down”, mind bottom-up” elemzések a szakirodalomban nem lakó épületekre is. A [84], [62] által ismertetett kutatások a magyar és a szlovák középület állományra fókuszáltak. Egy 11 európai országra kiterjedő kutatásban tipizált középületek közel nulla szintű korszerűsítését célzó technológiák energetikai és gazdasági megvalósíthatóságát hasonlították össze [85]. Egy másik projektben kimutatták, hogy a primer energiaigény és a széndioxid emisszió akár 40% -kal is csökkenthető [86]. Egy horvátországi vizsgálatban [87] lakó- és középületek energiatakarékosági beruházásainak hatását becsülték meg. Figyelembe vették a bruttó hozzáadott érték, a foglalkoztatás és az állami bevételek közvetett és indukált növekedését, valamint a légszennyezés elkerülhető költségeit. Kína egyik hideg régiójára vonatkozóan 14 középületet elemeztek, energiaauditok, statisztikai módszerek és költség adatok elemzésével [88]. A kereskedelmi szektorban tizenkilenc amerikai város irodaházainak utólagos korszerűsítési intézkedéseit befolyásoló tényezőket határoztak meg [89]. Egy brazil projektben átfogó módszert dolgoztak ki az ország sokemeletes irodaház állományának energiatakarékosági potenciáljának elemzésére [90].

3.2.3.3. *Szenárió elemzések*

A „bottom-up” modellek értékelhetők attól függően, hogy a modell tartalmaz-e előrejelzéseket, forgatókönyv elemzéseket vagy csak a jelen állapot értékelésére és potenciálemelésre szorítkozik. A fenntartható energetika területén a szakpolitikai döntéshozók számára segítő szenárió elemzéseket már az 1970-es évek óta alkalmaznak, széndioxid mitigáció tekintetében az 1980-as évek óta. Mára több száz olyan energia- és éghajlatváltozással kapcsolatos forgatókönyv készült, amelyeket helyi, nemzeti és globális szinten dolgoztak ki, és amelyeket a politika kialakításához és végrehajtásához használnak. Az alacsony széndioxid-kibocsátású fejlesztési szenárió elemzések célja, hogy előre jelezzék az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának várható változását a technológiai fejlesztések (pl. épületkorszerűsítések, megújuló energiák elterjesztése), a fogyasztói magatartást érintő változások vagy egyéb szakpolitikai intézkedések eredményeképpen.

A szakirodalomban a legtöbb modellben kidolgozzák az épületállomány részletes tipológiáját, extrapolálják az energiaigényt az épületállomány statisztikai adatai felhasználásával, (szorozva az energiaigényt az épületek számával vagy a teljes alapterülettel), validálják az eredményeket a nemzeti energiameleggel és szükség esetén kalibrálják a modellt, majd meghatározzák a megtakarítási potenciált [42], [44], [45], [43], [91], [47], [48]. Egyes kutatások kiterjesztik a modellt azzal, hogy előre vetítik az épületállomány jövőbeni változásait, akár több évtizedes időtávra is [92] [93].

Az egyik ilyen kutatás [94] figyelembe vette az építési, bontási és felújítási aktivitást, hogy tanulmányozza a különböző intézkedések várható hatását a villamos energiafogyasztás és az energiaigények csökkentésére a norvég épületállományban. Ezek a modellek használhatók hosszú távú energetikai forgatókönyvek kidolgozására az energiapolitikai eszközök hatásának értékelésére. Egy nagyon részletes alulról felfelé építkező modellt ismertet [95] a német lakóépület-állományra annak vizsgálatára, hogy megvalósíthatók-e az energiafelhasználás csökkentését célzó politikai célok. Az épületállomány modell 2050-ig új építésre és bontásra vetít előrejelzéseket.

Lehetnek olyan leíró forgatókönyvek, amelyek végpontok előzetes kitűzése nélkül vizsgálják a jövőbe vezető utakat, illetve vannak előíró jellegűek, amelyek a kívánt végpontokhoz vezető utakat tárják fel [94], [95], [96], [97].

3.2.3.4. *Modellezési bizonytalanság*

Sok szerző hangsúlyozza a modellezési bizonytalanságok kezelésének nehézségeit [98], [99]. Egy kutatásban [99] kifejlesztettek egy automatizált paraméterbecslési eljárást a kalibrálási bizonytalanság scenáriók modellezésre gyakorolt hatásának elemzésére. A vizsgálat arra fókuszált, hogy egyes független változók jövőbeli változására adott becslési hibák (pl. energiaárak alakulása) hogyan terjednek tovább a végeredményekre.

A bizonytalanságok kezelésére többen alkalmaztak Monte Carlo szimulációt [100], [101], [102], [103]. Például, [102] ezt alkalmazta a svájci terciér szektor épületállomány jövőbeli helyiséghűtési igényének meghatározására, a becslési bizonytalanságok elemzésére. Szintén Monte Carlo módszerrel vizsgálták az elektrokromatikus üvegezésekkel elérhető megtakarítási potenciált a svájci nem lakó épületállományra [103]. A Monte Carlo módszer sztochasztikus szimuláció, melynek lényege, hogy meghatározza a végeredményre várhatóan számottevő hatást gyakorló valószínűségi változók jelentőségét. Ez úgy történik, hogy véletlenszám-generátor hozza létre a számítás bemenő adatait a valószínűségi változókra, a felhasználó által definiált értéksávokon belül, nagyszámú esetre, és a számítási modell minden egyes generált számkombinációra futtatásra kerül. Így az összes bemeneti kombináció eredményét kiszámítjuk [104]. A módszernek gátat szabhat a nagy számítási esetszám miatti jelentős időigény, különösen akkor, ha az alkalmazott épületenergetikai modell is komplex vagy nehezen integrálható a Monte Carlo szimulációs modellel. Ugyanezen okokból saját kutatásaim során sem volt realitása ezen módszer alkalmazásának.

3.3. *Fogyasztói magatartás szerepe, a prebound és a rebound hatás*

A „bottom-up” módszerek tárgyalásánál már hangsúlyoztuk, hogy az épület fizikai paramétereinek alapján történő modellezés egyik nehézsége az, hogy az épülethasználat módjáról általában nem állnak rendelkezésre megbízható információk, ezért általában szabványos fogyasztói profilokkal számolnak. Ennek következtében a mért és a modellezett fogyasztás között általában eltérés mutatkozik, ami gyakran igen jelentős [41], [61], [105]. „Megfigyelhető, hogy egy adott energiaminősítés esetében a fűtésre felhasznált energiamennyiség nagy mértékben eltér egymástól, azaz a statisztika felől szemlélve, az adatok szórása nagy. Előfordul, hogy egy energiaminősítésbe eső lakások közül az egyik lakás többször annyi energiát fogyaszt fűtésre, mint egy másik” [106], [107], [108].

A fogyasztók viselkedésének energiafogyasztásra gyakorolt hatását számos publikációban elemezték [109]. Ebbe annak vizsgálata is beleértendő, hogy a fogyasztók viselkedésében bekövetkező változások hogyan befolyásolják az energiafogyasztást [110], [111], [112]. Egyes kutatások a fogyasztói viselkedés megváltoztatására kidolgozott technikák hatását elemezték [113]. Egy ilyen kutatást végeztünk a Horizon 2020 program által finanszírozott Greenplay projektben is, ahol egy, a lakók érzékenyítését célzó játékprogram viselkedésre gyakorolt hatását vizsgáltuk, a mért fogyasztási adatok elemzésével [114].

A legtöbb fogyasztói magatartás kutatást főként irodaépületekben végezték, ahol a fogyasztókhöz köthető fő energiahordozó az elektromos áram, amely könnyen mérhető. Ugyanakkor nagy szükség van fogyasztói viselkedésmintákra, profilokra a lakossági szektorban is [115]. Ebben a szektorban a legnagyobb kihívást a lakók viselkedési mintáinak nagyobb változatossága, a nem megfelelő felbontású, kutatási célra hozzáférhető adatbázisok, és a nagyszabású monitoring adatgyűjtés pénzügyi korlátai, valamint újabban a megszigorított adatvédelmi (GDPR) előírások jelentik. Ezért korábban inkább kisebb kísérleti projektek

esetében volt lehetőség részletes mérések elvégzésére [116]. Az elmúlt években az okosmérési technológia rohamos elterjedése azonban nagymértékben csökkentette a technológiai korlátokat a fogyasztók viselkedésének nyomon követésében, terhelés előrejelzési kutatásokban. Ugyanakkor ez egy új kihíváshoz is vezetett, a „big data” elemzés problémaköréhez [117], [118].

Lakóépületek esetén a legelterjedtebb az áramfogyasztás mérése okosmérőkkel, ahol a napi profilokat azonosítják [119], [120], [16]. A témakört egy saját „review” cikkben is feldolgoztuk [121]. A fűtési és hűtési fogyasztási mintákat nehezebb meghatározni, azonban ha a fűtés és a hűtés is külön almérővel mért villamos energián alapul, akkor lehetséges a fogyasztás mérése és a profilok létrehozása [122]. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy fűtés és hűtés esetén az épület fizikai jellemzői, elhelyezkedése és az épületgépészeti rendszer minősége általában fontosabb szerepet játszik a fogyasztásban, mint az emberi tényezők. Ezenkívül lehetőség van a fogyasztási adatok elemzésének kiegészítésére kérdőíves felmérésekkel, mélyinterjúkkal, amelyek segíthetnek megérteni a fogyasztók beavatkozási mechanizmusait, valamint motivációit meghatározó szociális és pszichológiai tényezőket [123]. A fogyasztói profilok kialakításakor fontos szem előtt tartani, hogy a viselkedés is változhat, így a profilok is változhatnak, például az év különböző időszakában, de változhatnak a jövedelmi viszonyok, történhet fogyasztóváltás, érzékenyítés vagy korszerűsítés [124], [125].

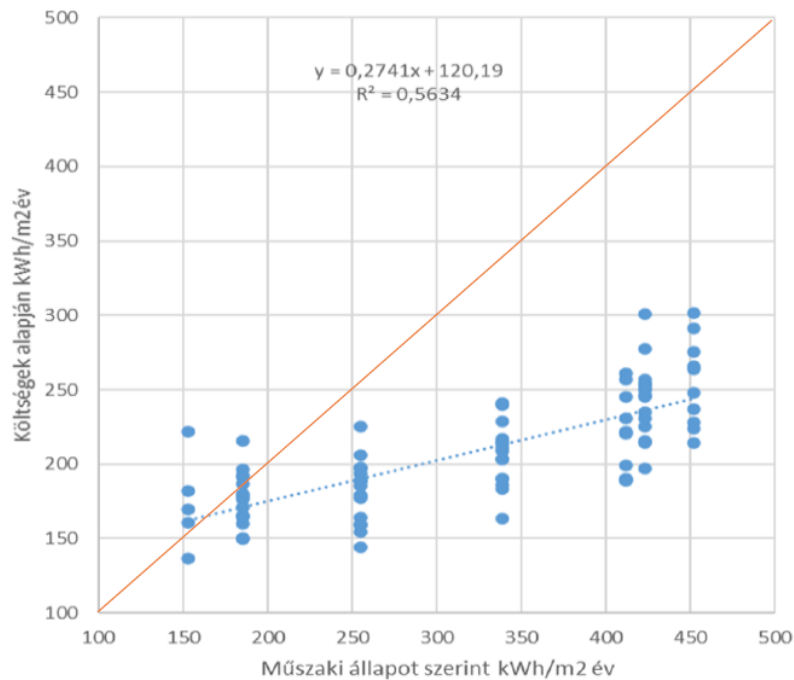
3.3.1. Prebound hatás

A szakirodalom azt a jelenséget, hogy a fogyasztók kevesebb energiát használnak, mint ami az épületek fizikai tulajdonságai alapján elvárható, prebound hatásnak nevezi. A tapasztalat azt mutatja, hogy magas energiaigényű épületek esetén ez az alulfogyasztás szignifikánsan jelentősebb, mint az energiahatékony épületeknél, utóbbiak esetén a számított és mért érték közel áll egymáshoz, sőt a mért fogyasztás gyakran meg is haladja a számítottat. Egy németországi kutatásban 3400 lakóegység számított és mért fogyasztását vetették össze és átlagosan 30%-os eltérést mutattak ki, ahol a mért fogyasztás bizonyult alacsonyabbnak. Az eltérés a 40%-ot is elérte a magas fogyasztású épületeknél, és csak 17% volt a hatékonyabb sávban [126]. Egy norvég lakóépület-állományra vonatkozó kutatás is hasonló következtetésre jutott [127]. A hazai lakásszektorra is készült ilyen vizsgálat, aminek eredményét a 3.5. ábra mutatja be. A vízszintes tengelyen feltüntetett számított energiafelhasználás értékeket a jelen disszertációban meghatározott eredmények alapján határozták meg a szerzők, tehát ezek tipológián alapulnak, míg a függőleges tengely értékei valós épületek rezsizámláin [106], [107], [128]. Ezt az eredményt a későbbiekben felhasználom saját számításaimhoz (10.2.1. fejezet) is.

A magas energiaigényű épületekre jellemző alulfogyasztás az energiaszegénység sújtotta régiókban különösen igaz, ahol a fogyasztók nem tudják megengedni maguknak a megfelelő komfort biztosítását, vagyis részlegesen és szakaszosan fűtenek, szélsőséges esetben még vezetékes víz sincs mindenhol kiépítve, ami a melegvízfelhasználás jelentős csökkenésével jár. Egy Szerbiára, Montenegróra és Albániára kiterjedő saját kutatás szerint ez a jelenség abban a régióban nagyon jellemző [82], [105]. A problémát hazai kutatások is alátámasztják [129], [130], [107].

A prebound hatás %-os mértéke a növekvő hatékonyság mellett csökken, majd egy ponton túl negatívvá válik, azaz a rebound hatás érvényesül [131], [107], [128]. A hatékony épületek esetén azért fordul elő túlfűtés, mert a lakók az alacsony költségek miatt megengedhetik

maguknak, hogy a szabványosnál magasabb komfortszintet tartsanak az épületben, de ez már a rebound hatáshoz sorolható [132].



3.5. ábra : A magyar épületmátrix családi házainak névleges adaptációs görbéje (a függőleges csoportosulás a lakások kategóriába rendezettségé miatt jelenik meg) [106], [107], [108]

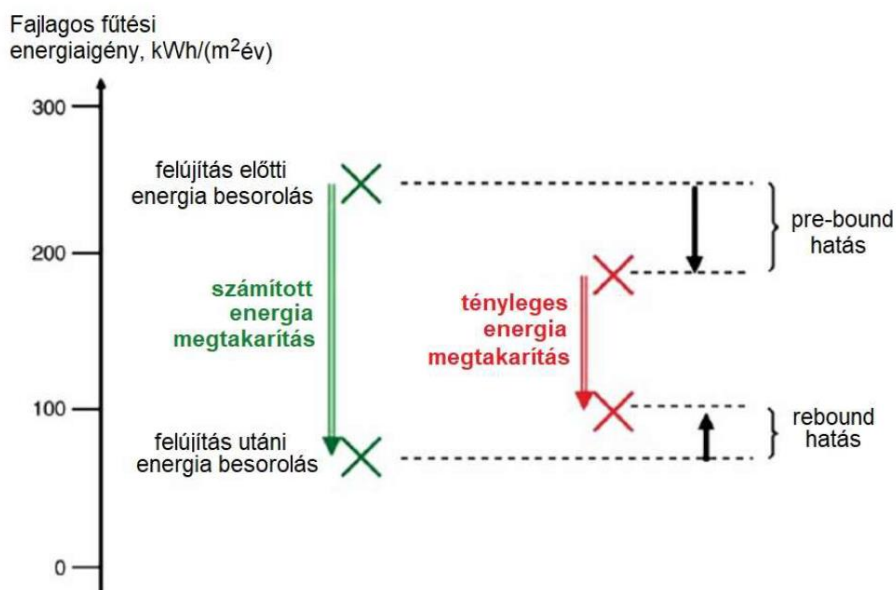
3.3.2. Rebound hatás

A rebound hatás (visszapattanó hatás) energetikai korszerűsítés után jelentkezik, melynek lényege, hogy a mért energiafelhasználás magasabb a vártnál. Ennek oka a következő: „Mivel az energiahatékonyság javítása csökkenti az energiaszolgáltatások határköltegeit, várhatóan növekedni fog ezen szolgáltatások fogyasztása. Az energiaszolgáltatások ezen megnövekedett fogyasztása várhatóan ellensúlyozza az energiafogyasztás előre jelzett csökkenésének egy részét vagy egészét.” [133], [107]

A hatást már 1865-ben felismerték (Jevons paradoxon [134]) és a nyolcvanas évektől jelentek meg a jelenséget leíró empirikus modellek [135]. Megkülönböztetünk közvetlen, közvetett és gazdaság egészére kiterjedő rebound hatást. A közvetlen hatás jelenti azt, hogy az alacsonyabb üzemeltetési költségek miatt könnyebben megengedik maguknak a fogyasztók a korábbinál magasabb komfortszint fenntartását. Közvetett hatás az, ha a megtakarított költséget más, energiát igénylő termékek és szolgáltatások megvásárlására fordítják. A gazdaság egészére kiterjedő hatás pedig az, ha a megtakarítások miatt más, energiaigényes ágazatok erősödnek meg a kereslet és a termelés változása miatt [135], [107].

A prebounnd és a rebound hatás az épületek energetikai korszerűsítésekor együttesen érvényesül, aminek az a következménye, hogy az elért megtakarítás jelentősen elmaradhat a várakozásoktól (3.6. ábra, [136], [107], [106], [128]). Egyes kutatások szerint a közvetlen, a közvetett és a gazdaság egészére kiterjedő rebound hatás együttesen képes ellensúlyozni uniós szinten az energiahatékonysági intézkedések megtakarítási hatását [135]. Úgy is fogalmazhatunk ugyanakkor, hogy az energetikai felújítással magasabb komfortszint alakul ki, egészségesebbek

lesznek az életkörülmények, továbbá csökken az energiaszegénység, viszont ezen kedvező hatások kedvezőtlen mellékhatása a vártnál kisebb realizált energiamegtakarítás.



3.6. ábra : A prebound és rebound hatás megjelenése az energiamegtakarításban [136], [107], [106]

A magyarországi közvetlen rebound hatással négy kutatás foglalkozott eltérő módszertani alapon, nagyon eltérő eredménnyel (a teljes háztartási fogyasztásra $R=49,7\%$ [137] alapján korrigálva [107], $R=79-82\%$ [138] alapján korrigálva [107], $R=11,1\%$ a 1990-2009 időszakra [129], illetve azonos módszerrel $R=17,57\%$ az 1990-2019 időszakra [107], [106]). Az R érték azt fejezi ki, hogy a tényleges megtakarítás mennyivel kisebb az elméleti értéknél. A felsorolt tanulmányok közül a legfrissebbek [107], [106] felhasználási célonként is differenciálnak, fűtésre $R=22,8\%$, melegvízelőállításra $R=-6\%$ rebound hatást állapítanak meg. Fontos megállapítás továbbá az is, hogy romló tendencia figyelhető meg. A nem csak közvetlen, hanem a lakásszektorra vonatkozó teljes rebound hatás pedig a tanulmányok [107], [106] szerint $R=70-80\%$ -ra tehető.

4. Módszertani áttekintő

A kutatás folyamatát a 4.1. ábra foglalja össze. A cél egy lakóépületállomány energetikai állapotáról történő pillanatfelvétel készítése, valamint egy lakóépületállomány modell létrehozása volt, mellyel különböző korszerűsítési változatok hatásai számíthatók. Az alkalmazott „bottom-up” modellhez először egy előzetes lakóépület tipológiát hoztam létre, amit a kapcsolódó épülettípusokra vonatkozó statisztikai adatok figyelembevételével módosítottam. Ez a módosított, 23 lakóépület típusból álló tipológia képezte a további felmérések és modellezés alapját. Ezt tárgyalja a 6. fejezet.

Ezután épületkiválasztási szempontrendszer és felmérési protokollt dolgoztam ki, valamint meghatároztam a felmérendő adatok pontos listáját. Előbbinek elsődleges szempontja az épülettípus szerinti és területi reprezentativitás biztosítása volt. A konkrét megyei és típusonkénti felmérési kvótaszámokat Farkas János, a KSH volt munkatársa állította össze. Ezt követte a helyszíni épületállomány felmérés, melynek során 2029 lakóépület került bejárásra, értékelésre. A felmérést független MMK és ÉMI szakértők végezték, akik a felmérési adatokat

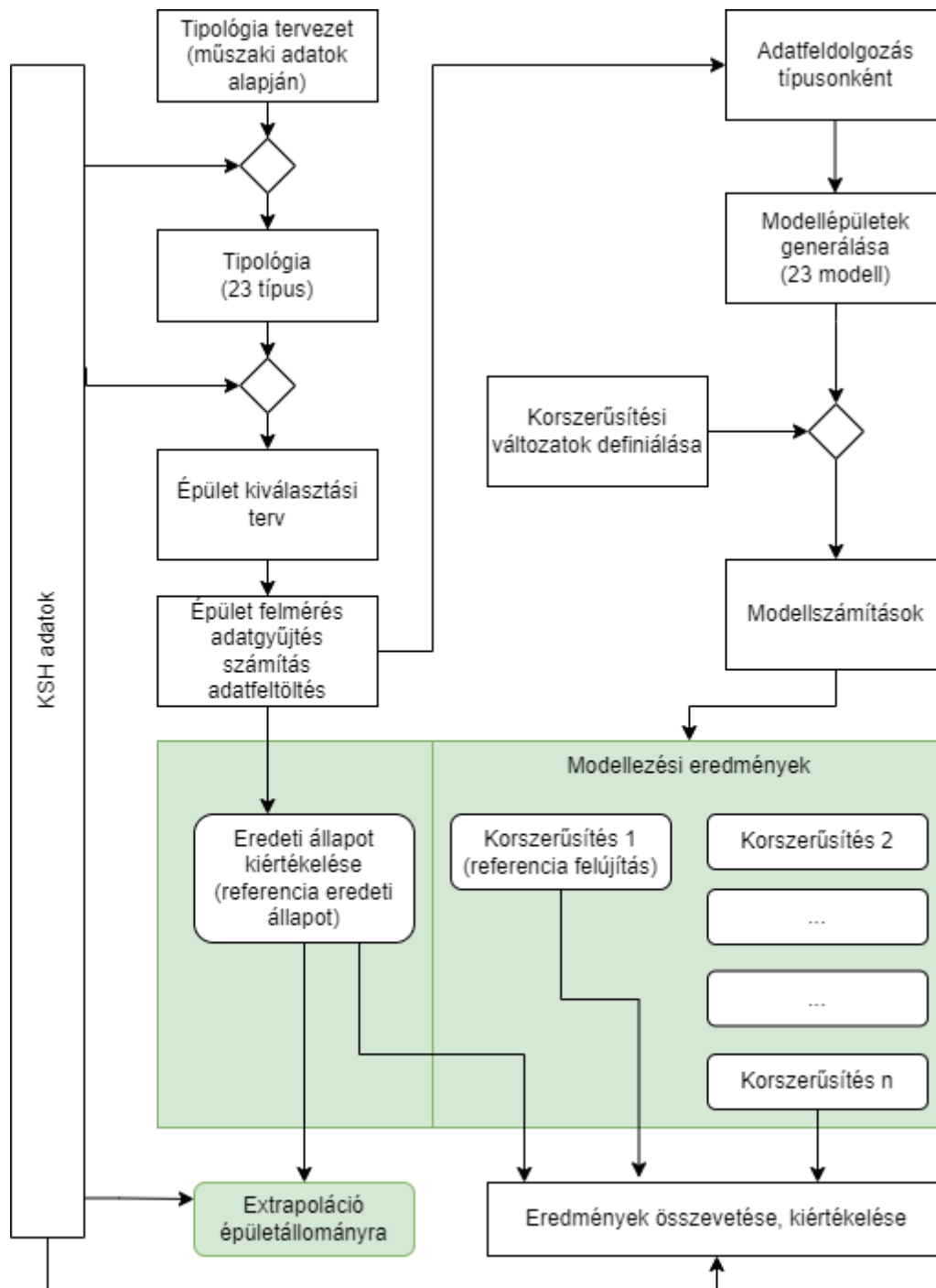
és eredményeket feltöltötték egy adatbázisba, továbbá elvégezték minden egyes épület energetikai számításait is az általam kidolgozott egységes protokoll szerint (7. fejezet).

Az így keletkezett épületadatbázisból típusonkénti célzott adatgyűjtéseket végeztem. Az adatok statisztikai elemzése után, annak eredményeit felhasználva egyrészt elvégeztem a lakóépületállomány jelenlegi állapotára vonatkozó energetikai kiértékelést (ezzel definiáltuk a referencia eredeti állapotot is, ami későbbi összehasonlítások egyik alapját képezte), melyet a 8. fejezet tárgyal. Továbbá létrehoztam 23 virtuális modell épületet, melyek a különböző korszerűsítési változatokra vonatkozó számításaim kiindulópontját képezték.

Meghatároztam a vizsgálandó korszerűsítési változatokat mérlegelve a racionálisan ajánlható és az építési piac által preferált (de nem feltétlenül ajánlható) korszerűsítéseket. Definiáltam a korszerűsítési opciók között egy referencia korszerűsítést is, mely a későbbi elemzésekben gyakran megjelenik, mint másik viszonyítási pont az eredeti állapot mellett. A vizsgált korszerűsítések a következő főbb csoportokba sorolhatók:

- referencia szerkezeti felújítás: komplex épületszerkezeti korszerűsítés
- referencia korszerűsítés: komplex épületszerkezeti korszerűsítés, és korszerű, nem megújuló energia alapú hőtermelési móddal (kondenzációs gázkazán vagy távhő),
- biomassza alapú hőtermelés villamos HMV termeléssel vagy napkollektorral kombinálva,
- direkt elektromos hőellátás, épületszerkezeti korszerűsítés nélkül vagy komplex épületszerkezeti korszerűsítéssel kombinálva,
- elektromos hőszivattyús hőellátási módok, komplex épületszerkezeti korszerűsítéssel kombinálva,
- az épületek tetején elhelyezett napelemes villamos áramtermelés,
- az épületek tetején elhelyezett napkollektoros melegvíz előállítás.

Az egyes modellépületekre elvégzett számítások eredményeit kivetítettem a lakóépületállomány átlagára (illetve általában a családi házakra, kis- és nagytársasházakra külön is), figyelembe véve az egyes épülettípusokhoz tartozó előfordulási gyakoriságot, annak érdekében, hogy következtéseimet a teljes lakóépületállományra vonatkoztathassam (9.3. fejezet).



4.1. ábra: Módszertani áttekintő

A felmért épületek eredményei alapján kiértékeltem az eredeti állapotot is, és az eredményeket extrapoláltam országos szintre. Az így kapott aggregált szektorális szintű energiafelhasználást összevettem az energiaszisztiákra épülő makro adatokkal („top-down” módszer) és elemeztem az eltérés okait (10. fejezet).

5. A lakásállomány statisztikai adatai

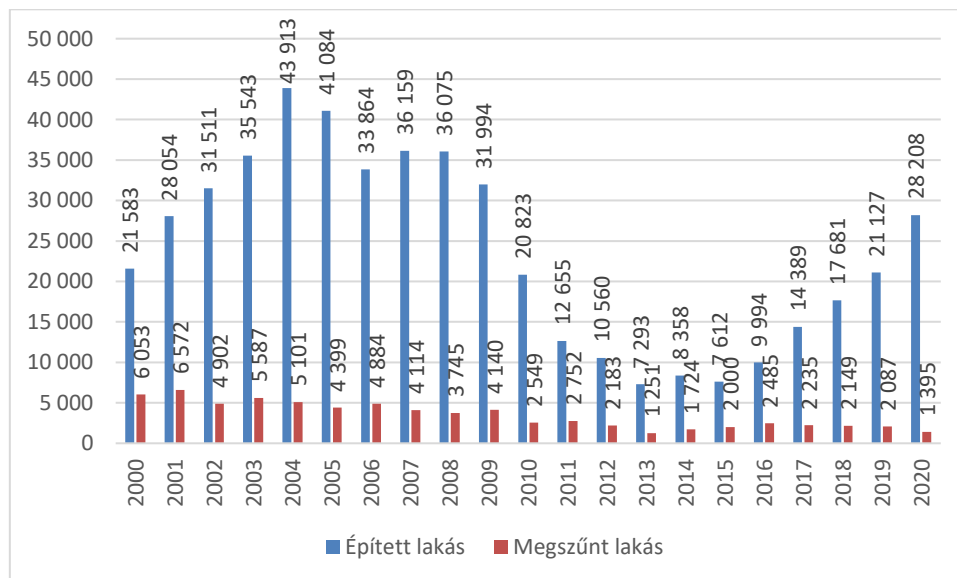
A hazai épületállományról a legfontosabb adatok a 2011-es népszámlálási adatbázisból nyerhetők. A népszámlálási kérdőív terjedelmi korlátai miatt azonban csak viszonylag szűk az

az adattartalom, ami az épületállományra vonatkozik. Részletesebb adatok nyerhetők a szintén KSH által évente elvégzett kismintás Háztartási költségvetési és életkörülmény adatfelvétel (HKÉF) alapján [139]. Megemlítendő még a 2016-os Mikrocenzus és a rendszeresen frissülő Odyssee adatbázis is, mely uniós szinten egyesíti az energiahatékonysági és széndioxid emisszióra vonatkozó tagállami statisztikai adatokat.

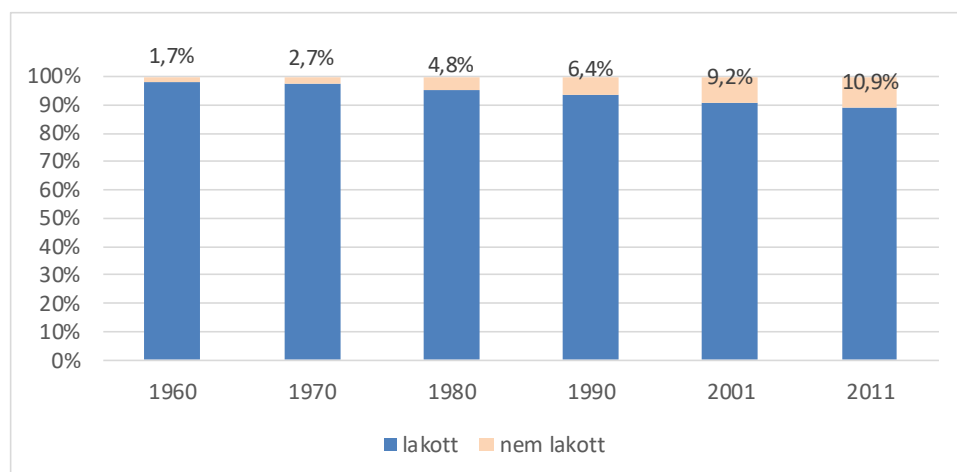
Elemzéseim során egy adat felvételekor arra törekedtem, hogy a legpontosabb adatbázisból vegyem, ha ott nem állt rendelkezésre, akkor szorítkoztam a kismintás adatokra vagy egyéb felmérésekre. Ez indokolja, hogy számos adat a 2011-es Népszámlálás eredményére épül.

A Népszámlálás szerint a hazai lakóépületállomány 4 363 754 lakásból és 2 702 183 épületből állt. A 2021-es adatok szerint azóta a lakásszám 3%-kal, 4 501 344-ra nőtt [140], ami azt jelenti, hogy viszonylag csekély jelentőséggel bír, hogy melyik év felmérésére támaszkodunk.

A lakásállomány tehát növekszik, jóval több az új lakás, mint a megszűnő, ahogy azt a 5.1. ábra mutatja. Ugyanakkor igen jelentős a nem lakott lakások száma, mintegy 10,9%, ami arra utal, hogy a lakások egy részét nem bontják el, hanem elhagyják. Ez összefügg a lakásállomány állapotával is, sok a gazdaságosan fel nem újítható épület (ezt részletezi a 14.18. táblázat a 9. Mellékletben).



5.1. ábra: Lakásépítés, lakásmegszűnés (2000–) [140]



5.2. ábra: Nem lakott lakások aránya Magyarországon [27]

A lakások mintegy 62%-a 1-3 lakásos épületben (a továbbiakban családi ház), 31%-a pedig legalább 10 lakásos társasházban található. (A továbbiakban utóbbi kategóriát nagy társasházaknak, a 4-9 lakásos épületeket kis társasházaknak nevezzük.) Ugyanakkor az épületek száma tekintetében a családi házak aránya 96%, ami azért fontos, mert az épületenergetikai korszerűsítési programok elsősorban egész épületekre vonatkoznak, így az energetikai számításokat szintén egész épületekre célszerű végezni. Egy társasházból kiragadott lakás energiafogyasztása félrevezető információs adhat az egész épületre nézve.

Az épületek szerkezeteinek, épületgépészeti rendszereinek tulajdonságairól, a használt energiahordozókról bizonyos információk kinyerhetők az említett adatbázisokból, ezek bemutatásától azonban eltekintünk, azok korlátossága miatt. Jóval részletesebb és átfogóbb információkat nyújtottak ezekről a jellemzőkről a disszertáció tárgyát képező kutatás keretében elvégzett felmérések, ahogy azt a későbbiekben ismertetem.

6. Tipológia

6.1. Módszertani lehetőségek, előzetes tipológiák

A lakóépület-állomány „bottom-up” modellezése a szakirodalomban általában házak reprezentatív halmazán, vagy adatok hiányában a valós példaépületek kiválasztásán alapul [49]. Alapvetően háromféle megközelítés jöhet szóba [39]:

- Valós példaépületek alkalmazása („real example building”): a szakértői testület által kiválasztott legreprezentatívabb épület, amelyet általában akkor használnak, ha nem állnak rendelkezésre statisztikai adatok.
- Valós, a halmazt jól reprezentáló példaépületek alkalmazása („real average building”): valódi épületek, amelyek jellemzői hasonlóak a statisztikai minta átlagos geometriai és építési jellemzőihez.
- Szintetikus átlagos épület („synthetical average building”): virtuális épület, amelynek a modellezés szempontjából releváns paraméterei a statisztikai mintában található épületek átlagos tulajdonságai alapján kerülnek meghatározásra.

A három megközelítés egyben három fejlődési lépcsőnek is tekinthető, melyek egymásra épülhetnek és egyre pontosabb eredményeket szolgáltatnak. A szakirodalomban széles körű egyetértés van azon tényezőkről, amelyek meghatározóak egy lakóépület-állomány tipológiára bontásához. Ide tartoznak általában az építési időszak, a geometriai jellemzők, az építőanyagok, az épülettechnikai rendszerek és ha indokolt, az éghajlati viszonyok. Mérlegelni szükséges azt is, hogy melyik felhasználási cél a meghatározó az energiafogyasztásban, ez Magyarországon a helyiségfűtés (3.2. ábra), ezért az ezt befolyásoló tényezőket kell elsődlegesen figyelembe venni. Egy tisztán helyiséghűtést vizsgáló elemzés esetén célszerű eltolni a hangsúlyt az üvegezési arány, a tájolás, az árnyékolószerkezetek, a környezet beépítettsége, a belső hőterhelési profil irányába. Ugyanakkor, nem lenne célszerű a mi esetünkben más-más tipológiát használni a helyiségfűtés, a helyiséghűtés és a melegvíztermelés értékeléséhez, különben a modell kezelhetetlenné válna, különösen a korszerűsítési intézkedések kontextusában. Ráadásul ilyen típusú statisztikai adatok hozzáférhetősége is erősen korlátozott. A helyiségfűtés szempontjából mértékadó szempontok [45], [91]:

- Az épületek geometriája, különös tekintettel az abszolút méretekre,
- A külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságai,
- Klimatikus viszonyok (eltérő éghajlati zónák esetén),
- Az energiaellátó rendszer (hatásfokok, energiahordozók) jellemzői,

- Nettó igények (felhasználói profil).

Az abszolút méretek szerepe a méret felület/térfogat arányra gyakorolt hatás miatt jelentős. Nagyobb épületek esetén a felület/térfogat arány kisebb, ami kisebb fajlagos hűlő felületet eredményez a fűtött léghőméreterre vonatkoztatva, így a fajlagos transzmissziós veszteség csökken.

A disszertációban a továbbiakban bemutatásra kerülő tipológia egy több évig tartó iteratívnak tekinthető folyamat eredménye. Előképnek tekinthető a Tatabánya városára kidolgozott épületkataszter [10], melynek csak a lokális épületadatok, felmért épület darabszámok képezték az alapját. A Nemzeti Épületenergetikai Stratégia 2015 [66] és a Tabula-Episcope projekt [68] magyarországi épületkataszterének megalkotásánál már a lakásállomány statisztikai adatai jobban érvényesültek. Ezek a tipológiák még a „valós példaépületek” módszerén alapultak (a példaépületek szakértői mérlegelés alapján kerültek kiválasztásra), bár utóbbi két kutatás esetén egyes paraméterek már statisztikai adatok figyelembevételével kerültek be az épületmodellekbe (például a jellemző fűtési mód). A disszertációban bemutatásra kerülő tipológia modellépületeinek meghatározása már a „szintetikus átlagos épület” módszerével történt, részletes statisztikai és reprezentatív épületfelmérési adatok alapján, de figyelemmel a felsorolt előkép projektek tapasztalataira.

6.2. Az épülettípológiai mátrix

Az előzetes tipológiák megalkotásakor az egyik nehézséget az jelentette, hogy nem volt lehetőség a népszámlálási adatokból célzott, épülettípusonkénti adatlekérdezéseket végezni. A KEOP projekt [11] azonban biztosította az ehhez szükséges anyagi fedezetet, így a Központi Statisztikai Hivaltaltól ilyen célzott szűréseket kerültek lekérésre a 2011-es népszámlálási adatokból, a népszámlálási kérdőívek és más mintavételezés alapú KSH felmérések adattartalmának figyelembe vételével. A népszámlálási kérdőívből kiderült, hogy melyek azok az információk, melyekből energetikai mutatókra lehet következtetni. Tekintettel arra, hogy a népszámlálásnak nem volt célja a lakóépület-állomány energetikai állapotának felmérése, ezért a kérdőívben szereplő kérdések mérlegelése alapján felállított tipológia csak korlátozott pontosságú információkat adhatott. Ugyanakkor egyedül a népszámlálási kérdőívben (vagy egyéb reprezentatív épületfelmérésen) alapuló tipológia lehet alkalmas a lakóépület-állomány olyan modellezésére, mely országos kivetítésre alkalmas, azaz figyelembe veszi az egyes típusok országos előforduló darabszámát és alapterületét. Ezért ezt a kompromisszumot meg kellett hozni, vagyis a tipológiát úgy módosítani, hogy az igazodjon a rendelkezésre álló KSH adatokhoz.

A módosított tipológiai mátrix típusainak meghatározásakor mérlegeltem azokat a szempontokat, melyek az épületek energetikai állapota szempontjából mértékadók és a KSH adatbázisban releváns információ nyerhető róluk:

- Épület mérete (lakások száma): ezen adat diszkrét lépcsőkben volt bekérve a népszámlálási kérdőívekben, ahol 1-3 lakásos, 4-9 lakásos és 10 lakás feletti kategóriák voltak. Ezekhez alkalmazkodni kellett, de ezek a sávok jól reprezentálják a családi és ikerház, kis társasház és nagy társasház kategóriákat.
- Épület mérete (alapterület családi, illetve 2-3 lakásos házak esetén): A méret és ezzel összefüggésben a szintek száma energetikai szempontból meghatározó, mert a felület-térfogat (A/V) arányt a szintszám érdemben befolyásolja. Különösen az egyszintes és kétszintes épületek között jelentős az ugrás az A/V értékben. Sajnos szintszám adat nem volt a KSH népszámlálási adatbázisában, ezért helyette alapterület alapján kell

meghúzni a határt az egyszintes és a kétszintes kategória között. Egy másik háztartási kismintás KSH adatfelvétel adatai [141] alapján jutottam arra a megállapításra, hogy célszerű 120 m²-nél meghúzni a határvonalat, mert ezen érték alatt az egyszintes, felette a kétszintes épületek vannak többségben.

- Építési idő: Ez az adat évszám szerint volt rögzítve a kérdőíveken, így a kategória határokat szabadon meghatározhattam a jellemző technológiai korszakváltások alapján.
- Építési technológia: a népszámlálás adatok között szerepelt a falazatokra jellemző főbb építési technológia, megkülönböztették a vályog, a falazott szerkezetű, a panel és az egyéb iparosított technológiával készült épületeket. Ezeknek hőtechnikai szerepe jelentős. A kérdéskör részletesebb kifejtést érdemel, ezért a témakörrel részletesen foglalkozom a 6.3. fejezetben.
- Műemléki jellegű, építészetileg védendő vagy összetett homlokzatú épület: Bár a stukkós, tagolt, építészeti szempontból védendő homlokzatú épületek hőtechnikai szempontból nem feltétlenül térnek el számottevően hasonló építési idejű és geometriájú más épületektől, a szóba jöhető korszerűsítési intézkedések jellege és költsége markáns eltéréseket mutat. Érdemes ezért ezt a szempontot is figyelembe venni a típushatárok felállításakor. A háború előtti nagytársasházak, melyek főleg Budapest belvárosára jellemzőek, ilyen kategóriát jelentenek (ez a csoport a 17. típus a tipológiai mátrixban).
- Országos darabszám. Nem érdemes olyan típust létrehozni, mely ugyan energetikailag markáns sajátosságokat mutat, de ritkán fordul elő a hazai lakóépület-állományon belül. Ilyenek például a rönkházak, melyek állandó lakhelyként nagyon kis számban fordulnak elő Magyarországon. Indokolt ugyanakkor családi házakon belül sok típust létrehozni, mert azok teszik ki a lakásállomány túlnyomó részét.













Bizonyos országokban érdemes klímazónák szerint is tipizálni. Ez akkor indokolt, ha a klimatikus eltérések kihatnak az alkalmazott építési technológiákra. Albániában például szigorúbbak a hőtechnikai követelmények a hegyvidéki régiókban, mint a tengerparton [105]. Magyarországon klímazóna szerinti megkülönböztetés nem indokolt, mert az építési előírások területileg egységesek, és a meteorológiai paraméterek közti eltérések lakóépület-állomány szintű elemzésekre gyakorolt hatása is elhanyagolható.

dc_2011_22






6.1. táblázat: Lakóépületek tipológiai mátrixa (kicsi : 120 m² hasznos alapterület alatti, nagy: 120 m² hasznos alapterületű vagy nagyobb)

	épülettípus	építési idő	falazat
1.	családi vagy sorház (1-3 lakás)		vályog alapozás nélkül
2.	családi vagy sorház (1-3 lakás)		vályog alapozással
3.	családi vagy sorház (1-3 lakás)	-1944	tégla, kő, kézi falazóelem
4.	családi vagy sorház (1-3 lakás)	1945-1959	tégla, kő, kézi falazóelem
5.	családi vagy sorház (1-3 lakás), kicsi	1960-1979	tégla, kő, kézi falazóelem
6.	családi vagy sorház (1-3 lakás), nagy	1960-1979	tégla, kő, kézi falazóelem
7.	családi vagy sorház (1-3 lakás), kicsi	1980-1989	tégla, kő, kézi falazóelem
8.	családi vagy sorház (1-3 lakás), nagy	1980-1989	tégla, kő, kézi falazóelem
9.	családi vagy sorház (1-3 lakás), kicsi	1990-2005	tégla, kő, kézi falazóelem
10.	családi vagy sorház (1-3 lakás), nagy	1990-2005	tégla, kő, kézi falazóelem
11.	családi vagy sorház (1-3 lakás), kicsi	2006-	tégla, kő, kézi falazóelem
12.	családi vagy sorház (1-3 lakás), nagy	2006-	tégla, kő, kézi falazóelem
13.	társasház 4-9 lakással	-1945	tégla, kő, kézi falazóelem
14.	társasház 4-9 lakással	1945-1989	tégla, kő, kézi falazóelem
15.	társasház 4-9 lakással	1990-2005	tégla, kő, kézi falazóelem
16.	társasház 4-9 lakással	2006-	tégla, kő, kézi falazóelem
17.	társasház 10 vagy több lakással	-1944	tégla, kő, kézi falazóelem
18.	társasház 10 vagy több lakással	1945-1989	tégla, kő, kézi falazóelem
19.	társasház 10 vagy több lakással		közép-vagy nagyblokk, öntött beton
20.	társasház 10 vagy több lakással	-1979	panel
21.	társasház 10 vagy több lakással	1980-1989	panel
22.	társasház 10 vagy több lakással	1990-2005	tégla, kő, kézi falazóelem
23.	társasház 10 vagy több lakással	2006-	tégla, kő, kézi falazóelem

6.2. táblázat: Családi házak tipológiájának illusztrációja

	családi ház			
	kisebb	nagyobb	vályog 1	vályog 2
-1944	3 		1	2
1945-1959	4 			
1960-1979	5 	6 		
1980-1989	7 	8 		
1990-2005	9 	10 		
2006-	11 	12 		

6.3. táblázat: Társasházak tipológiájának illusztrációja

	kis társasház		nagy társasház	
		hagyom.	panel	egyéb ipar.
-1944	13 	17 		
1945-1959	14	18		19
1960-1979			20 	
1980-1989			21 	
1990-2005	15 	22 		
2006-	16 	23 		

A felsorolt szempontok alapján a hazai lakóépület-állományt 23 típusba soroltam. A tipológiai mátrixot és paramétereit a 6.1. táblázat mutatja. A tipológiát valós példaépületek fotóin keresztül szemlélteti a 6.2. táblázat és a 6.3. táblázat.

6.3. Energetikai szempontból meghatározó korszak- és technológia váltások a lakóépület-állományban

A tipológia létrehozásakor figyelembe vettem a technológiai korszakváltásokat. Minden korszaknak megvannak a maga jellemző építési technológiái, így az azonos időszakban emelt épületek jellemzően hőveszteség szempontjából is hasonlóak egymáshoz, igazodva a mindenkor aktuális hőtechnikai előírásokhoz. A következőkben röviden ismertetem az egyes időszakokban jellemző építési technológiákat és a hőtechnikai előírások fejlődését zárójelben megjelölve a tipológiában a releváns típus számát.

Az építési technológiák magyarországi fejlődését a határoló szerkezetek fejlődésén keresztül célszerű bemutatni, kitekintéssel az épületgépészeti vonatkozásokra. A hagyományos épületek többnyire egyszintes családi házak (tömör téglából, vályogból vagy kő falazattal, ill.

faszerkezetű zárófödémrel) jellemzően üres, fűtetlen padlástérrel. A vályogházak a hőveszteség szempontjából hasonlítanak a korabeli, hasonló geometriájú téglapületekhez, mégis érdemes ezeket külön kezelni, mert korszerűsítési lehetőségeik korlátozottak, sőt sok esetben gazdaságosan nem újíthatók fel. Ez különösen az alapozás nélküli vályogházakra igaz, ezért két külön típusba (1. és 2. típus) soroltam az alapozás nélküli és az alapozással rendelkező vályogházakat.

A hatvanas évektől számos földszintes családi ház is épült megközelítőleg négyzetes alaprajzzal (ún. „Kádár-kocka”) és ahogy a későbbiekben bemutatott helyszíni felmérések alapján kiderült, ebben az időszakban kezdett elterjedni a magastetők beépítése is. Ezen családi házak energetikai jellemzői - a hőszigetelési hiányosságok és magas felület-térfogat arányuk miatt – az előző típusokhoz hasonlóan, igen kedvezőtlenek. A hetvenes évektől kisméretű tömör téglafalazatokat fokozatosan felváltották az üreges, de még nagy hőtároló tömegű, ugyanakkor csekély hőszigetelésű üreges falazóelemes szerkezetek (pl. B30, Rába).

Az 1990 előtt épült nem vályogépítésű (jellemzően tégl-) házak a következőképpen jellemezhetők:

- 3. típus: 1945 előtti egyszintes hosszú parasztházak,
- 4. típus (ötvenes évek végéig): jellemzően még mindig egyszintes kompaktabb házak,
- 5-6. típus (hatvanas-hetvenes évek): kis (egyszintes) „Kádár kocka” és ennek kétszintes párja, mely a 70-es évektől terjedt el igazán,
- 7-8. típus: a nyolcvanas években jobb hőtechnikai tulajdonságú falazattal és nyílászárókkal jellemezhető épületek, a hőszigetelés egyre gyakrabban megjelenik a padlásfödémeknél.

Budapesten és a nagyobb városokban az eklektikus stílusban épült többszintes társasházak is elterjedtek, más városokban azonban az ilyen épületek jelentősége jóval csekélyebb. A jellemző építési időszak a századforduló előtti évtizedektől az 1950-es évekig terjed [142].

A második világháborút követő újjáépítés időszakában - az általános lakáshiány enyhítése érdekében - jelentős teret nyert hazánkban az iparosított építési mód. Ez a folyamat a nagyblokkos, illetve az öntöttfalas technológia alkalmazásával kezdődött. Ezek az épületek külön hőszigetelő réteg nélkül létesültek, ezért a tipológiában külön típust képviselnek (19. típus). 1965 után megjelentek az első előregyártott vasbeton szendvicspaneles technológiával épült ún. panelházak. Ezt követően 1967 és 1990 között évente átlagosan körülbelül 30-35 000, összesen mintegy 510 000¹ ilyen technológiával készült lakás épült Magyarországon [143]. A külső szerkezetek épületfizikai és hővédelmi tulajdonságai a nyolcvanas évek előtt épült panelépületeknél különösen rosszak a magas hőhídveszteségek miatt. Bár az olajválság miatt az energiahatékonyság kezdett felértékelődni, így hetvenes évek elejétől a panelépületek

¹ „A pontos darabszám tekintetében a források némileg szórnak. A népszámlálási adatok elemzésekor a többlakásos épületek egy bizonyos körénél (43 ezer épületben mintegy 350 ezer lakás esetében, a teljes állomány csaknem 10 százalékánál) nem lehetett pontosan elkülöníteni az épületeket a domináló falazat szerint. A KSH szakértőivel egyeztetve két fázisban sikerült valamennyi épületet úgy besorolni, hogy a vegyes falazat esetén az épület abba a kategóriába került, amely a bennük lévő lakások többségét jellemezte. Ez a probléma elsősorban olyan panelépületek esetén volt jellemző, amelyekre azonnal vagy a későbbiekben sátoztető épült, és ez más típusú falazatok beépítését is szükségessé tette. Így a népszámlálási adatok alapján 522 290 panellakás adódott, mi ezzel számoltunk. A 2029 épület felmérése során természetesen már lehetőség volt a többféle falazat regisztrálására és a besorolások helyességének ellenőrzésére.”

szendvicsszerkezeteit belső magszigeteléssel látták el mely elvileg megfelelő hőellenállást eredményez, azonban a szerkezeti csomópontoknál a hőszigetelés megszakad (1967 előtt egyáltalán nem volt a csomópontoknál hőszigetelés) vagy elvékonyodik (20. típus). A 80-as évek panelházai (21. típus) már ún. hőhídmentes technológiával épületek, ami azt jelentette, hogy a csomópontoknál nem változott a szendvicsszigetelés vastagsága, de a rögzítő vasalatok okozta jelentős pontszerű hőhídhatás továbbra is fennállt. Az ilyen panelépületeket falazataik hőátbocsátásának számításakor nem szabad elhanyagolni, ez a kutatás során figyelembe volt véve [54].

A kilencvenes évektől jelentősen átalakult az építőipar és javult az épületek energetikai minősége. A társasházakat a monolit vasbeton vázszerkezet, illetve üreges falazóblokkból épült kitöltőfal használata jellemezte. 1991 és 2006 közötti időszakban (családi házak: 9-10. típus, kis társasházak: 15. típus, nagy társasházak: 22. típus) a hatályos, kötelező érvényű hőtechnikai szabvány (MSZ-04-140/2, 1991) meghatározta az épületek határoló szerkezeteinek hőellenállását [144], de ezen előírások a 2006. évi 7/2006 (V.24.) TNM rendelet bevezetésével szigorodtak [1], igazodva a 91/2002/EC az épületek energetikai jellemzőiről szóló uniós irányelvhez [19]. A rendelet többször módosult 2006 óta, de a követelmények szigorítására csak a közelmúltban került sor több lépcsőben: az ún. költségoptimum szerinti követelményeket a 2015. óta pályázati forrás igénybevétele esetén, illetve 2018-tól általánosan kell alkalmazni. Az irányelvnek [145] megfelelően, 2021. januártól csak ún. „közel nulla energiafelhasználású” új lakóépületek épülhetnek az egész Európai Unióban (Magyarország ezt a határidőt kitolta 2022. nyarára), de a korszerűsítésekre továbbra is a költségoptimum követelmények maradnak érvényben.

Mindezeket figyelembe véve 1990 után a korszak- és típushatárokat az energetikai előírások szigorítási lépcsői határozták meg és ebben a 2006-os év mérföldkő. A 2018-as szigorítás meglévő lakóépület-állományra gyakorolt hatását nem vettem figyelembe a modellben. Egyrészt azért, mert a kutatást megalapozó helyszíni adatgyűjtés 2014-ben zajlott, másrészt mert a lakóépület-állomány egésze szempontjából az évi 10-30 ezer új lakás jelentősége minimális: mintegy 7 ezrelék cserélődik évente.

Nincs ugyanakkor különösebb jelentősége annak, hogy 2018-as követelmény szigorítás miatt külön kategóriák legyenek megkülönböztve, ugyanis a 2018-2020 között épült új lakások száma mindössze a teljes lakóépület-állomány 1,54%-át teszi ki (5.1. ábra) és ha ezeket az épületeket a korábbi időszakhoz tartozó kategóriákba soroljuk, az energiafelhasználásban jelentkező eltérés jóval 1 ezrelék alatt lesz országos léptékben. Továbbá, az utóbbi időszakban épült lakóingatlanok esetében a korszerűsítések vizsgálatánál szűk az indokoltan javasolható korszerűsítési intézkedések listája (leginkább a napelemek és a gépi hűtés merülhetnek fel).

Az épületgépészeti rendszerek fejlődése a típusba sorolás szempontjából kevésbé releváns, mert azok életrétege jóval rövidebb, ritka a 90-es évek előtti épületben az építéskori gépészet. Ezért ezt a kérdést az épületfelmérés eredményeinek tükrében érdemes vizsgálni a típusépület modellek felállításakor.

7. Épületek felmérése

A felméréndő épületek számát a KEOP projekt [11] keretei határozták meg, összesen 2000 lakóépület felmérésére volt erőforrás. Végül ennél kicsit több, összesen 2029 épület felmérése valósult meg. A felmérés során elsődleges szempont volt, hogy a felmérés épülettípusonként reprezentatív legyen, sőt az is, hogy földrajzi szempontból is megvalósuljon a reprezentativitás. A lakásállomány energetikai állapota szempontjából utóbbi ugyan nem indokolt, hiszen a területi elhelyezkedés nem befolyásolja az energetikai minőséget, csak az épület típusokat

meghatározó tényezők. Más szempontból viszont hasznos, hogy pontos képünk legyen a lakóépület-állomány minőségének területi eloszlásáról, segítő a regionális, vagy akár megyei szintű tervezést.

7.1. Mintavételezés módja

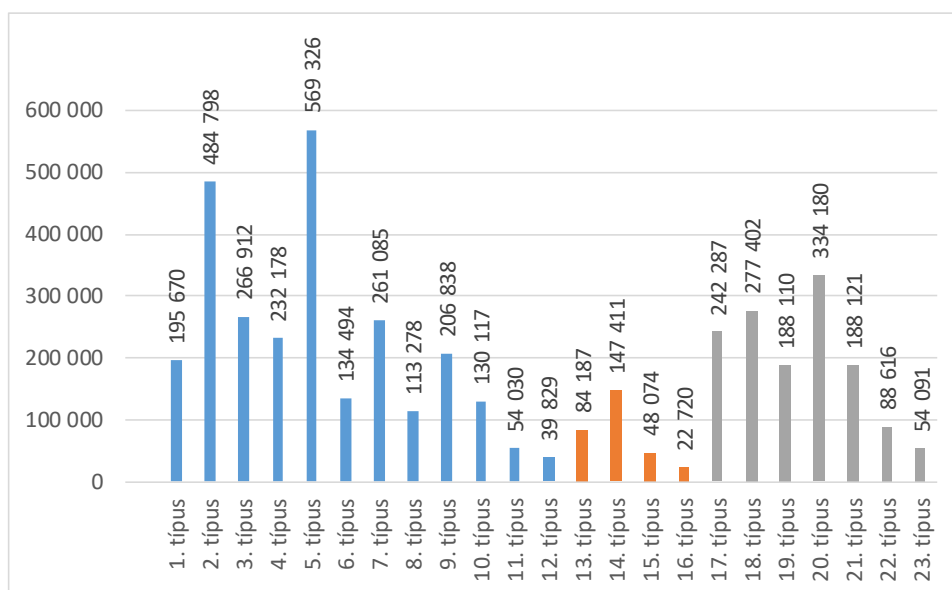
A cél az volt, hogy rétegzett mintavétel történjen, azért, hogy épülettípusonként elegendő számú felmérés valósuljon meg. Így lehetett garantálni, hogy elegendő adat legyen biztosítva a későbbi épületmodellek létrehozásához. Rétegzett mintavételezés esetén minden részcsoporthoz (épülettípusok) a sokaság (összes lakóegység) és a minta (felmért 2029 épület) arányának megfelelő számú elem került kiválasztásra. A homogenitást is épülettípusok szerinti rétegzéssel lehetett biztosítani, mert a típusokat meghatározó paramétereket a népszámlálási kérdőív azon információi alapján határoztam meg, amelyek energetikai szempontból legnagyobb jelentőséggel bírnak (az épület lakásszáma, építési éve, falazata, alapterülete). Mint már említettem, a rétegzés területileg is megtörtént, mégpedig megyei bontásban.

Kérdés volt, hogy a minta kiválasztása épületszám, lakásszám vagy alapterület arányosan történjen-e. Épületszám szerinti rétegzés esetén nagyon alacsony mintaszámok jöttek volna ki a társasház típusoknál, különösen a nagy társasházaknál, mivel az épület darabszámot tekintve az állomány 95,7%-át a családi házak teszik ki. Ez azért sem lett volna szerencsés, mert az abszolút energiafelhasználás sokkal inkább a lakásszámmal vagy az alapterülettel arányos, nem az épületszámmal. Végül a lakásszám szerinti rétegzés mellett született döntés. Bár az alapterület szerinti megközelítés is kellő mintaszámot biztosított volna, akkor is a családi házak javára tolódott volna el az arány azok nagyobb alapterülete miatt. A 7.1. táblázat bemutatja a háromféle megközelítés esetén adódó felmériendő darabszámokat. Az országos lakásszámokat a 7.1. ábra szemlélteti. Látható, hogy a lakásszám szerinti megközelítéssel lehet legjobban kiküszöbölni azt, hogy valamely épülettípusból túl alacsony mintaszám álljon elő. A 7.2. táblázat mutatja, hogy a felmért minta darabszámok és arányok hogyan alakulnak a teljes sokasághoz (népszámlálás szerinti teljes lakásszám) viszonyítva. Látható, hogy ha a minta darabszámokat összevetjük az országos lakásszámokkal, akkor az eltérés minden típusnál 1% alatt van.

A mintavételezés során kompromisszumot is kellett kötni. Ideális esetben a felmériendő épületek címlistájának összeállítása véletlenszerűen kellene hogy történjen, ez azonban jelentős többletköltségeket okozott volna a várhatóan magas válaszmegtagadási arány miatt. A felméréseket a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) és az ÉMI Minőségellenőrzési és Innovációs Nonprofit Kft. energiatanúsítói jogosultsággal rendelkező szakértői végezték. Az MMK, a szakértői által korábban kiállított tanúsítványok alapján össze tudott állítani egy címlistát, mely a típusok szerinti és területi rétegzésnek megfelel, így a felmérés leegyszerűsödött. Emiatt azonban a reprezentativitás némileg csorbult, mert koncentrált mintavételezés valósult meg, melyben a forgalomképes ingatlanok némileg felülreprezentáltak (tanúsítás általában adásvételkor történik). Megjegyzem azonban, hogy ez bizonyos szempontból nem probléma, hiszen a forgalomképtelen ingatlanok közül valószínűleg sok az elhagyott vagy a szabványostól nagyon eltérő használati profillal jellemezhető és a gazdaságosan fel nem újítható kategóriába esik. Ez a kör tehát modellezési szempontból nehezen kezelhető, eredménytorzító is lett volna.

7.1. táblázat: Felmérendő épületek számának megoszlása különböző megközelítésekkel [69]

Épület típusa	Felmérendő épületek száma az		
	épületek arányával	lakások számolva	alapterület
1. típus	143	90	80
2. típus	355	222	224
3. típus	172	122	131
4. típus	163	106	114
5. típus	419	261	286
6. típus	84	62	101
7. típus	193	120	137
8. típus	78	52	94
9. típus	152	95	105
10. típus	89	60	113
11. típus	40	25	28
12. típus	25	18	32
Családi házak összesen	1914	1232	1445
13. típus	11	39	29
14. típus	18	68	56
15. típus	6	22	20
16. típus	3	10	9
4 - 9 lakásos épületek összesen	38	139	114
17. típus	8	111	84
18. típus	12	127	85
19. típus	7	86	60
20. típus	9	153	104
21. típus	7	86	61
22. típus	3	41	30
23. típus	2	25	17
10 és több lakásos épületek	48	629	441
Összesen	2000	2000	2000



7.1. ábra: Országos lakásszámok épülettípusonként [146]

7.2. táblázat: A felmért minta összetétele és összevetése a népszámlálás adatokkal [69]

T í P u s	Minta előírás		Megvalósult minta		Népszámlálás		Népszámlálás		Eltérés a felmérés és a népszámlálás között	
	Felmérendő épületek		Felmért épületek		Lakóépületek		Az épületekben levő lakások		Lakóépület	Lakásszám
	száma	aránya	száma	aránya	száma	aránya	száma	aránya	aránya	
	db	%	db	%	db	%	db	%	%	
1	90	4,5	82	4	193458	7,2	195 670	4,5	3,1	0,4
2	222	11,1	212	10,4	479968	17,8	484 798	11,1	7,3	0,7
3	122	6,1	124	6,1	232109	8,6	266 912	6,1	2,5	0
4	106	5,3	105	5,2	220336	8,2	232 178	5,3	3	0,1
5	261	13	274	13,5	566419	21	569 326	13	7,5	-0,5
6	62	3,1	63	3,1	113547	4,2	134 494	3,1	1,1	0
7	120	6	116	5,7	260563	9,6	261 085	6	3,9	0,3
8	52	2,6	60	3	105833	3,9	113 278	2,6	1	-0,4
9	95	4,7	93	4,6	206005	7,6	206 838	4,7	3	0,2
10	60	3	68	3,4	119769	4,4	130 117	3	1,1	-0,4
11	25	1,2	28	1,4	53679	2	54 030	1,2	0,6	-0,1
12	18	0,9	24	1,2	33866	1,3	39 829	0,9	0,1	-0,3
13	39	1,9	35	1,7	15071	0,6	84 187	1,9	-1,2	0,2
14	68	3,4	76	3,7	24220	0,9	147 411	3,4	-2,8	-0,4
15	22	1,1	22	1,1	8140	0,3	48 074	1,1	-0,8	0
16	10	0,5	11	0,5	4175	0,2	22 720	0,5	-0,4	0
17	111	5,6	100	4,9	10226	0,4	242 287	5,6	-4,6	0,6
18	127	6,4	130	6,4	16831	0,6	277 402	6,4	-5,8	-0,1
19	86	4,3	87	4,3	9686	0,4	188 110	4,3	-3,9	0
20	153	7,7	160	7,9	12788	0,5	334 180	7,7	-7,4	-0,2
21	86	4,3	89	4,4	8803	0,3	188 121	4,3	-4,1	-0,1
22	41	2	43	2,1	4533	0,2	88 616	2	-2	-0,1
23	25	1,2	27	1,3	2158	0,1	54 091	1,2	-1,3	-0,1
Σ	2000	100	2029	100	2702183	100	4 363 754	100		

7.2. Területi rétegzés

A területi szempontú reprezentativitás biztosításához úgy került bekérésre a KSH-tól az adatbázis, hogy mind megyei, mind régiós, mind település-típus szerint is látható legyen a lakásszám és az épületszám típusok szerinti megoszlása. A területi rétegzésnél azt is figyelembe kellett venni, hogy a lakóépület típusok aránya területileg eltérő. Például a háború előtti nagytársasházak vagy a panelházak Budapestre és egyes nagyvárosokra jellemzőek, de vannak olyan megyék, ahol nem. Hasonlóan, bizonyos családi ház típusok nagyvárosokban nem, vagy csak kisebb súllyal fordulnak elő, míg falvakban meghatározó a jelentőségük. A 7.3. táblázat a megyék szerinti arányokat mutatja a felmért mintára és a teljes sokaságra (népszámlálás). A mintaszámokat összevetve a lakásszám szerinti népszámlálás adatokkal megállapítható, hogy az eltérés minden esetben csak néhány ezrelék. Ugyanilyen elhanyagolható eltérések tapasztalhatók régiós bontásban.

7.3. táblázat: A felmért minta összetétele megyei bontásban összevetve a népszámlálási adatokkal [69]

Megye	Előírt		Megvalósult		Népszámlálás			
	minta				Lakás		Épület	
	db	%	db	%	db	%	db	%
Budapest	414	20,7	417	20,6	903 567	20,7	190 072	7,0
Baranya	76	3,8	79	3,9	165 492	3,8	98 281	3,6
Bács-Kiskun	109	5,5	110	5,4	238 049	5,5	186 475	6,9
Békés	76	3,8	77	3,8	166 064	3,8	132 942	4,9
Borsod-Abaúj-Zemplén	130	6,5	110	5,4	282 759	6,5	193 530	7,2
Csongrád	88	4,4	90	4,4	191 945	4,4	122 265	4,5
Fejér	79	4,0	83	4,1	172 563	4,0	114 991	4,3
Győr-Moson-Sopron	86	4,3	99	4,9	187 251	4,3	118 760	4,4
Hajdú-Bihar	105	5,3	103	5,1	228 638	5,2	160 303	5,9
Heves	62	3,1	90	4,4	134 544	3,1	102 360	3,8
Komárom-Esztergom	58	2,9	58	2,9	126 064	2,9	74 967	2,8
Nógrád	41	2,1	30	1,5	88 835	2,0	69 168	2,6
Pest	214	10,7	210	10,3	466 536	10,7	380 661	14,1
Somogy	64	3,2	50	2,5	140 305	3,2	107 604	4,0
Szabolcs-Szatmár-Bereg	100	5,0	101	5,0	217 526	5,0	179 493	6,6
Jász-Nagykun-Szolnok	79	4,0	81	4,0	171 452	3,9	136 429	5,0
Tolna	45	2,3	62	3,1	97 595	2,2	76 136	2,8
Vas	50	2,5	53	2,6	109 553	2,5	73 708	2,7
Veszprém	68	3,4	67	3,3	148 680	3,4	99 161	3,7
Zala	58	2,9	59	2,9	126 336	2,9	84 877	3,1
Összesen	2000	100,0	2029	100,0	4 363 754	100,0	2702183	100,0

7.3. Helyszíni szemlék, számítások, épület adatbázis

A helyszíni felmérés részletesen kidolgozott protokoll szerint, minőségbiztosítási elemek alkalmazásával történt. A 2029 épület felmérését a Magyar Mérnöki Kamaránál és Magyar Építész Kamaránál TÉ vagy SZÉS-6 jogosultsággal [147] rendelkező energiatanúsító szakértők végezték. Megyei csoportvezetőként sok éves tanúsítói vagy auditori tapasztalattal rendelkező szakértők koordinálták és ellenőrizték a szakértők munkáját. A szakértőknek nem csak adatgyűjtés volt a feladatuk, hanem el is készítették az energetikai számításokat minden épületre. A TÉ jogosultság a 7/2006. (V.24.) TNM rendelet [1] szerinti számításra jogosít, ami az energiatanúsításhoz előírt hivatalos módszer. Ezért ésszerű volt ezt a számítási módszert előírni. Ennél egyszerűbb módszer a pontosság rovására ment volna, részletesebb módszerhez pedig nem lehetett volna kellő számú megfelelően képzett szakember bázist biztosítani. A felmért nyers adatok alapján más, nemzetközi szabványok szerinti számítások is elvégezhetők, de csak bizonyos egyszerűsítésekkel.

A számításokat a WinWatt Gólya 2015-ben frissített verziójával szoftverrel végezték a szakértők. A szoftverfejlesztő külön az adatfeldolgozás céljából fejlesztett egy adatexportálási funkciót, mellyel a számítás minden, a további feldolgozáshoz szükséges bemenő és kimenő adata egy xml file-ba menthető. Az exportálandó adatok körét az adatbázisra épülő modellalkotás és elemzések adatigényét figyelembe véve határoztuk meg. A WinWatt adatexport mellett további adatgyűjtéseket is végeztek a szakértők a helyszínen. Ezekre a

kiegészítő adatokra a típusba soroláshoz vagy a modellalkotás szempontjából volt szükség. Ezek közül a fontosabbak a következők:

- tipológiai besoroláshoz szükséges és kapcsolódó adatok: építési év, az építési technológia, szintszám, lakásszám;
- kiegészítő adatok: egyéb funkciójú terek (pl. üzletek) térfogataránya (teljes légtérfogat), lakók becsült száma, épület állapota, műemléki védettség, beépítés jellege (pl. zárt sorú, szabadon álló);
- már elvégzett korszerűsítésekre vonatkozó adatok szerkezet típusonként (pl. utólagos hőszigetelés vastagsága, szigetelt felület aránya);
- egyes korszerűsítési technológiák alkalmazhatósága (pl. talajhő hasznosítás feltételei, fatüzelés logisztikai feltételei)
- a napenergia hasznosítás szempontjából hasznosítható tetőfelülethez szükséges adatok (tetőtípus, benapozott, megfelelő tájolású és lejtésű felületek).

Az adatbekérő (terjedelmi okokból) rövidített változatát az 1. Melléklet mutatja be. Kifejlesztésre került egy épületnyilvántartó adatbázis kezelő rendszer (ún. NÉER2 rendszer), ide töltötték fel a szakértők az xml file-okat és adták meg a kiegészítő adatokat. Valamennyi adathoz pontosan definiáltam a szükséges formátumot, bizonyos értékeknél ellenőrzési tartományt, melyből kieső értéket nem fogadott el a rendszer. Nem számszerű adatok esetén a szakértők általam összeállított legördülő listából választhattak az egyértelműség biztosítása és a feldolgozás egyszerűsítése érdekében. A kérdésekhez prioritás szinteket rendeltem, megkülönböztetve a kötelezően kitöltendő, a feltételesen kitöltendő (másik kérdésre adott választól függővé téve) és az opcionális eseteket.

Hangsúlyozni kell, hogy a felmérések egész épületekre vonatkoztak, nem pedig lakóegységek felmérésére. Ez azért volt fontos, mert a modellezés során is egész épületekben kellett gondolkodni, ahol lakóegységre vonatkozó adatok nem szolgáltatott volna megbízható információkat. Az épület, mint egész tekinthető csak energetikai egységnek.

Az adatkezelő rendszerbe feltöltött adatok egy MS Excel adatbázisba kerültek leszűrésre. Az épületenként összesen 398 adatot tartalmazó adathalmaz túlnyomó részét a modellépítés során figyelembe vettem.

7.4. Adattisztítás és feldolgozás

7.4.1. Adatellenőrzés és szűrés

Az épületfelméréseket több mint 100 szakértő végezte. Ugyan a megyei koordinátorok biztosítottak már minőségi kontrollt, egy második ellenőrzési szintet is beépítettem a folyamatba. Azon adatoknál, ahol ez indokolt volt, definiáltam reális érték tartományokat, és a kiugró értékeket az adott mutató további statisztikai feldolgozásánál nem vettem figyelembe (nem az egész épület került kiszűrésre, csak az épület adott mutatója). A szűrés egyik típusaként összetartozó adatok (pl. alapterület, fűtött alapterület) egymással összevetésre kerültek ellenőrizendő, hogy a reláció megfelelő-e (alapterület > fűtött alapterület). Más esetekben fajlagos értékek (pl. felület-térfogat arány, fajlagos hőveszteség tényező, összesített energetikai jellemző) szűrése történt meg, mérnöki gyakorlatból megállapított határértékeket tételezve fel.

7.4.2. Statisztikai és valószínűségelméleti megfontolások

Az épületállomány energiafelhasználása felhasználási cél szerint is és összesítve is egy sokparaméteres valószínűségi modellen, valószínűségelméleti eszközökkel az időbeliség miatt sztochasztikus folyamatként vizsgálható. Az időpontot illetve egy időintervallumot rögzítve a

folyamat stacionáriussá válik és valószínűségi változók eloszlási függvényeinek meghatározására egyszerűsödik.

A tipológiai mátrix elemei, mint a lakásállomány, az építés módja, időpontja, a szerkezetek és az épületgépészeti rendszer hőtechnikai, energetikai minősége, stb. szerint homogénizált részhalmazain az energiafelhasználás vizsgált paraméterei már szűkebb spektrumú valószínűségi változók. Ezeknek a valószínűségi változóknak a paraméterei – várható érték és szórás, továbbá a valószínűségeloszlási függvény típusa, mintavétellel, a minta matematikai statisztikai feldolgozásával történt.

A mátrix meghatározott valószínűségi paraméterei adják a mátrix elemek és a teljes sokaság valószínűségi változóinak a becslését.

A valószínűségi tárgyalás mód a lakásállományra és az energiafelhasználásra vonatkozó ismeretének hiányosságából adódtak.

Ismerethiány ill. hiba jelentkezik az alábbiakból:

- a népszámlálási adatfelvétel bizonytalansága és hibái
- a kismintás épületfelmérés bizonytalansága és hibái (pl. szakértők által vétett hibák)
- az adatközlési nyilatkozatok szándékos, vagy véletlen hibái
- a tipológiai mintákhoz kapcsolódó adatfelvételek pontatlanságai
- a mintaelemek felvételével kapcsolatos matematikailag inadekvát leképezés, a mintaelem nagysága, terjedelme, stb.

Természetesen a célkitűzések megvalósítása nem történhet másképpen, mint az ismertett mintafelvételes eljárással. A teljes lakásállomány energiafelhasználási jellemzőinek megismerése csak reprezentatív adatfelvétellel valósítható meg.

A matematikai módszer adja azt a lehetőséget, hogy a teljes sokaság és a mintasokaság izomorfiaját valószínűségelméleti értelemben szignifikánsan becsült hibával érjük el. A két sokaság valószínűségelméleti értelemben identikus, ha momentumaik becsült hibahatáron belül megegyeznek és a valószínűségeloszlási függvényeik azonosak.

Az értekezésben 23 épülettípus adatfelvételéhez képeztem mintasokaságot. Meghatároztam becsülő jelleggel a valószínűségi paramétereket és illeszkedési vizsgálatot (próbát) végeztem az EasyFit 5.6 szoftver segítségével, és kiválasztottam a legjobban illeszkedő valószínűségeloszlási függvényt, ami a legkisebb hibával írja le az épülettípusok energiafelhasználási jellemzőit. A valószínűségi változók egyesítésével a teljes lakásállomány hőtechnikai paramétereiről és energiafelhasználási jellemzőiről nyerünk információt.

Mind a 7.4.7. fejezetben ismertett modellezési adattáblák bemeneti adatai, mind a 8.8. fejezetben ismertett, felmért állapotra vonatkozó eredmények, a statisztikai minta eredményhalmazának valószínűségelméleti leírásán alapulnak. A modellezett épülettípusok bemeneti paraméterei és a számított indikátorok az illeszkedésvizsgálatok alapján normális vagy Weibull eloszlást mutatnak. A típust jellemző érték a várható értékkel, spektrumuk a minta szórásával jellemezhető. A sokaság várható értékét minden típusnál a minta átlagával közelíttem. Az eredő eloszlás, bizonyítva a valószínűségelmélet centrális határeloszlás tételét, konvergál a normális eloszláshoz.

7.4.3. Típusokra jellemző számszerű mutatók meghatározása

Az előző pontban ismertett megfontolások alapján meghatároztam épülettípusonként a számszerű bemenő adatok (pl. homlokzati felület, hőátbocsátási tényezők, nyílászárók keretaránya) és számított részeredmények (pl. A/V arány, fajlagos hőveszteség tényező,

szakaszos üzem korrekciós szorzó, használati melegvíz fajlagos primer energiaigénye) átlagát, szórását és módusát.

7.4.4. Épületgépészeti jellemzők kiértékelése

Az épületgépészeti jellemzők meghatározásánál az előbbi eljárás nem volt alkalmazható, hiszen a további modellezéshez nem elsősorban a számszerű mutatókra (hatásfokok, veszteségek), hanem az alkalmazott műszaki megoldásokra, rendszerem típusokra (pl. hőtermelő típusa), energiahordozó fajtára volt szükség. Ezeket az adatokat listaelemekből választható adatként választhatták ki a szakértők. Meghatároztam az ilyen típusú adatok listaelemenkénti megoszlását és gyakoriság szerint rendeztem sorba azokat.

7.4.5. A szerkezeti- és rendszeremek állapota és korszerűsítési lehetőségei

Hasonlóan jártam el a szerkezetek és a gépészeti rendszerek állapotfelmérésére vonatkozó kérdések kapcsán. A szakértők a helyszínen megállapították, hogy az egyes komponensek milyen állapotban vannak, milyen tulajdonságokkal bírnak. Továbbá számos kérdés volt hivatott azt vizsgálni, hogy egyes korszerűsítési megoldások alkalmazási feltételei biztosítottak-e az adott épületben.

7.4.6. Eredeti állapot értékelése

Ezután összeállítottam épülettípusonként egy összefoglaló adatlapot az épületfelmérések eredményeiről. Ezek tartalmazzák a típus átlagos, az eredeti állapotra vonatkozó geometriai, hőtechnikai, minőségi jellemzőit, valamint számított energetikai mutatóit. Ezek képezték az eredeti állapot értékelésének alapját, amit a 8. fejezet mutat be.

7.4.7. Modellezési adattáblák

Ezután épülettípusonként összeállítottam a modellezéshez szükséges adattáblákat. Ezek az adattáblák tartalmazzák valamennyi bemenő adatot, ami a modell felépítéséhez szükséges, viszont mást nem, tehát ez az adattábla nem azonos a 7.4.6. pontban ismertetettel. A számszerű bemenő adatok esetén mindenkor az egyes típusokhoz tartozó felmért épületek adatainak átlagértéke adta a modellszámítás bemenő adatát. A listászerű bemenő adatok esetén általában a leggyakoribb értéket alkalmaztam a modellépítés során, amit részletesebben a 3.3. fejezet tárgyal.

Ennél kissé összetettebb volt a fűtési és HMV energiahordozó, illetve hőtermelő kiválasztása, ahol összetettebb mérlegelésre volt szükség. Előfordult ugyanis olyan eset, hogy a leggyakoribb energiahordozó a földgáz volt, a leggyakoribb hőtermelő típus viszont fatüzelésű kályha. Ennek oka az volt, hogy a földgáz megoszlott a második és harmadik leggyakoribb hőtermelő között. Ilyen esetekben egyedi mérlegelésre volt szükség.

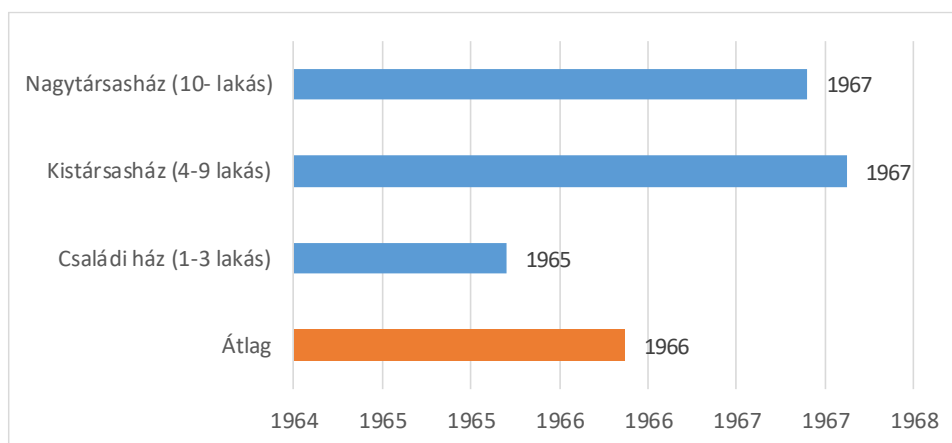
Ez a modellezéshez készült adattábla tartalmaz kontroll adatokat is. Ezek olyan számítási (rész)eredmények (pl. fajlagos hővesztés tényező, összesített energetikai jellemző, A/V arány), melyek az adott típus esetén a felmérési mintaátlag értékére adódtak. Ezeket a modellezés után összevettem a modellezés eredményével mintegy ellenőrizendő, hogy a modell kellően jól jellemzi-e a sokaságot.

8. Az épülettípusok energetikai állapotának értékelése

A 8.1. fejezetben áttekintem a felmérések eredményeit egyelőre csak az épületek geometriai és épületfizikai tulajdonságai, állapota, a gépészet jellemzői és a felújítási lehetőségek tekintetében. A számított hőtechnikai és energetikai mutatókat a 8.2. fejezet ismerteti a típusépület modellekre végzett számítási eredményekkel együtt.

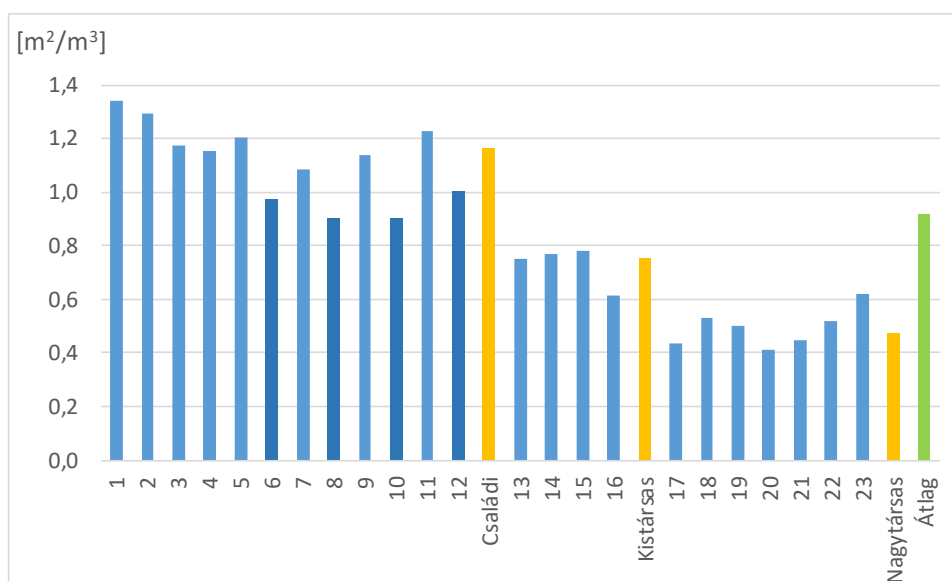
Az egyes típusokra vonatkozó számértékek a típusból felmért épületek számértékeinek átlaga (meghatároztam a módusz és a szórás is minden esetben), hiszen a cél a típusra jellemző sokaság átlagos tulajdonságainak meghatározása volt. A táblázatokon és diagramokon feltüntetett „átlag” sor vagy oszlop (általában az utolsó) az épülettípusokra kapott átlagértékek országos lakásszámmal súlyozott átlagát kell érteni. Értelemszerűen a családi- és társasházakra vonatkozó átlagok is lakásszámmal súlyozott értékek.

A felmért épületek átlagos építési ideje 1966, a családi és társasházak átlagos kora alig különbözik egymástól (8.1. ábra). Erről az előregedett, több mint fél évszázados lakóépület-állományról előre vetíthető, hogy az országos energiafelhasználásban az új, korszerűbb épületek súlya csekély lesz, és még jó ideig fogja meghatározni a szektoriális energiafogyasztást, hogy hogyan kezeljük a meglévő épületeinket.

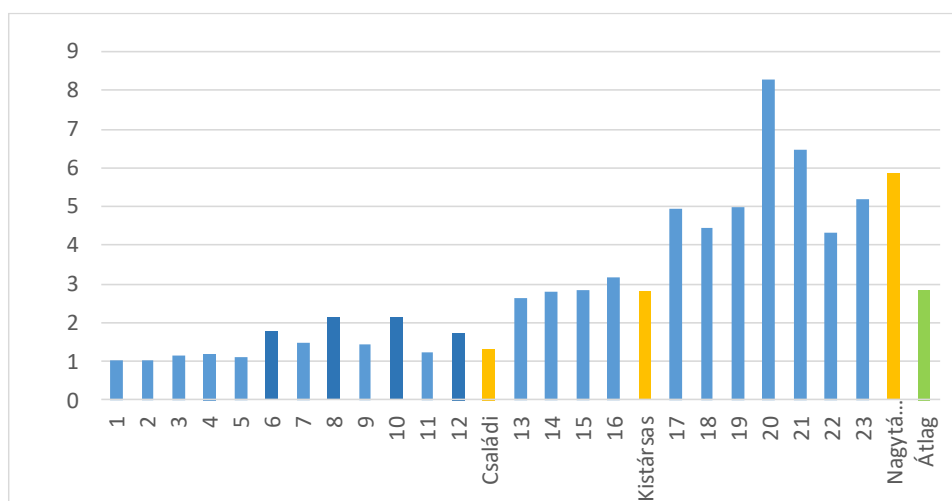


8.1. ábra: Átlagos építési év

A felmért épületek felület-térfogat arányát (A/V) mutatja a 8.2. ábra. Az értékek egyértelműen visszaigazolják, hogy a nagyobb épületek felület-térfogat aránya kisebb: a legalacsonyabb értékkel a nagytársasházak bírnak, a legnagyobbakkal pedig a családi házak. A nagytársasházakra vonatkozó átlag 59%-kal alacsonyabb, mint a családi házak átlagértéke. Ennek jelentősége igen nagy, hiszen az A/V arányos a transzmissziós veszteségekkel. A családi háztípusokon belül sötétebb szín mutatja a 120 m^2 feletti típusokat. Ezek a tőlük balra levő típusoktól csak méretben különböznek. Megállapítható itt is, hogy minden esetben alacsonyabb a nagyobb épületek A/V értéke. Az eltérés mértéke is jelentős, 16 és 20% közé esik, ami visszaigazolja azt, hogy érdemes volt méret szerinti kategória szétválasztást alkalmazni. Ha ezekre a típusokra megnézzük az átlagos szintszámokat (8.3. ábra) látható, hogy a 120 m^2 feletti családi háztípusok (6., 8., 10. és 12.) típusok szintszáma a kettes értékhez esik közel, míg azonos korú párjaik (5., 7., 9. és 11.) inkább egyszintesek, tehát a négyzetméter határ jól lett megválasztva.



8.2. ábra: Felület-térfogat arány (A/V)



8.3. ábra: Átlagos szintszám

8.1. Felújítottság

A felmérés egyik célja az volt, hogy képet kapjunk a felújítottság mértékéről. Felmérésre került a külső határoló szerkezetek hőszigeteltsége, a nyílászárók lecserélésének ténye, a fűtési és a HMV rendszer állapota. Utóbbi két esetben az épületgépészeti rendszer elemek rövidebb (20-30 éves) várható élettartama (ld. a rendszerelemek élettartamáról a [148] szabvány D mellékletét) miatt nem volt valószínűsíthető, hogy a régebbi (elsősorban az 1990 előtti) típusok esetén eredeti rendszerek nagy számban előforduljanak, így ott csak az állapot került felmérésre. A fűtési és HMV rendszerekre vonatkozó felmérés eredményét a 8.4. és 8.5. pont ismerteti. Az eredmények 2015-ös állapotot tükröznek.

Az eredményeket a 8.1. táblázat foglalja össze. Összességében a felújítottság mértéke nem számottevő, a külső falak 10,2%-a, a padlásfödémek 7,2%-a, a pincefödémek 3,9%-a került utólagosan hőszigetelésre. A nyílászárók 19,8%-át cserélték ki. A beépített tetőteret határoló magastetőre és a lapostetőre kapott eredmények egyes típusokra meglehetősen kedvezőtlenek lehetnek, mert egyes típusokra kevésbé voltak jellemzőek ezen szerkezetek, ami alacsony esetszámot jelent. Például a 3. típusnál a lapostetők 33,3%-a volt felújítva, ami kiugró érték, de a felmért ilyen típusú épületek mindössze 7,3%-nál (9 db épületnél) fordult elő egyáltalán lapostető (az

előfordulási arányhoz ld. a 8.3. táblázatot). A 2006. óta épült épületeket kivettük a vizsgálatból, hiszen újszerű épületekről van szó, ahol a felújítás nem indokolt, így az eredmények nehezen értelmezhetők.

Nincs számottevő eltérés a családi, kis- és nagytársas házak között. Az iparosított technológiával létesített épületek esetén valamivel magasabbak a felújítottsági számok, különösen a nyílászárók tekintetében (19., 20., 21. típusok), de az érték itt sem haladja meg a 40%-ot.

8.1. táblázat: Utólagosan hőszigetelt (nyílászárók esetén kicserélt) szerkezetek aránya

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Családi ház (1-3 lakás)	
Külső fal	2,4%	1,4%	13,1%	12,4%	11,0%	19,0%	17,2%	25,0%	12,9%	7,4%	-	-	10,2%	
Padlásfödém	1,2%	4,8%	14,0%	13,1%	8,1%	11,3%	12,4%	11,1%	9,3%	10,0%	-	-	8,6%	
Lapostető	0,0%	0,0%	33,3%	25,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-	-	8,1%	
Beépített tetőteret határoló magastető	0,0%	33,3%	46,7%	33,3%	33,3%	20,0%	22,2%	8,9%	0,0%	7,7%	-	-	24,5%	
Pincefödém	0,0%	0,0%	7,3%	0,0%	2,5%	13,0%	9,3%	7,7%	0,0%	5,0%	-	-	3,4%	
Ablak (fa és PVC) adatok	8,4%	15,1%	25,2%	22,9%	18,6%	19,0%	22,4%	28,3%	8,6%	8,8%	-	-	17,2%	
	13	14	15	16	Kis társasház (4-9 lakás)	17	18	19	20	21	22	23	Nagy társasház (10- lakás)	Átlag (összes lakás)
Külső fal	2,9%	11,8%	0,0%	-	6,6%	1,0%	10,0%	14,0%	18,8%	9,1%	-	-	10,2%	10,0%
Padlásfödém	6,7%	8,7%	0,0%	-	6,1%	0,0%	2,7%	0,0%	16,7%	0,0%	-	-	4,6%	7,2%
Lapostető	0,0%	6,5%	0,0%	-	3,1%	4,3%	6,6%	17,9%	15,4%	8,0%	-	-	9,4%	8,2%
Beépített tetőteret határoló magastető	20,0%	5,6%	0,0%	-	8,3%	35,0%	7,7%	33,3%	0,0%	10,0%	-	-	14,0%	20,1%
Pincefödém	0,0%	0,0%	0,0%	-	0,0%	0,0%	1,1%	6,7%	14,0%	6,9%	-	-	5,8%	3,9%
Ablak (fa és PVC) adatok	22,9%	26,3%	4,5%	-	19,9%	4,0%	33,1%	33,3%	40,0%	22,5%	-	-	24,9%	19,8%

8.1.1. Összevetés más felmérések eredményeivel

A lakóépület-állomány felújítottságát több felmérés is vizsgálta, melyek eredményeit a 8.2. táblázat hasonlítja össze. Jelen felmérésre a „KEOP” oszlop vonatkozik.

A Negajoule tanulmány [63], a MEHI tanulmányok [5], [149] és a KSH mikrocenzus lakossági adatszolgáltatáson, kérdőíves felméréseken alapulnak, míg az ÉMI (NÉES) [66] és a KEOP felmérés szakértői adatfelvételeken, de csak a KEOP felmérés során mentek ki a helyszínre a vizsgálatot végző szakértők. Az ÉMI (NÉES) felmérés a ZBR (Zöld Beruházási Rendszer) és a KEOP pályázati adatbázisai, valamint a VÁTI által gyűjtött tanúsítványok alapján készült, tehát ez közvetett vizsgálatnak tekinthető. Valamennyi felmérés nagyjából 2000 épületre vonatkozó adatfelvételen alapul. Mégis, a táblázatból látható, hogy az adatok nehezen összehasonlíthatók, mert az egyes felmérések fókuszja nem volt azonos. Az ÉMI (NÉES) [66] felmérés eredményei ugyan tág határok közti eredményeket adnak, de előnye, szemben a többi vizsgálattal, hogy külön kezelte a teljes és részleges felújításokat (pl. csak az ablakok egy részét cserélték, vagy az összeset). A KEOP felmérés teljes felújításokra vonatkozik, a többi tanulmányban ez a kérdés nem tisztázott. Valószínűleg ez az oka annak, hogy a KEOP felmérés számai a legkonzervatívabbak. A KEOP felmérés kivételével minden kutatás összevontan kezelte a különböző határoló szerkezetek hőszigetelését, ami szintén megnehezíti az összehasonlítást.

Összességében a látszat ellenére a felmérések nem mondanak egymásnak ellent, az eltérések a módszertani heterogenitással indokolhatók.

Érdekes kérdés, hogy a felmérés óta eltelt időszakban vajon történt-e számottevő változás, tekintettel arra, hogy az energiahatékonyság jelentősége a szemléletformáló intézkedések hatására felértékelődött, illetve bizonyos támogatási források is rendelkezésre álltak. A MEHI megbízásából a Publicus Kft. 2020-ban végzett egy reprezentatív felmérést [5], 2021-es mintaszámmal arról, hogy milyen energetikai korszerűsítések valósultak meg a megelőző 5 évben és mit terveznek a következő 5 évben. A lakosság 57%-a végzett valamilyen energetika felújítást az elmúlt 5 évben. 2016-ban egy azonos módszertannal végzett felmérés 41%-os eredményt adott ugyanerre a kérdésre. A beruházások mintegy háromnegyede egyedi intézkedés volt, mindössze egynegyede tartalmazott legalább kétféle intézkedést. A mikroczensus és a 2016-os MEHI felmérés eredményének meglehetősen kis különbségéből az látszik, hogy a korszerűsítések az elmúlt időszakban jelentősen felgyorsultak. Ugyanakkor, mint az majd a 10.2.1. pontból kiderül, ezek a viszonylag magasnak tűnő számok megtévesztőek, a felújítások döntő többsége részlegesnek tekinthető. Megjegyzem, hogy a MEHI 2021 [5] felmérés során is felhasználták a 6.2. fejezetben ismertetett tipológiát.

8.2. táblázat: A lakóépületek felújítottságára vonatkozó felmérések eredményei

		Negajoule	ÉMI (NÉES)	KEOP	KSH mikroczensus	MEHI 2016	MEHI 2021
Adatfelvétel		2011	2012	2015	2016	2016	2020
Időtáv		2011-ig	2012-ig	2015-ig	elmúlt 10 év	elmúlt 5 év	elmúlt 5 év
Hőszigetelés	családi	23%	T: 5-30% R: 5-60%	külső fal: 10,2% magastető: 24,5% padlásfödém: 8,6%	23%	17%	21%
	társas	21%	-	külső fal: 7,0% magastető: 17,2%			
	panel	39%	T: 20% R: 50%	külső fal: 15,3% lapostető: 12,8%			
Fűtéskorszerűsítés	családi	13%	-	hőtermelő jó állapotú: 37,9%	17%	13% (fűtési hőterm. csere)	6% (fűtési hőterm. csere)
	társas	20%	-	hőtermelő jó állapotú: 36,7%			
	panel	19%	-	-			
Nyílászáró csere	családi	21%	27-75%	17,2%	38%	31%	37%
	társas	33%	40-50%	19,6%			
	panel	39%	20-50%	33,7%			

8.2. Határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezői

A különböző határoló szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezőit (U-értékek) típusonkénti bontásban foglalja össze a 8.3. táblázat, melyben feltüntettem azt is, hogy az adott szerkezet milyen arányban fordult elő a típushoz tartozó mintában. Ahol ez az arány alacsony, az eredmény fenntartással kezelendő.

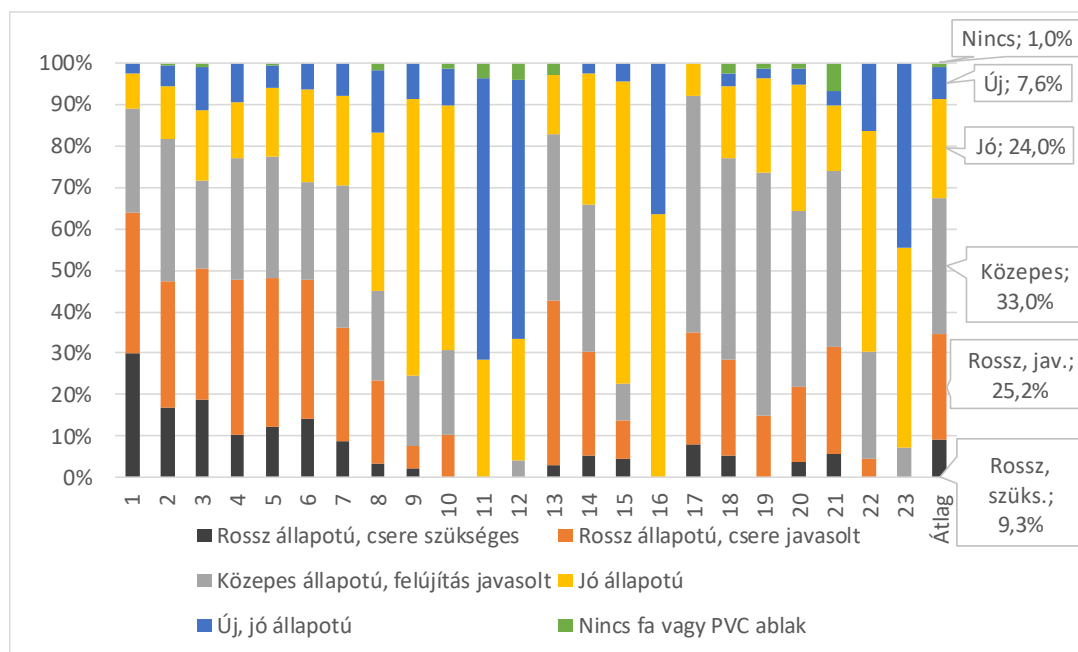
Külön kezelt a típuson belül már felújított és nem felújított szerkezeti elemek hőátbocsátási tényezője, mert a modellezéshez a felújítatlan szerkezetekre jellemző értékre volt szükség. Tekintettel arra, hogy a felújítottsági arány általában nem túl magas vagy kifejezetten alacsony, a kis esetszámok miatt a felújított szerkezetek átlagos U-értékei ennek figyelembevételével, szintén fenntartással kezelendők. Ahol az előfordulási arány nagyon alacsony vagy nulla volt, szándékosan fel sincs tüntetve az eredmény (N/A-val jelölve).

8.3. táblázat: Határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezői

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Családi ház (1-3 lakás)	13	14	15	16	Kistérségi ház (4-9 lakás)	17	18	19	20	21	22	23	Nagy társasház (10- lakás)	Átlag
Külső fal																												
Utólagosan szigetelt esetek %-os aránya		2,4%	1,4%	13,1%	12,4%	11,0%	19,0%	17,2%	25,0%	12,9%	7,4%	0,0%	4,2%	10,2%	2,9%	11,8%	0,0%	0,0%	6,6%	1,0%	10,0%	14,0%	18,8%	9,1%	4,7%	0,0%	10,2%	10,0%
Szigetetlen: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	1,12	1,13	1,33	1,32	1,26	1,21	1,10	1,01	0,62	0,52	0,29	0,36	1,09	1,25	1,14	0,67	0,35	1,03	1,23	1,27	1,26	1,14	0,96	0,53	0,40	1,11	1,09
Szigetelt: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	0,64	0,39	0,51	0,45	0,53	0,50	0,51	0,41	0,38	0,34	N/A	0,25		0,47	0,53	N/A	N/A		0,79	0,49	0,42	0,35	0,31	0,35	N/A		
Padlásfödém																												
Szerkezet típus előfordulási gyakorisága		100,0%	98,6%	92,7%	94,3%	94,2%	84,1%	90,5%	90,0%	92,5%	88,2%	89,3%	91,7%	93,7%	85,7%	60,5%	81,8%	81,8%	72,5%	81,0%	28,5%	4,6%	3,8%	12,4%	65,1%	40,7%	29,1%	71,9%
Utólagosan szigetelt esetek %-os aránya		1,2%	4,8%	14,0%	13,1%	8,1%	11,3%	12,4%	11,1%	9,3%	10,0%	0,0%	0,0%	8,6%	6,7%	8,7%	0,0%	0,0%	6,1%	0,0%	2,7%	0,0%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	4,6%	7,2%
Szigetetlen: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	1,08	1,01	1,00	0,93	1,00	0,92	0,96	0,51	0,44	0,38	0,25	0,23	0,87	0,97	0,92	0,32	0,19	0,78	0,70	0,91	0,69	1,02	0,62	0,40	0,32	0,77	0,84
Szigetelt: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	0,15	0,30	0,33	0,46	0,35	0,39	0,36	0,44	0,31	0,14	N/A	N/A		0,26	0,64	N/A	N/A		0,00	0,31	N/A	0,37	N/A	N/A	N/A		
Lapostető																												
Szerkezet típus előfordulási gyakorisága		1,2%	0,5%	7,3%	3,8%	2,9%	15,9%	4,3%	23,3%	6,5%	13,2%	7,1%	16,7%	5,6%	20,0%	40,8%	13,6%	45,5%	31,0%	23,0%	70,0%	96,6%	93,1%	84,3%	32,6%	66,7%	70,4%	27,7%
Utólagosan szigetelt esetek %-os aránya		0,0%	0,0%	33,3%	25,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,1%	0,0%	6,5%	0,0%	0,0%	3,1%	4,3%	6,6%	17,9%	15,4%	8,0%	0,0%	0,0%	9,4%	8,2%
Szigetetlen: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	0,48	0,18	0,72	3,07	1,48	0,99	2,12	1,01	0,46	0,70	0,29	0,18	1,09	0,64	0,93	0,56	0,24	0,74	1,05	0,97	0,77	0,60	0,52	0,34	0,25	0,74	0,96
Szigetelt: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	N/A	N/A	0,33	0,39	0,26	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		N/A	0,29	N/A	N/A		0,00	0,23	0,23	0,25	0,20	N/A	N/A		
Beépített tetőteret határoló magastető																												
Szerkezet típus előfordulási gyakorisága		2,4%	1,4%	12,2%	11,4%	9,9%	39,7%	31,0%	75,0%	35,5%	76,5%	17,9%	41,7%	20,3%	14,3%	23,7%	63,6%	72,7%	31,1%	20,0%	10,0%	3,4%	0,6%	11,2%	81,4%	48,1%	14,9%	19,3%
Utólagosan szigetelt esetek %-os aránya		0,0%	33,3%	46,7%	33,3%	33,3%	20,0%	22,2%	8,9%	0,0%	7,7%	0,0%	0,0%	24,5%	20,0%	5,6%	0,0%	0,0%	8,3%	35,0%	7,7%	33,3%	0,0%	10,0%	0,0%	7,7%	14,0%	20,1%
Szigetetlen: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	1,03	0,00	0,94	0,65	0,42	0,32	0,35	0,41	0,29	0,30	0,32	0,27	0,43	N/A	0,89	0,28	0,18	0,49	0,59	0,33	0,35	0,56	0,33	0,31	0,23	0,43	0,43
Szigetelt: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	N/A	0,54	0,28	0,32	0,29	0,29	0,25	0,22	N/A	0,17	N/A	N/A	0,27	0,22	0,44	N/A	N/A	0,28	0,27	0,26	0,28	N/A	0,30	N/A	0,12	0,18	0,24
Pincefödém																												
Szerkezet típus előfordulási gyakorisága		2,4%	10,4%	33,3%	27,6%	29,2%	36,5%	37,1%	65,0%	21,5%	29,4%	17,9%	0,0%	25,5%	54,3%	55,3%	13,6%	27,3%	46,3%	90,0%	67,7%	51,7%	62,5%	65,2%	41,9%	55,6%	65,7%	39,6%
Utólagosan szigetelt esetek %-os aránya		0,0%	0,0%	7,3%	0,0%	2,5%	13,0%	9,3%	7,7%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	6,7%	14,0%	6,9%	0,0%	6,7%	5,8%	3,9%
Szigetetlen: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	1,85	1,15	1,21	1,15	1,31	1,29	1,22	0,96	0,86	0,68	0,78	0,00	1,18	1,28	1,00	0,76	0,53	1,00	0,79	1,08	1,20	1,09	1,20	0,43	0,35	0,99	1,11
Szigetelt: Felülettel súlyozott átlagos rétegtervi U	W/m ² K	N/A	N/A	0,68	N/A	0,52	0,71	0,53	0,69	N/A	0,60	N/A	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A		N/A	0,43	0,35	0,62	0,56	N/A	0,73		
Ablak (fa és PVC) adatok																												
Utólag cserélt nyílászárók aránya		8,4%	15,1%	25,2%	22,9%	18,6%	19,0%	22,4%	28,3%	8,6%	8,8%	0,0%	0,0%	17,2%	22,9%	26,3%	4,5%	0,0%	19,9%	4,0%	33,1%	33,3%	40,0%	22,5%	0,0%	3,7%	24,9%	19,8%
Nem cserélt: Átlagos hőátbocsátási tényező		3,18	3,05	3,01	2,98	2,83	2,61	2,68	2,40	1,81	1,98	1,34	1,42		2,75	2,45	2,01	1,42		2,64	2,61	2,66	3,05	2,55	1,89	1,40		

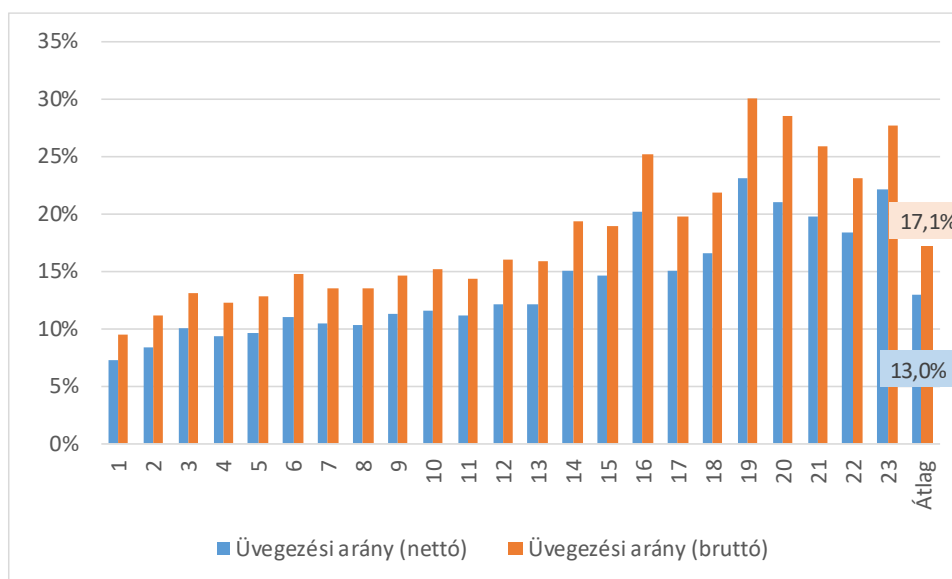
8.3. Nyílászárók, árnyékolók

A nyílászárók legfontosabb mutatójával, a hőátbocsátási tényezővel az előző pont foglalkozik. Felmérésre kerültek azonban további tulajdonságok is (pl. geometriai méretek, g-értékek). Bár a nyílászárócserékkel már korábban foglalkoztam, általános állapotukról részletesebb képet ad a 8.4. ábra, melyből az derül ki, hogy átlagosan a lakások mintegy harmadában állapotuk jó, harmadában közepes, harmadában szorul cserére. Ez utóbbi csoport az, ahol a csere hőtechnikai megfontolások nélkül is indokolt.



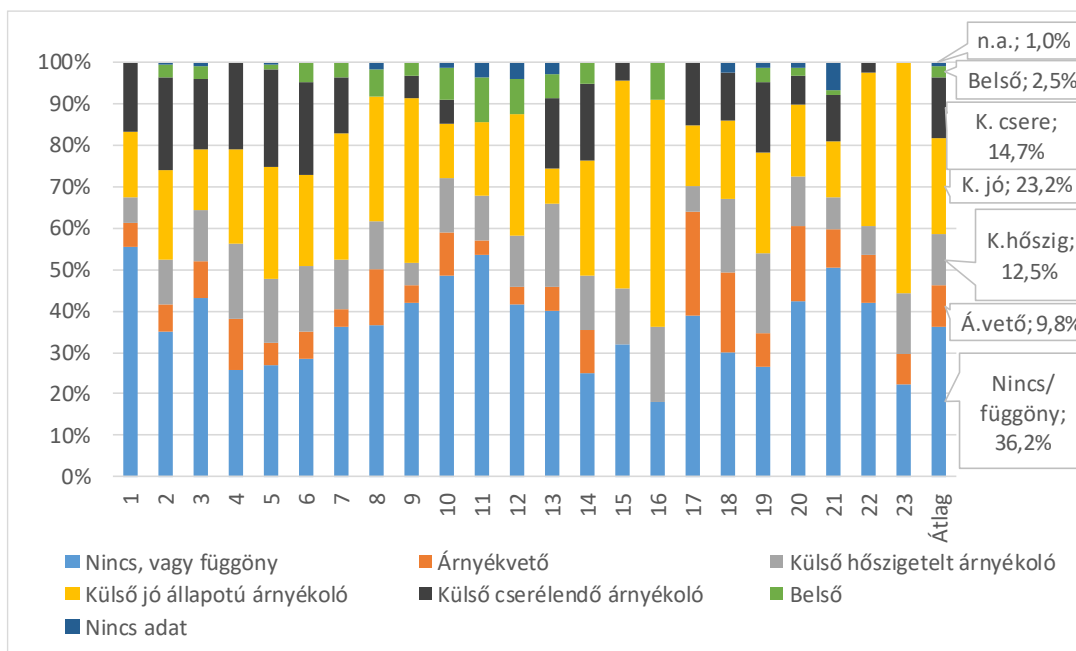
8.4. ábra: Ablakok (fa vagy PVC) állapota

A nyílászárók üvegezési aránya jelentős hatást gyakorol a korszerűsítések beruházási költségére, a hűtési és fűtési igényekre egyaránt (8.5. ábra). Értéke családi házakra kisebb (9-17%), társasházakra nagyobb (16-30%). A legmagasabb értékek az újabb és az iparosított technológiával létesített épületekhez tartoznak.

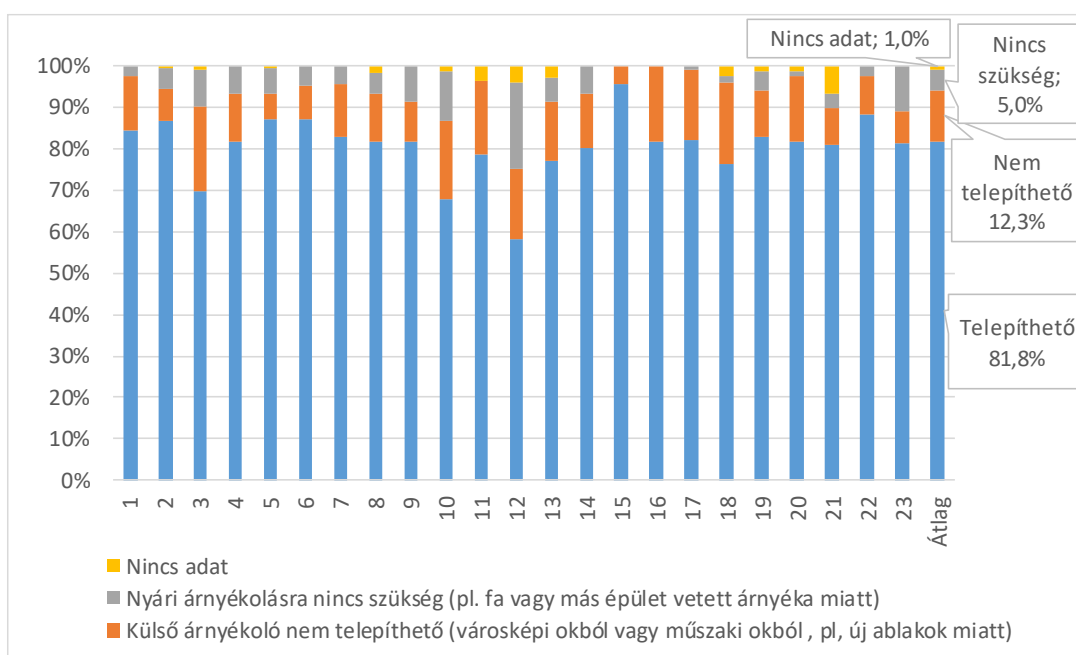


8.5. ábra: Üvegezési arányok nettó üvegfelületre és bruttó ablakfelületre vetítve

A lakóegységek mintegy 36%-a legfeljebb függőnyel árnyékol, 45%-uk hatékonynak tekinthető árnyékolóval vagy árnyékvető építészeti elemmel, tagozattal rendelkezik (pl. erkély, veranda). A többi (19%) esetben van ugyan árnyékoló, de cserére szorul vagy nem túl hatékony (8.6. ábra). A helyzet különösen rossz a panelépületek esetén, ahol a nem megfelelő árnyékolás magas aránya magas üvegezési aránnyal társul, nem beszélve a panelházak további, a nyári túlmelegedés szempontjából kedvezőtlen adottságairól. Hatékony külső árnyékoló nem minden esetben szerelhető (pl. műemlék) vagy indokolt (pl. a környezet benapozottsági viszonyai miatt), amiről számszerű adatokat szolgáltat a 8.7. ábra.



8.6. ábra: Jellemző árnyékoló típusa

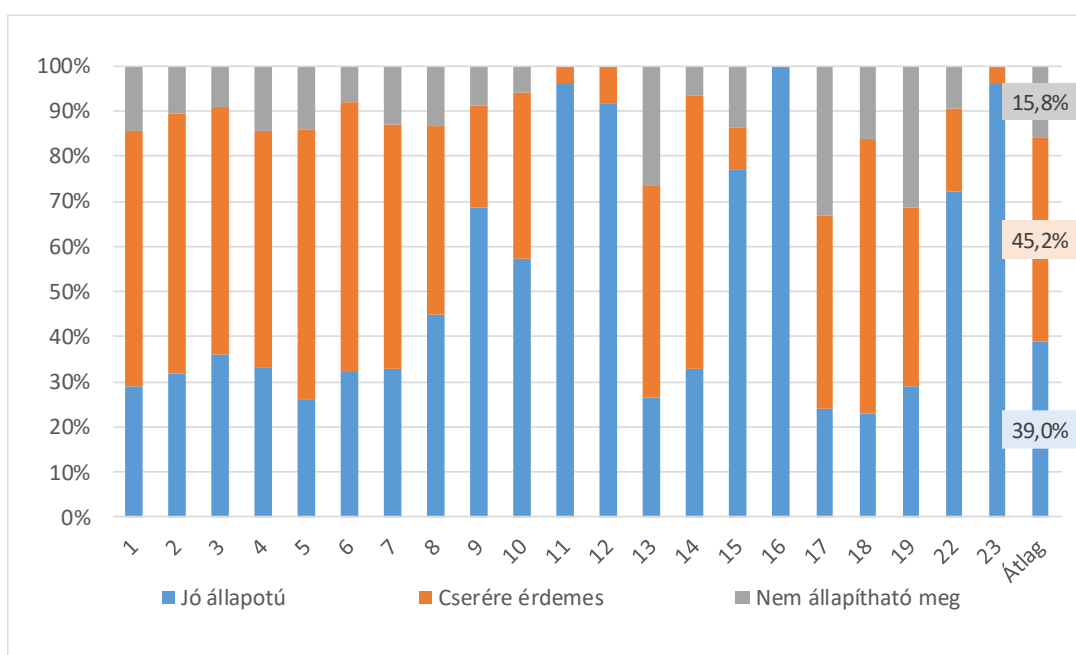


8.7. ábra: Árnyékolók kivitelezési lehetőségei

8.4. Fűtési rendszerek

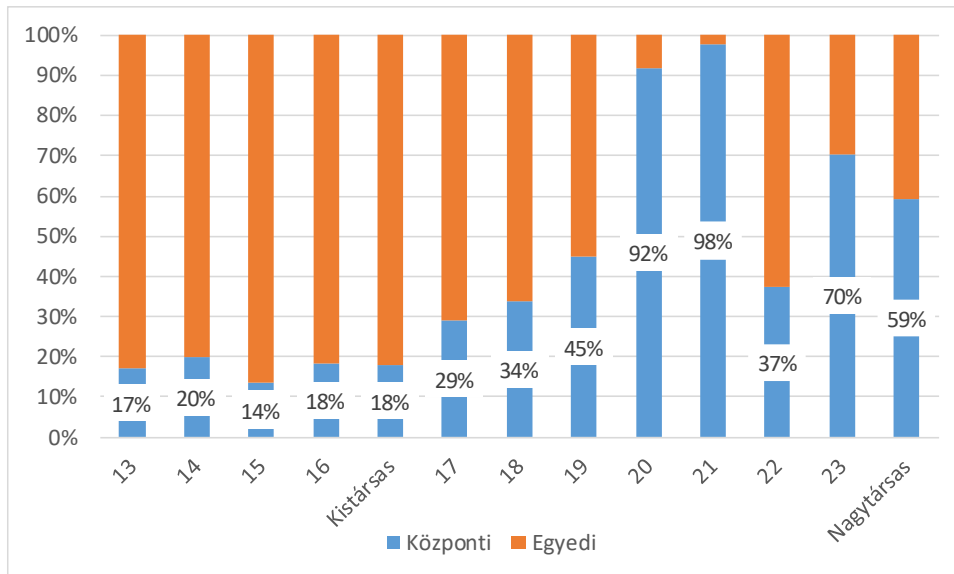
A fűtési hőtermelők esetén felmérésre került a hőtermelő típusa és a használt energiahordozók előfordulási gyakorisága, továbbá az, hogy milyen gyakran fordulnak elő bivalens (két hőtermelős), esetleg három hőtermelős rendszerek. Minden típusnál 90% körüli vagy nagyobb arányban monovalens hőtermelés volt a jellemző. Az eredményeket a 2. Melléklet mutatja (14.3. táblázat és 14.4. táblázat).

A fűtési rendszerek állapotáról ad információt a 8.8. ábra. A hőtermelők jó állapotúnak a vizsgálható esetek közel felében, cserére szorulónak az esetek kicsit több mint felében minősültek. A 2006 utáni típusok esetén lényegesen jobb a helyzet, az 1990 előtti típusok egységesen kedvezőtlen állapotot tükröznek. A panelházak nincsenek a mintában, tekintve hogy távfűtött épületekről van szó, ahol a hőtermelés hatékonysága a telekhatáron kívül dől el.

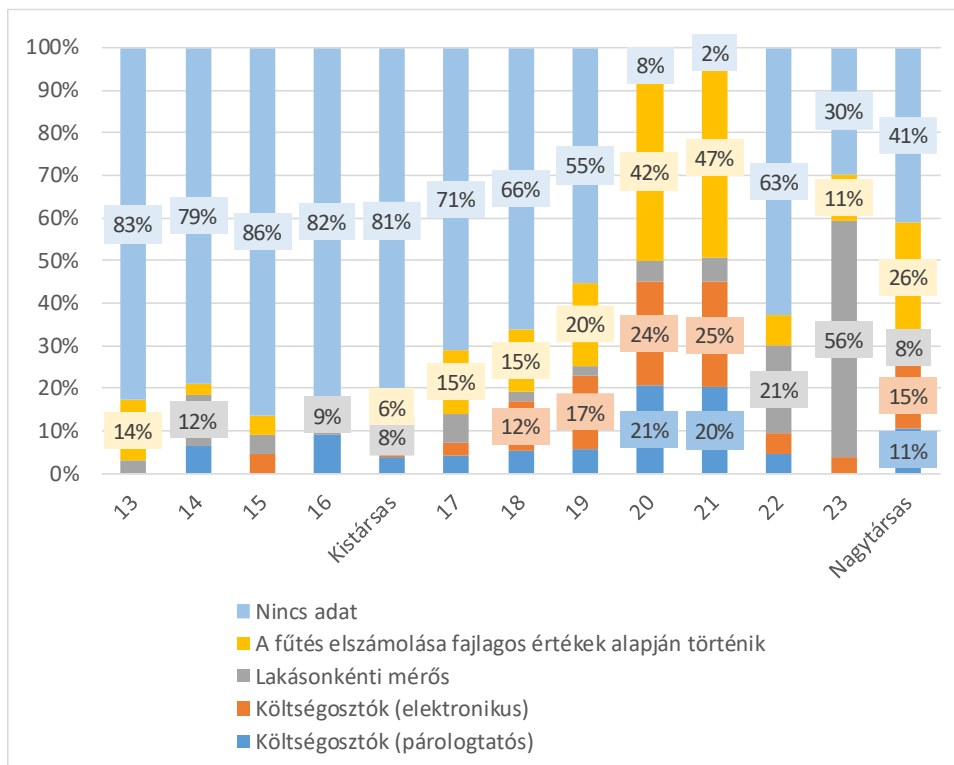


8.8. ábra: Fűtési hőtermelő állapota

Társasházak esetén, a szoba jöhető felújítási opciók miatt érdemes megnézni azt, hogy milyen a központi és egyedi fűtések aránya, amit a 8.9. ábra mutat. Összességében a központi rendszerek aránya nagyobb, amiben nagy szerepe van a panelházaknál és az új nagy társasházaknál szereplő magas értékeknek. A fűtési költségosztási módokról ad érdekes, bár a modellezéshez nem felhasznált tájékoztatást a 8.10. ábra.



8.9. ábra: Központi és egyedi fűtési rendszerek aránya társasházakban



8.10. ábra: Költségsztási módok megoszlása társasházakban

8.5. HMV rendszerek

A HMV hőtermelők esetén is felmértük a hőtermelő típusok és a használt energiahordozók előfordulási gyakoriságát. Azt is vizsgáltuk milyen gyakran fordulnak elő bivalens, esetleg három hőtermelő rendszerek. Minden típusnál 93% feletti arányban monovalens hőtermelés volt a jellemző. Az eredmények egy kivonatát a 2. Melléklet tartalmazza (14.5. táblázat és 14.6. táblázat). Fűtéshez képest nagyobb az elektromos hőtermelés szerepe.

A HMV rendszerek állapotáról és a rendszer központi, illetve egyedi jellegéről hasonló az eredmények, mint fűtés esetén. A diagramok mellékletben találhatóak (0. Melléklet, 14.1. ábra és 14.2. ábra).

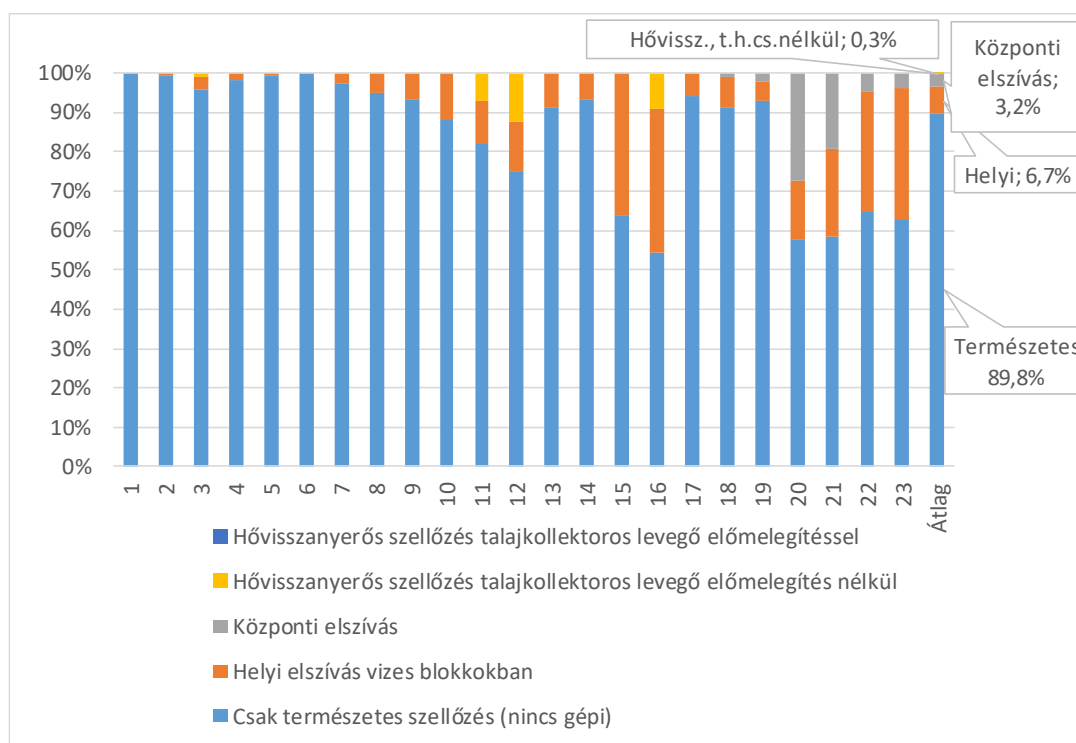
8.6. Gépi szellőzés és hűtés

A gépi hűtés aránya a felmérés szerint nem jelentős, mindössze a felmért lakóegységek 6,7%-ban fordul elő (8.11. ábra). (Ez jelentősen eltér a 3.2. ábra által mutatott statisztikai adattól, mely szerint a háztartási energiaigénynek csak mintegy 0,2%-a fordítódik hűtésre.) Az arány az újabb épülettípusok és a társasházak esetén jelentősebb.

A gépi szellőzés az esetek 89,9%-ában hiányzik, a többi esetben is csak elszívós szellőzéstről beszélhetünk, melynek energetikai szerepe minimális, az energiahatékony hővisszanyerős szellőzés aránya elhanyagolható (8.12. ábra).



8.11. ábra: Gépi hűtéssel ellátott épületek aránya

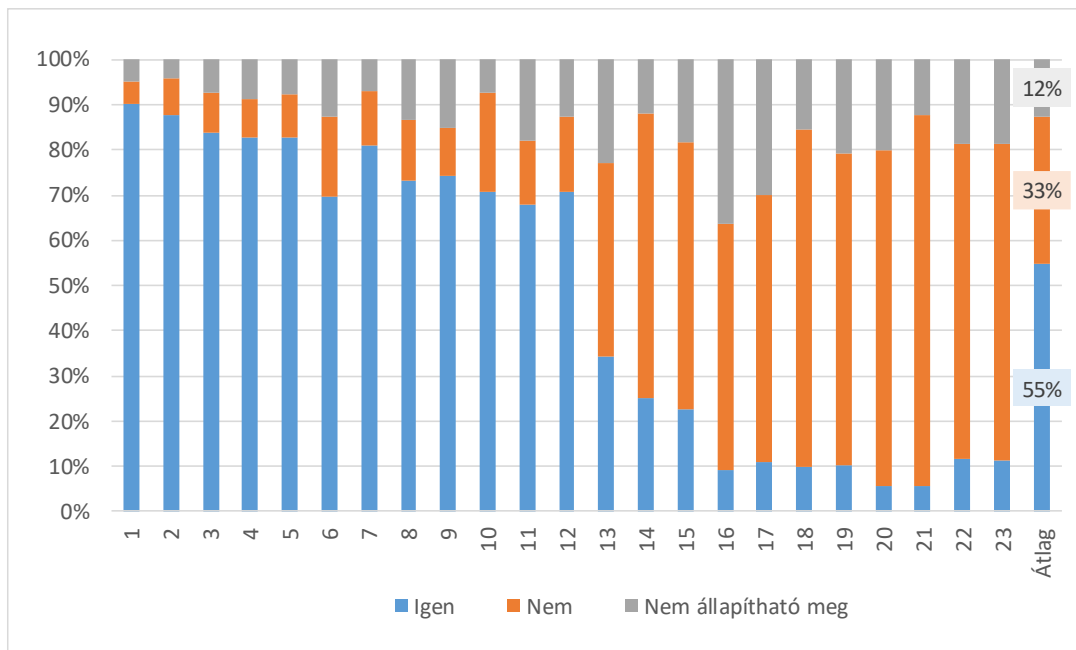


8.12. ábra: Szellőztetési módok megoszlása

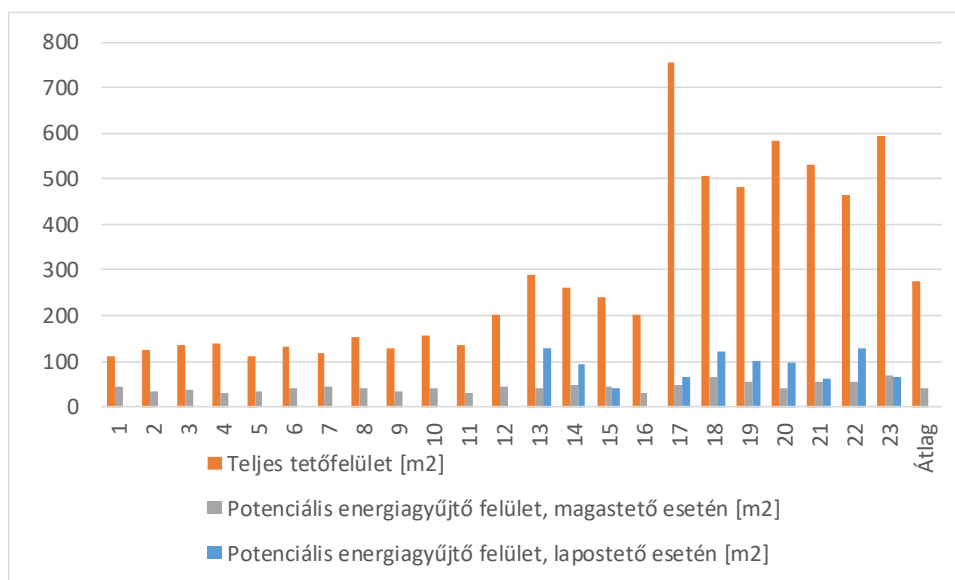
8.7. Alternatív energiaellátás lehetőségei

Az alternatív energiaellátási lehetőségek nagymértékben függenek a telek- és épületadottságoktól. A felmérés alapján a következő megállapítások tehetők:

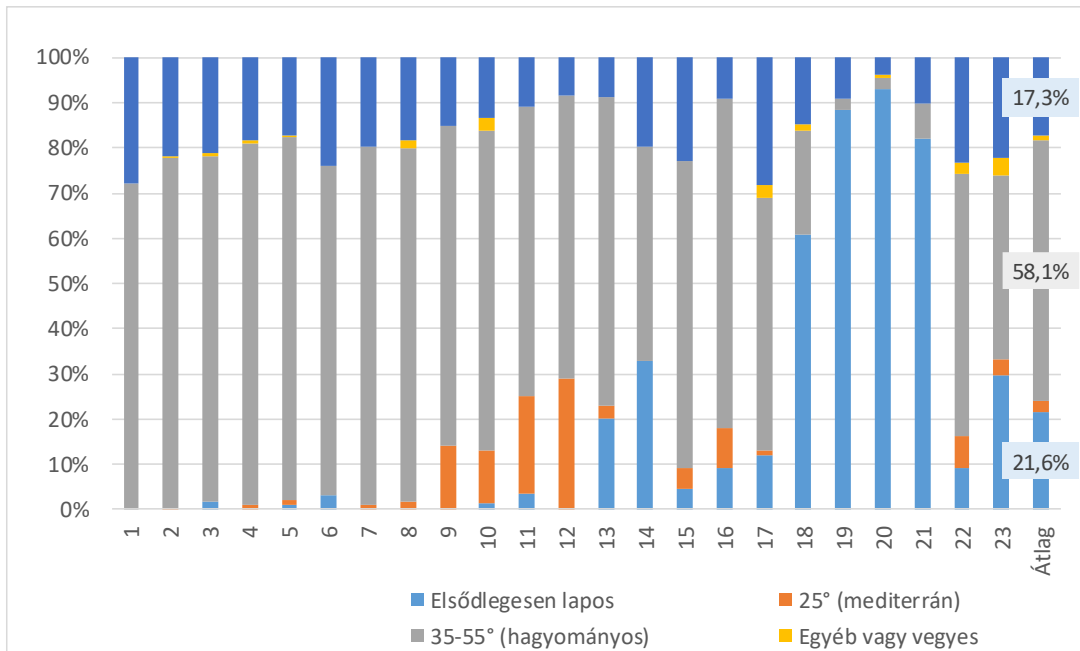
- A biomassza alapú hőtermelésnek a családi házak 81%-ban adottak a logisztikai feltételei (tűzifa tárolása, szállítása megoldható). Kistársasházak esetén ez a szám már csak 26%, nagy társasházak esetén ez egy alig alkalmazható opció (8.13. ábra).
- A napenergia hasznosításához használható tetőfelület társasházak esetén lényegesen kisebb, mint a teljes tetőfelület, ráadásul több lakószint osztozik rajta. A modellezéshez használható számszerű adatok lettek felmérve a tetőfelületeken (8.14. ábra és 14.7. táblázat) kívül a tetők lejtésszögéről (8.15. ábra) és típusáról (8.16. ábra) is. Lapostetők esetén az állvány dőlésszöge tetszőlegesen állítható, ezekben az esetekben a diagramon „vízszintes” szerepel.
- Talajkollektoros hőszivattyú létesítésének a családi házak 40%-ában adottak a feltételei. Társasházak esetén ez ritkán alkalmazható (8.17. ábra).
- Talajszondás hőszivattyú létesítésének a családi házak 53%-ában adottak a feltételei. Kistársasházak esetén ez a szám már csak 19%, nagy társasházak esetén ez ritkán alkalmazható (8.18. ábra).
- Távhőre való kapcsolódás a nagytársasházak esetén lehet igazán érdekes, ennek az esetek 25%-ában van realitása, vagyis van a közelben távhő hálózat. A vizsgálatból kivettük a panelházakat, ahol távhő eleve adott (8.19. ábra).
- Termásvíz alapú távhő hasznosítás lehetősége szintén a nagytársasházak esetén merül fel, ennek az esetek 25%-ában van realitása, ahol van a közelben termásvíz forrás (8.20. ábra).



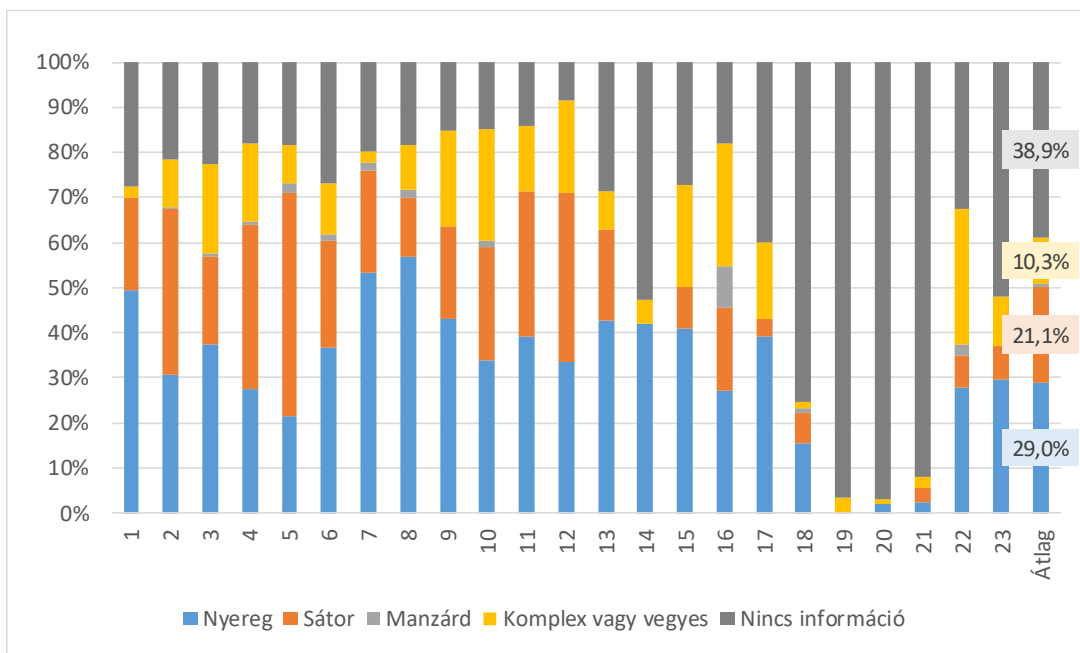
8.13. ábra: Tűzifa / pellet tároló elhelyezésének lehetősége



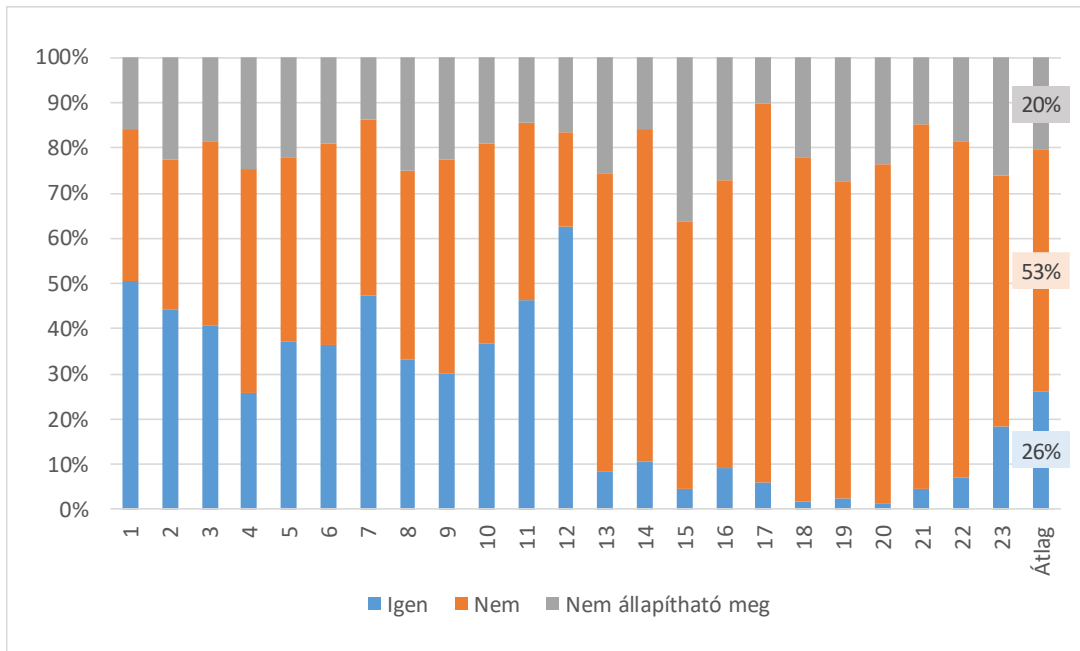
8.14. ábra: Teljes bruttó tetőfelület és annak napenergia hasznosítás szempontjából potenciálisan hasznosítható hányada



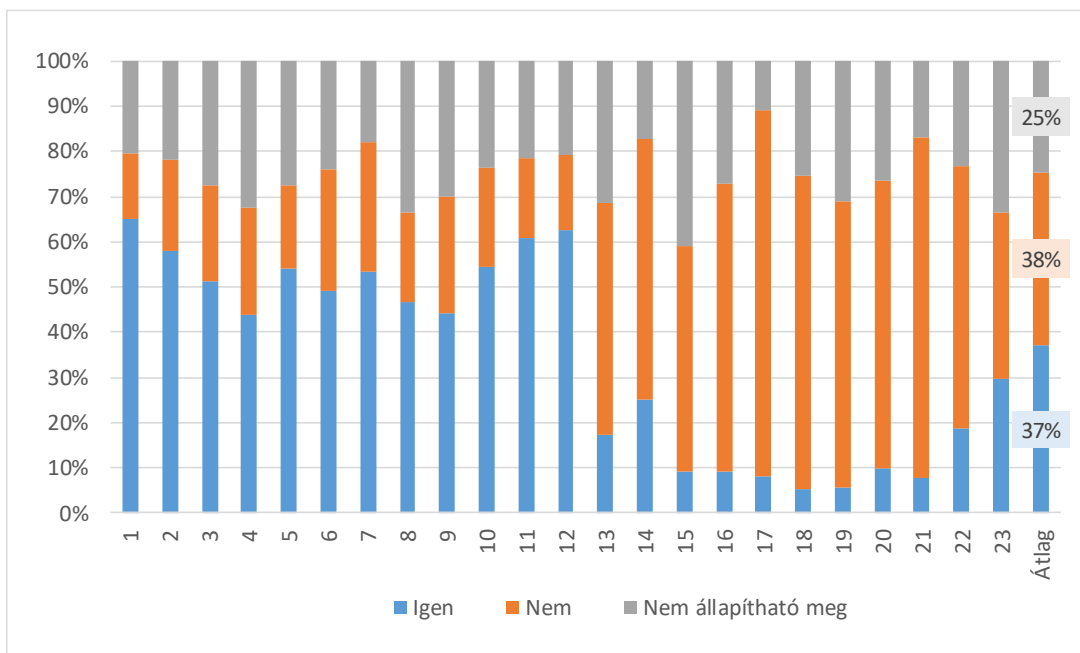
8.15. ábra: Tető dőlésszöge



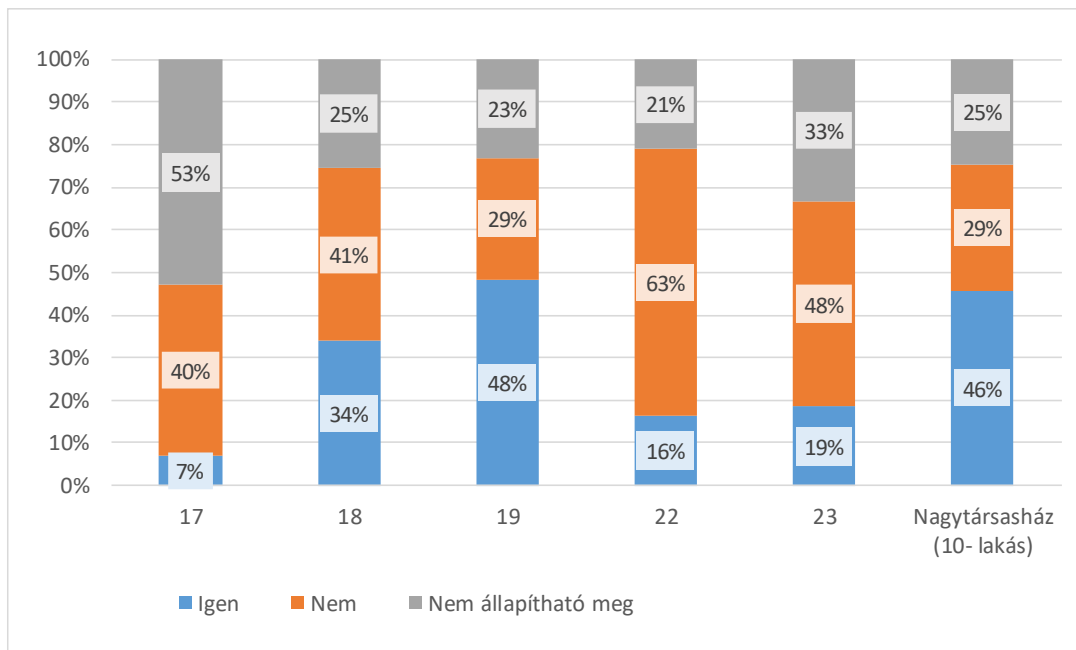
8.16. ábra: Magastető típusa



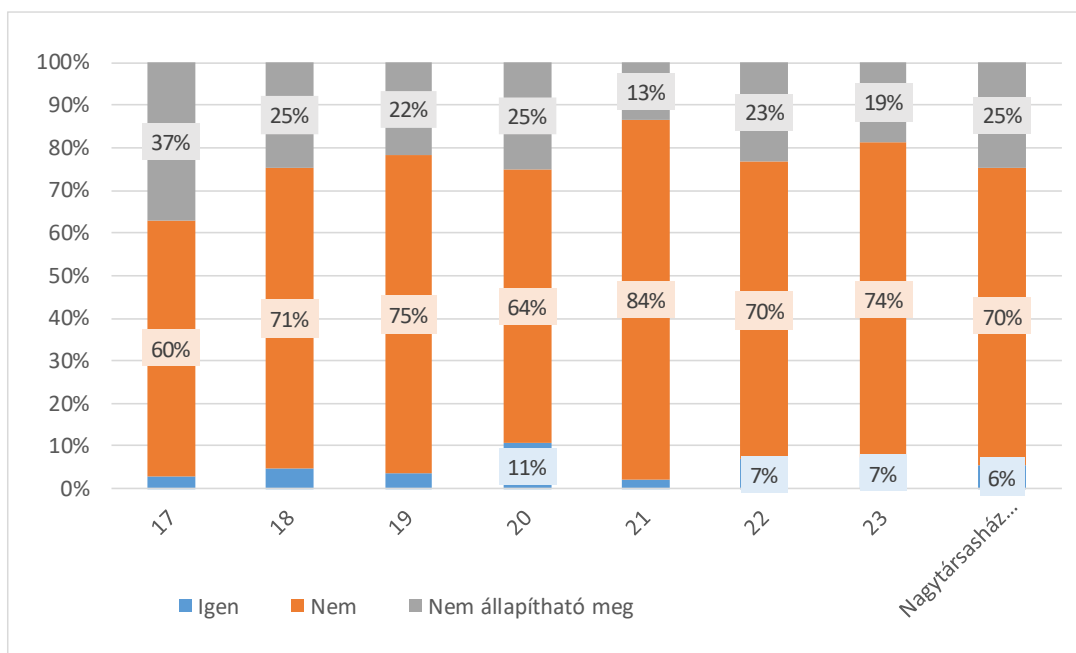
8.17. ábra: Talajkollektor telepítésének lehetőségei (igen: talajkollektor telepíthető)



8.18. ábra: Talajszondák telepítésének lehetőségei (igen: talajszondák telepíthetők)



8.19. ábra: Távhőre kapcsolódás lehetőségei (nagy társasházak esetén, panelházak kivételével; igen: a távhőre kapcsolódás könnyen kivitelezhető)



8.20. ábra: Termásvíz alapú távhő vagy hulladék hő hasznosításának lehetőségei (nagy társasházak esetén; igen: a hasznosítás lehetősége fennáll)

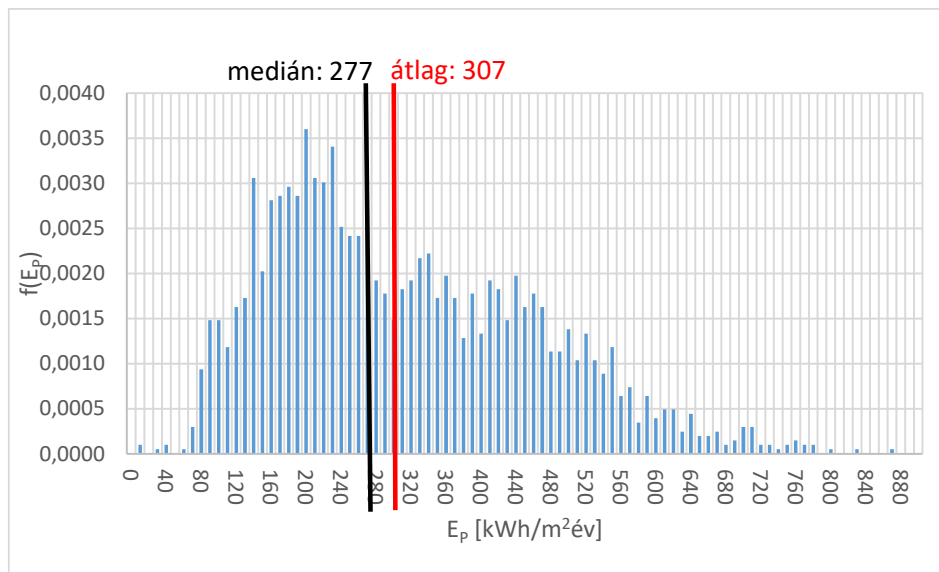
8.8. Számított eredmények

Az alábbiakban a felmért 2029 épületre meghatározott számított értékeket ismertetem. A legfontosabb mutatókat a 8.4. táblázat és 8.5. táblázat foglalja össze. A táblázatban szereplő átlagértékek (családi házra, társasházakra és a teljes állományra) az országos lakásszámmal súlyozottak.

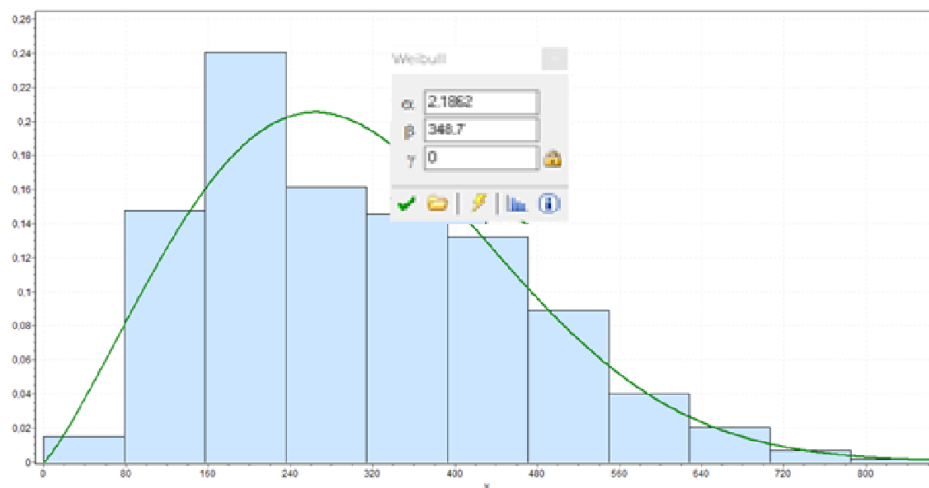
8.8.1. Összesített energetikai jellemző és fajlagos hőveszteség tényező

Az összesített energetikai jellemző (E_P) sűrűségfüggvényét a számtani átlag és a medián érték feltüntetésével a 8.21. ábra mutatja. A minta átlaga ($E_P = 307 \text{ kWh/m}^2\text{év}$) jól közelíti a 8.4. táblázatban szereplő országos lakásszámmal súlyozott átlagot ($E_P = 311 \text{ kWh/m}^2\text{év}$), az eltérés abból adódik, hogy a felméréndő épületszámok kerekítéssel lettek meghatározva arányosítás után.

Az illeszkedésvizsgálatok típusonként és a teljes mintára egyaránt Weibull eloszlást mutatnak. A teljes minta kétparaméteres Weibull eloszlással jellemezhető, ahol az alakparaméter: $k=2,186$, a skálaparaméter: $\lambda=348,7$ (8.22. ábra).



8.21. ábra: A felmért épületek összesített energetikai jellemzőjének sűrűségfüggvénye



8.22. ábra: Az összesített energetikai jellemző sűrűségfüggvénye Weibull eloszlást követ (a hisztogram a teljes mintára vonatkozik)

8.4. táblázat: A legfontosabb energetikai mutatók épülettípusonként (2029 épület felmérési eredményeinek átlaga alapján)

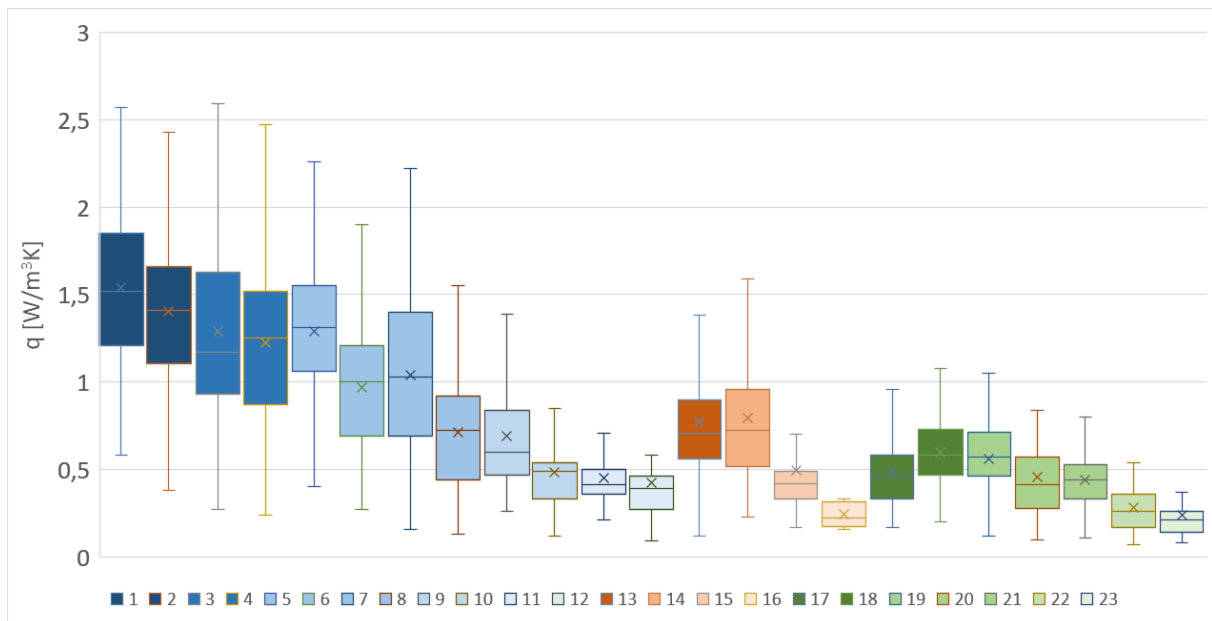
	E_p	CO ₂ kibocsátás	q	q _F	E _F	E _{HMV}
	[kWh/m ² év]	[kg/m ² év]	[W/m ³ K]	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]
1. típus	452,7	72,8	1,54	290,6	391,3	65,3
2. típus	444,0	110,4	1,41	283,5	381,1	68,3
3. típus	412,3	64,9	1,29	270,5	348,3	66,3
4. típus	398,4	64,8	1,22	249,5	334,5	66,8
5. típus	423,6	97,6	1,29	265,5	357,7	65,2
6. típus	339,2	58,1	0,97	193,2	270,2	68,1
7. típus	349,0	54,3	1,04	206,9	280,7	68,0
8. típus	255,0	44,0	0,71	140,3	191,7	62,6
9. típus	245,1	45,0	0,69	140,5	188,5	56,0
10. típus	185,3	36,6	0,48	95,2	132,5	52,2
11. típus	164,0	28,1	0,45	88,6	114,2	51,2
12. típus	153,7	27,4	0,42	86,3	104,5	45,5
Családi ház (1-3 lakás)	373,0	74,1	1,15	231,0	310,0	64,4
13. típus	327,6	60,1	0,77	205,7	271,7	55,5
14. típus	271,6	48,7	0,79	163,9	214,5	55,6
15. típus	181,7	36,5	0,50	102,8	128,0	43,8
16. típus	112,7	22,5	0,24	55,0	70,1	39,3
Kistársasház (4-9 lakás)	261,0	48,0	0,70	157,6	205,8	52,5
17. típus	258,6	52,7	0,49	148,6	202,8	55,3
18. típus	226,6	47,7	0,60	132,2	179,2	48,6
19. típus	216,9	45,8	0,56	124,9	166,1	48,2
20. típus	174,7	40,6	0,46	103,9	125,6	45,2
21. típus	168,6	39,0	0,44	99,4	120,5	44,9
22. típus	126,4	26,4	0,28	64,4	83,0	44,1
23. típus	110,9	21,9	0,24	55,0	69,0	39,3
Nagytársasház (10- lakás)	199,3	43,0	0,48	115,3	149,9	47,7
Átlag	310,6	62,5	0,91	189,5	252,4	58,4

8.5. táblázat: Fajlagos energiahordozó felhasználások épülettípusonként (2029 épület felmérési eredményeinek átlaga alapján)

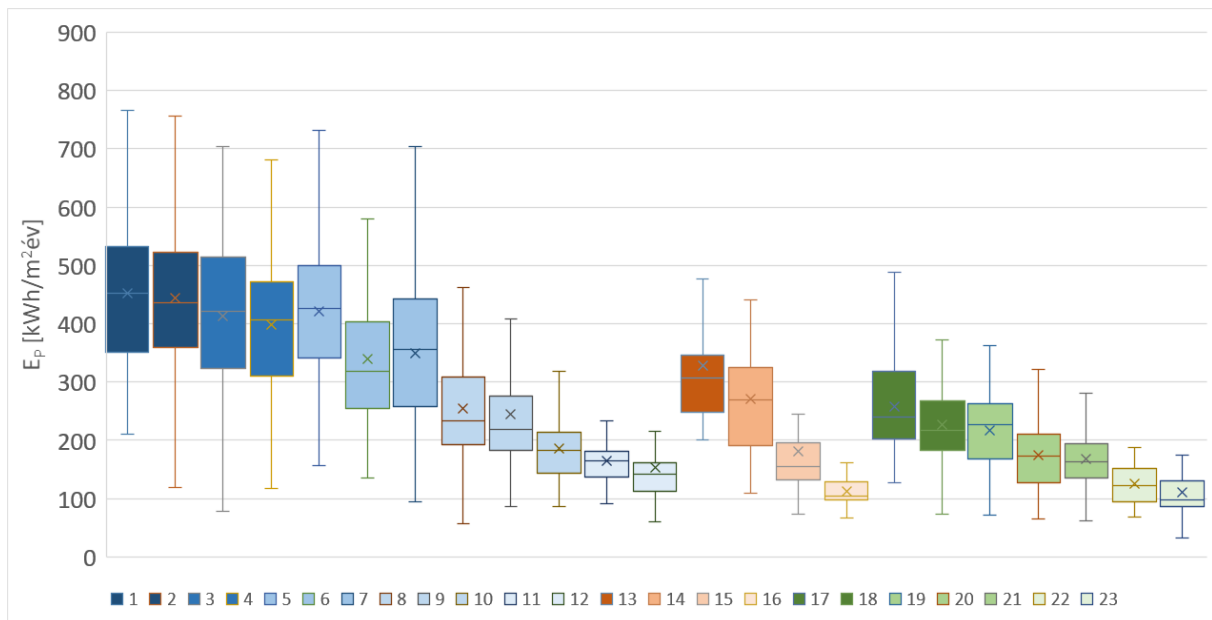
	$E_{\text{gáz}}$	E_{bio}	$E_{\text{távhő}}$	$E_{\text{elektromos}}$	$E_{\text{egyéb}}$
	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]	[kWh/m ² év]
1. típus	214.70	237.40	0.00	21.60	22.21
2. típus	284.80	127.26	0.00	26.03	19.43
3. típus	259.00	122.88	0.00	24.73	9.23
4. típus	246.35	136.03	0.00	24.32	7.10
5. típus	282.58	128.77	0.00	23.15	16.16
6. típus	182.42	120.01	0.00	27.38	21.15
7. típus	211.89	133.06	0.00	24.19	8.13
8. típus	155.97	69.20	0.00	15.79	13.44
9. típus	190.83	40.62	0.00	7.14	2.84
10. típus	152.60	7.38	0.00	5.20	7.85
11. típus	113.61	26.79	0.00	8.94	1.11
12. típus	106.90	17.50	0.00	3.07	1.90
13. típus	252.55	42.89	0.00	15.29	0.00
14. típus	201.80	48.87	6.63	14.43	0.00
15. típus	153.58	0.00	0.00	3.61	0.98
16. típus	85.95	0.00	12.15	0.00	0.46
17. típus	211.36	0.00	11.57	14.31	0.00
18. típus	178.29	0.00	27.25	7.95	0.00
19. típus	135.12	3.63	53.07	4.36	0.00
20. típus	24.17	0.00	118.00	0.66	0.00
21. típus	30.95	0.00	109.15	0.51	0.00
22. típus	96.78	0.00	11.23	2.73	0.00
23. típus	92.43	0.00	8.14	0.00	1.47

A 8.23. ábra a fajlagos hővesztésgtényező, a 8.24. ábra pedig az összesített energetikai jellemző típusonkénti box-plot diagramját mutatja épülettípusonkénti bontásban. Figyelembe véve a 8.4. táblázatban feltüntetett eredményeket is megállapítható, hogy a felmérések eredményeiből levonható következtetések igazolják azokat a hipotéziseket, melyek az épülettípusológiai mátrix felállításának szempontjait meghatározták. A legfontosabb következtetések az alábbiak:

- A családi házak (1-12. típusok) fajlagos fűtési primerenergia felhasználása lényegesen magasabb, mint a kistársasházaké (13-16. típusok), melyek hatékonyságban elmaradnak a nagytársasházak mögött (17-23. típusok). Mindez a méret felület-térfogat arányra gyakorolt hatása miatt van.
- Az újabb épületek fűtési energiafelhasználása kisebb, mint a régebbieké, egyrészt az egyre szigorodó hőtechnikai előírások miatt, másrészt mert az újabb épületekre korszerűbb épületgépészeti rendszerek jellemzők.
- Egyes építési időszakokban családi házakon belül külön kategóriába soroltam a kisebb (5., 7., 9., 11.) és a nagyobb (6., 8., 10., 12.) alapterületű épületeket. Ezeknél rendre beigazolódott, hogy a kisebb alapterületűek fogyasztása magasabb.



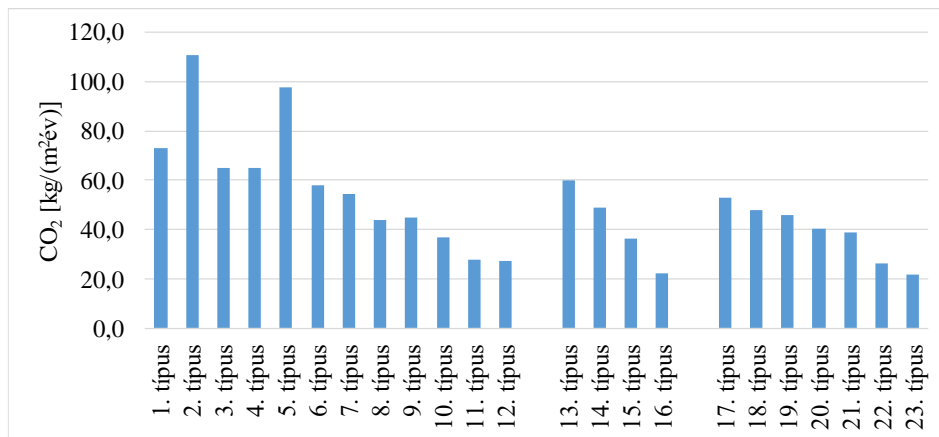
8.23. ábra: A felmért épületek fajlagos hőveszteség tényezői típusonként (box-plot)



8.24. ábra: A felmért épületek összesített energetikai jellemzői típusonként (box-plot)

8.8.2. Szén-dioxid kibocsátás

A szén-dioxid kibocsátást illetően kicsit árnyaltabb a kép. Egyes családi háztípusoknál jelentős a fatüzelés aránya, ami az eredményeket lefelé módosítja, ugyanakkor a villamos áram alapú melegvíz termelés felfelé. Ezek aránya típusonként erősen változó.



8.25. ábra: A felmért épületek széndioxid kibocsátása típusonként

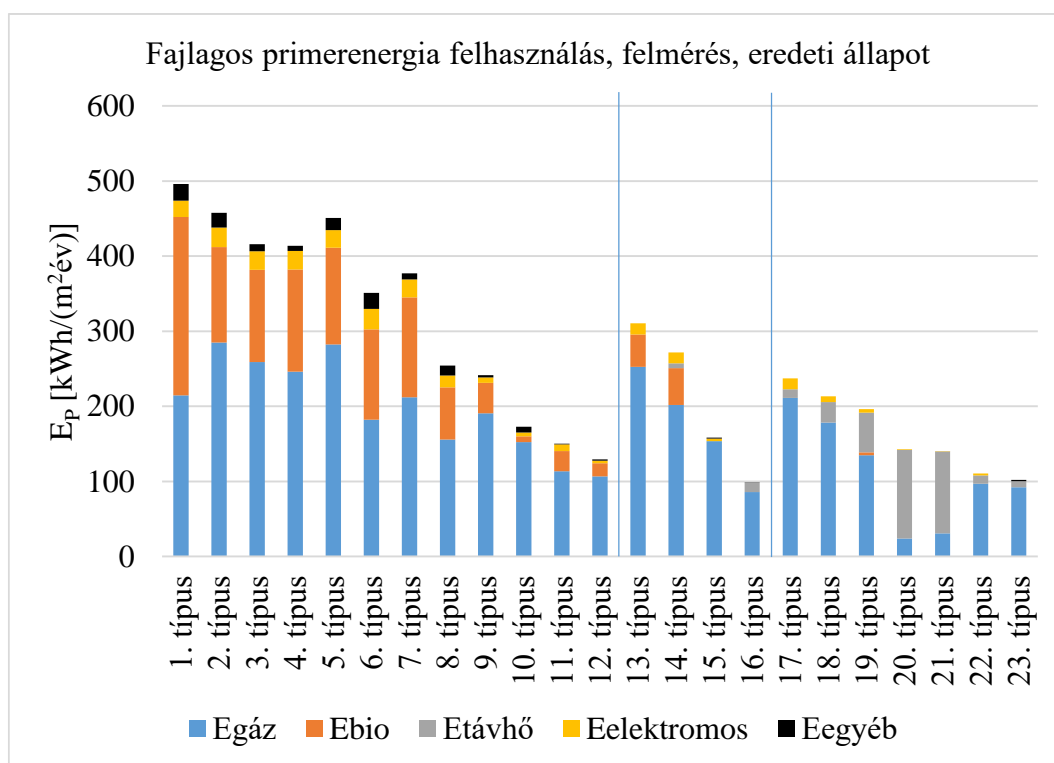
8.8.3. Energiahordozó felhasználások

Meghatároztam a hőtermelési célú fajlagos energiahordozó felhasználásokat is a felmérések alapján, az eredményeket a 8.5. táblázat és a 8.26. ábra mutatja. A számítás során a bivalens hőtermelő rendszerek másodlagos energiahordozóit elhanyagoltam, mert azok használata nem volt jellemző (fűtés: családi házaknál jellemzően 10% alatt, társasházaknál jellemzően 5% alatt, HMV: jellemzően 5% alatt). Az ebből adódó hiba mértéke elhanyagolható. Az „egyéb” energiahordozó legtöbbször szén. Az egyes energiahordozó felhasználások összege nem azonos az összesített energetikai jellemzővel, hiszen ezek nem primer, hanem végső energiában vannak kifejezve.

A táblázatból megfigyelhető, hogy mely típusoknál jelentős a biomassza (fatüzelés) aránya. Ezek elsősorban az 1990 előtt épült családi házak, azon belül is minél régebbi a típus, annál magasabb a fatüzelési hányad. Ez természetesen főként rossz hatásfokú kályhákat, cserépkályhákat, kandallókat jelent. Az egyedi fatüzelés még a régebbi kistársasházaknál is számottevő, viszont a nagy társasházaknál egyáltalán nem jellemző.

A távfűtés a panelépületeknél általános, de számottevő még az egyéb iparosított épületeknél, valamint az 1945-89 között épült hagyományos nagytársasházaknál is.

Az elektromos hányad lényegében villanybojlerrel történő melegvíztermelést takar. Értéke számottevő ott, ahol magas a biomassza aránya, hiszen itt a nyári szezon miatt ez a legkézenfekvőbb megoldás, de a régebbi kis- és nagy társasházak esetén is számottevő. A kimutatás csak hőtermelési célú villamos energiafelhasználásra vonatkozik.



8.26. ábra: Fajlagos energiahordozó felhasználások épülettípusonként

8.9. Módszertani javaslat energiahatékonysági határértékek megállapításához

8.9.1. Problémafelvetés

8.9.1.1. A tanúsítvány skálák problémái

Az épületek energiatanúsítása során hatékonysági skálákat használnak a besoroláshoz. Ezen skálák összeállítása során általában néhány jellegzetes értékből, pl. a követelményérték vagy a nagyon rossz hatékonyságú épületekre jellemző értékből indulnak ki, majd a teljes tartományt felosztják 8-15 sávra és azokat az ABC betűivel vagy/és színskálával jelölik. A skála határok meghatározása lehet egyenletes, de általános a hatékonyabb kategóriák felé szűkülő skála alkalmazása, ami logikus is, ha megnézzük a 8.21. ábra. Ennek másik oka az, hogy az új, az átlagnál minden esetben jóval hatékonyabb épületek között is láttatni lehessen a különbséget. A hatékonyabb kategória határok megállapításánál inkább az új építésű épületek követelményei, illetve egyes technológiai megoldások (pl. megújuló) alkalmazásával realizálható értékek a meghatározóak.

A kevésbé hatékony kategóriák felosztása azonban meglehetősen esetleges, önkényes. Erre jó példa a hazai skála, amit a 8.6. táblázat ismertet. A kategória határokat összesített energetikai jellemzőhöz kötik, ami a nemzetközi gyakorlatban a leggyakoribb megoldás. A kategóriák elnevezése szerint az FF kategória jelenti az átlagos hatékonyságot. Ha ezt összevetjük a 2029 felmért épület átlagértékével és kategória szerinti megoszlásával megállapítható, hogy a valós átlag (307 kWh/m²év) a GG és HH kategória határán van. Így a jelenlegi elnevezések félrevezetőek. Célszerű lenne olyan skála és kategória jellemzési rendszer kidolgozása, mely alapján a fogyasztó el tudja helyezni saját lakását a lakóépület-állomány többi épületének hatékonyságához képest.

Ugyanakkor egy másik probléma is felvethető. A 8.27. ábra a következő adatokat hasonlítja össze:

- A 2029 épületre végzett felmérés eredményeit.

- Az energiatanúsítvány adatbázisból lekért, a 2016-2020. időszakra vonatkozó összes lakóépület tanúsítvány kategóriák szerinti megoszlását. A 2016. év elején a skála jelentősen megváltozott, az átskálázás a publikusan elérhető adatok alapján nem lehetséges, ezért a korábbi adatokat nem vizsgáltuk.
- A 2016-os év tanúsítványainak megoszlása. Ezt az évet azért érdemes külön is megnézni, mert 2018-tól szigorodtak a követelmények, ami nagy hatékonyságú kategóriák közötti eloszlási arányokra hatást gyakorolt. Mindazonáltal, mint a diagramból is látható, nincs nagy különbség a 2016-os és a 2016-2020-as eredmények között.

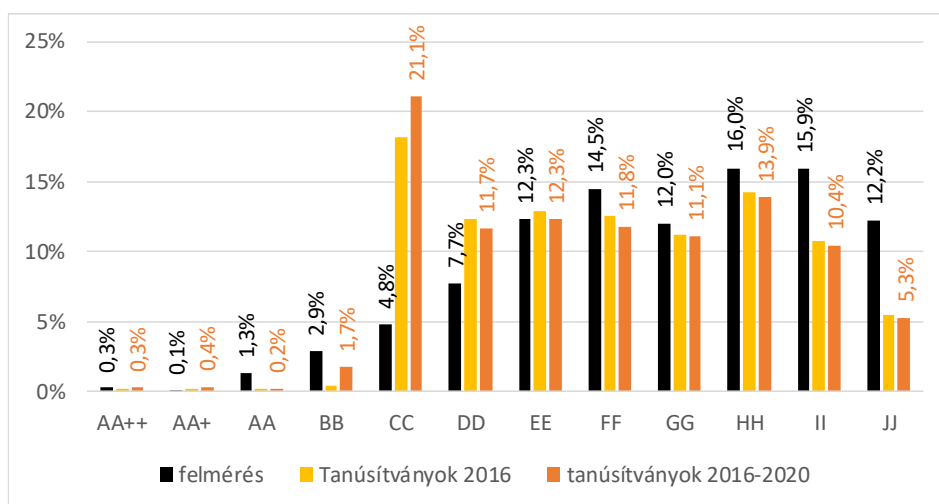
A két adatbázisból származó adatok összevetése alapján az eltérés az eloszlásban nyilvánvaló. Ennek okai a következők:

- A tanúsítvány adatbázis alul reprezentálja a rossz hatékonyságú épületeket, nyilvánvalóan azért, mert azok kevésbé forgalomképesek.
- A tanúsítvány adatbázis felül reprezentálja az új épületeket, abból adódóan, hogy minden új építés esetén kötelező a tanúsítvány kiállítása, meglévőknél pedig csak az időszakban adásvétel tárgyát képező tanúsítványokat szerepelteti.
- CC vagy jobb kategóriák esetén torzít a kategóriába sorolás, mert megjelennek kiegészítő követelmények (megújuló részarány, részletes módszerrel történő számítás), bár megjegyzem, hogy egy E_P szerinti sűrűségfüggvényben ez a torzító hatás már nem jelentkezne.

Ez alapján megállapítható, hogy a tanúsítvány adatbázis, vagy abból véletlenszerű kiválasztással történt mintavételezés torz képet ad a lakóépület-állományról, ezért nem alkalmas az állomány értékelésére. Úgy lehetne alkalmassá tenni, ha a tanúsítványok épülettípus kategóriáinként szűrhetőek lennének, ami bizonyos adatok (építési év, technológiai besorolás, befoglaló épület lakásszáma) rögzítésével lenne biztosítható.

8.6. táblázat: A 2021. augusztus 18-án hatályos energiahatékonysági skála [150]

Kategória	Kategória felső határértéke, % ($E_P/E_{P,KNE}$)	Szöveges jellemzés a rendelet szerint	Határértéknél jobban teljesítő lakóegységek aránya
AA++	40	Minimális energiaigényű	0,3%
AA+	60	Kiemelkedően nagy energiahatékonyságú	0,4%
AA	80	Közel nulla energiaigényű követelményeknél jobb	1,6%
BB	100	Közel nulla energiaigényű követelményeknek megfelelő	4,5%
CC	130	Korszerű	9,3%
DD	160	Korszerűt megközelítő	17,0%
EE	200	Átlagosnál jobb	29,3%
FF	250	Átlagos	43,8%
GG	310	Átlagost megközelítő	55,9%
HH	400	Gyenge	71,8%
II	500	Rossz	87,8%
JJ	-	Kiemelkedően rossz	100,0%



8.27. ábra: A felmért és a 2016-2020. időszakban tanúsított épületek energiahatékonysági kategóriák szerinti megoszlása

8.9.1.2. A leghatékonyabb 15% meghatározásának igénye

Az EU Taxonómia rendelet („Taxonomy Regulation”) [151] szerint „zöldnek” számít a lakóépület-állomány felső 15 százaléka: „Lényeges hozzájárulás az éghajlatváltozás mérsékléséhez - 1. A 2020. december 31. előtt épült épületek legalább A. osztályú energetikai tanúsítvánnyal (EPC) rendelkeznek. Alternatívaként az épület a nemzeti vagy regionális lakóépület-állomány operatív primerenergia-igényként (PED) kifejezett és megfelelő bizonyítékokkal igazolt felső 15 %-ban található, ami legalább összehasonlítja az adott eszköz teljesítményét a 2020. december 31. előtt épített nemzeti vagy regionális állomány teljesítményével, és legalább különbséget tesz a lakóépületek és a nem lakáscélú épületek között.“ Továbbá kimondja azt is, hogy a felső 15% meghatározásakor mértékadó indikátornak a számított üzemeltetési primer energiaigényt kell tekinteni, és különbséget kell tenni legalább lakó és nem lakó épületek között.

Felmerül tehát a kérdés, milyen E_p értékhez köthető a 15%-os határ, hogyan lehet azt „megfelelő bizonyítékokkal” alátámasztani, illetve a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából célszerű-e ezt az értéket energiahatékonysági kategóriához kapcsolni.

8.9.2. Módszertani javaslat

Mindezek figyelembevételével javaslatot teszek a tanúsítvány skála kialakításának módszertanára. Több megoldás kínálkozik, de következő alapelveket érdemes figyelembe venni:

- A Taxonómia rendelet az E_p -t jelöli meg kritérium indikátorként a felső 15% megállapítására, továbbá az EPBD-ben is ez az elsődleges indikátor, így célszerű ezt tekinteni besorolási indikátornak.
- Indokolt lehet a lakó- és nem lakóépületeket külön kezelni az aktuális számítási módszertantól és követelményértékektől függően.
- A skálát eltérő elvek szerint kell felosztani a hatékony és a kevésbé hatékony épületek sávjában. A választóvonal ésszerű választás lehet az új épületekre vonatkozó közel nulla követelményérték.
 - Ezen érték felett úgy célszerű meghatározni a skálát, hogy az információt adjon arról, hogy a tanúsított épület vagy önálló rendeltetési egység hogyan teljesít a lakóépület-állomány többi részéhez képest. Ennek szempontjai:

- A skála határérték megállapítása a lakóépület-állományt reprezentáló minta E_P eloszlásfüggvényén alapszik.
- Sarokpont lehet a lakóépület-állományra vonatkozó E_P átlagérték vagy a felső 50%, illetve a felső 15% (utóbbi a Taxonómia rendelet miatt indokolt).
- A tartomány felosztható pl. decilisek szerint, ami egyre szélesebb tartományokat ad a nagyobb E_P értékek felé haladva.
- Másik lehetőség, hogy a felosztás egyéb szempontok figyelembevételével (is) történik, pl. azonos E_P intervallumok szerint, de az átlagos energiafelhasználáshoz viszonyított fogyasztásról információt szolgáltatnak a kategória megnevezések.
- Ezen érték alatt technológiai és szakpolitikai szempontok szerint érdemes a kategória határokat meghatározni:
 - Kategorizálva a szóba jöhető technológiai megoldásokat, érdemes megvizsgálni, hogy milyen mértékben lehet túlteljesíteni a követelményértéket.
 - Szakpolitikai, szemléletformáló szempont lehet az, hogy pl. a dekarbonizált vagy nulla energiamérlegű épületek külön kategóriát képezzenek.

Utóbbival most nem foglalkozunk részletesen, mivel az új épületek vizsgálata nem képezi a disszertáció tárgyát.

Természetesen más szempontok is mérlegelendők, például, hogy ne legyen túl sok kategóriasáv, vagy a korábbi skála egyes elemei maradjanak meg. Ha a besorolási skála megváltoztatása nem realizálható a skálaváltás okozta gyakorlati nehézségek miatt, kompromisszumos megoldás lehet az is, hogy nem kerül a skála átdolgozásra, de kiegészítő információkkal látjuk el, mely alapján a fogyasztó el tudja helyezni ingatlanját a többi épülethez viszonyítva.

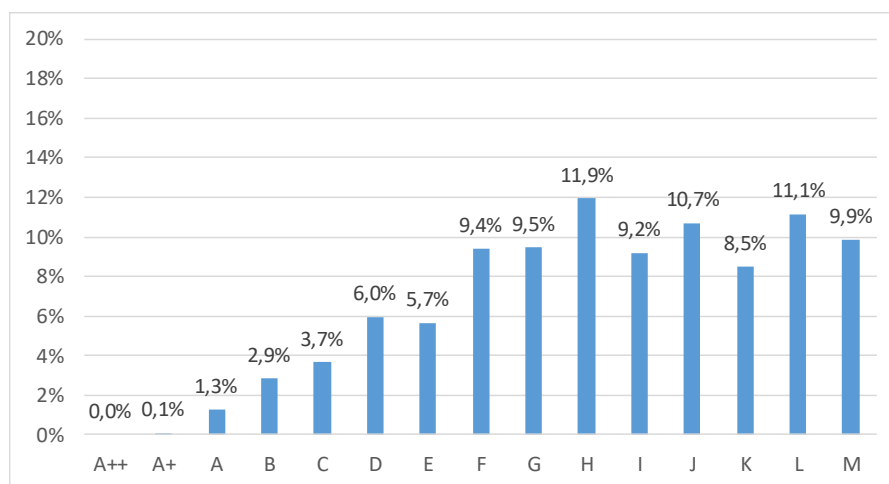
A javasolt módszer alkalmazása esetén időnként felül kell vizsgálni, hogy a lakóépület-állomány változása milyen hatást gyakorol az eloszlásra. Az állományszintű változás ugyanakkor nagyon lassú folyamat, számottevő változás csak több évtizedes távlatban következik be.

8.9.3. Egy lehetséges módosított skála

Fenti szempontok figyelembevételével kidolgoztam két skála javaslatot a hazai lakóépület-állomány energetikai mutatói alapján, az egyiket a 8.7. táblázat mutatja. A kategória megnevezések a leghatékonyabb épület kategóriák esetén a követelmények túlteljesítésének mértékét, a többi kategóriánál pedig a lakóépület-állományhoz adnak viszonyítási pontot, utóbbinál a skálát decilisek szerint felosztva. Az 5. oszlopban szereplő érték a javasolt kategória határérték, mely a 4. oszlopban kiszámolt érték tízesekre (egy esetben 5-re) kerekített értéke. A javaslat szerint a D kategória jelenti a legjobb 15%-ot, a G a legjobb 50%-ot, az A pedig a közel nulla követelményeknek megfelelő épületet. Egy másik lehetséges skálát a 3. Melléklet mutat.

8.7. táblázat: Javaslat az energiahatékonysági skála módosítására

Kat.	Kategóriához tartozó szöveges jellemzés	Határértéknél jobban teljesítő épületek célzott aránya	Célzott arányhoz tartozó E_p kategória határérték	Javasolt E_p kategória határérték	Javasolt határértéknél jobban teljesítő épületek aránya
		%	kWh/m ² év	kWh/m ² év	%
A+++	Követelményértéknél legalább 60%-kal jobb energiahatékonyságú épület vagy rendeltetési egység	-	-	40	0,3%
A++	Követelményértéknél legalább 40%-kal jobb	-	-	60	0,4%
A+	Követelményértéknél legalább 20%-kal jobb	-	-	80	1,6%
A	Közel nulla energiaigényű követelményeknek megfelelő	-	-	100	4,5%
B	Épületállomány 8%-nál jobb	8%	124,7	125	8,1%
C	Épületállomány 8%-nál rosszabb, 85%-nál jobb	15%	153,2	150	14,1%
D	Épületállomány 15%-nál rosszabb, 80%-nál jobb	20%	171,1	170	19,8%
E	Épületállomány 20%-nál rosszabb, 70%-nál jobb	30%	202,6	200	29,2%
F	Épületállomány 30%-nál rosszabb, 60%-nál jobb	40%	234,9	230	38,7%
G	Épületállomány 40%-nál rosszabb, 50%-nál jobb	50%	276,8	250	50,6%
H	Épületállomány 50%-nál rosszabb, 40%-nál jobb	60%	331,1	330	59,8%
I	Épületállomány 60%-nál rosszabb, 30%-nál jobb	70%	388,06	390	70,5%
J	Épületállomány 70%-nál rosszabb, 20%-nál jobb	80%	445,4	440	79,0%
K	Épületállomány 80%-nál rosszabb, 10%-nál jobb	90%	516,38	520	90,1%
L	Épületállomány 90%-nál rosszabb	100%	-	-	100,0%



8.28. ábra: A felmért épületek módosított skála szerinti megoszlása

9. Referencia épület modellek és korszerűsítési opciók

9.1. Referencia épület modellek

A felmért minta átlagértékei alkalmasak a meglévő állapot hatékonysági indikátorainak meghatározására, de nem alkalmasak az elérhető megtakarítások számítására. Ezért épülettípusonként egy-egy referencia épület modellt hoztam létre, ami már használható a korszerűsítések hatásának modellezésére.

Az épületfelmérések alapján típusonkénti adattáblákat hoztam létre, amit már a 7.4.7. pontban ismertettem. Ez alapján valamennyi épülettípusra létrehoztam egy szintetikus átlagos épületet. Ez adta az alapját a modellezett eredeti állapotnak. A modell számításokat a 7/2006 (V.24.) TNM rendelet alapján végeztem [1]. Ez alól kivételt képez a nettó hűtési igények számítása, amit a EN ISO 52016-1 szabvány szerint számoltam [152], tekintettel arra, hogy a nettó hűtési igény számítása a rendeletben nagyon leegyszerűsített.

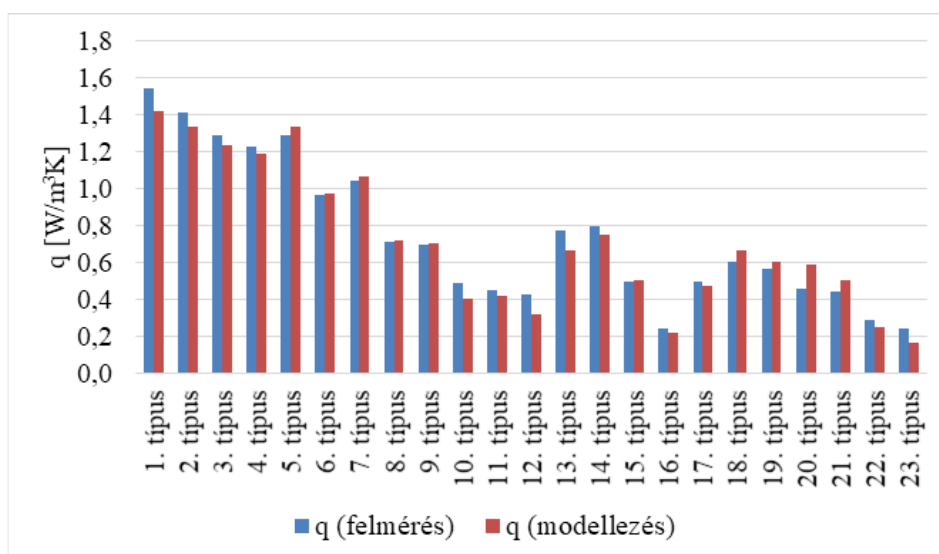
A napkollektorokra és a napelemekre vonatkozó számítási módszer kivonatát a 4. és 5. Mellékletek ismertetik, a részletes leírást pedig [12] tartalmazza.

A modellépületek létrehozásakor szempont volt, hogy ami a korszerűsítések során nem kerül lecserélésre, az pontosan reprezentálja a sokaságot (pl. geometriai adatok, a határoló szerkezetek nem változó rétegei). Ezen paramétereknél a típusra jellemző sokasági átlagértékkel számoltam. A lecserélésre kerülő elemek esetén (jellemzően az épületgépészeti rendszer, a nyílászárók típusa) a referencia modellben felvett elemtípusnak nincs jelentősége, mert a megtakarítást nem a modellezett eredeti állapothoz, hanem a felmért épületek átlagértékeihez célszerű viszonyítani. Ezért ezen elemek tekintetében a modellben bizonyos egyszerűsítésekkel éltem, azaz például a hőtermelők megadása nem azok előfordulási arányának megfelelően történt, hanem csak a legjellemzőbb típus került megadásra. Ez az egyszerűsítés a kezelhetőséget könnyítette, nem okozva hibát a megtakarítás számításokban.

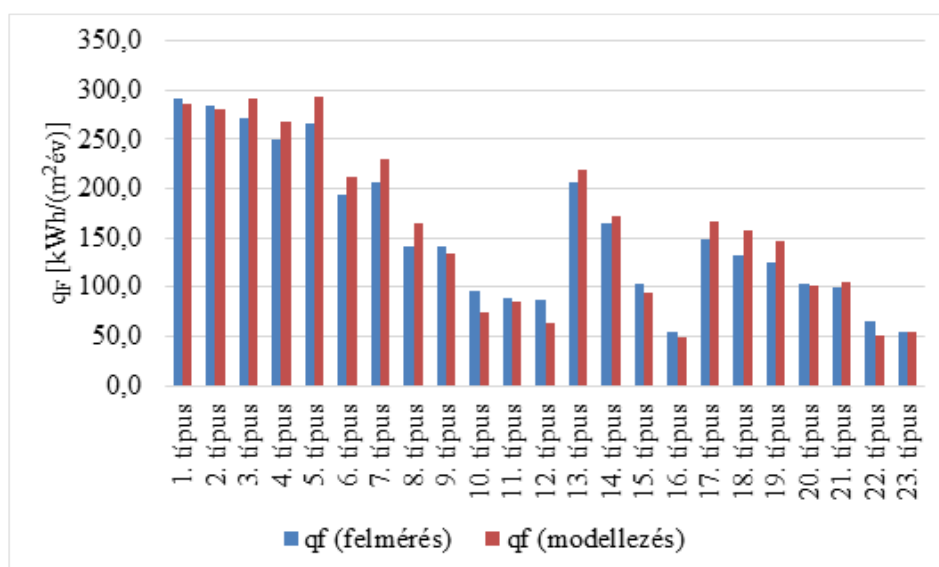
Bár a modellezett eredeti állapot eredményeit, az abban végzett egyszerűsítések miatt nem használom a későbbiekben, az alábbiakban összevetem a legfontosabb indikátorok alakulását a felmérés és a modellezés eredményei alapján bemutatva az eltérések nagyságrendjét.

A fajlagos hőveszteség tényezők összehasonlítását a 9.1. ábra mutatja. Megállapítható, hogy a felmérések átlagos eredményei és a modellezés eredményei nagyon közel vannak egymáshoz. Ennek oka, hogy a fajlagos hőveszteség tényezőt csak az épületburok hőtechnikai tulajdonságai és a geometria befolyásolják. Mivel a modellezés bemenő adatainak többsége ekkor még folytonos értékkészlettel bíró számszerű adat és pontosan megegyező a felmérésekből adódó átlagos bemenő paraméterekkel, az eltérés minimális.

A fajlagos nettó fűtési energiaigények esetén kicsit nagyobb az eltérés a felmérések számított átlagértékei és a modellszámítások eredményei között, de még mindig csekély (9.2. ábra). Itt már megjelenik a légcsereszám hatása. A légcsereszám felvételénél a számos (véletlenszerűen változó) tényező miatt a diszkrét értékek biztonságos becslésével éltem, amelyet a vonatkozó energetikai szabályozás [1] is alkalmaz. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a légcsereszám nyílászáró- és légtömörégi minőségi kategóriáktól, nyílászárók elhelyezkedési tipizált eseteitől és az épület szintszámától függő diszkrét értékeket vehetett fel.



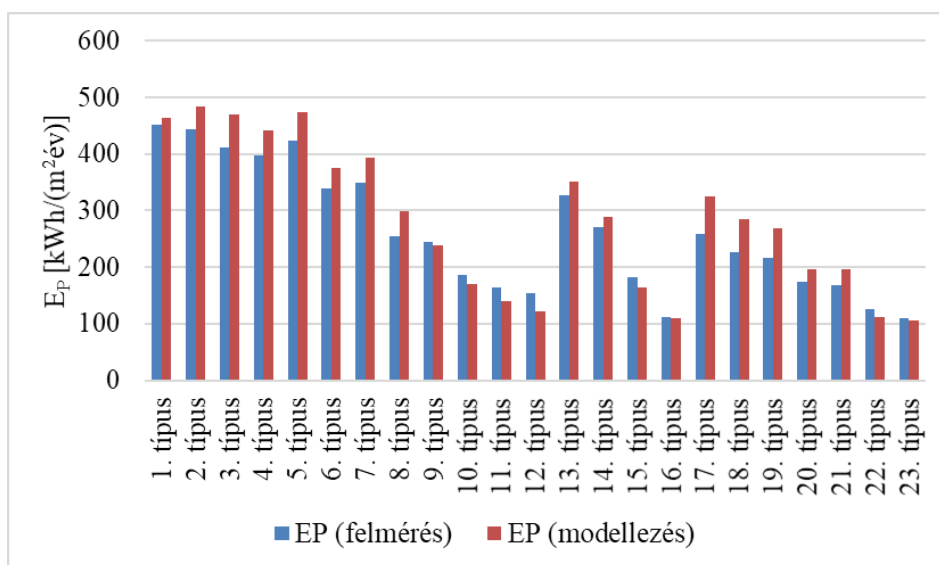
9.1. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: fajlagos hővesztés tényező



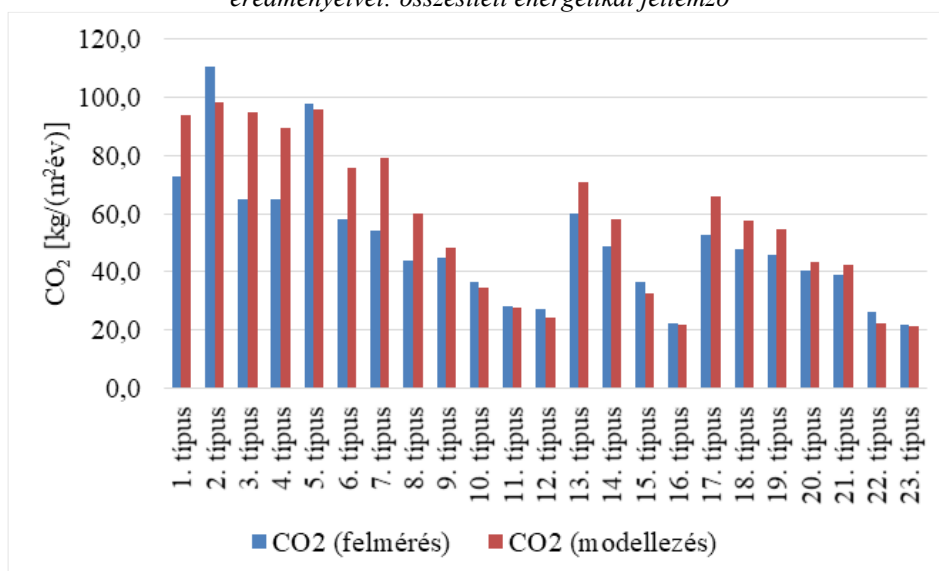
9.2. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: fajlagos nettó fűtési hőigény

Az összesített energetikai jellemző (9.3. ábra), valamint a CO₂ értékek esetén (9.4. ábra) már egyes (pl. 3., 4., 6. és 7.) típusoknál valamivel nagyobb eltérések mutatkoznak. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a modellek vagy a modellezés hibás lenne. Ennek okára a fejezet első bekezdésében már utaltam, miszerint a modellezés során a felhasználási célok szerint legjellemzőbb energiahordozót, hőtermelőt monovalens rendszerben, tárolót, szabályozási módot alkalmaztunk (14.13. táblázat), ami egyszerűsítés ugyan, de nem befolyásolja a számított megtakarítást, hiszen a felújított modellben ezek a berendezések lecserélésre kerülnek. Az eltérés mértéke a régebbi épületek esetén mutatkozik nagyobbak, ahol változatosabb épületgépészeti megoldások voltak jellemzők, azaz gyakoriak voltak mind a földgáz alapú megoldások (pl. gázkonvektor, gázcirkó), mind a tűzifa alapú hőtermelők (kályha, cserépkályha), illetve sokszor fordult elő villanybojler is. Számottevő eltérést okoz például, ha villanybojler kerül megadásra a modellben egy nagyobbbrészt villanybojlerrel, kisebb részben gázkészülékekkel jellemezhető sokaság modellezésére.

Az egyetlen említésre méltó eset, amikor az eredeti gépészet leegyszerűsítése hibához vezet a megtakarítási számításoknál, a távfűtött épületek esete. Ezen épülettípusok (20. és 21. típus) esetén abból adódik eltérés, hogy a felmérés során vegyesen fordultak elő különböző primer tényezőkkel jellemezhető távhőrendszerek, míg a modellben ilyen diverzifikált adatmegadás nem lett volna kezelhető, ezért a felmérés eredményét legjobban közelítő rendszert feltételeztük a modellben. A gond az, hogy a probléma fennáll a korszerűsített változatoknál is, befolyásolva a megtakarítási számítások pontosságát. A 9.3. ábra alapján látható, hogy ezen két típusnál a modell túlbecsüli a felmérési eredményeket, vagyis a megtakarítások számításakor a tévedés a biztonság javára történik.



9.3. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: összesített energetikai jellemző



9.4. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: széndioxid emisszió

Összegezve tehát, a kidolgozott épületmodellek alkalmasak a sokaság modellezésére. Az eredeti állapotra vonatkozó számítási eredményekben ugyan tapasztalható kis mértékű eltérés a felmért épületek eredményei és a modellépületek eredményei között, de ez az eltérés nem okoz szignifikáns hibát a felújított változatok számításakor (kivéve a távfűtött épületeknél a

biztonság javára), mert a hibát olyan bemenő adatok okozzák, melyek a korszerűsített változatoknál felülírásra kerülnek. A megtakarítási számításokhoz pedig nem a modellezett, hanem a felmérésből származó eredmények képezik a referenciaértéket.

9.2. Korszerűsítési változatok áttekintése

Mivel számtalan korszerűsítési változat jöhet szóba, fontos volt, hogy annyi opcióra szűkítsem vizsgálatainkat, melyek számossága kezelhető, mind az adatbevitel erőforrásigénye, mind az eredmények áttekinthetősége szempontjából. A vizsgálandó opciók kiválasztásánál a következő további szempontokat tartottam szem előtt:

- Bizonyos kivételektől eltekintve olyan opciókat nem vizsgáltam, melyek alkalmazása közvetlenül jogszabályba ütközik vagy nem életszerű, például azért, mert általa a hatályos követelményérték nem teljesíthető. A követelmények jövőbeli enyhítése valószínűtlen. A követelményeknél szigorúbb értékek is vizsgálhatók, de ettől eltekintettem, mert egyrészt az értékek nemzetközi összehasonlításban is megállják a helyüket, másrészt korszerűsítések esetén a további szigorítás számos gyakorlati problémát vet fel (pl. hőszigetelések túlzott helyigényének következményei, rosszabb költséghatékonyság).
- A 2050-es közel nulla energiaigényű épületállomány elérésére vonatkozó cél irányába mutató megoldásokat is vizsgáltam, elsősorban a megújuló energiák hasznosítására fókuszálva.
- Megvizsgáltam olyan megoldásokat is, melyek széles körű elterjedésének következményei különösen érdekesek egyes energiahordozó kapacitások alakulása szempontjából: ilyen a biomassza, a direkt elektromos fűtés vagy a villamos hőszivattyú.
- Hasonlóan, a gépi hűtés lehetséges elterjedésének vizsgálata is érdekes kérdéseket vet fel a villamos energiaigények jövőbeni alakulása szempontjából.

A 23 épületre összesen mintegy 300 energiahatékonysági felújítási terv- és energetikai számítási változat készült el a következők szerint:

- Referencia korszerűsítés: a költségoptimalizált követelményszint [1] szerinti felújítás, ami komplex épületszerkezeti korszerűsítést jelent korszerű, nem megújuló energia alapú hőtermelési móddal (kondenzációs gázkazán vagy távhő) kombinálva.
- Referencia szerkezeti felújítás: komplex épületszerkezeti korszerűsítés elemi követelményértékek szerint [1].
- Egy vagy két intézkedést tartalmazó részleges felújítások (csak hőszigetelés, vagy csak nyílászáró csere, vagy csak épületgépészeti korszerűsítés, valamint ezek párosított kombinációi).
- Biomassza alapú rendszerekre való áttérés vizsgálata a következő esetek szerinti bontásban (csak az 1-12. típusokra):
 - Az épület csak annyiban változik, hogy átlagos hatásfokú fatüzelésű berendezés kerül kialakításra helyiségfűtési célra;
 - Az épület csak annyiban változik, hogy korszerű fatüzelésű berendezés kerül kialakításra helyiségfűtési célra;
 - Az épületburok korszerűsítésre kerül a költségoptimalizált követelményszint szerint, valamint helyiségfűtési célra korszerű fatüzelésű berendezés kerül kialakításra.

- Termikus napenergia hasznosítás vizsgálata HMV készítési célra, figyelembe véve a típusonként hasznosítható tetőfelületeket és melegvízigényt.
- Napelemes villamos áram termelés vizsgálata, figyelembe véve a típusonként hasznosítható tetőfelületeket.
- Direkt elektromos fűtésre és melegvízkészítésre való áttérés vizsgálata, melynek során az épület csak annyiban változik, hogy direkt (hőszivattyú nélküli) elektromos fűtés és melegvízkészítés kerül kialakításra.
- Levegő-víz hőszivattyús hőellátó rendszerre való áttérés vizsgálata a következő esetek szerinti bontásban:
 - Az épület csak annyiban változik, hogy hőszivattyús fűtési és melegvízellátó rendszer kerül kialakításra;
 - Az épületben az első pont szerinti korszerűsítést hajtunk végre úgy, hogy hőszivattyús fűtési és melegvízellátó rendszer kerül kialakításra.
- Gépi hűtés és mobil árnyékolók vizsgálata a következő esetek szerinti bontásban:
 - Az épület nem változik, az árnyékoló függöny, és gépi hűtés kerül kialakításra;
 - Az épület nem változik, az árnyékoló hatékony külső árnyékoló, és gépi hűtés kerül kialakításra;
 - Az épület az első pont szerint korszerűsítésre kerül, az árnyékoló csak függöny és gépi hűtés kerül kialakításra;
 - Az épület az első pont szerint korszerűsítésre kerül, az árnyékoló hatékony külső árnyékoló és gépi hűtés kerül kialakításra.

9.2.1. Referencia korszerűsítés – a költségoptimalizált követelményszint szerinti felújítás

A kutatásnak nem célja az általános követelményszint optimalizálása. A témakört több tanulmány vizsgálta [153], [154], [155], [156], melyek a jelenlegi, ún. költségoptimalizált követelményszint kialakulását alapozták meg. Magyarországon 2018 óta komplex felújítás esetén ezt a követelményszintet kötelező betartani, ami nem írja elő megújuló energia alkalmazását és összességében valamivel enyhébb, mint az új építésű épületekre vonatkozó előírások. Vizsgálataimban egyrészt azt elemeztem, hogy e követelményszint mekkora megtakarítási potenciált rejt magában a lakóépület-állomány korszerűsítése esetén, másrészt pedig további korszerűsítési változatok (pl. megújuló energiát hasznosító rendszerek, gépi hűtés és hőellátó rendszer elektrifikációja) vizsgálatához ez képezi majd a referencia esetet az eredeti állapot mellett.

Az [1] rendelet szerint jelentős (azaz komplex) felújítás esetén az új építésű épületekre vonatkozó követelmények tartandók be. A követelmény háromszintű. Az első a szerkezetek hőátbocsátási tényezőjét (U -értékét), a második az ún. fajlagos hőveszteségtényezőt, a harmadik szint pedig az épület összesített energetikai jellemzőjét (fajlagos összes primerenergia felhasználását) maximálja. Az első szint azonos számszerű követelményeket jelent minden épületre (pl. külső falra $U_{\max}=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, tetőre $U_{\max}=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, 9.1. táblázat). A második és a harmadik szintű követelmény számértéke változik a hűlő felület-fűtött térfogat függvényében, ezért ezt típusonként külön kellett meghatározni. A hőszigeteléseknél minden esetben $0,04 \text{ W/mK}$ értékű hővezetési tényezővel számoltam, tekintettel arra, hogy a beépített állapotra jellemző érték valamivel rosszabb, mint a laboratóriumi, de ennek a számszerű eredmények szempontjából nincs jelentősége.

A talajon fekvő padlóknál alkalmazott hőszigetelés vastagságokat a 14.14. táblázat ismerteti.

9.1. táblázat: Az épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőire (U-érték, W/m²K) alkalmazott követelmények

Épületszerkezet	Hőátbocsátási tényező követelményértéke U [W/m ² K]
Külső fal	0,24
Lapostető	0,17
Padlásfödém	0,17
Pincefödém	0,26
Nyílászáró (fa- vagy PVC kerettel)	1,15

Az alkalmazandó épületgépészeti rendszert a harmadik szintű követelmény kényszeríti ki. Arra törekedtem, hogy a szerkezeti minimumkövetelmények éppen teljesüljenek, a gépészetnél pedig a leginkább költséghatékonyak ítélt, a típushoz is illeszkedő megoldásokra esett a választás, mellyel e követelmény már betartható. Ez az esetek többségében kondenzációs gázkazánra történő átállást jelentett (fűtés és HMV ellátás egyaránt). Ugyanakkor, ha egy típusra eredeti állapotban távfűtés volt a jellemző, a korszerűsített változatnál is ez maradt. Hasonlóan, ha egy társasház típusnál a lakásközponti gázfűtés volt a gyakoribb, ott korszerűsítés után is megmaradt, persze korszerűbb készülékekre történő váltást feltételezve. Bizonyos esetekben (egyes újabb típusoknál) nem volt szükség a gépészet korszerűsítésére, anélkül is teljesült a követelmény. Máskor részleges intézkedések (pl. szabályozható fűtés kialakítása) elegendőnek bizonyultak, de volt, ahol teljesen új gépészetet kellett kiépíteni.

9.2.2. Részleges felújítások vizsgálata

Megvizsgáltam milyen eredmények adódnak akkor, ha a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő komplex felújítás (hőszigetelés+ablakcsere+gépészeti felújítás) intézkedéseit nem teljes körűen hajtják végre, hanem azok közül csak egyet vagy kettőt. Így hat eset vizsgálatára került sor:

1. Határoló szerkezetek hőszigetelése és nyílászárók cseréje,
2. Határoló szerkezetek hőszigetelése és az épületgépészeti rendszer korszerűsítése,
3. Nyílászárók cseréje és az épületgépészeti rendszer korszerűsítése,
4. Határoló szerkezetek hőszigetelése,
5. Nyílászárók cseréje,
6. Épületgépészeti (fűtési és hűtési) rendszer korszerűsítése.

9.2.3. Biomassza alapú hőellátás

Láthattuk a 8.7. pontban, hogy a felmérések alapján biomassza alapú hőellátásra elsősorban a családi házak esetén van lehetőség, tekintettel a szilárd tüzelőanyag logisztikai (szállítási, tárolási) nehézségeire társasházak esetén. Családi házaknál típustól függően a felmérések 70-90%-ban a biomassza tüzelés reális opció, míg kis társasházaknál ez csupán 14-20%, nagy társasházaknál pedig 5-12%. Kis társasházak esetén tovább csökkenteni az alkalmazhatóságot az, hogy ezekben az épületekben a központi hőellátás aránya típustól függően mindössze 9-33%. Nem reális opció a lakásonkénti vagy helyiségenkénti biomassza alapú hőellátás kiépítése társasházakba. Az egyediről központi hőellátásra történő átállás szintén valószínűtlen, hiszen ehhez valamennyi lakó belegegyezése szükséges. Továbbá, társasházak jellemzően városokban, leginkább nagyvárosokban találhatóak, ahol a biomassza tüzelés környezetvédelmi szempontból kerülendő, hiszen ott a szennyezőanyag imissziós határértékek a sűrűn elhelyezkedő

szennyezőanyag pontforrások miatt könnyen túlléphetők. Ez a probléma elsősorban a szállópor tekintetében jelentkezik, mert az emisszió gyakorlatilag technológiától függetlenül, azaz még a legkorszerűbb készülékek esetén is számottevő. Szén-monoxid esetén csak a korszerűtlen készülékek esetén kell az imissziós határértékek túllépésével számolni, az NO_x és az SO₂ jelentősége szintén nem számottevő.

Mindezek alapján megvizsgálva a biomassza alapú hőtermelésre való átállás lehetőségét, de csak családi házakra szűkítve, az alábbi esetekre szorítkozom:

1. Az épületben korszerűtlen vegyestüzelésű kazán kerül kialakításra, a melegvízellátás villanybojlerrel történik. Ez ugyan nem ajánlható opció, de alkalmazási kockázatával számolni kell.
2. Az épületben korszerű faelgázosító kazán kerül kialakításra, mely a fűtési idényben a HMV igényeket is fedezi, nyári félévben a melegvízellátás villanybojlerrel történik.
3. Az épület korszerűsítésre kerül a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelően, a hőellátás az előző (2.) pont szerinti rendszerre áll át.

További esetek is vizsgálhatók lennének, például a 2. és 3. pont pellet tüzeléses változatban, attól azonban nem várható számottevően más eredmény, a két hőtermelő típus hasonló éves hatásfoka miatt. Eltérés inkább a villamos segédenergia igényben jelentkezne, ami viszont az épület teljes villamos energiaigényéhez képest nem számottevő. A helyiségenkénti hőtermelő megoldások (kandalló- és kályhatüzelés) inkább csak kiegészítő fűtési módokként képzelhetők el, illetve a magas hatásfokú kandallók közel azonos vagy rosszabb eredményt adnak, mint a faelgázosító kazánok, ezért külön esetként való kezelésük szükségtelen. Így ezen esetek vizsgálatától eltekintettem. A HMV előállítás napkollektorral történő biztosításának lehetősége a biomassza alapú hőellátás ésszerű kiegészítése, mert így elkerülhető a nyári tüzelés. Ezt a megoldást külön pontban ismertetem (9.2.6. fejezet).

9.2.4. Elektromos hőellátás

A villamos energiaellátás dekarbonizációja gyors ütemben zajlik, köszönhetőnek az EU 2050-es dekarbonizációs célkitűzéseinek. Ennek ütemét nagymértékben a szakpolitikai környezet határozza meg, és fogja meghatározni a jövőben is. Az egyik véglet a szakpolitikai intézkedések nélküli eset, mely minimális mértékű dekarbonizációt, a másik véglet pedig a teljes vagy szinte teljes dekarbonizációt vetíti előre [157], [158]. Ugyanakkor a folyamatot az is számottevően befolyásolhatja, hogy a villamos energia igények hogyan változnak a jövőben, jelentős növekedés fékezheti a dekarbonizációs folyamatot. Ebben meghatározó szerepet játszhat az, ha a helyiségfűtés és HMV előállítás területén számottevő elektrifikáció következik be.

Fontos továbbá a szezonális problémája is. A napelemek dekarbonizációs hatása elsősorban a nyári félévben számottevő, míg a fűtés elektrifikációja a téli félévben jelent igény növekedést. (A szélenergia hasznosítás lehetőségei pedig hazánkban erősen korlátozottak.) Ezen okok miatt szükségesnek tartom olyan átalakítási változatok kidolgozását, melyekben villamos hőtermelőkre történő átállás valósul meg.

9.2.4.1. Direkt elektromos hőellátás

A direkt elektromos helyiségfűtésre történő átállás fogyasztói szempontból vonzó megoldásnak tűnik, egyszerű műszaki kialakítása és alacsony beruházási költsége miatt. Ugyanakkor a villamos áram viszonylag magas ára, valamint magas nem megújuló primer energiatartalma miatt jelenleg nem javasolható. Ennek ellenére érdemes megvizsgálni annak érdekében, hogy mérlegelni lehessen milyen kockázattal járna az elterjedése. Továbbá, a villamosenergia

termelés nagymértékű forrás-mix dekarbonizációja és megújuló áramtermelés kapacitás növekedés esetén számolni kell létjogosultságának növekedésével.

Mindezek tükrében a következő változatokat vizsgáltam meg:

1. Az épületben direkt elektromos helyiségfűtés és HMV előállítás kerül kialakításra.
2. Az épület határoló szerkezetei korszerűsítésre kerülnek a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelően és ehhez direkt elektromos helyiségfűtés és HMV előállítás társul. Megjegyzendő, hogy egy ilyen rendszer nem felel meg az aktuális követelményrendszernek a villamos áram magas nem megújuló primer energiatartalma miatt, ezért elsősorban kockázati szempontból vizsgálandó.

9.2.4.2. *Hőszivattyús hőellátás*

Az elektromos hőellátás hatékony alternatívája a hőszivattyú és termodinamikailag csak ez indokolható. A különböző alternatívák közül a talajhőt hasznosító hőszivattyúk a leghatékonyabbak, de mint a felmérésekből kiderült, az esetek több mint kétharmadában nem alkalmazhatók (8.17. ábra, 8.18. ábra), és beruházási költségük is jóval magasabb, mint a levegős hőszivattyúké. Ráadásul ez a költség-többlet a jövőben is várhatóan fennmarad a kapcsolódó földmunkák miatt. A többi, nem levegő hőforrású hőszivattyú technológia (pl. víz, szennyvíz, technológiai hő) épületléptékben nem, vagy csak néhol lehet életképes megoldás. Ezért a levegő hőforrású hőszivattyúkra korlátoztam vizsgálataimat. A gyakorlatban is ezek terjednek leginkább. Levegő-levegő hőszivattyús rendszereket szintén nem vizsgáltam, azokra a levegő-vizes rendszerre kapott eredményeknél valamivel rosszabb eredmények adódnának.

A vizsgált esetek a következők:

1. Levegő-víz hőszivattyús rendszer kerül kialakításra helyiségfűtés és HMV előállítás céljából.
2. Az épület a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelően korszerűsítésre kerül és levegő-víz hőszivattyús rendszer szolgálja ki a helyiségfűtési és HMV előállítási igényeket.

9.2.5. *Gépi hűtés*

Mint a 3.1.1 és 8.6. fejezetekben már láttuk, a gépi hűtéssel ellátott lakóépületek aránya egyelőre nem jelentős (2015-ben 6,7%), de számuk folyamatosan és intenzíven növekszik (3.3. ábra). A globális felmelegedés, a hőhullámok gyakoriságának növekedése továbbá a „városi hőszigetek” kialakulása szintén ebbe az irányba hat. Ezért érdemes megvizsgálni, hogy a gépi hűtés elterjedése milyen hatást gyakorolna a lakóépületek villamosenergia igényére.

A gépi hűtés vizsgálatok az árnyékolók alkalmazásának kérdése is felmerül, hiszen azok jelentősen csökkenthetik a hűtési igényt.

Így a következő esetekre vonatkoznak a hűtési energiaigények:

1. Gépi hűtés árnyékoló és szerkezeti felújítás nélkül: Az épületben gépi hűtés kerül kialakításra árnyékoló alkalmazása nélkül (függönnyel feltételezve 0,8 értékű árnyékolási tényezővel), split klímát feltételezve (kompresszoros léghűtés, SEER=2,5), ami egy kis költségű, általánosan elterjedt megoldás.
2. Gépi hűtés árnyékolóval, szerkezeti felújítás nélkül: Az 1. esetben vázolt épületben gépi hűtés kerül kialakításra árnyékoló alkalmazásával (árnyékolási tényező értéke: 0,1).
3. Gépi hűtés árnyékoló nélkül, szerkezeti felújítással: Az 1. esetben vázolt megoldás úgy, hogy közben a határoló szerkezetek a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelően korszerűsítésre kerülnek.

4. Gépi hűtés árnyékolóval, szerkezeti felújítással: A 2. esetben vázolt megoldás úgy, hogy közben a határolószervezetek a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelően korszerűsítésre kerülnek.

9.2.6. Napkollektoros hőtermelés

Megvizsgáltam azt is, hogy napkollektorokkal milyen mértékű hőenergia termelés biztosítható. Csak a HMV célú hőtermelést vizsgáltam, mert a magyarországi klimatikus viszonyok között helyiségfűtési célú hőtermelés hatásfoka lényegesen rosszabb, és mint azt az eredményekből látni is fogjuk, még a HMV igényeket sem tudják a napkollektorok teljes mértékben fedezni. A napkollektoros medencefűtést szintén nem vizsgálom tekintve, hogy a medencefűtés energiaigénye az épület energiaigényén felül jelentkező, opcionális technológiai hőigény.

Kisebb méretű épületeknél a fajlagosan nagy hasznosítható tetőfelület miatt előfordulhat, hogy a pillanatnyi termelhető energia meghaladja az igényeket, ami hatásfokromlással jár, így a napkollektoros számításokat két esetre is elvégeztem: az egyik a maximális, a másik pedig az optimális kollektorfelületet veszi figyelembe. Az első esetben nagyobb a termelhető hőmennyiség (így a szoláris részarány és a megújuló részarány is), viszont rosszabb a hatásfok, ami az alkalmazás gazdaságossági mutatóit rontja jelentősen. Az egyes épülettípusokon elhelyezhető kollektorok darabszámát és a tető dőlésszögeket a felmérések (8.14. ábra és 8.15. ábra) alapján meghatározva a 14.10. táblázat (4. Melléklet) foglalja össze. Ugyanez a melléklet ismerteti a számítási módszert és egyes részeredményeket. A táblázatból megállapítható, hogy az optimális kollektor darabszám családi házak, illetve három kis társasház esetén jelent csökkenést, vagyis nagy társasházaknál az optimális üzemhez szükséges darabszám nem érhető el.

9.2.7. Napelemes energiatermelés

Hálózatra kapcsolt napelemek esetén a pillanatnyi túltermelés az épület szintjén jelenleg nem jelent problémát, mert a felesleget hasznosítja a hálózat. Természetesen, a napelem termelési kapacitások jelentős bővülése hosszú távon hálózat üzemeltetési problémákhoz vezethet, attól függően, hogy mennyi lesz az alaperőművek részesedése, mennyi lesz a csúcserőmű kapacitás. Így a jövőben előfordulhat, hogy a hálózati oldalról korlátozzák, vagy büntetik az átvételt. Ezt azonban alapesetben nem veszem figyelembe, és napelemek esetén maximális helykihasználtságot feltételezek. Az egyes épülettípusokon elhelyezhető napelemek darabszámait és a tető dőlésszögeket a felmérési eredmények (8.14. ábra és 8.15. ábra) alapján határozhatók meg. A számítási részleteket az 5. Melléklet ismerteti, illetve a 4. Melléklet 14.10. táblázata bemutatja az elhelyezhető napelem darabszámokat, összevetve a napkollektorokéval.

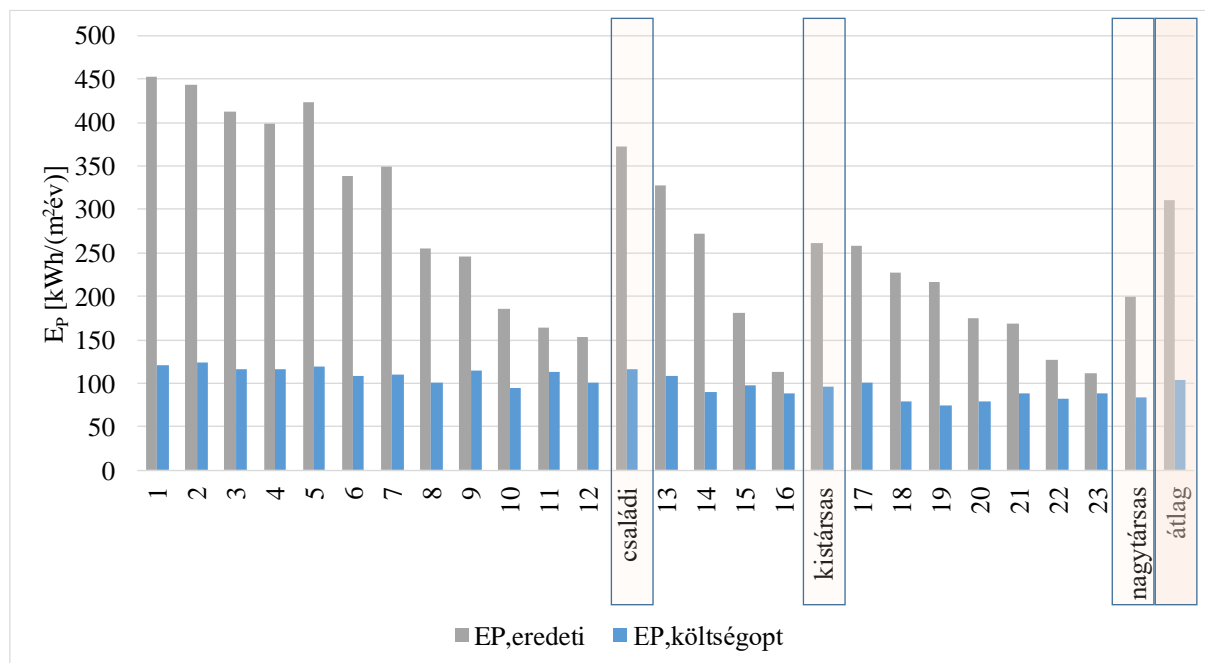
9.3. Modellépület számítások

9.3.1. Referencia korszerűsítés – a költségoptimalizált követelményszint szerinti felújítás

A számítások eredményeit az összesített energetikai jellemzőre 9.5. ábra mutatja. A fajlagos hőveszteség tényezőre és a széndioxid emisszióra vonatkozó diagramok a 8. Mellékletben található (14.5. ábra és 14.6. ábra). A fajlagos nem megújuló primerenergia megtakarítás igen jelentős, átlagosan 66%, és az alkalmazott intézkedések még nem szükségszerűen tartalmaznak megújuló energiát (felújítás esetén erre jogszabályi előírás sincs). Az egyes felújítások hatása a különböző épülettípusok esetén eltérő, ami elsősorban a kiinduló állapotok közötti számottevő eltérésekkel indokolható. A régebbi, kisebb méretű családi házak esetén (pl. az 5. típus) nagyon nagy a megtakarítási potenciál, mert ezek az épületek nem csak rossz hőtechnikai tulajdonságokkal és gépészettel rendelkeznek, hanem kis méretük miatt nagy a fűtött térfogatra jutó hűlő felületük. Az ugyanilyen korú 6. típus esetén relatíve kisebb a hűlő felület, ezért mintegy 100 kWh/m²évvel alacsonyabb a kiinduló állapot primerenergia felhasználása. Felújítás után közel azonos szintre jutnak, ami abból következik, hogy a teljes burok rekonstrukció miatt a transzmissziós veszteségek jelentősége háttérbe szorul.

Az újabb típusok esetén a korszerűsítés kis megtakarítást hoz mind abszolút, mind relatív értelemben. Ezekben az esetekben a korszerűsítés nyilvánvalóan gazdaságosan nem hajtható végre, ezért a vizsgálat csak az elméleti szempont miatt érdekes, legalábbis rövid távon. Továbbá az újabb épületek száma, így súlya is viszonylag csekély.

Bár a 9.5. ábra a korszerűsített állapot értékei látszólag közel esnek egymáshoz, a legmagasabb érték (2. típus: $E_p=123,9$ kWh/m²év) 66%-kal magasabb, mint a legalacsonyabb (19. típus: $E_p=74,6$ kWh/m²év). Az is megállapítható, hogy az esetek több, mint kétharmadában az E_p érték 100 kWh/m²év alá esik, ami a hatályos közel nulla energiaigényű E_p követelményérték [1].



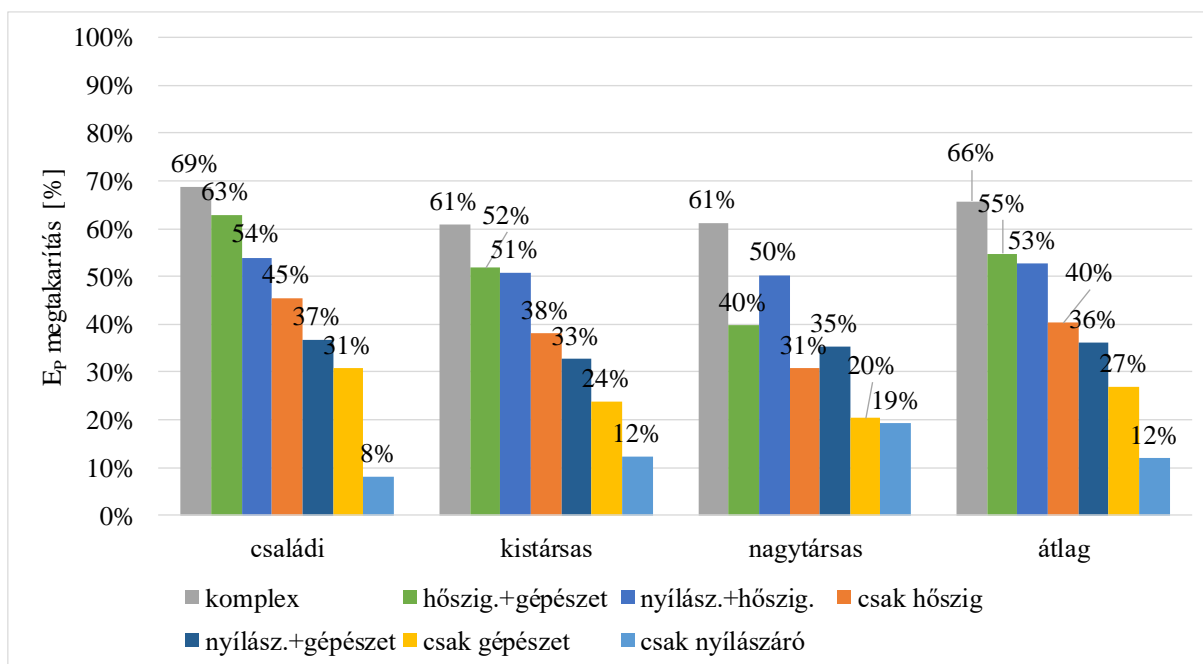
9.5. ábra: Az összesített energetikai jellemző alakulása korszerűsítés nélkül (felmérés alapján) és költségoptimalizált követelményszintek megfelelő korszerűsítés esetén

9.3.2. Részleges felújítások

A részleges felújítások közül általában a nyílászáró csere elhagyása közelítette meg legjobban a komplex felújítás eredményét, és a nyílászáró csere önmagában hozta a legmérsékeltbb eredményeket (9.6. ábra). Ez azonban erősen függ a felület-térfogat aránytól és az üvegezési aránytól. Mindkét tényező a családi házaknál kedvezőtlenebb, így nagy társasházak esetén a nyílászáró csere jelentősége jóval nagyobb.

A nyílászáró csere hatása kettős: mind a transzmissziós, mind a szellőzési veszteségekre hatással van. Mindkét hatást figyelembe vettem a modellezésnél.

A részleges felújítások igazi hátránya a komplex felújításokhoz képest a gazdaságosság szintjén jelentkezik, hiszen a több lépcsőben végrehajtott intézkedések összköltsége magasabb, mint az egyszerre végrehajtott intézkedéseké. Ezt a kérdést azonban a disszertációban nem tárgyalom.



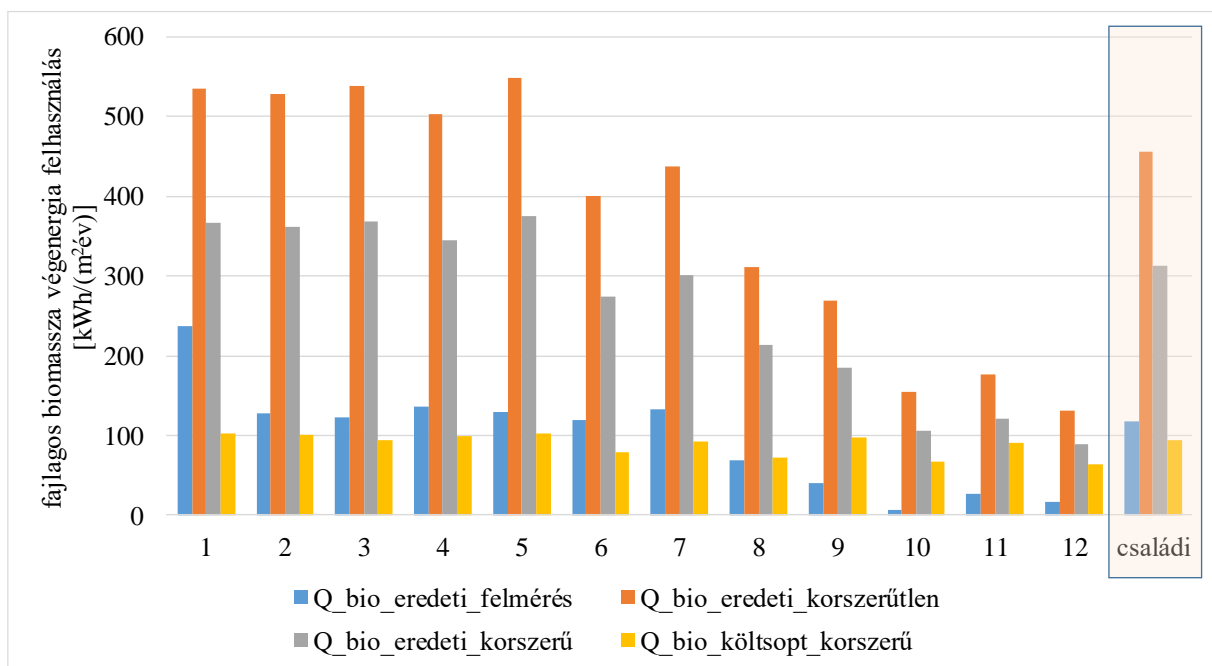
9.6. ábra: Nem megújuló primer energia megtakarítások komplex és részleges felújítások esetén (viszonytási alap: modellezett eredeti állapot)

9.3.3. Biomassza alapú hőellátás

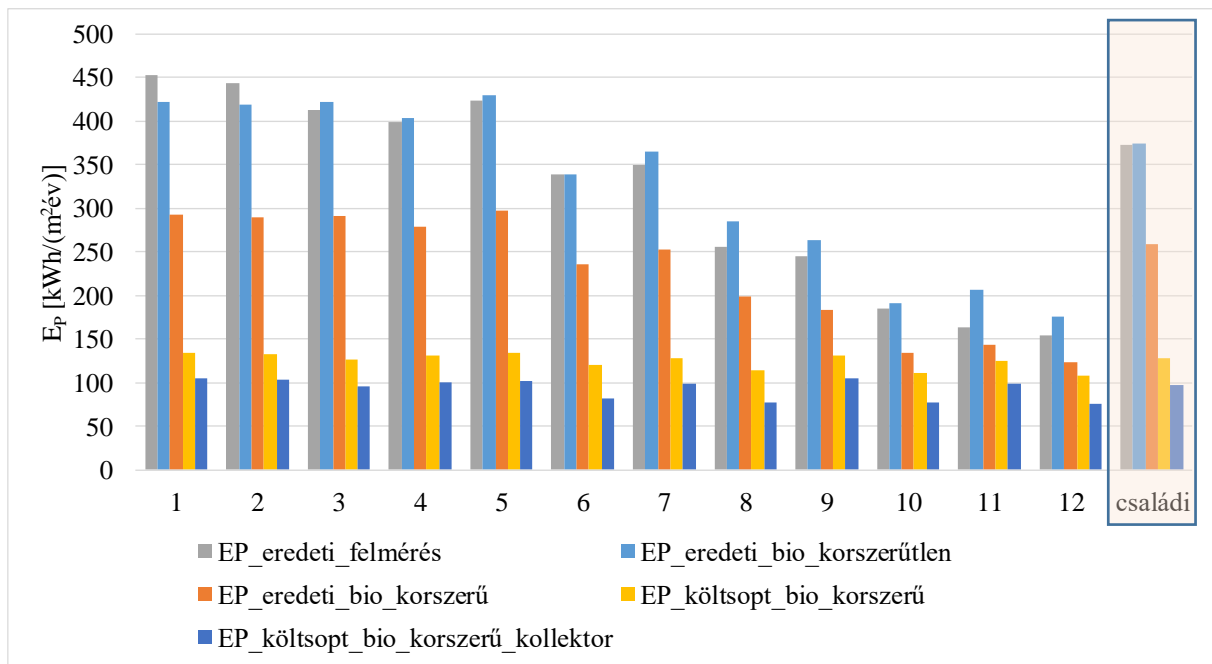
A biomasszára történő teljes átállást csak családi házak esetén vizsgálom, mert társasházak esetén az alkalmazás legfeljebb szórványosan képzelhető el. Ennek okait a 9.2.3. pont tárgyalta. A biomassza végenergia felhasználás értékeit a 9.7. ábra mutatja. Az ebből számított tűzifa igényt a 14.7. ábra (8. Melléklet) tartalmazza. Megállapítható, hogy ha az épületburok nem kerül korszerűsítésre és az új fatüzelésű kazán korszerűtlen, akkor a teljes családi ház állomány biomassza tüzelésre való átállítása esetén a tűzifa igények jelentős növekedésével kellene számolni, hiszen eredeti állapotban az épületeknek csak egy részére jellemző a fatüzelés. Ezt korszerű faelgázosító kazánnal sem lehet kompenzálni, az is az országos tűzifa igény növekedéséhez vezet. Mérséklés csak az épületburok korszerűsítésével kombináltan lehetséges. Természetesen a biomassza végenergia igények növekedésével más energiahordozók (elsősorban gáz és HMV esetén villamos áram) kiváltásra kerülnek, ezért érdemes megnézni a nem megújuló primer energiaigényekre gyakorolt hatást is (9.8. ábra). Ezt vizsgálva látható, hogy korszerűtlen biomassza kazánra átállás szinte alig hoz eredményt a nem megújuló primer energiafogyasztásban, mert a jobb primer energia tényezőt kompenzálja a hőtermelő hatásfok

romlása. A faelgázosító kazán hatása már számottevőbb (átlagosan $E_p=260$ kWh/m²év érhető el), de a követelményektől még ez is messze van. Komplex felújítással pedig átlagosan $E_p=128$ kWh/m²év teljesíthető, ami tovább csökkenthető, ha a HMV-t villamos hőtermelés helyett napkollektorokkal állítjuk elő. Utóbbi megoldással elérhető az $E_p=100$ kWh/m²év alatti átlagérték.

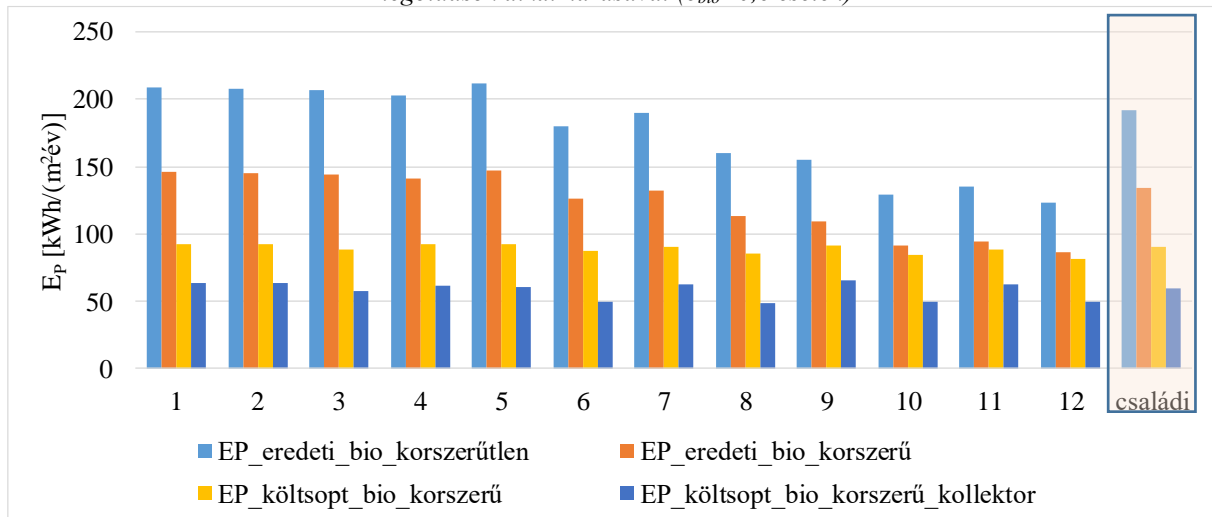
Természetesen a kapott eredmények tekintetében meghatározó a biomassza nem megújuló primer energia tényezője, aminek értéke a számításokban a jogszabályban [1] foglalt $e_{bio} = 0,6$, mely érték szakmai viták tárgyát képezi. A biomassza primer energia tényezőjének változtatása a fűtés primer energiaigényét tiszta biomasszás fűtés esetén megközelítőleg egyenes arányosan módosítja, a HMV eredményekre viszont nincs hatással, tekintve, hogy az villamos- vagy napenergiából származik. Az EN ISO 52000-1:2017 [159] európai szabvány $e_{bio} = 0,2$ értéket javasol a biomassza primer energia tényezőjére. Ezért a kérdés jelentőségének illusztrálására az meghatároztam, hogy milyen eredmény adódik $e_{bio} = 0,2$ esetén a korszerűsítésekkel elérhető nem megújuló primer energiafelhasználásra, amit a 8.8. ábra mutat. Az így kapott értékek értelemszerűen jóval alacsonyabbak, mint $e_{bio} = 0,6$ esetén. Valamennyi épülettípusra a szerkezeti felújítással kombinált opciókkal könnyen teljesül az $E_p=100$ kWh/m²év alatti érték (még villamos HMV készítés esetén is, ekkor az átlagérték $E_p=91$ kWh/m²év). A napkollektorral kombinált megoldásnál pedig $E_p=60$ kWh/m²év átlagérték adódik.



9.7. ábra: Tüzifa eredetű fajlagos hőenergia felhasználás eredeti állapotban és különböző korszerűsítési megoldások esetén



9.8. ábra: Az összesített energetikai jellemző értéke eredeti állapotban és különböző tüzfaja alapú korszerűsítési megoldások alkalmazásával ($e_{bio}=0,6$ esetén)



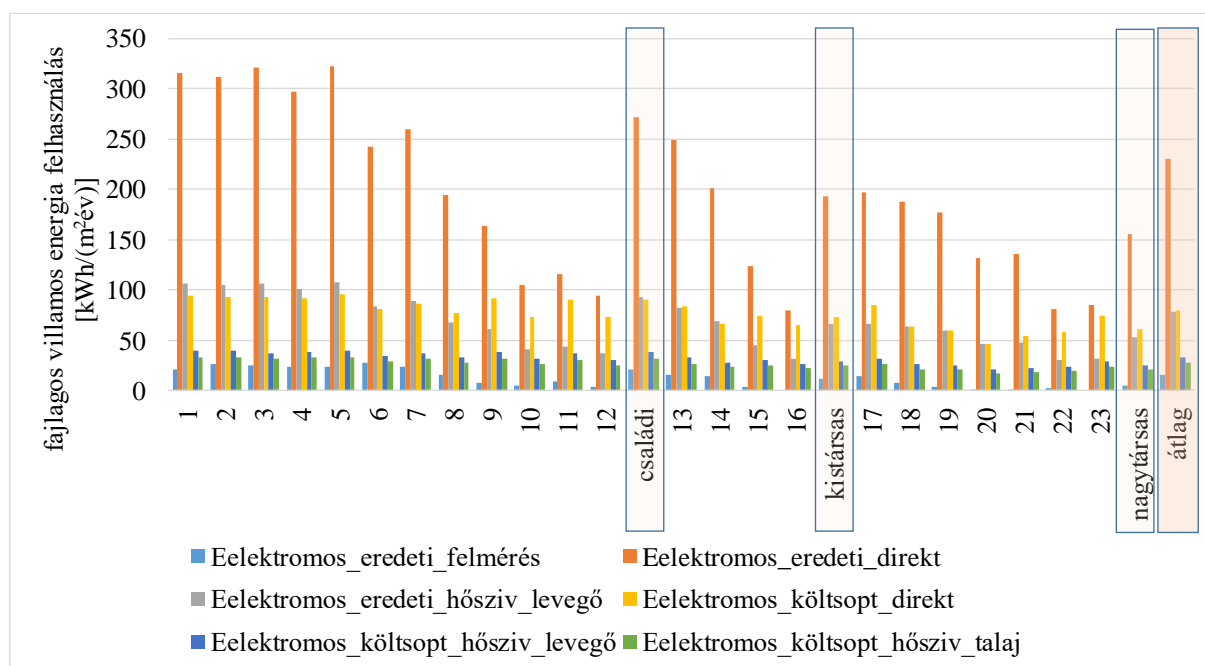
9.9. ábra: Az összesített energetikai jellemző értéke a különböző tüzfaja alapú korszerűsítési megoldások alkalmazásával ($e_{bio}=0,2$ esetén)

9.3.4. Elektromos hőellátás

A hőellátás elektrifikációja tekintetében is több változatot vizsgáltam. A beavatkozások eredményeképpen várható villamosenergia felhasználásokat a 9.10. ábra és 9.2. táblázat, a nem megújuló fajlagos primerenergia felhasználás megtakarításokat a 9.11. ábra mutatja. Eredeti állapotban a villamos energiaigény csekély, hiszen az elektromos hőellátás lakóépületben nem jellemző, a csekély fogyasztás részben a villamos segédenergia igényeknek és az elektromos HMV rendszerrel rendelkező épületeknek köszönhető. A hőellátás elektrifikációja tehát mindenképp villamos energiaigény növekedést okoz, ennek mértéke azonban nagyban függ az alkalmazott megoldásoktól. A direkt villamos fűtésre való átállás épületburok korszerűsítés nélkül nagyon jelentős elektromos igény növekedést okozna, és a primer energiaigény is közel duplájára nőne. Hőszivattyú esetén a primer energia igény számottevően csökkenne ugyan, de a kapott eredmény nem jobb, mint a referencia korszerűsítésé. Az épületburok korszerűsítés

direkt villamos fűtéssel kombinálva még rosszabb eredményt ad. Érdeemben a hőszivattyúval kombinált épületburok felújítások hoznak nagyobb primerenergia megtakarítást, mint a referencia korszerűsítés. Itt is azonban a villamosenergia igények számottevő növekedésével kell számolni az eredeti állapothoz képest.

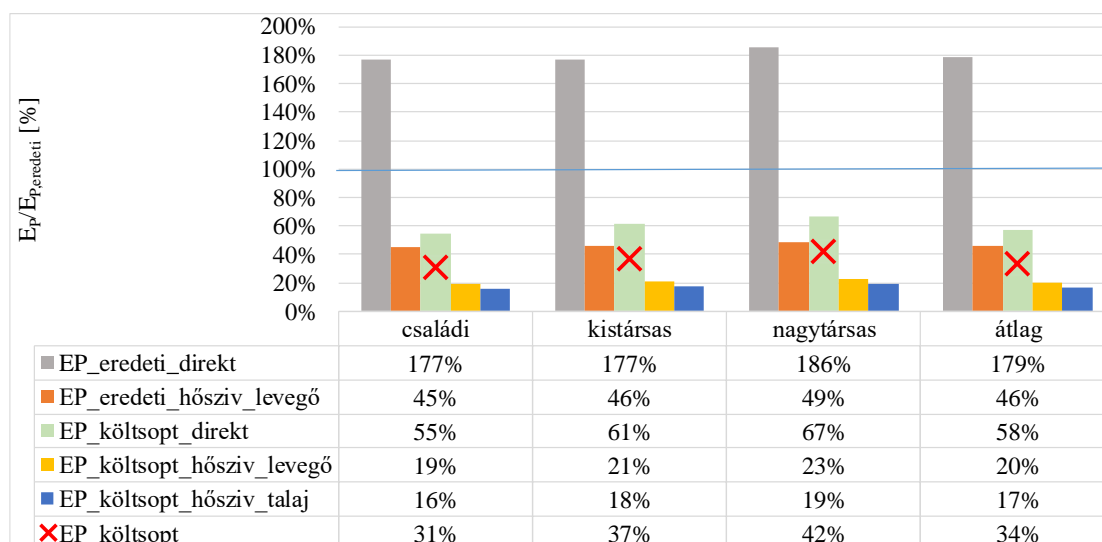
Az ismertetett eredmények nem tartalmazzák a világítás, a háztartási gépek és szórakoztató elektronika energiafelhasználását. Összehasonlításuképpen, az energiastatisztikák szerint a háztartások átlagos villamos energiafogyasztása 24,1 kWh/m²év (ld. 9.3.8. pont), mely érték már valamennyi villamos fogyasztási tételt tartalmaz.



9.10. ábra: Fajlagos villamos energia felhasználás eredeti állapotban és különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások esetén

9.2. táblázat: Fajlagos villamos energia felhasználás eredeti állapotban és különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások esetén

	Családi házak	Kis társasházak	Nagy társasházak	Átlagos épület
	kWh/m ² év	kWh/m ² év	kWh/m ² év	kWh/m ² év
Felmért állapot	21,1	11,9	5,1	15,5
Eredeti szerk. + direkt elektromos hőtermelés	272,2	193,3	156,4	230,3
Eredeti szerk. + levegős hősziv.	92,5	65,9	53,6	78,4
Költsopt. szerk. + direkt elektromos hőtermelés	90,2	72,6	61,6	80,0
Költsopt. szerk. + levegős hősziv.	37,9	29,7	25,1	33,3
Költsopt. szerk. + talaj. hősziv.	31,7	24,7	20,8	27,8

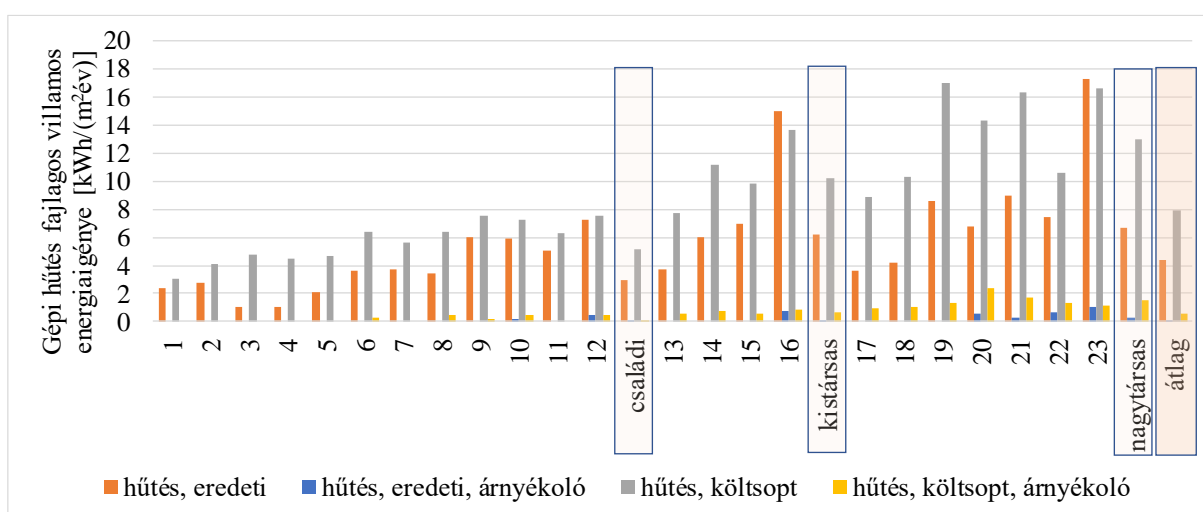


9.11. ábra: Az összesített energetikai jellemző változása különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások, valamint a költségoptimalizált szint szerinti korszerűsítés esetén (viszonyítási alap: felmért eredeti állapot)

9.3.5. Gépi hűtés

Mivel eredeti állapotban a gépi hűtés szerepe elhanyagolható volt, annak kiépítése esetén a rendszer hatékonyságától függetlenül villamosenergia igény növekedéssel kell számolni. A nettó hűtési igényre kapott eredmények a 8. Mellékletben (14.8. ábra) találhatóak. A gépi hűtés villamosenergiaigényét épülettípusonként és rendszertípustól függően a 9.12. ábra mutatja. Látható, hogy árnyékolók alkalmazásával a gépi hűtés energiaigénye minimális értéken tartható. Az is megállapítható, hogy az épületburok felújítása a hűtési igények növekedését okozza. Ugyanakkor ennek a növekedésnek mértéke jóval kisebb (átlagosan kevesebb, mint $\Delta E_{hű} = \Delta E_P = +10 \text{ kWh/m}^2\text{év}$), mint a fűtési energiaigények csökkenése (átlagosan $\Delta E_f = \Delta E_P = -210 \text{ kWh/m}^2\text{év}$) primer energiában kifejezve, tehát a burok felújítás összességében célszerű.

Megállapítható az is, hogy a fajlagos hűtési energiaigények az épületek méretével növekednek, illetve az újabb épületekre magasabb hűtési igény jellemző. Általában, ahol a transzmisszió szerepe nagyobb, ott kisebb hűtési hőigény várható.



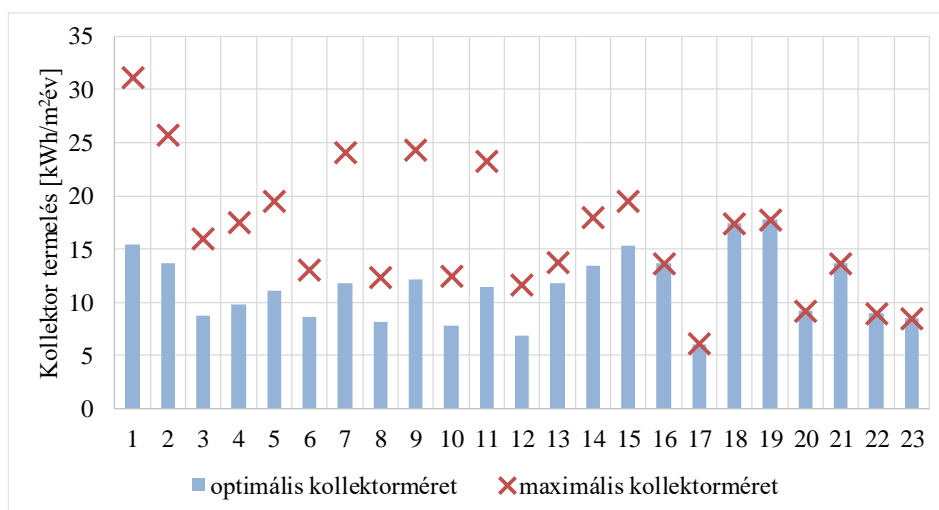
9.12. ábra: Az árnyékolók alkalmazása és a felújítottság hatása a gépi hűtés villamos energiaigényére

Megjegyzendő, hogy az alkalmazott számítás havi energiamérlegen alapul, és azt feltételeztük, hogy éjszakai átszellőztetés nem történik. Ez a megközelítés viszont nem veszi figyelembe a különböző energiaáramok (pl. belső hőterhelések, szellőzési menetrend, szoláris terhelés aszinkron jellege) dinamikáját, aminek hűtés esetén jóval nagyobb a jelentősége, mint fűtés esetén. A gyakorlatban számos üzemeltetés lehetséges, például nappali hűtés zárt ablakok mellett, éjszaka pedig természetes szellőzés, de előfordulhat az is, hogy nappal nincs gépi hűtés, mert nincsenek otthon, éjjel viszont működtetik azt. Mindezen tényezők figyelembe vétele órai módszerrel vagy dinamikus szimulációval lenne lehetséges, amihez viszont a használati szokások pontosabb, statisztikai adatokkal alátámasztható ismeretére lenne szükség. Egyelőre azonban ilyen adatok csak szórványosan állnak rendelkezésre. További adatok gyűjtését és feldolgozását folytatom a későbbi kutatások megalapozása érdekében [160], [161], [162].

9.3.6. Napkollektoros hőtermelés

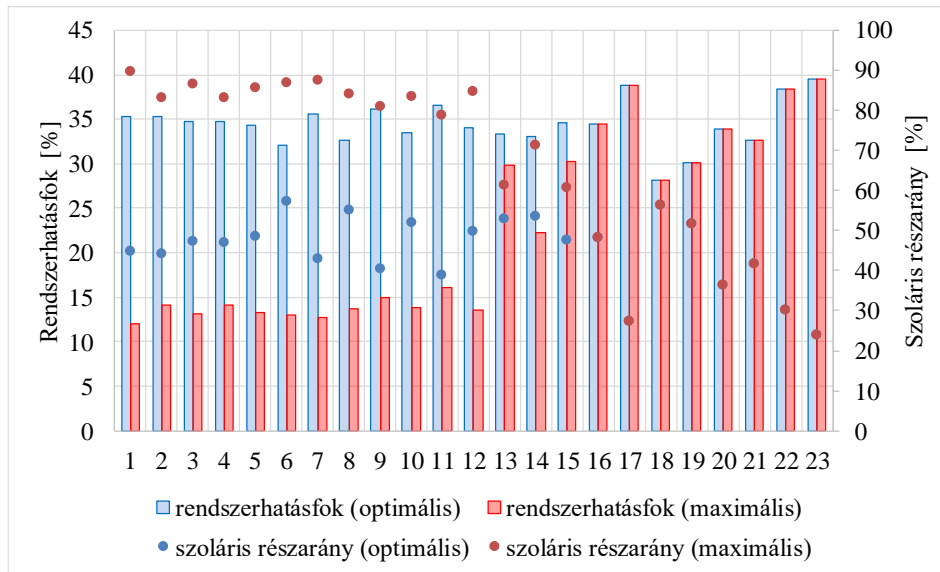
A napkollektorokkal termelhető energia, alapterületre vetített fajlagos értékét mutatja maximális és optimális kollektormezőre, épülettípusonként a 9.13. ábra. A kapcsolódó szoláris részarányt (HMV igényre vonatkoztatva) és az éves rendszerhatásfokot pedig a 9.14. ábra ismerteti. Megállapíthatjuk, hogy az optimális méretű kollektormező alkalmazásával $\Delta Q_{\text{fajl}} = 6-18 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ hőenergia váltható ki. Ha maximalizálni akarjuk a termelést, akkor azt elsősorban családi házak esetén tehetjük meg, de a legjobb eredményt adó épülettípusra is csak $\Delta Q_{\text{fajl}} = 31 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ hőenergia váltható ki így. A maximalizálás ugyanakkor nem ajánlható, mert bár az átlagos szoláris részarány 44%-ról 90%-ra nő, az átlagos rendszerhatásfok mintegy 35%-ról 12%-ra csökken, ami költséges, túlméretezett rendszert jelent (1. épülettípus).

A napkollektorokkal elérhető megújuló részarányt a következő pontban, a napelemekkel együtt tárgyalom.



9.13. ábra: Napkollektoros hőtermelés maximális és optimális darabszám esetén hasznos fűtött alapterületre vetített fajlagos értéke épülettípusonként

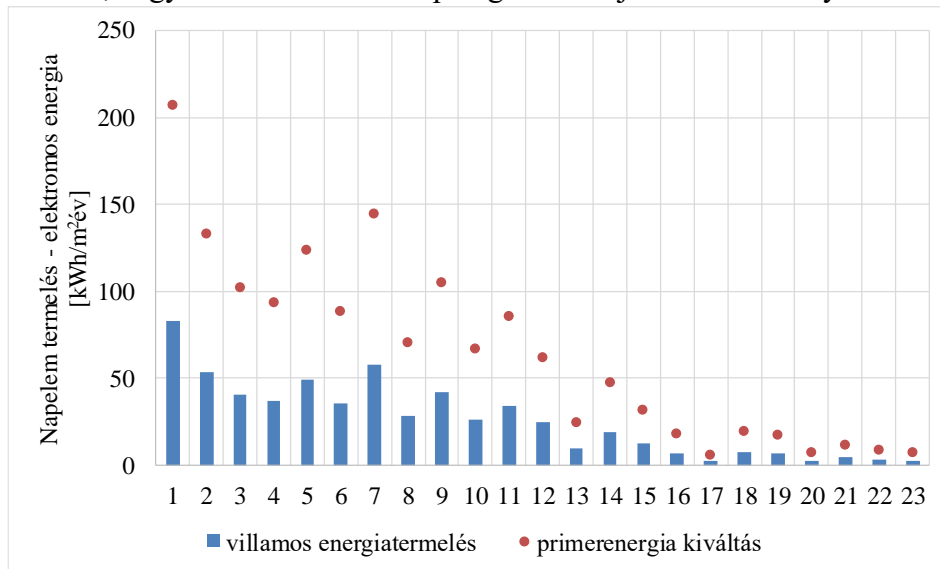
dc_2011_22



9.14. ábra: A szoláris részarány és a rendszerhatásfok alakulása optimális és maximális kollektorszám esetén épülettípusonként

9.3.7. Napelemes energiatermelés

A napelemekkel termelhető villamos energia és az általuk kiváltható primer energia alapterületre vetített fajlagos értékét mutatja maximális tetőkihasználtság esetén, épülettípusonként a 9.15. ábra. Látható, hogy azon épületeknél, ahol a hasznosítható tetőfelület hasznos alapterületre vetített értéke magas, ott jelentős mennyiségű primer energia váltható ki. Ezek az egyszintes családi házak. Minél nagyobb az épület (elsősorban a szintszám), annál kisebb ez az érték, nagy társasházak esetén pedig már kifejezetten alacsony.



9.15. ábra: Napelemes áramtermelés maximális tetőkihasználtság esetén hasznos fűtött alapterületre vetített fajlagos értéke épülettípusonként

A hasznosítható napenergiát az épületek energiaigényével veti össze a 9.16. ábra primer energiában kifejezve, mind felújítatlan, mind felújított állapotra. Ebből meghatározhatók a megújuló részarányok, amit a kiváltott primerenergia és a teljes (kiváltás előtti) primerenergia értékek hányadosaként kapunk meg. Ezt mutatja felújított állapotra a 9.17. ábra. Megállapítható, hogy családi házak esetén napelemekkel lehet a legmagasabb megújuló

részarányt elérni, értéke igen magas, 62-171%, négy esetben pozitív energiamérlegű (nettó energiatermelő) az épület. Az épületek szintszámának emelkedésével a helyzet sokkal rosszabb, nagy társasházak esetén minden esetben 25% alatti, három típusnál 10% alatti érték adódik. Napkollektorok esetén, ahol a maximális kollektorfelület több, mint az optimális, minden esetben a napelemekkel érhető el jobb eredmény. A maximális kollektorfelületre való törekvés ezért sem jó stratégia. Nagy társasházak esetén a napkollektorokkal valamivel jobb eredmény érhető el, mint napelemekkel, de a különbség nem számottevő, a megújuló részarány valamennyi típusra 25% alatt marad. A legrosszabb helyzet a 17. típusnál áll elő, melybe a háború előtti nagytársasházak tartoznak. Ezen épületek tetőkialakítása olyan, hogy szűkek a kihasználási lehetőségek (jellemzők a belső udvar felé szűkülő tetők), melyet a városképi szempontok is korlátozhatnak, sok közöttük a védettség alatt álló épület.

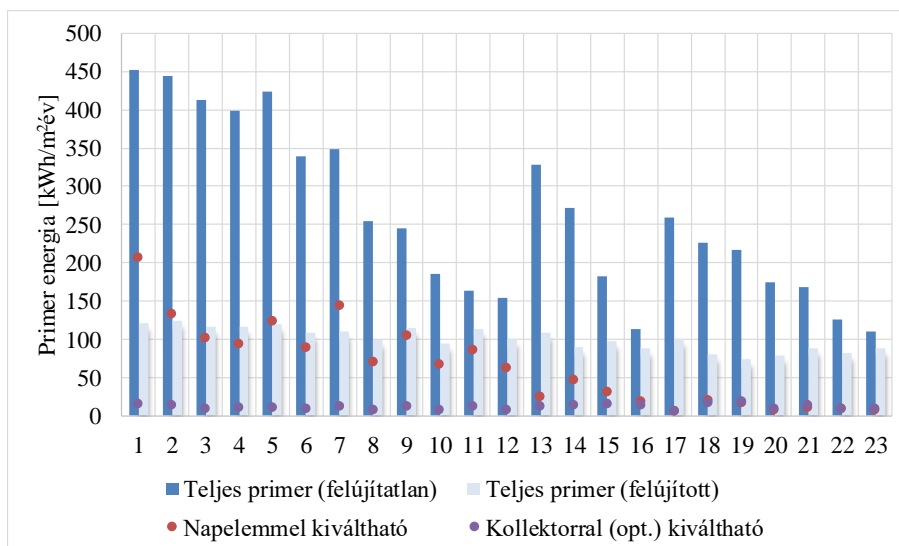
Bár családi házak esetén a napelemmel jelentős kiváltás érhető el, nem szabad elfeledkezni arról, hogy ez a beruházási költségekben is visszaköszön, hiszen a több megtermelt energia arányosan nagyobb napelem felülettel biztosítható.

Az is megemlítendő, hogy eddig azt feltételeztem, hogy a napelemek által termelt energia teljes mértékben hasznosul vagy a túltermelést felveszi a villamos hálózat. Ezt a továbbiakban éves energiamérleg szemléletnek nevezem. A gyakorlatban ehhez kapcsolható a jelenleg általános ún. szaldós elszámolás, melynek lényege, hogy háztartási napelemrendszerek esetén az évi egyszeri szaldóelszámolásban az adott évben megtermelt és a háztartás által elfogyasztott villamos energia különbségét kell csak rendezni az áramszolgáltatóval.

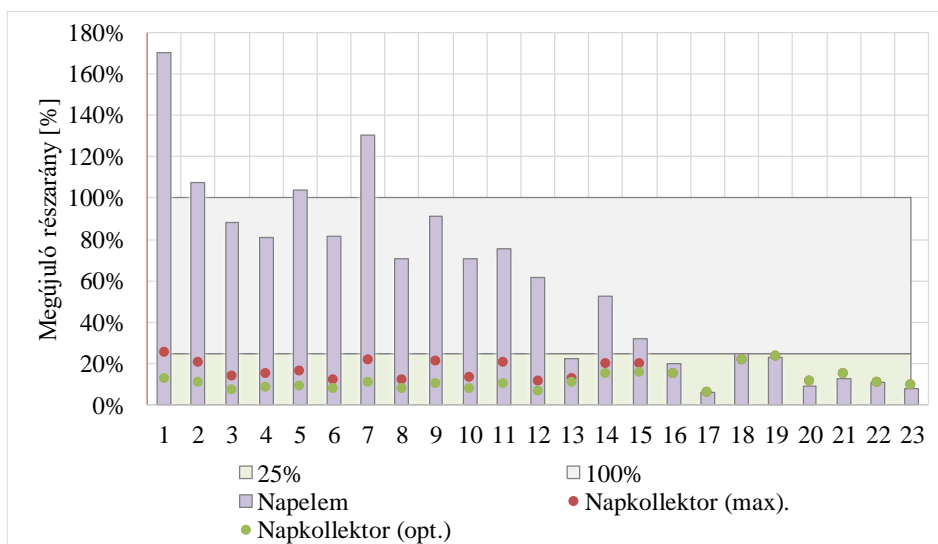
Az életbe lépő szabályozás szerint, előreláthatólag 2024. január 1-től nem lehet szaldóelszámolásra jogosító új hálózati csatlakozást létesíteni, felváltja azt az ún. bruttó szabályozás. A lényegi eltérés az, hogy a fogyasztás céljából megvásárolt és a megtermelt, de azonnal el nem fogyasztott villamos energia eltérő árazás alá esik majd. Várhatóan az átvételi ár alacsonyabb lesz majd, mint a fogyasztói villamosenergia ár, de az sem kizárt hosszú távon, hogy túllépés esetén büntetést számolhat fel a szolgáltató. Ez abba az irányba hat majd, hogy a fogyasztók nem lesznek érdekeltek abban, hogy a termelés túllépje a fogyasztást, ami miatt olyan műszaki megoldások elterjedése prognosztizálható, melyek megakadályozzák a túllépést. Ezért szükségesnek tartottam azt is megvizsgálni, hogyan változik a napelemek által termelt és ténylegesen hálózati villamos energia kiváltására fordított energia, ha a túllépést nem vesszük figyelembe. Ezért havi mérleg szemléletben is elvégeztem a számításokat, a túllépéssel csökkentve a kiváltott primer energiát, illetve a megújuló részarányt. Ehhez nem volt elég a termelést vizsgálni, hanem az igényeket is meg kellett határozni havi bontásban, beleértve a háztartási energia fogyasztást is.

A számítás tovább pontosítható lenne órai vagy még kisebb időlépték alkalmazásával, ehhez azonban a jelenleg ismertnél nagyobb felbontású felhasználói profilokra és dinamikus szimuláció alkalmazására lenne szükség, ami későbbi kutatás tárgya lehet. Az órai léptékű energiamérleg számítás a napi ciklusú aszinkronitást is figyelembe veszi a termelés és az igény között. Ez az aszinkronitás azért nem okoz jelentős eltérést a havi mérlegszemléletű számításhoz képest, mert a napi ciklusú aszinkronitás akkumulátorokkal nagyrészt kiegyenlíthető.

A havi energia mérleg szemléletben végzett számításokat a következő pontban tárgyalom az igény oldallal együtt.



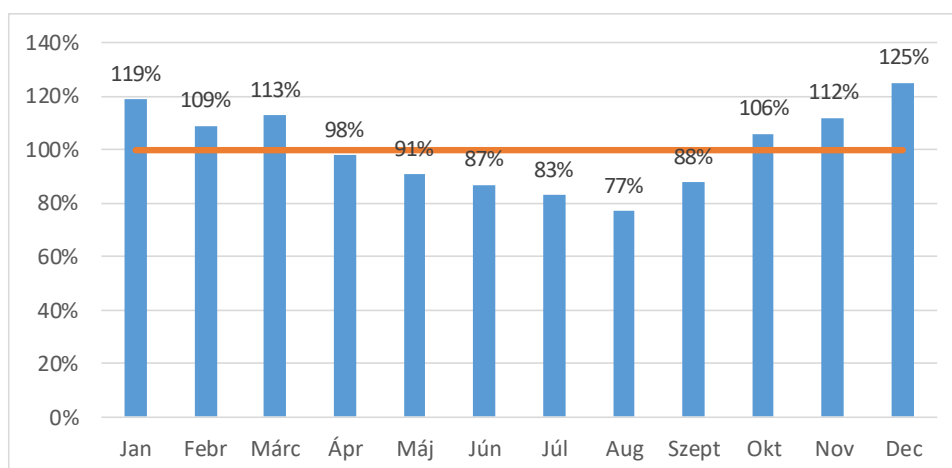
9.16. ábra: Az épülettípusok primer energiaigénye (eredeti és költségoptimalizált szinten korszerűsített állapotban) összevetése az optimális napkollektoros és napelemes áramtermeléssel kiváltható primer energiával



9.17. ábra: Tetőre telepített napenergia hasznosító rendszerekkel elérhető megújuló részarány költségoptimalizált szinten korszerűsített állapot esetén épülettípusonként

9.3.8. Elektrifikáció és napelemes energiatermelés

Ahhoz, hogy a havi energiamérleg esetét megvizsgálhassuk, össze kell vetni az épület teljes havi villamos energia igényét a havi napelem termelésekkel. Mivel elektromos fűtés esetén az igény és a termelés szezonálisan aszinkronban van (télen igény csúcs, nyáron termelés csúcs) a szezonális számítás nem megfelelő. A számításokat havi bontásban kellett elvégezni. Ehhez szükség volt az egyes fogyasztási tételek és a napelem termelés havi bontásban történő meghatározására. (Még pontosabb lenne az órai mérleg, ehhez azonban nem állnak rendelkezésre megfelelő felbontású bemeneti adatok.) A havi arányok meghatározásához HMV-re 167 hazai háztartás nagyfelbontású mérési adatait dolgoztuk fel, és határoztuk meg a jellemző havi fogyasztási profilt (9.18. ábra) saját kutatás keretében [162]. Fűtésre a havi hőfokhidak alapján, hűtésre a típusok átlagában (a hűtést eleve havi módszerrel számoltam) határoztam meg a profilt. A napelemes termelés számítása a magastető és a lapostető típusokat külön kezelve történt.



9.18. ábra: A HMV energiaigény havonkénti megoszlása az éves átlagfogyasztáshoz képest 167 hazai háztartásra végzett nagyfelbontású mérés alapján [162]

Szükség volt továbbá a világítás és elektromos készülékek villamos energiaigényére, amihez az épületfelmérés nem szolgáltatott adatot. Így ezt a tételt statisztikai adatok alapján vettem fel a lakóépület-állomány átlagára vetítve (típusonkénti bontásban nem állt rendelkezésre adat). A háztartások végső energiafelhasználását felhasználási célok szerinti bontásban mutatja a 9.3. táblázat. Ennek alapján a világítás és elektromos készülékek energiafelhasználása növekvő trendet mutat, értéke 2019-ben 26,0 PJ/év volt, ebből indultam ki. A lakásállomány összesített hasznos alapterülete 336 839 750 m², száma 4 363 754, így az átlagos alapterület 77,2 m² [27]. Az energiafelhasználáson csak a lakott lakások osztoznak, melyek az állomány 89,1%-át képezik [27]. Így az egy átlagos lakásra jutó villamos energiafelhasználás 24,1 kWh/m²év, ami primer energiában 60,1 kWh/m²év. Ez az érték nem tartalmazza a villamos fűtés, HMV készítés és gépi hűtés energiaigényét. Mivel ezen fogyasztási tételek a háztartási villamos mérők által mért összfogyasztásból teljes biztonsággal nem különíthetők el, ezért az adat fenntartással kezelendő. Ugyanakkor mégiscsak ez bizonyult a leginkább megbízható adatnak, ezért ezzel számoltam. Az éves fogyasztást egyenletesen osztottam fel az év hónapjai között.

A havi energiamérleg számítása valamennyi típusra, típusonként ötféle esetre történt. Az eredményt az 1. típus egyik korszerűsítési esetére (épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül) a 9.19. ábra mutatja. A mellékletben bemutatom ugyanezen típus 4 további korszerűsítési változatára kapott eredményeket (14.9. ábra - 14.12. ábra), illetve az eredmények szempontjából másik végletnek tekinthető 22. típus részletes eredményeit (14.13. ábra - 14.17. ábra).

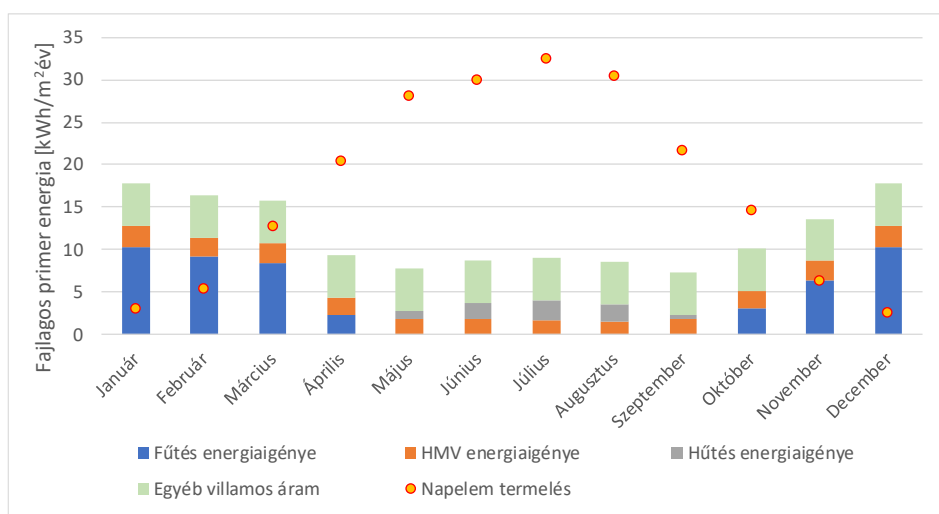
9.3. táblázat: A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint [PJ/év] [70]

Megnevezés	2015	2016	2017	2018	2019
Fűtés	182,6	190,6	195	174,7	168
Hűtés	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6
Használati meleg víz	31,5	31,6	31,5	31,3	31,2
Főzés	11,9	11,5	11,9	11,9	11,8
Világítás és elektromos készülékek	23,4	23,8	24,8	25,3	26,0
Összesen	249,6	257,8	263,5	243,6	237,7

9.4. táblázat: Villamos energiamérleg havi számításához használt arányok

Épülettípus	Napelem termelés 1-17, 22, 23 típusok	Napelem termelés 18- 21 típusok	HMV igény	Fűtési igény	Hűtési igény	Egyéb villamos fogyasztás
Január	1,4%	2%	9,9%	20,6%	0,0%	8,3%
Február	2,6%	2,8%	9,0%	18,4%	0,0%	8,3%
Március	6,1%	6,3%	9,4%	16,9%	0,0%	8,3%
Április	9,9%	9,8%	8,1%	4,7%	0,0%	8,3%
Május	13,6%	13,2%	7,5%	0,0%	12,0%	8,3%
Június	14,4%	13,9%	7,2%	0,0%	25,0%	8,3%
Július	15,7%	15,1%	6,9%	0,0%	30,0%	8,3%
Augusztus	14,7%	14,5%	6,4%	0,0%	26,0%	8,3%
Szeptember	10,4%	10,7%	7,3%	0,0%	7,0%	8,3%
Október	7,0%	7,6%	8,8%	6,0%	0,0%	8,3%
November	3,0%	3,3%	9,3%	12,7%	0,0%	8,3%
December	1,2%	1,3%	10,3%	20,6%	0,0%	8,3%

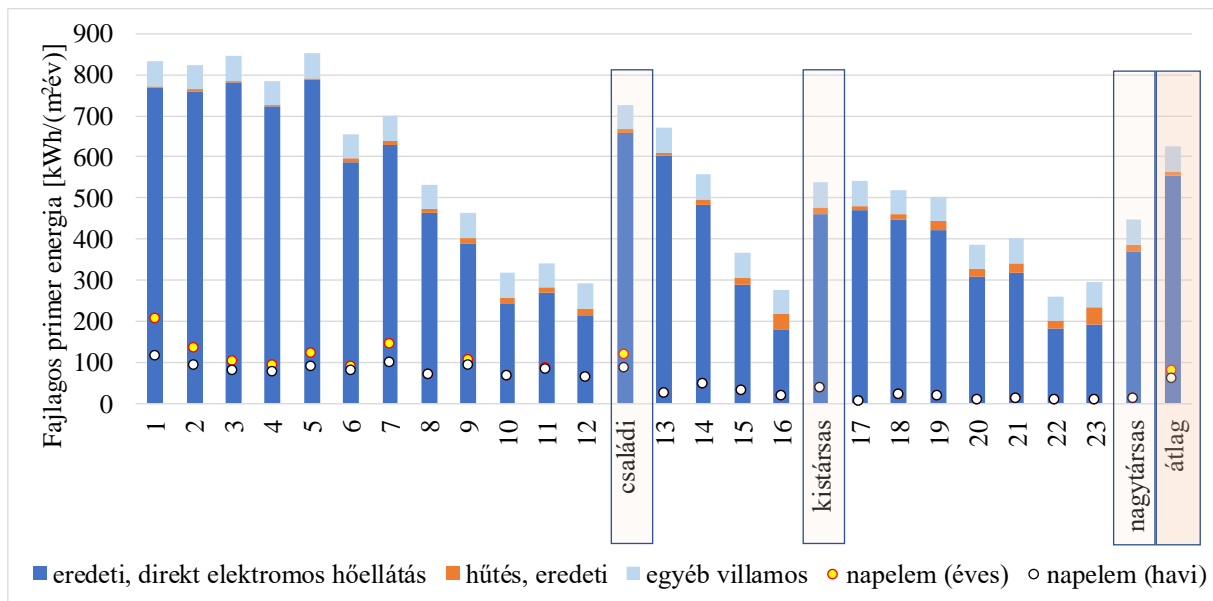
A 9.19. ábra alapján megállapítható, hogy a napenergia hasznosítás szempontjából legjobb adottságú, korszerűsített állapotú 1. épülettípus esetén a nyári félévben a termelt energia nagyobb része nem tud az épületben hasznosulni, ugyanakkor a téli időszakban a termelés messze elmarad az igényektől.



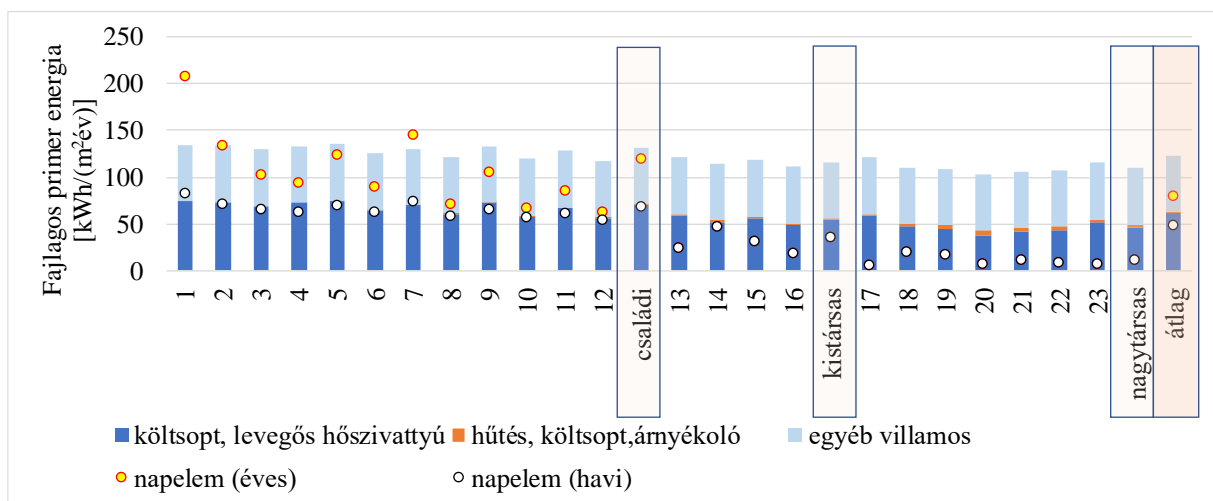
9.19. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül

A havi mérlegek alapján az éves napelem termelések típusonként és korszerűsítési változatonként kétféleképpen kerültek meghatározásra: az első esetben figyelembe lett véve az épületben havi szinten nem hasznosuló energiatermelés azt feltételezve, hogy azt a hálózat felveszi és máshol hasznosul. A másik esetben a havi szinten nem hasznosuló energiatermelés nem volt figyelembe véve. Az eredményeket a legkedvezőtlenebb esetre (épületburok nem kerül felújításra, direkt elektromos hőellátást, gépi hűtést alkalmaznak árnyékolók nélkül) a 9.20. ábra, a legkedvezőbb esetre (épületburok korszerűsítésre kerül, hőszivattyús hőellátást,

gépi hűtést alkalmaznak árnyékolókkal) a 9.21. ábra mutatja. Látható, hogy a havi mérleg szemlélet a nagyobb fajlagos energiahozammal jellemezhető típusok (családi házak) esetén jelentős mértékben lerontja az eredményt és a lefedési arányt.



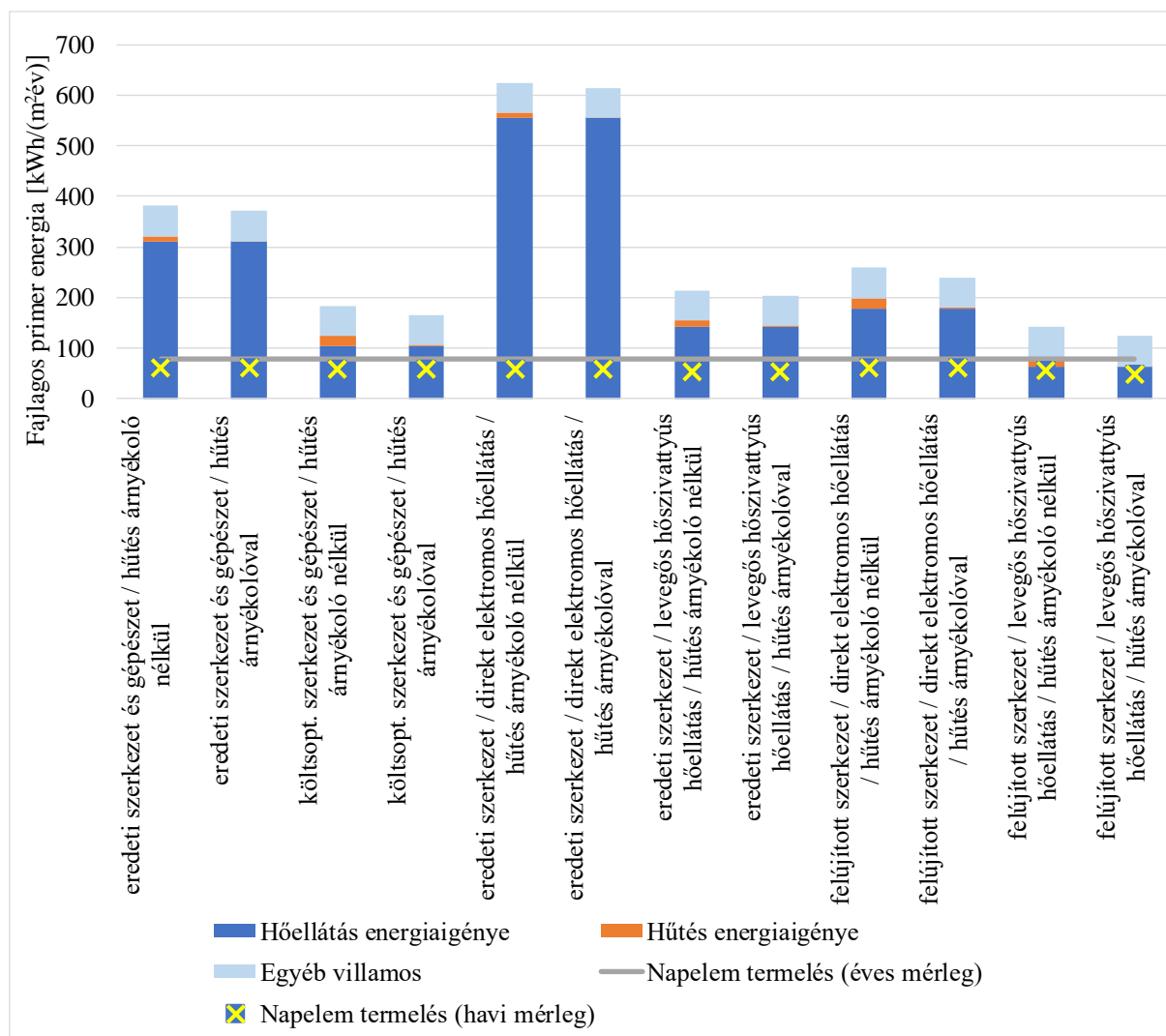
9.20. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok eredeti állapotban, direkt elektromos hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását



9.21. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolókkal (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását

Az épületek átlagára vonatkoztatva meghatároztam az éves mérleget a különböző korszerűsítési esetekre és az eredeti állapotra is. Az eredményeket a 9.22. ábra foglalja össze. Jól látható, hogy a termelési potenciál még a legjobb eredményt adó felújítási esetek esetén is elmarad az igényektől. Megállapítható, hogy a helyiségfűtés elektrifikációja esetén mindenképpen javasolt a szerkezetek felújítása, illetve a hőszivattyú alkalmazása, különben a primer energiaigények jelentős növekedésére lehet számítani, amit tetőre integrált napelemekkel messze nem lehet kompenzálni még éves energiamérleg szemlélet esetén sem. Ha viszont a háztartási igényektől

eltekintünk, akkor az utolsó két esetben (felújított szerkezet + hőszivattyú + napelem) elérhető éves mérlegben a nettó nulla energiafelhasználási szint.



9.22. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával különböző korszerűsítések esetén átlagos lakóegység esetén

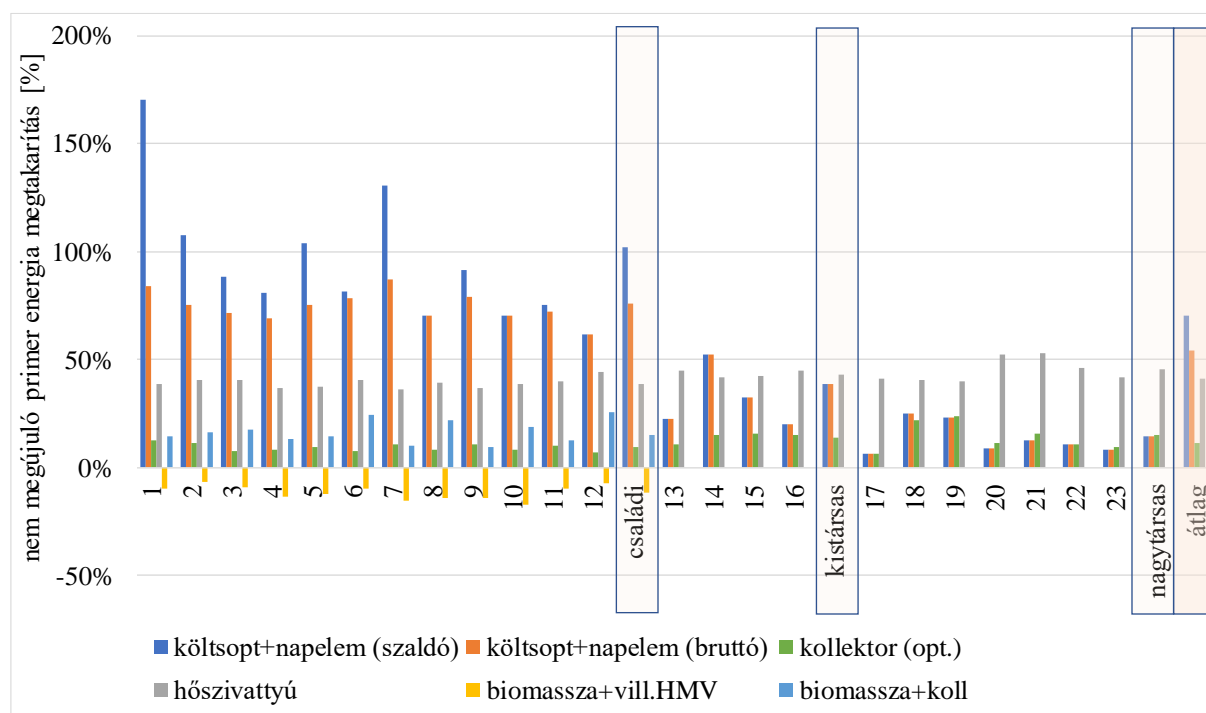
9.3.9. Megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás

Fontos kérdés, hogy milyen mértékben csökkenthető referencia korszerűsítéshez képest a nem megújuló primer energia felhasználás, különböző megújuló energiát használó rendszerek alkalmazása esetén. Az eredményeket épülettípusonként 9.23. ábra foglalja össze, melyből az átlagolt eredményeket kiemelve nyerhető a 9.24. ábra.

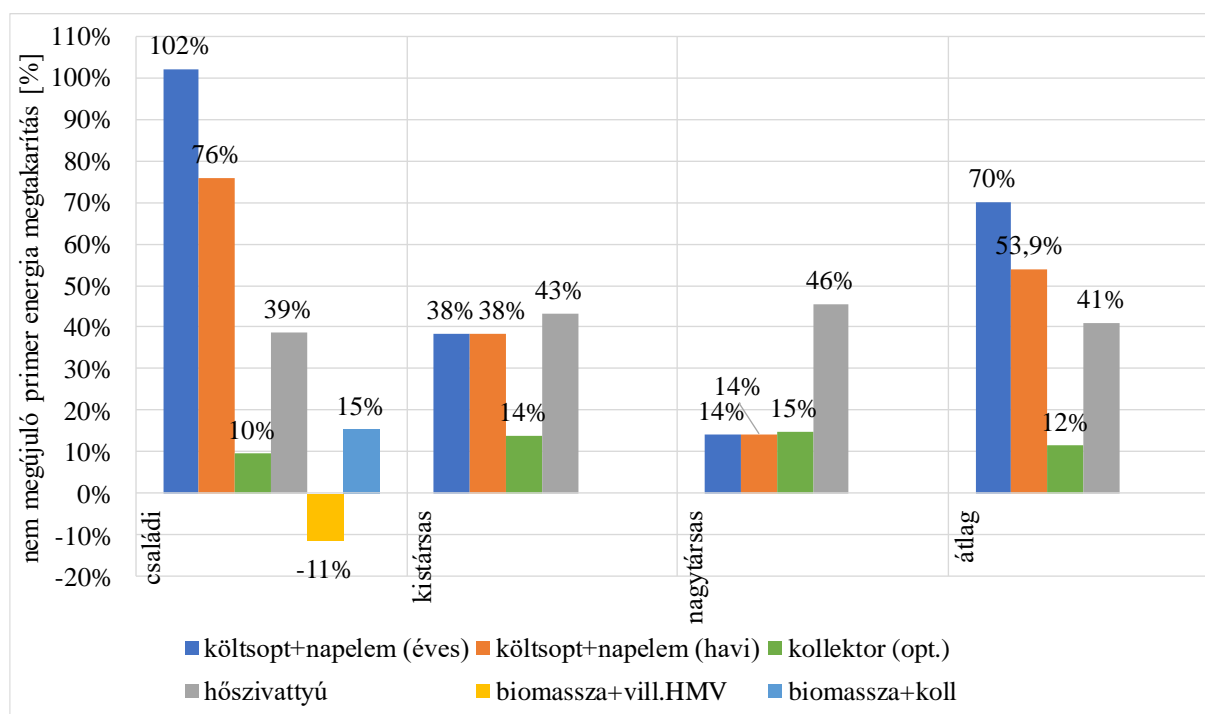
A 9.23. ábra alapján megállapítható, hogy 40%-os megtakarítási érték az, ami valamennyi épülettípus esetén elérhető legalább a vizsgált technológiák valamelyikével. Ennél magasabb érték már egyes épülettípusok (18. és 19. típus) esetén nem realizálható, legfeljebb, ha több technológiát együttesen alkalmazunk, ami jelentős költségnövelő tényező. Ez az érték családi háztípusok esetén magasabb (62%, 8. és 10. típus) köszönhetően a nagy potenciális energiagyűjtő tetőfelületnek. Természetesen ezek típusonkénti átlagértékek; a valóságban nyilvánvalóan léteznek olyan épületek, melyek adottságai ennek az értéknek az elérését nem teszik lehetővé.

A lakóépület-állomány átlagát tekintve a legnagyobb megtakarítási potenciál a napelemekhez tartozik (havi energiamérleg szemlélet esetén 50%). Valamennyi családi háztípusra a napelem, valamennyi társasház típusra a hőszivattyú adja a legnagyobb megtakarítást. Ha minden épülettípus esetén a legjobb eredményt adó megoldást alkalmazzuk, akkor átlagosan 73%-os (havi energiamérleg szemlélet elszámolás esetén 62%) csökkenés realizálható.

A faelgázosító kazán alkalmazása elektromos HMV kombinálással nem csökkenti, hanem növeli a nem megújuló primer energia felhasználást a biomassza többi megújuló forráshoz képesti viszonylag magas ($e_{bio}=0,6$ [1]), valamint a villamos áram kifejezetten magas ($e_{vill}=2,5$ [1]) nem megújuló primer energia tényezője miatt. Csökkenés csak napkollektoros HMV előállítással realizálható, ennek mértéke átlagosan 15% családi házakra nézve (társasházakra a biomassza tüzelést nem vizsgáltuk a korábban tárgyalt okok miatt). Lényegesen jobb eredmény adódna az európai szabvány [159] által javasolt $e_{bio}=0,2$ konverziós faktor figyelembe vételével: -11% helyett +21% lenne a nem megújuló primer energia megtakarítás villamos HMV készítés, napkollektoros HMV előállítás esetén pedig 15% helyett 48%-os megtakarítási értéket kapnánk.



9.23. ábra: Különböző megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő felújításhoz képest épülettípusonként



9.24. ábra: Különböző megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő felújításhoz képest (típusokra kapott eredmények átlaga), $e_{bio}=0,6$

Megjegyzem, hogy a feltüntetett százalékos megtakarítások nem azonosak a megújuló részarányal, mert a megtakarítást csak részben okozza a fosszilis források megújulókkal történő kiváltása, a rendszerhatásfok változása is hozzájárul ahhoz. A megújuló részarány önmagában nem sokat mond egy beruházási intézkedés hasznosságáról és félrevezető következtetésekhez vezethet. Ugyanis a megújuló energia használat magas értéke jelenthet nagyon alacsony hatásfokú hasznosulást is. Egy intézkedés hatékonyságának sokkal kifejezőbb indikátora a nem megújuló primer energia felhasználás értéke.

10. Szektoriális kivetítés

10.1. Eredeti állapot

Az alapterületre fajlagosított primer energiafelhasználásból és szén-dioxid kibocsátásból az eredmények extrapolálhatók megyei és országos szintre. Rendelkezésemre állt a lakások száma (14.16. táblázat) és összalapterülete (14.17. táblázat) megyei bontásban típusonként, amiből az alapterület korrekció (14.15. táblázat) segítségével az eredményeket kivetítettem. Az így kapott primer energia felhasználásokat a 10.2. táblázat, széndioxid emissziókat pedig a 10.3. táblázat tartalmazza.

Meghatároztam az energiahordozónkénti energiafelhasználásokat is (10.1. táblázat). A kapott eredmények a következő feltételezések mellett érvényesek:

- Az alkalmazott számítási eljárás feltételezi a rendeltetésszerű használatot, elsősorban azt, hogy a lakóépületek teljes hasznos alapterülete ki van fűtve folyamatosan a teljes fűtési idényben, a feltételezett belső léghőmérséklet 20 °C.
- A nem lakott épületeket is lakottnak feltételeztük ugyanígy üzemeltetve.

- Az eredmények csak a hőtermelési célú energiafelhasználásokat tartalmazzák, azaz a háztartási célú villamos energiafelhasználást (pl. hűtőgépek, mosógépek, számítógépek, szórakoztató elektronika), a liftek energiafelhasználását, a beépített világítást nem.
- Gépi hűtést szintén nem vettem figyelembe, mert az csak a lakások 6,7%-ban fordul elő a felmérés szerint (8.6. fejezet) és a hűtött épületekre jellemző átlagos villamos energia fogyasztás mindössze 4,36 kWh/m²év (9.3.5. fejezet). A gépi hűtés figyelembe vétele 0,29 kWh/m²év-vel növelné az elektromos fogyasztást országos átlagban, ami elhanyagolható.
- A számítások 180 napos fűtési idény és 4 °C-os átlagos külső hőmérséklet feltételezésével készültek.

országos összegzés				
Földgáz	Biomassza	Távhő	Elektromos	Egyéb fosszilis
[PJ/év]	[PJ/év]	[PJ/év]	[PJ/év]	[PJ/év]
246	99	17	20	11

10.1. táblázat: A lakóépület-állomány energiahordozónkénti energiafelhasználása országos szinten (végső energia)

Összességében megállapítható, hogy a 2029 felmért épületre készített energiatervezési tanulmányok alapján a lakóépület-állomány teljes számított primerenergia felhasználása 390 PJ/év, széndioxid emissziója pedig 21,6 millió tonna/év. A primer energiafelhasználás 14%-a Budapesthez tartozik, ami a legnagyobb érték megyei összehasonlításban. Ezt követi Pest megye 11,8%-kal, majd Borsod-Abaúj-Zemplén (6,8%), Bács-Kiskun (6,4%). A megyei átlag 4,3%, a legkisebb érték Tolna-megyéhez tartozik (1,1%).

A legnagyobb energiafogyasztás a családi ház (1-3 lakás, 80.5%) állományhoz köthető, amit a legalább 10 lakásos társasház (14.7%) és a 4-9 lakásos kis társasház (4.8%) állomány követ.

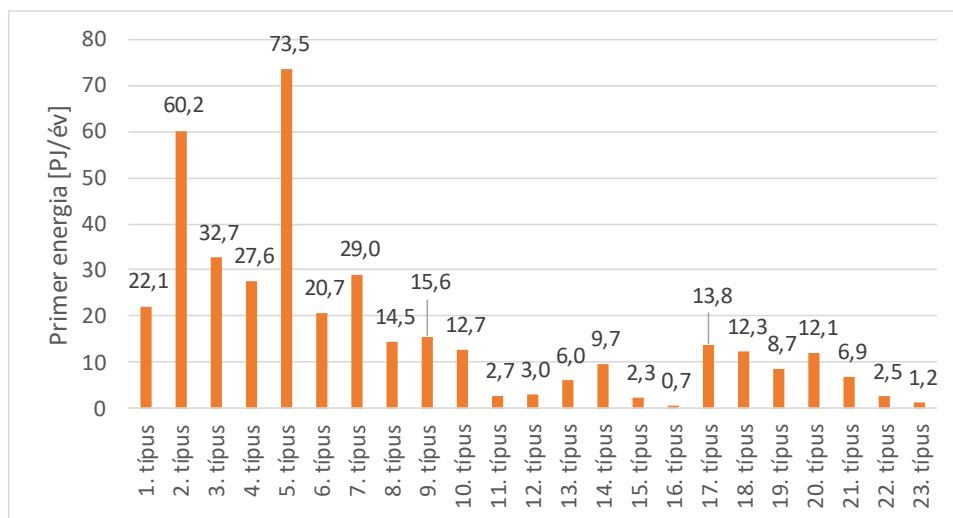
	Összesen	Budapest	Bács-Kiskun	Baranya	Békés	Borsod-Abaúj-Zemplén	Csongrád	Fejér	Győr-Moson-Sopron	Hajdú-Bihar	Heves	Jász-Nagykun-Szolnok	Komárom-Esztergom	Nógrád	Pest	Somogy	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Tolna	Vas	Veszprém	Zala	Nem besorolt
1. típus	22	0.10	3.59	0.83	2.77	0.84	1.87	1.19	0.20	1.30	0.68	2.33	0.25	0.29	2.23	0.61	0.84	0.32	0.22	0.23	0.29	1.12
2. típus	60	0.18	7.50	2.19	5.19	3.31	4.82	2.27	0.39	4.94	2.56	6.03	0.72	1.83	7.18	1.14	6.68	0.61	0.33	0.36	0.61	1.38
3. típus	33	6.45	1.20	1.86	0.82	2.61	1.01	0.92	1.92	0.68	1.03	0.36	1.13	0.75	3.35	1.78	0.38	0.37	1.99	2.13	1.43	0.49
4. típus	28	2.87	0.86	1.39	0.58	2.90	0.53	1.21	2.23	0.55	1.40	0.36	1.43	1.19	2.57	1.62	0.59	0.34	1.17	1.69	1.56	0.52
5. típus	73	3.12	4.03	2.20	3.71	6.21	3.25	3.11	4.21	3.85	3.16	3.17	2.45	2.27	9.59	3.56	5.32	1.00	2.27	3.12	2.72	1.16
6. típus	21	2.38	1.01	0.95	0.65	1.32	0.75	0.72	1.36	0.48	0.73	0.36	0.75	0.45	3.43	1.08	1.10	0.30	0.75	0.84	0.89	0.37
7. típus	29	1.10	2.11	0.80	1.53	2.30	1.00	1.43	1.22	2.45	1.03	1.72	0.83	0.64	4.06	1.02	2.53	0.30	0.65	1.13	0.78	0.41
8. típus	14	1.39	0.78	0.61	0.52	1.18	0.52	0.63	0.79	0.71	0.57	0.39	0.44	0.31	2.02	0.66	0.94	0.17	0.46	0.62	0.54	0.23
9. típus	16	0.84	0.82	0.44	0.45	0.96	0.44	0.78	0.78	1.26	0.45	0.53	0.35	0.23	3.53	0.56	1.56	0.10	0.39	0.55	0.44	0.14
10. típus	13	1.79	0.48	0.45	0.26	0.62	0.42	0.56	0.75	0.61	0.32	0.25	0.28	0.14	3.15	0.43	0.64	0.09	0.41	0.49	0.47	0.11
11. típus	3	0.13	0.13	0.08	0.05	0.13	0.08	0.17	0.20	0.21	0.07	0.09	0.07	0.03	0.77	0.09	0.16	0.02	0.08	0.10	0.07	0.02
12. típus	3	0.36	0.11	0.10	0.05	0.12	0.09	0.15	0.22	0.16	0.07	0.05	0.08	0.03	0.92	0.08	0.13	0.02	0.09	0.10	0.08	0.02
Cs. H. Össz.	314	21	23	12	17	23	15	13	14	17	12	16	9	8	43	13	21	4	9	11	10	6
13. típus	6	2.65	0.17	0.32	0.13	0.30	0.32	0.12	0.46	0.16	0.10	0.08	0.13	0.09	0.29	0.11	0.04	0.05	0.21	0.14	0.11	0.02
14. típus	10	2.86	0.49	0.35	0.21	0.52	0.38	0.25	0.43	0.33	0.27	0.30	0.42	0.15	0.69	0.26	0.38	0.18	0.27	0.53	0.42	0.07
15. típus	2	0.76	0.09	0.11	0.04	0.03	0.14	0.03	0.20	0.14	0.05	0.06	0.03	0.00	0.28	0.05	0.06	0.01	0.05	0.08	0.10	0.01
16. típus	1	0.17	0.02	0.03	0.00	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.01	0.02	0.01	0.00	0.18	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00
4-9 össz.	19	6	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
17. típus	14	12.54	0.04	0.09	0.02	0.09	0.22	0.05	0.23	0.10	0.03	0.03	0.04	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	0.09	0.04	0.04	0.00
18. típus	12	3.59	0.40	0.73	0.42	0.80	0.65	0.52	0.42	0.44	0.38	0.43	0.40	0.14	0.42	0.48	0.32	0.08	0.52	0.51	0.54	0.09
19. típus	9	2.53	0.28	0.11	0.31	0.49	0.10	0.24	0.25	0.41	0.47	0.27	0.60	0.40	0.39	0.11	0.25	0.12	0.29	0.23	0.70	0.10
20. típus	12	4.34	0.37	0.69	0.18	1.20	0.72	0.87	0.67	0.62	0.15	0.22	0.43	0.07	0.40	0.17	0.27	0.08	0.13	0.44	0.01	0.11
21. típus	7	2.58	0.28	0.42	0.19	0.38	0.43	0.28	0.26	0.51	0.08	0.17	0.20	0.05	0.30	0.14	0.22	0.05	0.06	0.23	0.01	0.04
22. típus	3	1.14	0.11	0.05	0.03	0.03	0.17	0.05	0.14	0.13	0.04	0.03	0.03	0.01	0.16	0.08	0.10	0.01	0.06	0.05	0.10	0.01
23. típus	1	0.71	0.02	0.02	0.01	0.02	0.05	0.02	0.05	0.04	0.01	0.02	0.02	0.00	0.09	0.03	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00
10-x Össz.	57	27	2	2	1	3	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	0	1	2	1	0
ÖSSZESEN	390	55	25	15	18	26	18	16	17	20	14	17	11	9	46	14	23	4	11	14	12	6

10.2. táblázat: A hazai lakóépület-állomány primer energiafelhasználása (PJ/év) megyénkénti bontásban, a 2029 felmért épület eredményeinek kivetítésével (teljes kifűtöttség feltételezésével)

	Összesen	Budapest	Bács-Kiskun	Baranya	Békés	Borsod-Abaúj-Zemplén	Csongrád	Fejér	Győr-Moson-Sopron	Hajdú-Bihar	Heves	Jász-Nagykun-Szolnok	Komárom-Esztergom	Nógrád	Pest	Somogy	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Tolna	Vas	Veszprém	Zala	Nem besorolt
1. típus	1.0	0.004	0.160	0.037	0.123	0.038	0.084	0.053	0.009	0.058	0.030	0.104	0.011	0.013	0.100	0.027	0.037	0.014	0.010	0.010	0.013	0.050
2. típus	4.2	0.012	0.518	0.151	0.358	0.229	0.333	0.157	0.027	0.341	0.177	0.416	0.050	0.126	0.496	0.079	0.462	0.042	0.023	0.025	0.042	0.096
3. típus	1.4	0.282	0.053	0.081	0.036	0.114	0.044	0.040	0.084	0.030	0.045	0.016	0.049	0.033	0.147	0.078	0.017	0.016	0.087	0.093	0.062	0.021
4. típus	1.2	0.130	0.039	0.063	0.026	0.131	0.024	0.054	0.101	0.025	0.063	0.016	0.065	0.054	0.116	0.073	0.027	0.016	0.053	0.076	0.070	0.023
5. típus	4.7	0.199	0.258	0.141	0.238	0.397	0.208	0.199	0.269	0.247	0.202	0.203	0.157	0.145	0.614	0.228	0.340	0.064	0.145	0.199	0.174	0.074
6. típus	1.0	0.113	0.048	0.045	0.031	0.063	0.036	0.034	0.065	0.023	0.035	0.017	0.036	0.022	0.163	0.051	0.053	0.014	0.036	0.040	0.042	0.017
7. típus	1.3	0.048	0.091	0.035	0.066	0.100	0.043	0.062	0.053	0.106	0.044	0.074	0.036	0.028	0.175	0.044	0.109	0.013	0.028	0.049	0.034	0.018
8. típus	0.7	0.067	0.037	0.029	0.025	0.057	0.025	0.030	0.038	0.034	0.028	0.019	0.021	0.015	0.097	0.032	0.045	0.008	0.022	0.030	0.026	0.011
9. típus	0.8	0.043	0.042	0.023	0.023	0.049	0.022	0.040	0.040	0.064	0.023	0.027	0.018	0.012	0.180	0.029	0.080	0.005	0.020	0.028	0.023	0.007
10. típus	0.7	0.098	0.026	0.025	0.014	0.034	0.023	0.031	0.041	0.034	0.018	0.014	0.015	0.008	0.173	0.023	0.035	0.005	0.022	0.027	0.026	0.006
11. típus	0.1	0.006	0.006	0.004	0.003	0.006	0.004	0.008	0.010	0.010	0.003	0.004	0.004	0.002	0.037	0.004	0.008	0.001	0.004	0.005	0.003	0.001
12. típus	0.1	0.018	0.006	0.005	0.003	0.006	0.005	0.007	0.011	0.008	0.003	0.003	0.004	0.001	0.045	0.004	0.006	0.001	0.004	0.005	0.004	0.001
Cs. H. Össz.	17.2	1.02	1.28	0.64	0.95	1.22	0.85	0.72	0.75	0.98	0.67	0.91	0.47	0.46	2.34	0.67	1.22	0.20	0.45	0.59	0.52	0.33
13. típus	0.3	0.135	0.009	0.016	0.006	0.015	0.016	0.006	0.023	0.008	0.005	0.004	0.007	0.005	0.015	0.005	0.002	0.003	0.011	0.007	0.006	0.001
14. típus	0.5	0.142	0.025	0.017	0.010	0.026	0.019	0.013	0.021	0.017	0.013	0.015	0.021	0.008	0.034	0.013	0.019	0.009	0.014	0.026	0.021	0.003
15. típus	0.1	0.042	0.005	0.006	0.002	0.002	0.008	0.002	0.011	0.008	0.003	0.003	0.001	0.000	0.016	0.003	0.004	0.001	0.003	0.004	0.005	0.001
16. típus	0.0	0.009	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.010	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
4-9 össz.	1.0	0.33	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.02	0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.07	0.02	0.03	0.01	0.03	0.04	0.03	0.01
17. típus	0.8	0.710	0.002	0.005	0.001	0.005	0.012	0.003	0.013	0.006	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.005	0.003	0.002	0.000
18. típus	0.7	0.210	0.023	0.043	0.024	0.047	0.038	0.030	0.025	0.026	0.022	0.025	0.023	0.008	0.024	0.028	0.019	0.005	0.030	0.030	0.032	0.005
19. típus	0.5	0.149	0.017	0.007	0.018	0.029	0.006	0.014	0.015	0.024	0.028	0.016	0.035	0.023	0.023	0.006	0.015	0.007	0.017	0.013	0.041	0.006
20. típus	0.8	0.280	0.024	0.045	0.012	0.077	0.046	0.056	0.043	0.040	0.010	0.014	0.028	0.005	0.026	0.011	0.017	0.005	0.008	0.029	0.001	0.007
21. típus	0.4	0.165	0.018	0.027	0.012	0.024	0.028	0.018	0.016	0.032	0.005	0.011	0.013	0.003	0.019	0.009	0.014	0.003	0.004	0.015	0.001	0.002
22. típus	0.1	0.066	0.006	0.003	0.002	0.002	0.010	0.003	0.008	0.008	0.002	0.001	0.002	0.000	0.009	0.005	0.006	0.001	0.004	0.003	0.006	0.000
23. típus	0.1	0.039	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.005	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
10-x Össz.	3.4	1.62	0.09	0.13	0.07	0.19	0.14	0.12	0.12	0.14	0.07	0.07	0.10	0.04	0.11	0.06	0.07	0.02	0.07	0.09	0.08	0.02
ÖSSZESEN	21.6	2.97	1.42	0.81	1.04	1.45	1.04	0.86	0.93	1.15	0.76	1.01	0.60	0.51	2.53	0.76	1.32	0.23	0.55	0.72	0.63	0.35

10.3. táblázat: A hazai lakóépület-állomány szén-dioxid kibocsátása (millió tonna / év) megyénkénti bontásban, a 2029 felmért épület eredményeinek kivetítésével (teljes kifűtöttség feltételezésével)

A típusonkénti részeseledést az országos energiafelhasználásból a 10.1. ábra mutatja. Látható, hogy az eloszlás nagyon egyenetlen. A szén-dioxid kibocsátás családi házaknál valamivel kedvezőbb, mint a nem megújuló primer energiafelhasználás, a fatüzelés magas aránya miatt. A két legnagyobb érték az 1960-1979 között épült családi házakhoz, valamint az alapozással rendelkező vályogházakhoz tartozik. A családi házak részeseledése 80,5%, a 10 lakásos vagy nagyobb társasházaké pedig 14,7%.



10.1. ábra: Részeseledés az országos primerenergia felhasználásból, eredeti állapot (felmérés)

10.2. Összevetés az energiamérleggel

A háztartási szektor energiafelhasználása az országos energiamérleg (mért energiahordozó felhasználások, top-down módszer) alapján is meghatározható, amit az évenként publikált hivatalos statisztikák tartalmaznak. A 2015-18. évek hivatalos statisztikai adatait felhasználási célonkénti bontásban már a 9.3. táblázatban ismertettem. Ezeket az adatokat primer energiára átszámoltam, illetve a fűtési fogyasztásokat korrigáltam hőfokhíd szerint a 2015-2018 időszak átlagára vonatkoztatva (10.4. táblázat). Az átszámításban bizonytalanságot jelent, hogy nem volt ismert a távhő átlagos primer energia tényezője (0,85 értékkel számoltam), a megújuló energia átlagos primer energia tényezője (0,6 értékkel számoltam), valamint a villamos áram átlagos primer energia tényezője (fűtésre 2,5, HMV-re 1,8 értékkel számoltam).

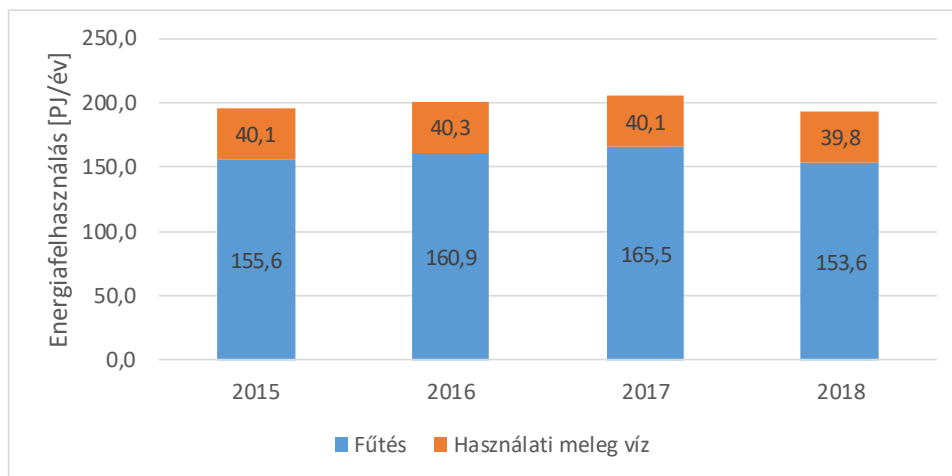
A hőfokhíd szerinti korrekciónál az egyszerűség kedvéért budapesti külső hőmérséklet adatokból indultam ki (2015: 2500 napfok, 2016: 2556 napfok, 2017: 2574 napfok, 2018: 2516 napfok [163], ezek átlaga 2536 napfok). Pontosabb hőfokhíd korrekció azért nem alkalmazható, mert ahhoz a meteorológiai állomások mérési adatait súlyozni kellene az állomáshoz tartozó lakások számával, amihez nincsenek megfelelő felbontású adatok.

Az energiamérlegből csak a fűtés és a HMV érdekes számunkra, melynek összértéke a 2015 és 2018 között 193 és 206 PJ/év között ingadozott (10.2. ábra).

Az összehasonlíthatóság kedvéért a felmérésen (tervezési adatokon) alapuló számítás 390 PJ/év érték fűtési hányadát is korrigáltam hőfokhíd szerint (a számításban alkalmazott 3000 napfok értékről a 2536 napfok értékre), így 342 PJ/év adódott.

10.4. táblázat: A háztartások hőfokhíddal korrigált primer energiafelhasználása felhasználási célok szerint [PJ/év]

Megnevezés	2015	2016	2017	2018
Fűtés	155,6	160,9	165,5	153,6
Használati meleg víz	40,1	40,3	40,1	39,8
Hűtés	0,7	0,7	0,8	1,0
Főzés	14,1	14,1	14,1	14,1
Világítás és elektromos készülékek	58,4	59,4	62,0	63,1
Összesen	268,9	275,3	282,5	271,6



10.2. ábra: Hőfokhíddal korrigált, energiamérlegből levezetett primerenergia felhasználás a lakóépület szektorra 2015-18-as átlagos hőfokhadra korrigálva ([70] és budapesti hőmérséklet adatok [163] alapján)

A jelentős eltérés okai a következők:

- A „bottom-up” modellel számított érték azon a feltételezésen alapul, hogy az épületeket teljes mértékben folyamatosan fűtik, és a melegvízellátó rendszer is folyamatosan működik. Ez azonban nem felel meg a valós haszalatnak.
 - A lakott épületállomány jelentős része alulfűtött az energiaszegénységgel összefüggő prebound hatás miatt. Láttuk, hogy a családi házakhoz köthető az energiaigény 80%-a, különösen a régebbi épületeknek magas az energiaigénye. A Századvég Gazdaságkutató ZRt. tanulmányában [164] szociológiai szempontból elemezte a lakóépület típusokat, és megállapította, hogy ezekben az épületekben magas a nyugdíjasok, egyedülállók és szociálisan rászorultak aránya. Joggal vélelmezhető, hogy sok ilyen épületben sokszor csak egy-két helyiséget fűtenek, szakaszosan fűtenek, vagy kevesebb melegvizet használnak. Az országos mérlegből legnagyobb szeletet kiható épülettípusokban jellemző leginkább az energiaszegénység, ami miatt az alulfűtés okozta hatás akár igen jelentős is lehet. A prebound hatással külön foglalkozik a 10.2.1. fejezet, melynek konklúziója szerint a hazai lakásállományra vonatkozó effektív prebound hatás mértéke mindegy 26%, a prebound hatással csökkentett aggregált fogyasztás pedig 253 PJ/év. (A kis eltérés a 10.2.1. fejezet eredményétől az eltérő időszakra történő hőfokhíd korrekciók miatt adódik).

- A lakások jelentős része (10,9%-a) nem lakott, amint azt a 5.2. ábra mutatja. Vélelmezhető a trend alapján, hogy a felmérés időszakára a nem lakott lakások aránya tovább nőtt. Arról nincs adatunk, hogy épülettípusonként hogy alakul a nem lakott lakások aránya, de vélelmezhető, hogy a rossz minőségű, nagy fajlagos energiaigényű lakások között nagyobb arányban fordulnak elő. Ha a lakások 10,9%-át kivesszük a „bottom-up” számításból (ennél pontosabb közelítés a rendelkezésre álló adatok alapján nem végezhető), akkor az érték 253-ról 225 PJ/évre csökken.
- Megemlítendő az időszakosan használt lakások jelentősége is. Az extrapoláció során a nyaralókat ugyan nem vettük figyelembe, de előfordulnak lakóházként nyilvántartott, nyaralóként használt vagy második tulajdont képező, időszakosan használt lakások is, melyekről nincs pontos statisztika.
- A top-down és a „bottom-up” eredmények nem ugyanabban az időpillanatban születtek, a felmérés 2015-ben történt. Azóta a lakóépületállomány egy részét korszerűsítették. A 10.2.1. pont részletesen elemzi ennek számszerű hatását. Ez alapján megállapítható, hogy az eltelt időszakban 5 év alatt legfeljebb 10%-kal csökkenhetett a lakóépületállomány energiafelhasználása, ami a 225 PJ/év értéket legfeljebb 203-ra csökkentheti.
- Az eltéréshez hozzájárulhatnak a top-down modellszámítás bizonytalanságai is:
 - Nem egyértelmű, hogy a fűtés és a HMV villamos segédenergia igényét a 9.3. táblázat mely oszlopa tartalmazza. Tekintve, hogy ez a tétel szolgáltatói mérők alapján nem különíthető el, vélhető, hogy a „világítás és elektromos készülékek” oszlopban van figyelembe véve. Ez a tétel legfeljebb néhány % eltérést indokolhat. Hasonlóan kérdéses, hogy nem vezérelt villamos HMV előállítás esetén hogyan különíthető el a HMV fogyasztás a többi elektromos fogyasztástól. Elképzelhető, hogy a „világítás és elektromos készülékek” oszlop részben HMV fogyasztást is tartalmaz.
 - Nagyobb jelentőséggel bírhat a szilárd tüzelésű biomassza felhasználás statisztikai adatainak bizonytalansága. Biomassza tekintetében ráadásul a „top-down” módszerrel „bottom-up” elemek keverednek. A kérdést összetettsége miatt külön pontban tárgyaljuk (ld. 10.2.3. pont). Ugyanakkor a biomasszával kapcsolatos bizonytalanság nem választható szét a prebound hatástól, azaz a számítottnál alacsonyabb mért fogyasztási eredményt okozhat a mérésben meg nem jelenő biomassza felhasználás. Ez azt jelentheti, hogy a prebound hatás valójában kisebb lehet a számítottnál.
- Az eltéréshez természetesen a számítási módszer egyszerűsítései és az épületfelmérés bizonytalanságai (szakértők megbízhatósága, adatgyűjtés során alkalmazott feltételezések) is hozzájárulhatnak. Egy kutatás szerint új, a hatályos követelményeknek megfelelő új lakóépületek esetén a hazai épületenergetikai számítási módszer átlagosan 9,5%-kal túlbecsüli a nettó fűtési energiaigényt az EN ISO 13790 szabvány módszeréhez képest [165]. Ez a kutatás azonban csak kis számosságú épületen alapul, ezért eredménye nem általánosítható. Meglévő épületekre vonatkozó hasonló, általánosítható eredménnyel jellemezhető vizsgálatról nem tudunk.

Összességében a „bottom-up” számítással meghatározott energiafelhasználás azt fejezi ki, hogy a lakóépület-állomány milyen energetikai minőséget képvisel, nem pedig azt, hogy ténylegesen mennyi energiát fogyaszt. Kijelenthető továbbá fentiek alapján, hogy a valós

energiafelhasználás a 200-260 PJ/év tartományba esik. A tartományon belüli pontos érték leginkább attól függ, hogy a prebound hatást milyen mértékben csökkenti a biomassza felhasználás statisztikai bizonytalansága. Ha a német és norvég prebound kutatási eredményeket elfogadjuk, akkor megállapítható, hogy a kapott 26%-os prebound érték nem túlbecsült, azaz az energetikai célú biomassza felhasználás szerepe mérsékelt.

Ha ezen feltételezéssel a 26%-os prebound értéket elfogadjuk, és a további nem számszerűsíthető hatásokat nullának tekintjük, akkor a valós aggregált fogyasztásra 203 PJ/év adódik.

10.2.1. Prebound hatás

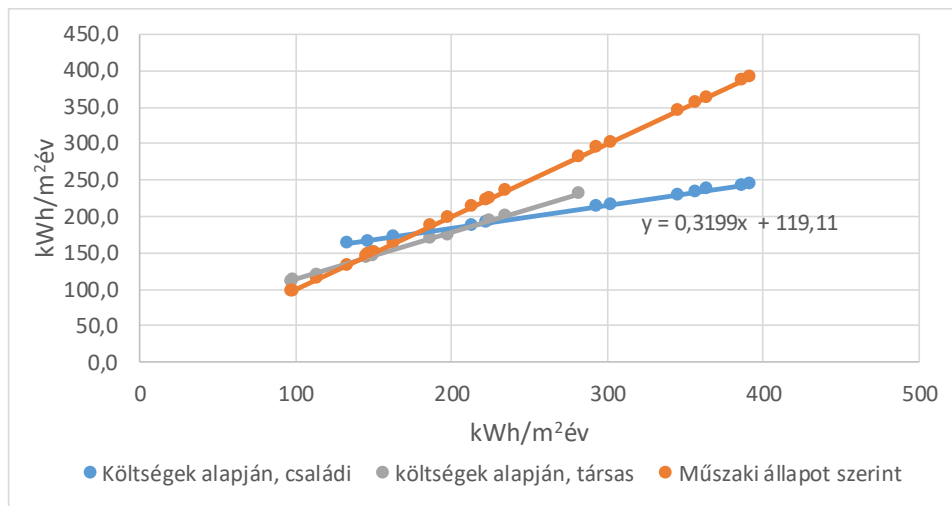
A prebound hatással már foglalkoztam a 3.3.1. fejezetben. Ott ismertettem, hogy a kérdést már Magyarországon kutatták [107], [106], [108], [128] és meghatározták a családi ház állomány adaptációs görbét (3.5. ábra) 2015-ös mért fogyasztási adatok alapján. Ez névleges adaptációs görbének tekinthető, mert a tervezési adatokon alapuló modell szabványos hőfokhíddal lett figyelembe véve, azaz a hőfokhíd szerepe elhanyagolásra került. Ennek viszont számottevő a jelentősége, ezért szükségesnek tartottam a görbe korrekcióját, azaz az effektív adaptációs görbe meghatározását. Továbbá, a hivatkozott tanulmány megállt az adaptációs görbénél, nem számszerűsítette a prebound hatás mértékét, ezért ennek számszerűsítésére is kísérletet tettem. Első lépésben a névleges adaptációs egyenes egyenlete alapján meghatároztam épülettípusonként a mért fogyasztást, amit összevettem a számított (műszaki állapot szerinti) energiafelhasználással. Az összevethetőség érdekében a számított fűtési adatsort korigáltam a 2015. év hőfokhíd értékére (10.5. táblázat). Így kisebb meredekségű egyenes adódott (10.3. ábra) családi ház effektív adaptációs görbére.

Második lépésben becslést adtam a társasházak effektív adaptációs görbéjére. Ehhez hazai adat hiányában a német eredményekből indultam ki, mely szerint társasházak esetén meredekebb az adaptációs görbe. Arányosan növeltem a családi ház görbe meredekségét a német meredekségi arányok szerint.

A típusonként mért fogyasztási eredményeket az országos lakóépület-állományt kivéve 251 PJ/év primer energia fogyasztás (fűtés + HMV) adódott. A prebound hatás ebből és a számított (műszaki állapot szerinti), 2015-ös hőfokhídra korigált eredménnyel kell összevetni, ami 338 PJ/év. Ez alapján az országos átlagos effektív prebound hatás 26%, vagyis ennyivel kisebb a lakott épületek mért adataiból aggregált fogyasztás a műszaki állapot szerint szabványos használat mellett számított fogyasztásnál.

Tekintettel arra, hogy a hivatkozott kutatás [106], [107], [108], [128] csak használatban lévő épületek adataival foglalkozott, a 251 PJ/év érték még mindig nem a valós aggregált fogyasztás.

dc_2011_22



10.3. ábra: A magyar épületmátrix lakásainak effektív adaptációs görbéje 2015-18-as időszak átlagos hőfokhíd értékére korrigálva

10.5. táblázat: A számított és mért fajlagos primer energiaigények közös nevezőre hozása hőfokhidas korrekcióval

	$E_{p, \text{felmérés}}$	$E_{p, \text{felmérés, HH2015}}$	$E_{p, \text{mért}} (2015)$
	[kWh/m²év]	[kWh/m²év]	[kWh/m²év]
1. típus	452,7	391,4	244,3
2. típus	444,0	386,0	241,9
3. típus	412,3	356,6	233,2
4. típus	398,4	345,6	229,4
5. típus	423,6	363,3	236,3
6. típus	339,2	293,3	213,2
7. típus	349,0	301,9	215,8
8. típus	255,0	222,4	190,1
9. típus	245,1	213,1	187,4
10. típus	185,3	162,6	171,0
11. típus	164,0	146,4	165,1
12. típus	153,7	132,6	162,3
13. típus	327,6	281,9	230,2
14. típus	271,6	234,4	199,4
15. típus	181,7	150,4	149,9
16. típus	112,7	97,7	112,0
17. típus	258,6	224,3	192,3
18. típus	226,6	197,9	174,6
19. típus	216,9	186,7	169,3
20. típus	174,7	149,9	146,1
21. típus	168,6	145,4	142,7
22. típus	126,4	113,3	119,5
23. típus	110,9	96,8	111,0

10.2.2. Az épületfelmérés után eltelt 5 évben történt korszerűsítések hatása

A Magyar Energiahatékonysági Intézet (MEHI) reprezentatív kérdőíves felmérést végzett 2020. végén, az előtte eltelt 5 évben (2016-2020), a háztartásokban elvégzett korszerűsítésekről

[5]. Mivel a részletes eredmények nem kerültek publikálásra, viszont vizsgálataimban felhasználtam, a 10. Mellékletben ismertetem azokat (14.19. táblázat - 14.21. táblázat). A felmérés során a háztartásokat három típusba sorolták (családi, panelépület, egyéb társasház). A számok alapján megállapítható, hogy bár a háztartások 21%-ában történt hőszigetelés, ez megtévesztő, ugyanis teljes hőszigetelés csak az esetek 0,8%-ában valósult meg, a többi részlegesnek tekinthető. A gépészeti korszerűsítés is félrevezető: a felsorolt intézkedések között számos közvetlen energiamegtakarítást nem hozó tétel szerepel (pl. a füstgázelvező rendszer cseréje önmagában nem hoz megtakarítást, csak kazáncserével együtt). Feltételezhető, hogy nyílászáró cserék esetén is számolni kell azzal, hogy a csere sok esetben nem teljeskörű volt, azaz nem az összes nyílászáróra terjedt ki. Erről azonban nincs adat.

Annak érdekében, hogy meg lehessen határozni az ötéves időszak alatt történt korszerűsítések energetikai hatását, megbecsültem, hogy a részleges intézkedésekkel a komplex felújításhoz tartozó energiamegtakarítási potenciálnak mekkora hányadát lehet realizálni. Az így kapott korrekciós tényezőket a 10.6. táblázat mutatja. Megállapítható például, hogy a családi házak 3,4%-ában legalább két meghatározó szerkezetet érintő hőszigetelés történt, így ezen családi házaknál azt feltételeztem, hogy a teljes hőszigeteléssel elérhető energiamegtakarításnak a 70%-a realizálódott. Hasonlóképpen, a hőellátó rendszer részleges korszerűsítésére is meghatároztam a relatív energiamegtakarításokat (10.7. táblázat).

A cél az volt, hogy meghatározzam, hogy a felmérést követő 5 éves időszakban milyen mértékben csökkenhetett a lakóépületállomány primer energiafelhasználása. Mivel a MEHI felmérés nem szolgáltatott adatot minden modellezési paraméterről, ezért számítások során feltételezésekkel kellett élnem, melyek a következők voltak:

- A korszerűsítések során a költségoptimalizált követelményértéket tartották be a hőátbocsátási tényezőkre nézve. Ez pályázatoknál 2015-től, egyéb esetben 2018-tól volt kötelező érvényű. E feltételezés a számított energiamegtakarítást a valósághoz képest növeli.
- Nyílászáró csere esetén valamennyi nyílászáró cserére került. Hasonlóan jártam el az opaque szerkezetek hőszigetelésénél is (pl. homlokzati fal szigetelés esetén azt feltételeztük, hogy valamennyi külső falat szigetelték). Ez a számított energiamegtakarítást a valósághoz képest szintén növeli.

10.6. táblázat: A számításban figyelembe vett, részleges hőszigeteléssel elérhető energiamegtakarítások (első oszlop), illetve az intézkedések előfordulási gyakorisága a megkérdezett mintában (utolsó négy oszlop)

relatív megtakarítás *	műszaki tartalom (példák)	családi	panel	egyéb társas	összesen
100%	teljes hőszigetelés	1,1%	0,2%	0,3%	0,8%
70%	falszigetelés + tető/padlásfödém vagy pincefödém szigetelés	3,4%	2,7%	1,7%	3,0%
35%	fal-, vagy tető/padlásfödém szigetelés	12,3%	20,4%	15,4%	14,4%
0%	nincs hőszigetelés vagy csak pincefödém szigetelés	83,1%	76,6%	82,5%	81,7%
összesen		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

*számításban figyelembe vett realizált energiamegtakarítás a komplex hőszigeteléshez képest

10.7. táblázat: A számításban figyelembe vett, hőellátó rendszer részleges korszerűsítésével elérhető energiamegtakarítások (első oszlop), illetve az intézkedések előfordulási gyakorisága a megkérdezett mintában (utolsó négy oszlop)

relatív megtakarítás *	műszaki tartalom	családi	panel	egyéb társas	összesen
100%	fűtési és HMV komplex felújítás	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
70%	legalább a fűtési hőtermelő cseréje	14,6%	7,8%	12,5%	12,9%
20%	fűtésszabályozás vagy HMV hőtermelő csere	5,3%	6,6%	7,3%	5,9%
0%	nem történt korszerűsítés vagy nem energetikai jellegű (pl. csőcsere, kéménycsere)	79,9%	85,7%	80,1%	81,1%
összesen		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

*számításban figyelembe vett realizált energiamegtakarítás a komplex hőellátó rendszer korszerűsítéshez képest

- Azonos arányt alkalmaztam az egyes altípusokra, mivel nem állt rendelkezésre információ arról, hogy családi ház / társasház / panelház kategórián belül mely típusok milyen arányban kerültek korszerűsítésre. Ez a feltétel a számított energiamegtakarítást a valósághoz képest csökkenti, ugyanakkor ennek mértéke az újabb épülettípusok energiafogyasztásban vett alacsony részaránya miatt csekély.

Az egyes részleges intézkedések tekintetében tehát a költségoptimalizált követelményszint szerint elérhető megtakarításokból indultam ki (10.8. táblázat 2-4. oszlopai). Mivel főleg részleges intézkedések történtek, ezeket korrigáltam a táblázat 3. sor 5-14. oszlopaiban található értékekkel, súlyozva azok előfordulási gyakoriságával (4-25. sor, 5-14. oszlop). Ezek a súlyozott szorzatok megadják, hogy az elvégzett hőszigeteléssel, ablakcserével és fűtéskorszerűsítéssel mennyi megtakarítás érhető el (10.9. táblázat 3-5. oszlop). Mivel ezen intézkedések egyaránt megvalósultak, ezért együttes hatását kell figyelembe venni, amit a 6. oszlop mutat (6. oszlop eredménye = $1 - (1 - 3.o.e.) * (1 - 4.o.e.) * (1 - 5.o.e.)$).

Összességében megállapítható, hogy az eltelt 5 év megtakarítási intézkedései mintegy 10% csökkenést eredményeztek a lakóépület-állomány energiafelhasználásában. Mérlegelve a számítás során tett, fent felsorolt feltételezéseink eredményre gyakorolt hatását valószínűsíthető, hogy ez inkább felső értéknek tekinthető, a valós megtakarítás ennél valamivel alacsonyabb.

10.8. táblázat: A felmérést követő időszakban lezajlott energiamegtakarítás hatására kialakult állapot meghatározásához figyelembe vett adatok

	hőszig	nyílászáró	gépészet	Hőszigetelés				Ablakcsere		Gépészeti korszerűsítés			
	megtak	megtak	megtak	relatív megtakarítás				relatív megtakarítás		relatív megtakarítás			
	%	%	%	100%	70%	35%	0%	100%	0%	100%	70%	20%	0%
1	55%	9%	31%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
2	50%	10%	35%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
3	50%	10%	33%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
4	48%	10%	33%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
5	51%	9%	33%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
6	43%	11%	34%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
7	45%	6%	31%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
8	38%	11%	33%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
9	37%	2%	21%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
10	20%	4%	25%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
11	18%	1%	0%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
12	18%	0%	0%	1,1%	3,4%	12,3%	83,1%	36,1%	63,9%	0%	15%	5%	80%
családi													
13	42%	16%	29%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
14	43%	15%	28%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
15	26%	6%	10%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
16	17%	-3%	6%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
kistársas													
17	27%	18%	40%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
18	40%	18%	34%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
19	35%	23%	34%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
20	29%	26%	4%	0,2%	2,7%	20,4%	76,6%	39,7%	60,3%	0%	8%	7%	86%
21	34%	20%	2%	0,2%	2,7%	20,4%	76,6%	39,7%	60,3%	0%	8%	7%	86%
22	17%	6%	6%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
23	13%	-2%	5%	0,3%	1,7%	15,4%	82,5%	37,1%	62,9%	0%	13%	7%	80%
nagytársas													

10.9. táblázat: A felmérést követő időszakban lezajlott energiamegtakarítás hatása a primer energiafelhasználásra

	Felújítatlan állapot	Hőszig	Ablak	Gépészet	Összes	Felújítottsággal korrigált állapot
	E_p	mehtak	mehtak	mehtak	mehtak	E_p
	[kWh/m ² év]	%	%	%	%	[kWh/m ² év]
1	452,7	4,3%	3,3%	3,5%	10,7%	404,1
2	444,0	3,9%	3,6%	4,1%	11,2%	394,3
3	412,3	4,0%	3,6%	3,8%	10,9%	367,3
4	398,4	3,8%	3,7%	3,8%	10,9%	354,9
5	423,6	4,0%	3,3%	3,8%	10,7%	378,4
6	339,2	3,4%	3,8%	3,9%	10,8%	302,7
7	349,0	3,5%	2,1%	3,5%	8,9%	318,0
8	255,0	3,0%	3,8%	3,8%	10,2%	229,1
9	245,1	2,9%	0,8%	2,5%	6,1%	230,2
10	185,3	1,5%	1,3%	2,9%	5,7%	174,8
11	164,0	1,4%	0,3%	0,0%	1,7%	161,3
12	153,7	1,4%	-0,1%	0,0%	1,3%	151,7
családi	373,0				9,7%	335,1
13	327,6	2,9%	6,0%	2,9%	11,4%	290,3
14	271,6	3,0%	5,4%	2,9%	10,9%	242,0
15	181,7	1,8%	2,4%	1,0%	5,1%	172,4
16	112,7	1,2%	-1,1%	0,6%	0,8%	111,8
kistársas	261,0				9,3%	234,6
17	258,6	1,9%	6,7%	4,1%	12,1%	227,2
18	226,6	2,7%	6,6%	3,5%	12,4%	198,6
19	216,9	2,4%	8,5%	3,5%	13,8%	186,8
20	174,7	2,7%	10,3%	0,3%	13,0%	152,0
21	168,6	3,1%	7,8%	0,1%	10,7%	150,5
22	126,4	1,2%	2,4%	0,6%	4,1%	121,2
23	110,9	0,9%	-0,7%	0,5%	0,8%	110,0
nagytársas	199,3				11,5%	175,6
átlag	310,6				10,2%	278,0

10.2.3. Energetikai célú biomassza felhasználás statisztikák értékelése

A REKK már 2009-ben felhívta a figyelmet tanulmányában arra, hogy a fakitermelési statisztikák és a felhasználás oldali energetikai biomassza statisztikák között jelentős eltérés mutatkozik, a kettő közül utóbbi értéke nagyobb [166].

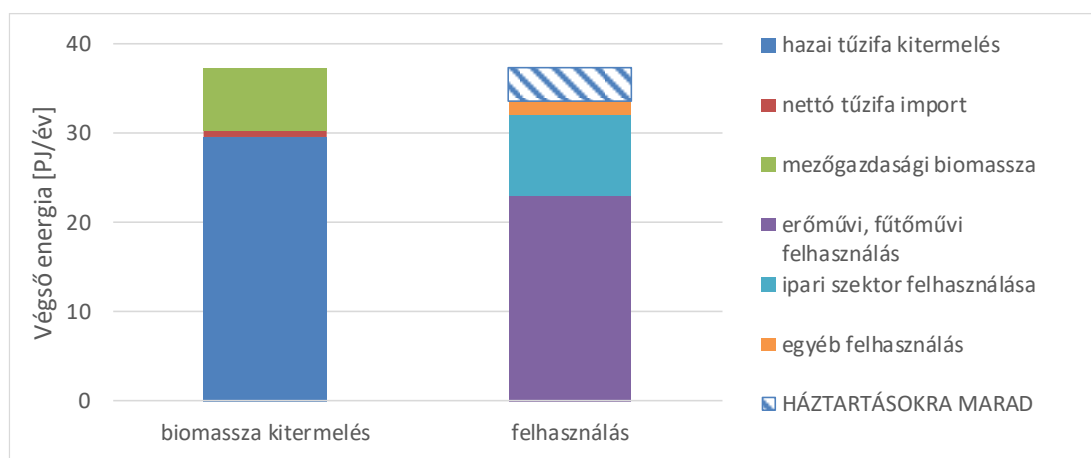
A problémát egy 2021-es kutatásban is megerősítik [167]. E tanulmány szerint az erdészeti, mezőgazdasági energetikai célú kitermelés, importtal együtt összesen 37,3 PJ/év energiaigény² fedezésére elegendő. Ezzel szemben a nem háztartási célú biomassza energiafelhasználás 33,7 PJ/év. Ebből az erőművi, fűtőművi felhasználás 23,0 PJ/év, ami a leginkább megbízható tétel a felhasználói oldalon, mert ezt a szektort nagyon részletes dokumentálási kötelezettség terheli. Ha elfogadjuk az ipari szektor felhasználására és az egyéb felhasználásra vonatkozó értékeket is, akkor a háztartási szektorra mindössze 3,6 PJ/év marad (10.4. ábra). Ha ezeket nem fogadjuk el, akkor is az érték legfeljebb 14,3 PJ/év lehet.

² A tanulmány készítői 9 GJ/m³ hőtartalommal számoltak, ami 700 kg/m³ erdészeti köbméterre vonatkoztatott sűrűségből és 12,5 MJ/kg fűtőértékből adódik. Véleményem szerint ez felső becslésnek tekinthető.

Ezzel szemben a felhasználás oldali statisztika a MEKH adatszolgáltatásán alapul és tartalmaz háztartási biomassza felhasználást is, amit a diagramban szándékosan nem tüntettem fel, minek az értéke 52,9 PJ/év. A tanulmány szerint ez az érték azonban nem mért biomassza felhasználáson, hanem jelen disszertációban is alkalmazott „bottom-up” lakóépület-állomány modellezésen alapul (a kevésbé megalapozott TABULA-EPISCOPE projekt [76] adatait felhasználva), ezért ez nem tekinthető megfelelő összehasonlítási alapnak. Saját felmérésünk eredménye 99 PJ/év volt, amit ha minden, a 10.2. fejezetben hatással csökkentünk, akkor is 51,5 PJ/év adódik, ami közel áll a MEKH által meghatározott értékhez. Ez az érték önmagában magasabb, mint az erdészeti statisztika alapján kiadódó teljes tűzifa kitermelés.

Az energetikai biomassza kitermelési statisztikák tehát bizonyosan jelentősen alábecsülik a valóságot, aminek több oka lehet: például a kereskedelmi forgalomban meg nem jelenő, saját gyűjtésű fa mennyiségének becslési bizonytalansága és a szilárd tüzelésű kazánokban elégetett háztartási hulladék nehezen becsülhető szerepe. Kérdéses továbbá a tűzifa bizonytalan minősége is: a fafajta és a nedvességtartalom jelentősen befolyásolja hatásfokot, így az energiafelhasználást is.

Ezek tükrében a biomassza felhasználást növelő korszerűsítések elősegítése jelentős kockázattal jár, hiszen nagyon bizonytalan, kontrollálatlan erőforrásról van szó. Törekedni kell a rossz hatásfokú vegyes tüzelésű kazánok faelgázosító kazánokkal való kiváltására. Továbbá nem célszerű nem biomassza tüzelésű rendszerek biomassza tüzelésre való átállítását támogatni, hacsak ez nem egészül ki a lakóépület-állomány szintjén olyan kompenzációs intézkedésekkel (hőigények csökkentése, hőtermelők hatásfokának javítása), mely garantálja, hogy az országos tűzifa felhasználás nem növekszik.



10.4. ábra : Energetikai célú biomassza termelés és felhasználási statisztikák ([167] alapján)

11. Összefoglalás

Kutatómunkámban rendszereztem és kataszterbe foglaltam a hazai lakóépület-állományt, módszert dolgoztam ki annak felmérésére, feldolgoztam a releváns statisztikai adatokat és átfogó értékelést adtam annak energetikai minőségéről. Ez a helyzetértékelés 2029 reprezentatív módon felmért lakóépület felmérési adatain alapul. A lakóépület-állományt 23 típusba soroltam be, majd szintetikus modellépületeket hoztam létre valamennyi típushoz azzal a céllal, hogy különböző épületkorszerűsítési megoldások energetikai hatása modellezhető legyen. Azonosítottam azon korszerűsítési intézkedéseket, melyek a közel nulla energiaigényű épületállomány létrehozásához legnagyobb relevanciával bírnak (épületburok korszerűsítése és kapcsolódó hatékony épületgépészeti, megújuló energiát hasznosító megoldások). Továbbá olyan intézkedéseket is azonosítottam, melyek esetleges további terjedése jelentős kockázatot hordoz (biomassza tüzelés alacsony hatásfokú szilárd tüzelésű berendezésekkel, napelemmel kombinált direkt villamos fűtés). Meghatároztam az egyes épülettípusokra a rendeltetésszerű használat mellett jellemző indikátorokat eredeti állapotra és a különböző korszerűsítésekre. Megvizsgáltam, hogy mit jelentenek az eredmények a lakóépület-állomány átlagára vonatkoztatva, ez képezte következtetéseim alapját. Az eredeti állapotra meghatározott épülettípusonkénti eredményeket extrapoláltam az országos lakóépület-állományra és a kapott aggregált energiafelhasználást összevettem az országos energiamérlegből levezetett energiastatisztika eredményével. Megállapítottam, hogy utóbbi lényegesen kisebb, mint a saját alulról felfelé építkező modellem eredménye, és meghatároztam az eltérés valószínűsíthető okait, valamint az effektív prebound hatás mértékét. Legfontosabb eredményeimet tézisekbe rendezve foglaltam össze (12. fejezet), az alábbi megállapítások azok kiegészítésének tekinthetők.

A dekarbonizált lakóépület-állomány megteremtése felé vezető út kialakításához a következő javaslatokat fogalmaztam meg:

- A célok teljesítéséhez elkerülhetetlen az épületek energiaigényének drasztikus csökkentése energiahatékonysági intézkedésekkel, különös tekintettel az épületburok korszerűsítésére. Megújuló energiaforrások alkalmazása önmagában nem elegendő, sőt ésszerűtlen kombinációban történő alkalmazásuk káros hatással bír.
- A biomassza tüzelés további terjesztése során csak olyan megoldások preferálandók, melyek nem növelik tovább az országos biomassza igényt. A családi ház állomány jelentős része elméletileg átállítható biomassza alapú energiaellátásra anélkül, hogy az össz-biomassza igény növekedne, de kizárólag akkor, ha a következő feltételek mindegyike teljesül:
 - az épületek teljeskörű szerkezeti korszerűsítése,
 - kizárólag magas hatásfokú, alacsony szennyezőanyag kibocsátású, korszerű tüzelőberendezések alkalmazása,
 - az átlátható, minőségi tüzifa ellátás garanciáinak biztosítása (kezdvé a fenntartható erdőgazdálkodástól, a nyomon követhető logisztikán keresztül, a szakszerű tárolásig és üzemeltetésig).

Az utolsó pont betarthatósága erősen kétséges. Továbbá, a legkorszerűbb szilárd tüzelésű kazánok esetén is számolni kell a szállópor szennyezés és az NO_x kibocsátás egészségügyi kockázataival, amire a hatásfok érdemben nem bír hatással. Erre a kérdésre kutatásaim nem terjedtek ki, ezért további vizsgálat szükséges.

- A teljes lakóépület-állomány dekarbonizációhoz a villamos energiamix dekarbonizációja és az épületek hőellátásnak elektrifikációja a leginkább valószínűsíthető út, amiben az épületek tetején elhelyezett napelemekre nagy szerep jut. Ugyanakkor, ha ez nem társul az energiaigények lehető legnagyobb mértékű

csökkentésével, akkor a villamos energiaigények nagyságrendi növekedésével kell számolni a fűtési idényben, aminek fedezésére a szimultán napelemes termelés nem reális opció, de még éves mérlegben is messze elmarad a napelemes energiatermelés a megnövekedett igényektől. A szezonális energiátárolás elengedhetetlenül megoldandó feladat. A (jellemzően kis beruházási költségű, ezért vonzó) direkt elektromos fűtések elterjesztése különösen kerülendő, csak magas hatásfokú hőszivattyús megoldások jöhetnek szóba. A problémákkal addig nem kell számolni, amíg a direkt rendszerek csak kismértékben kerülnek alkalmazásra, de el kell kerülni a széles körű elterjedést.

- A gépi hűtés jelentősége lakóépületekben rendeltetészerű használat mellett viszonylag csekély, de a hőszigetelés javításával némi mértékű növekedés valószínűsíthető. Ez azonban nagymértékben függ a használat módjától, ugyanis megfelelő üzemeltetés mellett (éjszakai átszellőztetés, nappali árnyékolás) minimálisan tartható, nem megfelelő használat esetén viszont jelentősebb lehet. Hatékony, elsődlegesen külső árnyékolók alkalmazásával a hűtési igények elhanyagolható szinten tarthatók.

Kutatási eredményeim és a fenti megállapítások természetesen bizonyos feltételek fennállása esetén érvényesek, ami ki is jelöli a további lehetséges és szükséges kutatási irányokat:

- Az elektrifikációra vonatkozó eredmények tovább pontosíthatók a dinamikus hatásokat jobban figyelembe vevő szimulációs szoftveres számításokkal. A napelemes termelés bruttó szemléletű hasznosítását havi mérlegben vizsgáltam, de egy órai léptékű elemzés várhatóan tovább csökkentené a napelemekkel fedezhető energiaigényekre kapott eredményeket.
- A gépi hűtés modellezési eredményeire nagy hatással van az épületüzemeltetés módja, azaz a fogyasztói magatartás. Célszerű lenne ennek további vizsgálata, szintén a dinamikus szimuláció segítségével, amivel modellezhető a nappali és éjszakai eltérő használat szerepe.
- A napelemek terjedése kihat a villamos energia mixre, a villamos áram egyre inkább dekarbonizálódik. Ez azonban visszahat az épületállomány nem megújuló primer energiafelhasználására a csökkenő primer energia tényező által. Vagyis az épületállomány modellek és a villamos áram mix modellek kölcsönösen hatnak egymásra. Hasznos és fontos lenne a két modell integrálása vagy összehangolt alkalmazása.
- Elemzéseim során rávilágítottam arra, hogy a lakóépület-állományra és különösen az épületek használatára vonatkozó statisztikai adatok nem elégségesek. Célszerű lenne kérdőíves kutatásokat végezni a lakosság épülethasználati szokásairól annak érdekében, hogy pontosabb képet kapjunk a részleges és szakaszos fűtés mértékéről, a nettó használati melegvíz igényről, a tűzifa használattal kapcsolatos kérdésekről (forrás, minőség, tárolás). Szintén célszerű lenne reprezentatív, okosmérőkre épülő mérési programot indítani, mely alapján a számított energiafelhasználási adatokat össze lehetne vetni a mért fogyasztással.

Az ismertett kutatási irányok felé már tettünk lépéseket, de teljeskörű megvalósításukig, különösen ami az utolsó pontot illeti, több szakterületen átívelő együttműködés szükséges.

A kutatás eredményeképpen létrejött adatbázis a levont következtetések nélkül is nagy jelentőséggel bír. Ugyanis erre alapozva számos, más szakterületre átívelő további kutatás végezhető, illetve került már elvégzésre. Ilyen a korszerűsítési scenáriók vizsgálata, makrogazdasági hatáselemzés, foglalkoztatásra gyakorolt hatások elemzése, egészségügyi hatások elemzése (pl. ld. a biomasszához kötődő szálló porral kapcsolatban leírtakat), energiaszegénység elemzések vagy akár ehhez kapcsolódva banki hitelprogramokhoz kapcsolódó lakossági hitelképességi vizsgálatok. Az eredmények segíthetik városi, regionális és országos stratégiák, cselekvési programok kidolgozását is.

12. TÉZISEK

Az eredmények rendeltetésszerű épülethasználat és szabványos 72000 hK hőfokhíd mellett érvényesek. A napelemekre vonatkozó számítások a teljes kihasználható tetőfelület figyelembe vétele mellett történtek.

A számszerű eredmények - amennyiben arról a tézis másképp nem rendelkezik -, a magyarországi lakóépület-állomány egészére vagy átlagára vonatkoznak. A 4. tézisben említett módszer más országokra is alkalmazható. A 5-10. tézisekben megfogalmazottakhoz közeli következtetések - a számszaki adatok nélkül -, állapíthatók meg a hasonló épületállománnyal, energiahordozó szerkezettel és klimatikus adottságokkal rendelkező országokra, különös tekintettel a Kelet-Közép Európai régióra.

A) Módszertani keret

1. Tézis: Lakóépület tipológiai mátrix [10,41,67,68,74,82,168]

Kidolgoztam egy 23 elemből álló épületenergetikai tipológiai mátrixot a hazai lakóépület-állomány energetikai értékelésére és modellezésére. A tipológiai mátrix elemei szintetikus átlagos tulajdonságú épületek. A szintetikus épület tulajdonságokat statisztikai módszerekkel határoztam meg, így a tipológiai mátrix elemei az épületek energiafogyasztását alapvetően meghatározó jellemzőkkel bírnak.

A szintetikus épületek bemeneti paramétereit statisztikailag szignifikáns darabszámú (2029), reprezentatív módon kiválasztott és szakértők által felmért valós épület tulajdonságai alapján határoztam meg. A felmérésben résztvevő szakértők számára protokollt dolgoztam ki.

B) A magyarországi lakóépületek jelenlegi állapota

2. Tézis: Eredeti állapot értékelése: indikátorok, aggregált energiafelhasználás [10,41,67,68,74,82,168]

Meghatároztam lakóépület típus szerinti bontásban az energetikai szempontból releváns fajlagos indikátor értékeket (energiahordozónkénti végső energiaigény, a nem megújuló primerenergiaigény és széndioxid kibocsátás), valamint extrapoláltam az eredményeket a lakóépület-állomány egészére.

Megállapítottam, hogy rendeltetésszerű használat és szabványos 72000 hK hőfokhíd mellett a magyarországi lakóépület-állomány fajlagos nem megújuló primerenergia igénye 390 PJ/év. A teljes energiafelhasználás 90%-ért az 1990 előtt épült épületek felelnek. Az energiafogyasztás túlnyomó része a családi ház (80.5%) állományhoz köthető, amit a nagy társasház (14.7%) és a kis társasház (4.8%) állomány követ. Két épülettípusra jutó hányad különösen nagy (a teljes energiaigény 34%-a): ezek az alapozás nélküli vályogházak (2. típus) és az 1960-1979 között épült téglá, kő vagy kézi falazóelemmel épített családi házak (5. típus).

3. Tézis: Effektív prebound hatás [41,74,168]

Összevettem a „bottom-up” módszerrel meghatározott országos energiafelhasználást az országos energiamérlegből kiadódó értékkel és értékeltem az eltérés okait. A lakóépület szektor egészét jellemző effektív prebound hatás mértékét 26%-ban állapítottam meg, amit csökkenthet a háztartási tűzifa használatra vonatkozó statisztikákból adódó esetleges bizonytalanság.

4. Tézis: Energiahatékonysági skála [9,155,168]

Megállapítottam, hogy a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott energiatanúsítási értékelési skálák nem szolgáltatnak információt arról, hogy egy adott épület energiahatékonysága hogyan viszonyul a lakóépület-állomány többi épületének hatékonyságához. Módszert dolgoztam ki olyan hatékonysági skála létrehozására, mely a lakóépületállomány felmérési adatain alapul, és alkalmas ilyen információ szolgáltatására, továbbá figyelembe vesz új épületekre vonatkozó sajátos szempontokat is. Sarokszámokat határoztam meg a magyarországi kategória határok megállapításához a felmérési minta adatai alapján: a lakóépület-állomány leghatékonyabb 15%-ra igaz, hogy $E_P < 153,2 \text{ kWh/m}^2\text{év}$, az állományra vonatkozó átlagérték $E_P = 276,8 \text{ kWh/m}^2\text{év}$, az épületek legkevésbé hatékony 15%-ára pedig $E_P > 476,2 \text{ kWh/m}^2\text{év}$.

C) A korszerűsítés lehetőségei

5. Tézis: Biomassza alapú hőtermelés [41,74,82,168]

Megvizsgáltam és számszerűsítettem a családi ház állomány biomassza hőtermelésre való átállításának lehetőségeit és értékeltem ennek lehetséges következményeit.

A felmért épületminta elemzése alapján megállapítottam, hogy azon családi házak arányának becsült felső határa, ahol a biomassza alapú hőtermelésnek adottak a logisztikai feltételei (a tűzifa tárolása, szállítása megoldható) 81%. Kistársasházak esetén ez a szám már csak 26%, nagy társasházak esetén pedig a biomassza alig alkalmazható opció, és környezetvédelmi szempontból is aggályos a típusra jellemző sűrű, városias beépítés miatt. Ezért a biomasszára vonatkozó elemzéseimet a családi házakra korlátoztam.

Meghatároztam jellegzetes tűzifa alapú hőtermelőre átállási változatok indikátorait (fajlagos végső és nem megújuló primer energiafelhasználások) épülettípusonként, és súlyozott átlagokat képeztem a teljes családi ház állományra vonatkozóan. A vizsgált esetek a következők voltak: a) szerkezeti felújítás nélkül, korszerűtlen vegyestüzelésű kazán, melegvízellátás villanybojlerrel; b) épületburok felújítás nélkül, korszerű faelgázosító kazán, melegvízellátás villanybojlerrel; c) referencia szerkezeti felújítás, korszerű faelgázosító kazán, melegvízellátás villanybojlerrel; d) épületburok korszerűsítés, korszerű faelgázosító kazán, melegvízellátás napkollektorral.

Megállapítottam, hogy az épületburok korszerűsítése nélküli a) és b) változatok országos szinten a biomassza felhasználás drasztikus növekedését eredményeznék vagy az illegális fakitermelés és hulladékégetés mértékének növekedésével kellene számolni. Csak az épületburok korszerűsítésével kombinált (c) és d) változatok biomassza tüzelés esetén biztosítható, hogy a jelenlegi biomassza igények nem növekednek tovább (kismértékű csökkenés realizálható).

Megállapítottam, hogy a hivatalos erdészeti statisztikákból adódó, egyéb fogyasztók (erőművi, fűtőművi, ipari és egyéb) energiaigényének levonása után a háztartásokra maradó érték nagyságrendileg kisebb, mint a „bottom-up” módszerrel számított igény.

6. Tézis: Napenergia hasznosítás [59,168–171]

Meghatároztam a lakóépület-állományra vonatkozó napenergia hasznosítási potenciált - a hasznos tetőfelületek figyelembe vételével -, napkollektoros használati melegvíz előállításra és napelemes villamos energiatermelésre.

Megállapítottam, hogy energiahatékonysági korszerűsítés nélkül a nem megújuló primer energiaigény átlagosan legfeljebb $(E_P - E_{P,eredeti}) / E_{P,eredeti} = -25\%$ -os mértékben változik tetőn elhelyezett aktív napenergia hasznosító rendszerek hatására (napelemekkel vagy napkollektorokkal).

Referencia korszerűsítéssel kombinálva ez az érték $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -76\%$ -ra javítható.

Megállapítottam, hogy családi házakra és kis társasházakra a napelemekkel számottevően nagyobb nem megújuló primer energiaigény csökkenés érhető el, mint kollektorokkal (energiáhozadékonysági korszerűsítés nélkül típustól függően az elérhető változás napelemekre: 13. típusra $(E_P - E_{P,eredeti}) / E_{P,eredeti} = -7\%$, többi típusra $-16\% \dots -46\%$; napkollektorokra: $-2 \dots -12\%$). Nagy társasházak esetén viszont közel azonos megtakarítás prognosztizálható (napelemekre a változás: $-2 \dots 9\%$, napkollektorokra: $-2 \dots 8\%$).

Korszerűsített állapotban több családi háztípus esetén elérhető (1., 2., 5., 7. típusok), vagy megközelíthető a nulla primerenergiaigény éves mérlegben (a típustól függő E_P változás családi házakra napelemekre $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -62 \dots -171\%$), míg nagy társasházak esetén a termelés csak az igények kis részének fedezésére lehet elegendő (nagy társasházakra napelemekre $-8 \dots -25\%$).

(A tézisben közölt eredmények éves energiamérleg szemlélet szerint kerültek meghatározásra.)

7. Tézis: Hőtermelés elektrifikációja [41,162,168]

Megvizsgáltam a lakóépület-állomány átlagára vonatkoztatva, hogy a lakóépületek fűtésének és melegvízellátásának villamos hőellátásra való átállítása milyen mértékben módosítja az indikátorokat az eredeti állapothoz viszonyítva.

Megállapítottam, hogy szerkezeti felújítás nélküli esetben a direkt villamos hőtermelés a nem megújuló primer energiafelhasználás $(E_P - E_{P,eredeti}) / E_{P,eredeti} = +80\%$ -os átlagos változását eredményezi, vagyis jelentős növekedés várható. Ha levegő-víz rendszerű hőszivattyút alkalmazunk, akkor a változás -54% -os, azaz csökkenés érhető el.

Ha referencia szerkezeti felújítással társul a direkt elektromos hőtermelés, akkor a nem megújuló primer energiafelhasználás változása $(E_P - E_{P,eredeti}) / E_{P,eredeti} = -43\%$. Ha referencia szerkezeti felújítással hőszivattyú társul, akkor a nem megújuló primer energiafelhasználás változása -80% . A referencia korszerűsítéshez képest csak ez a vizsgált lehetőség ad kedvezőbb eredményt ($(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -66\%$).

(A megállapítások hálózati villamos energia alkalmazásakor, gépi hűtés nélküli esetben érvényesek.)

8. Tézis: Gépi hűtés [41,162,168]

Megállapítottam, hogy gépi hűtés lakóépületekben való általános alkalmazása esetén árnyékolók nélküli esetben, egyéb korszerűsítés nélkül nem számottevően, átlagosan $(E_{P,eredeti+hűtés}-E_{P,eredeti})/E_{P,eredeti}=+3,5\%$ -os mértékben változik a nem megújuló primer energiafelhasználás a hűtés nélküli esethez képest. Árnyékolók alkalmazásával a gépi hűtés elhanyagolható mértékű E_P növekedést okoz.

Referencia korszerűsítéssel kombinálva nagyobb mértékben, $(E_{P,ref+hűtés}-E_{P,ref})/E_{P,ref}=+19\%$ -kal változik a nem megújuló primer energiafelhasználás a hűtés nélküli esethez képest. Árnyékolókat is alkalmazva a változás mértéke $+1,3\%$. A fajlagos hűtési energiaigények az épületek méretével szignifikánsan növekednek, illetve az újabb épület típusokra magasabb hűtési igény jellemző. Általában, ahol a transzmisszió szerepe nagyobb, ott kisebb hűtési hőigény várható.

Megállapítottam, hogy az épületburok energetikai felújítása a hűtési igények növekedését okozza. Ugyanakkor a változás mértéke jóval kisebb (átlagosan kevesebb, mint $E_{hű,ref}-E_{hű,eredeti}=+8,9 \text{ kWh/m}^2\text{év}$), mint a fűtési energiaigények csökkenése (átlagos változás: $E_{f,ref}-E_{f,eredeti}=-191 \text{ kWh/m}^2\text{év}$) nem megújuló primer energiában kifejezve, tehát a burrok felújítás összességében célszerű. (A számok referencia korszerűsítésre vonatkoznak árnyékolók alkalmazása nélkül.)

9. Tézis: Elektrifikáció és napelemek együttes alkalmazása [41,59,114,162,168–173]

Meghatároztam különböző elektromos hőellátási módokat, hogy milyen mértékben lehet kiváltani a nem megújuló primerenergiafelhasználást.

Referencia szerkezeti felújítás, árnyékolás nélkül: Eredeti állapotban a nem megújuló primerenergia felhasználás változása a napelemek hatására éves energia mérleg szemléletben legfeljebb

$$\frac{(E_{P,eredeti+napelem} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}) - (E_{P,eredeti} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si})}{E_{P,eredeti} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}} = -21\%$$

(havi energia mérleg szemléletben -16%).

Direkt elektromos hőellátásra átállás esetén a változás

$$\frac{(E_{P,eredeti+direkt+napelem} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}) - (E_{P,eredeti+direkt} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si})}{E_{P,eredeti+direkt} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}} = -13\%$$

(havi energia mérleg szemléletben: -10%),

levegő-víz hőszivattyúra átállás esetén pedig

$$\frac{(E_{P,eredeti+direkt+napelem} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}) - (E_{P,eredeti+direkt} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si})}{E_{P,eredeti+direkt} + E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}} = -37\%$$

(havi energia mérleg szemléletben: -25%).

Árnyékolással kombinált referencia szerkezeti felújítás: Referencia korszerűsítés esetén éves napenergia mérleg szemléletben a változás mértéke a napelemek hatására legfeljebb

$$\frac{(E_{P,ref+\acute{a}rny+napelem}+E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si})-(E_{P,ref}+E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si})}{E_{P,ref}+E_{h\acute{a}ztart\acute{a}si}} = -48\%$$

(havi energia mérleg szemléletben: -36%).

Direkt elektromos hőellátásra átállás esetén a változás

$$\frac{(E_{P,ref}+árny+direkt+napelem+E_{háztartási})-(E_{P,ref}+árny+direkt+E_{háztartási})}{E_{P,ref}+árny+direkt+E_{háztartási}} = -33\%$$

(havi energia mérleg szemléletben: -26%),

levegő-víz hőszivattyúra átállás esetén pedig

$$\frac{(E_{P,ref}+árny+hősziv+napelem + E_{háztartási}) - (E_{P,ref}+árny+hősziv + E_{háztartási})}{E_{P,ref}+árny+hősziv + E_{háztartási}} = -64\%$$

(havi energia mérleg szemléletben: -39%).

Társasházak esetén az éves és a havi szemléletben végzett számítás azonos eredményt ad. Családi házak esetén viszont a havi mérlegszemléletű számítással számottevően (23%-kal) kisebb hasznosítható energia mennyiség adódik, mint éves mérlegszemléletű számítással. A lakóépületállomány átlagát tekintve a havi mérlegben végzett számítás 22%-kal alacsonyabb nem megújuló primerenergiafelhasználás csökkenést eredményez, mint az éves szemléletű. A különbség nő az épületek energiahatékonyágának javításával, a vizsgált esetek közül a legmagasabb érték a referencia szerkezeti felújítással kombinált hőszivattyús változat esetén adódott (39%). Az éves mérleg szerint számított kiváltott energia akkor realizálható, ha azt a tarifarendszer támogatja, ami túlmutat az épületek szintjén, azt alapvetően hálózatüzemeltetési szempontok határozzák meg.

10.Tézis: Helyben termelhető megújuló energia hasznosítás lehetőségei [41,59,162,168–173]

Legfeljebb egy megújuló energiára épülő technológia alkalmazásának esete:

Épülettípusonként megvizsgáltam, hogy a helyben termelt, legfeljebb egy megújuló energiára épülő technológia alkalmazásával milyen mértékű nem megújuló primer energiamegtakarítás realizálható, referencia szerkezeti felújítás mellett. Megállapítottam, hogy a helyben termelt megújuló energiára épülő rendszerekkel a referencia korszerűsítéshez képest legfeljebb 40%-os megtakarítási érték az, ami valamennyi épülettípus esetén elérhető (napenergia hasznosítást éves és havi mérleg szemléletben figyelembe véve egyaránt).

Ennél magasabb érték egyes épülettípusok (18. és 19. típus) esetén nem realizálható. Egynél több technológia együttes alkalmazása esetén jelentős költségtöbblettel kell számolni.

A lakóépület-állomány átlagát tekintve a legnagyobb megtakarítási potenciál a tetőkre telepített napelemekhez tartozik (havi energiamérleg szemlélet esetén $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -50\%$). Valamennyi családi háztípusra a napelem, valamennyi társasház típusra a hőszivattyú adja a legnagyobb megtakarítást. Ha minden épülettípus esetén a legjobb eredményt adó megoldást alkalmazzuk, akkor átlagosan $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -73\%$ -os (havi energiamérleg szemlélet elszámolás esetén $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -62\%$) változás realizálható.

A csökkenés mértéke családi háztípusok esetén számottevően jelentősebb (típustól függően éves és havi energiamérleg szemlélet elszámolás esetén egyaránt $(E_P - E_{P,ref}) / E_{P,ref} = -62\% \dots -100\%$, a legmérsékeltőbb kiváltás értékek a 8. és a 10. típushoz tartoznak), köszönhetően a nagy potenciális energiagyűjtő tetőfelületnek.

Kétféle megújuló energiára épülő technológia alkalmazásának esete:

Ha kétféle megújuló energiát hasznosító rendszert alkalmazunk, akkor a hőszivattyú és a napelem kombinációja adja a legjobb eredményt.

Ha a napelemek mellett még egy megújuló energia is alkalmazásra kerül, akkor - a háztartási energiafogyasztást nem számítva -, a nettó nem megújuló primer energiafelhasználású épületállomány éves energiamérleg szemléletben elérhető (éves: $E_p = -16 \text{ kWh/m}^2\text{év}$), de havi mérlegek szempontjából nem (havi: $E_p = +15 \text{ kWh/m}^2\text{év}$).

A nem megújuló primer energia relatív változása önmagában alkalmas és elégséges mutató mind energiahatékonysági, mind megújuló energiát hasznosító intézkedések hasznosságának értékelésére. Ezzel szemben a megújuló részarány önmagában nem alkalmas erre a célra, sőt félrevezető lehet.

13. HIVATKOZÁSOK

Szerző publikációi dőlt betűvel jelölve.

- [1] 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról, (2006).
- [2] European Green Deal, (n.d.). https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [3] Paris Agreement, (2015). <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>.
- [4] Hungarian Central Statistical Office (KSH), Dwelling data in Hungary, (2020).
- [5] I. Szécsi, Z. Koritár, A. Pálffy, F. Dr. Sáfián, Hazai felújítási hullám, 2021.
- [6] L. Koltai, T. Szabó, K. Tóth, A. Varró, A legrosszabb energiahatékonyságú hazai lakóépületek felújításának gazdasági és társadalmi hatásai, Budapest, 2021.
- [7] K. Korytarova, Energy efficiency potential for space heating in Hungarian public buildings. Towards a low-carbon economy., Central European University, 2010.
- [8] A. Novikova, Carbon dioxide mitigation potential in the Hungarian residential sector, Budapest, 2008.
- [9] K. Severnyák, T. Csoknyai, Lakóépületek energiahatékonysága, Budapest, 2021. <http://mnbprogram.bme.hu/lakoepuletek-energiagatekonysaga/>.
- [10] S. Hrabovszky-Horváth, T. Pálvölgyi, T. Csoknyai, A. Talamon, Generalized residential building typology for urban climate change mitigation and adaptation strategies: The case of Hungary, Energy and Buildings. 62 (2013) 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.011>.
- [11] KEOP-7.9.0/12-2013-0019/2020, Költségvetési szervek kezelésében álló épületek energiahatékonysági felújítását szolgáló 2014-2020. évi fejlesztési program és akcióterv kidolgozása és a lakossági épület energiahatékonysági potenciál felmérése, Budapest, 2015.
- [12] M. Horváth, Adott felületre érkező globálsugárzás számítása, rendszerszintű hasznosítása épületekben, (2016) 144.
- [13] C. Ratti, N. Baker, K. Steemers, Energy consumption and urban texture, Energy and Buildings. 37 (2005) 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>.
- [14] D. Ürge-Vorsatz, A. Novikova, S. Köppel, B. Boza-Kiss, Bottom-up assessment of potentials and costs of CO2 emission mitigation in the buildings sector: Insights into the missing elements, Energy Efficiency. 2 (2009) 293–316. <https://doi.org/10.1007/s12053-009-9051-0>.
- [15] L. Susan, A. Novikova, O. Marina, Sustainable Energy and Human Development in Europe and the CIS, 2014.
- [16] D. Ürge-Vorsatz, N. Eyre, P. Graham, D. Harvey, E. Hertwich, Y. Jiang, C. Kornevall, M. Majumdar, J.E. McMahon, S. Mirasgedis, S. Murakami, A. Novikova, K. Janda, O. Masera, M. McNeil, K. Petrichenko, S.T. Herrero, E. Jochem, Energy End-Use: Buildings, Global Energy Assessment (GEA). (2012) 649–760. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511793677.016>.
- [17] Oswaldo Lucon, D. Ürge-Vorsatz, E. Al., Climate Change 2014: Mitigation. Chapter 9: Buildings, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- [18] V. Bürger, Overview and Assessment of New and Innovative Integrated Policy Sets that Aim at the nZEB Standard, (2013) 78. <https://doi.org/10.13140/2.1.1339.2009>.

- [19] The European Parliament and European Council, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Communities. L1 (2002) 17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0091>.
- [20] Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast) - 19 May 2010 | Build Up, (n.d.).
- [21] DIRECTIVE (EU) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, Official Journal of the European Union. 156 (2018) 75–91. https://doi.org/10.1007/3-540-47891-4_10.
- [22] S. Roberts, Effects of climate change on the built environment, Energy Policy. 36 (2008) 4552–4557. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.012>.
- [23] P. Jones, J. Patterson, S. Lannon, Modelling the built environment at an urban scale - Energy and health impacts in relation to housing, Landscape and Urban Planning. 83 (2007) 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.015>.
- [24] Y. Shimoda, T. Fujii, T. Morikawa, M. Mizuno, Residential end-use energy simulation at city scale, Building and Environment. 39 (2004) 959–967. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.020>.
- [25] EUROSTAT, Final energy consumption by sector, EU-27, 2018 (% of total, based on tonnes of oil equivalent), (2018). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector,_EU-27,_2018_\(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption_by_sector,_EU-27,_2018_(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent).png).
- [26] Odyssee database, (n.d.). <https://odyssee.enerdata.net/database/>.
- [27] National census results – 2011, Budapest, 2011.
- [28] Satu Paiho, Energy-efficient renovation of residential districts Cases from the Russian market, Aalto University, 2014.
- [29] S. Paiho, I.P. Seppä, C. Jimenez, An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia, Sustainable Cities and Society. 15 (2015) 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.005>.
- [30] K. Steemers, Energy and the city: density, buildings and transport, Energy and Buildings. 35 (2003) 3–14.
- [31] Report of the InoFin Progress Meeting Prague, Meeting Prague, Energy Center Bratislava, Bratislava, Slovakia, 23 June 2006, 2015.
- [32] P.N. Á, Retrofit of housing estates and panel buildings – an overview, Poland, in Hungarian), Toronyhír. (2007).
- [33] E. Zavadskas, S. Raslanas, A. Kaklauskas, The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, Energy and Buildings. 40 (2008) 573–587. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.015>.
- [34] S. Raslanas, J. Alchimoviene, N. Banaitiene, Residential Areas with Apartment Houses: Analysis of the Condition of Buildings, Planning Issues, Retrofit Strategies and Scenarios, International Journal of Strategic Property Management. 15 (2011) 152–172. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2011.586531>.
- [35] T. Kalamees, K. Õiger, T. Kõiv, R. Liias, U. Kallavus, L. Mikli, A. Lehtla, G. Kodi, E. Arumägi, Technical Condition of Prefabricated Concrete Large Panel Apartment

- Buildings in Estonia, Proceedings of the 12DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components. (2011) 1–9.
- [36] D.D. Alexandru A. Botici, Viorel Ungureanu, Adrian Ciutina, Alexandru M. Botici, Sustainable Retrofitting of Large Panel Prefabricated Concrete Residential Buildings, in: Central Europe towards Sustainable Building 2013, 2013: p. 10.
- [37] A.D. Kerschberger, Pilot Retrofit of Buildings Built with Industrialized Technology, (in German), Beuth Verlag, Köln, 1998.
- [38] M. Cellura, F. Guarino, S. Longo, M. Mistretta, A. Orioli, The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: An Italian case study, *Renewable Energy*. 60 (2013) 586–597. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.019>.
- [39] I. Ballarini, V. Corrado, F. Madonna, S. Paduos, F. Ravasio, Energy refurbishment of the Italian residential building stock: energy and cost analysis through the application of the building typology, *Energy Policy*. 105 (2017) 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.026>.
- [40] M. Brøgger, K.B. Wittchen, Estimating the energy-saving potential in national building stocks – A methodology review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82 (2018) 1489–1496. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.239>.
- [41] T. Csoknyai, S. Hrabovszky-Horváth, Z. Georgiev, M. Jovanovic-Popovic, B. Stankovic, O. Villatoro, G. Szendrő, Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries, *Energy and Buildings*. 132 (2016) 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.062>.
- [42] G. Dall’O’, A. Galante, G. Pasetti, A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks, *Sustainable Cities and Society*. 4 (2012) 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.01.004>.
- [43] E.G. Dascalaki, K.G. Drousa, C.A. Balaras, S. Kontoyiannidis, Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 3400–3409. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.002>.
- [44] D. Dineen, F. Rogan, B.P. Ó Gallachóir, Improved modelling of thermal energy savings potential in the existing residential stock using a newly available data source, *Energy*. 90 (2015) 759–767. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.105>.
- [45] L. Filogamo, G. Peri, G. Rizzo, A. Giaccone, On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes, *Applied Energy*. 135 (2014) 825–835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.002>.
- [46] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach, TABULA building typologies in 20 European countries—Making energy-related features of residential building stocks comparable, *Energy and Buildings*. 132 (2016) 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.094>.
- [47] É. Mata, A. Sasic Kalagasidis, F. Johnsson, Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK, *Building and Environment*. 81 (2014) 270–282. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.013>.
- [48] Mata, G. Medina Benejam, A. Sasic Kalagasidis, F. Johnsson, Modelling opportunities and costs associated with energy conservation in the Spanish building stock, *Energy and Buildings*. 88 (2015) 347–360. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.010>.
- [49] L.G. Swan, V.I. Ugursal, Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13 (2009) 1819–1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>.

- [50] M. Brøgger, P. Bacher, K.B. Wittchen, A hybrid modelling method for improving estimates of the average energy-saving potential of a building stock, *Energy & Buildings*. 199 (2019) 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.054>.
- [51] M.D. Laban, R.J. Folić, Energy efficiency of industrially made buildings influenced by thermal properties of façades, *Thermal Science*. 18 (2014) 615–630. <https://doi.org/10.2298/TSCI120417147L>.
- [52] R. Folic, M. Laban, V. Milanko, Reliability and sustainability analysis of large panel residential buildings in Sofia, Skopje and Novi Sad, *Facta Universitatis - Series: Architecture and Civil Engineering*. 9 (2011) 161–176. <https://doi.org/10.2298/fuace1101161f>.
- [53] S. Hrabovszky-Horváth, The Assessment of the Refurbished Reinforced Concrete Buildings in Point of the Climate Change, in: *Advanced Materials Research*, 2014: pp. 440–445.
- [54] T. Csoknyai, Iparosított technológiával létesített lakóépületek energiatudatos felújítása, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, 2004.
- [55] K. Bettgenhäuser, M. Offermann, T. Boemans, M. Bosquet, J. Grözinger, B. von Manteuffel, N. Surmeli, Heat Pump Implementation Scenarios until 2030 - Main report, (2013) 91.
- [56] F. Guarino, G. Tumminia, S. Longo, M. Mistretta, R. Bilotta, M. Cellura, Energy planning methodology of net-zero energy solar neighborhoods in the Mediterranean basin, *Science and Technology for the Built Environment*. (2016) 11. <https://doi.org/http://doi.org/10.1080/23744731.2016.1195656>.
- [57] J.A. Fonseca, T.A. Nguyen, A. Schlueter, F. Marechal, City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts, *Energy and Buildings*. 113 (2016) 202–226. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.055>.
- [58] E. Zalamea, R. García, M. Trebilcock, Architectural integration of solar collectors on dwellings' roofs, in: *World SB14 Barcelona*, 2014: pp. 425–433.
- [59] M. Horváth, D. Kassai-Szoó, T. Csoknyai, Solar energy potential of roofs on urban level based on building typology, *Energy and Buildings*. 111 (2016) 278–289. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.031>.
- [60] P. Florio, O. Teissier, Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterised via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool, *Energy and Buildings*. 89 (2015) 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.024>.
- [61] A. Novikova, D. Ürge-Vorsatz, CO2 mitigation in the Hungarian domestic sector: Opportunities and associated costs, in: *KLÍMAVÁLTOZÁS, ENERGIATUDATOSSÁG, ENERGIAHATÉKONYSÁG (Climate Change, Energy Awareness, Energy Efficiency)*, Szeged, 2009.
- [62] K. Korytarova, D. Ürge-Vorsatz, Energy savings potential in the Hungarian public buildings for space heating, in: *IIECB'10: Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings*, Joint Research Centre of the European Commission, Frankfurt, 2010.
- [63] O. Fülöp, P. Nagy, A. Ámon, Z. Király, A. Perger, N. Tóth, *NegaJoule2020 - A magyar lakóépületekben rejlő energiamegtakarítási lehetőségek*, Budapest, 2011.
- [64] A. Talamon, T. Csoknyai, Monitoring Of A Performance-Oriented Policy Model For Retrofitting “Panel Buildings,” *Environmental Engineering and Management Journal*. 10 (2011) 1355–1363.

- [65] S. Hrabovszky-Horváth, Az energiatudatos panel-rehabilitáció klímastratégiai aspektusai, BME, 2015.
- [66] ÉMI, National Building Energy Strategy (Nemzeti Épületenergetikai Stratégia, in Hungarian), Budapest, 2015.
- [67] T. Csoknyai, Building typology for modeling the Hungarian Building Stock, Preliminary Study for the National Building Energy Strategy (Épülettípológia a hazai lakóépület-állomány energetikai modellezéséhez, Megalapozó tanulmány a Nemzeti Épületenergetikai Stratégiához, Budapest, 2013.
- [68] T. Csoknyai, S. Hrabovszky-Horváth, M. Seprődi-Egeresi, G. Szendrő, National Typology of Residential Buildings in Hungary, Budapest, 2014. http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/HU_TABULA_TypologyBrochure_BME.pdf.
- [69] T. Csoknyai, J. Farkas, L. Formanek, M. Horváth, Épülettípológia tanulmány, KEOP-7.9.0/12-2013-0019 projekt, Budapest, 2015.
- [70] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, A háztartások végső energiafelhasználása felhasználási célok szerint, (2020). https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0007.html.
- [71] I. Theodoridou, A.M. Papadopoulos, M. Hegger, Statistical analysis of the Greek residential building stock, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 2422–2428. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.034>.
- [72] I. Ballarini, V. Corrado, Application of energy rating methods to the existing building stock: Analysis of some residential buildings in Turin, *Energy and Buildings*. 41 (2009) 790–800. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.009>.
- [73] H. Tommerup, S. Svendsen, Energy savings in Danish residential building stock, *Energy and Buildings*. 38 (2006) 618–626. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.017>.
- [74] A. Novikova, T. Csoknyai, Z. Szalay, Low carbon scenarios for higher thermal comfort in the residential building sector of South Eastern Europe, *Energy Efficiency*. (2018). <https://doi.org/10.1007/s12053-017-9604-6>.
- [75] G. Simaku, R. Miraj, T. Csoknyai, M. Horváth, Z. Szalay, A. Novikova, The typology of the public building stock in Albania and the modelling of its low-carbon transformation, Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, Szentendre, 2016.
- [76] IEE project Tabula - Episcopo: Typology Approach for Building Stock Energy Assessment, (2015).
- [77] J. Kragh, K.B. Wittchen, Development of two Danish building typologies for residential buildings, *Energy and Buildings*. 68 (2014) 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.028>.
- [78] F. Nemry, A. Uihlein, C.M. Colodel, C. Wetzel, A. Braune, B. Wittstock, I. Hasan, J. Kreißig, N. Gallon, S. Niemeier, Y. Frech, Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs, *Energy and Buildings*. 42 (2010) 976–984. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.009>.
- [79] M.N. Milica Jovanović Popović, Dušan Ignjatović, Ana Radivojević, Aleksandar Rajčić, Ljiljana Đukanović, Nataša Čuković Ignjatović, National Typology of Residential Buildings in Serbia, Faculty of Architecture, University of Belgrade and GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, Belgrade, 2013.
- [80] M.N. Milica Jovanović Popović, Dušan Ignjatović, Ana Radivojević, Aleksandar Rajčić, Ljiljana Đukanović, Nataša Čuković Ignjatović, M. Jovanović-Popović, D. Ignjatović,

- A. Radivojević, A. Rajčić, L. Đukanović, N. Čuković-Ignjatović, M. Nedić, Atlas of Family Housing in Serbia, Faculty of Architecture, University of Belgrade and GIZ - Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, Belgrade, 2012.
- [81] P.J. Milica, I. Dušan, R. Ana, R. Aleksandar, Đ. Ljiljana, I.Ć. Nataša, N. Miloš, Atlas of Multifamily Housing in Serbia, (2013) 317.
- [82] A. Novikova, T. Csoknyai, M.J. Popović, B. Stanković, Z. Szalay, Assessment of decarbonisation scenarios for the residential buildings of Serbia, *Thermal Science*. 2018 (2018) 1231–1247. <https://doi.org/10.2298/TSCI171221229N>.
- [83] E. Project, L. Kranzl, A. Müller, A. Toleikyte, M. Hummel, Policy pathways for reducing energy demand and carbon emissions of the EU building stock until 2030, (2014).
- [84] K. Korytarova, I. Knapko, K. Šoltésová, Energy savings potential for space heating in public buildings in Slovakia, in: *ECEEE SUMMER STUDY PROCEEDINGS*, 2017: pp. 1393–1399.
- [85] S. Paduos, V. Corrado, Cost-optimal approach to transform the public buildings into nZEBs: An European cross-country comparison, *Energy Procedia*. 140 (2017) 314–324. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.145>.
- [86] S. Ferrari, M. Beccali, Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target, *Sustainable Cities and Society*. 32 (2017) 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.010>.
- [87] D. Mikulić, I.R. Bakarić, S. Slijepčević, The economic impact of energy saving retrofits of residential and public buildings in Croatia, *Energy Policy*. 96 (2016) 630–644. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.06.040>.
- [88] Y. Qu, Z. Zhang, H. Wang, F. Yang, Energy Consumption Analysis of Public Buildings Located in the Severe Cold Region, *Procedia Engineering*. 205 (2017) 2111–2117. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.133>.
- [89] C.E. Kontokosta, Modeling the energy retrofit decision in commercial office buildings, *Energy & Buildings*. 131 (2016) 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.062>.
- [90] T. Alves, L. Machado, R. Gonçalves, D. Souza, P. De Wilde, Assessing the energy saving potential of an existing high-rise office building stock, *Energy & Buildings*. 173 (2018) 547–561. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.044>.
- [91] G.V. Fracastoro, M. Serraino, A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 844–852. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.004>.
- [92] J.P. Gouveia, P. Fortes, J. Seixas, Projections of energy services demand for residential buildings: Insights from a bottom-up methodology, *Energy*. 47 (2012) 430–442. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.042>.
- [93] R. Ghedamsi, N. Settou, A. Gouareh, A. Khamouli, N. Saifi, B. Reoui, B. Dokkar, Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach, *Energy and Buildings*. 121 (2016) 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.030>.
- [94] I. Sartori, B.J. Wachenfeldt, A.G. Hestnes, Energy demand in the Norwegian building stock: Scenarios on potential reduction, *Energy Policy*. 37 (2009) 1614–1627. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.031>.
- [95] R. McKenna, E. Merkel, D. Fehrenbach, S. Mehne, W. Fichtner, Energy efficiency in the German residential sector: A bottom-up building-stock-model-based analysis in the context of energy-political targets, *Building and Environment*. 62 (2013) 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.01.002>.

- [96] R. Ghanadan, J.G. Koomey, Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California, *Energy Policy*. 33 (2005) 1117–1142. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.11.011>.
- [97] N. Huang, W. Wang, G. Cai, J. Qi, Y. Jiang, Economic analysis of household photovoltaic and reused-battery energy storage systems based on solar-load deep scenario generation under multi-tariff policies of China, *Journal of Energy Storage*. 33 (2021) 102081. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102081>.
- [98] M. Kavagic, A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic, M. Djurovic-Petrovic, A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, *Building and Environment*. 45 (2010) 1683–1697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>.
- [99] B. van Ruijven, B. de Vries, D.P. van Vuuren, J.P. van der Sluijs, A global model for residential energy use: Uncertainty in calibration to regional data, *Energy*. 35 (2010) 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.09.019>.
- [100] R.M. Moharil, P.S. Kulkarni, Reliability analysis of solar photovoltaic system using hourly mean solar radiation data, *Solar Energy*. 84 (2010) 691–702. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.01.022>.
- [101] Z. Pang, Z. O’Neill, Uncertainty quantification and sensitivity analysis of the domestic hot water usage in hotels, *Applied Energy*. 232 (2018) 424–442. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.221>.
- [102] X. Li, J. Chambers, S. Yilmaz, M.K. Patel, A Monte Carlo building stock model of space cooling demand in the Swiss service sector under climate change, *Energy and Buildings*. 233 (2021) 110662. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110662>.
- [103] J. Chambers, P. Hollmuller, O. Bouvard, A. Schueler, J.L. Scartezzini, E. Azar, M.K. Patel, Evaluating the electricity saving potential of electrochromic glazing for cooling and lighting at the scale of the Swiss non-residential national building stock using a Monte Carlo model, *Energy*. 185 (2019) 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.037>.
- [104] A.M. Johansen, Monte Carlo Method, *International Encyclopedia of Education* (Third Edition). (2010). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.01543-8>.
- [105] A. Novikova, Z. Szalay, G. Simaku, T. Thimjo, B. Salamon, T. Plaku, T. Csoknyai, J. Feiler, The typology of the residential building stock in Albania and the modelling of its low-carbon transformation, (2015) 134.
- [106] T. Kata, Az épületenergetikai hatékonyságot növelő beruházások eredményét korlátozó hatások, *BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM*, 2021.
- [107] G. Gróf, K. Tihanyi, Prebound és rebound hatás-Az energiahatékonysági fejlesztések eredményeinek korlátozódása, Budapest, 2021. http://mnbprogram.bme.hu/wp-content/uploads/2021/10/2_2_1_Tanulmany_Prebound_es_rebound_hatas.pdf.
- [108] G. Gróf, Az energiahatékonyság fejlesztés korlátozódása, *Energiagazdálkodás*. (2022) 14–19.
- [109] E. Delzendeh, S. Wu, A. Lee, Y. Zhou, The impact of occupants’ behaviours on building energy analysis: A research review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80 (2017) 1061–1071. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.264>.
- [110] Z. Yu, B.C.M. Fung, F. Haghghat, H. Yoshino, E. Morofsky, A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 1409–1417. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.02.002>.

- [111] X. Zhao, N. Li, C. Ma, Residential energy consumption in urban China: A decomposition analysis, *Energy Policy*. 41 (2012) 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.027>.
- [112] J. Ouyang, K. Hokao, Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China, *Energy and Buildings*. 41 (2009) 711–720. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2009.02.003>.
- [113] K.-U. Ahn, C.-S. Park, Correlation between occupants and energy consumption, *Energy and Buildings*. 116 (2016) 420–433. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.01.010>.
- [114] T. Csoknyai, J. Legardeur, A. Abi Akle, M. Horváth, Analysis of energy consumption profiles in residential buildings and impact assessment of a serious game on occupants' behavior, *Energy and Buildings*. 196 (2019) 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.009>.
- [115] B.F. Balvedi, E. Ghisi, R. Lamberts, A review of occupant behaviour in residential buildings, *Energy and Buildings*. 174 (2018) 495–505. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.06.049>.
- [116] C. Chang, N. Zhu, K. Yang, F. Yang, Data and analytics for heating energy consumption of residential buildings: The case of a severe cold climate region of China, *Energy and Buildings*. 172 (2018) 104–115. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.04.037>.
- [117] L. Wen, K. Zhou, S. Yang, L. Li, Compression of smart meter big data: A survey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 91 (2018) 59–69. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.088>.
- [118] A. Al-Wakeel, J. Wu, K-means Based Cluster Analysis of Residential Smart Meter Measurements, *Energy Procedia*. 88 (2016) 754–760. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.066>.
- [119] B. Yildiz, J.I.I. Bilbao, J. Dore, A.B.B. Sproul, Recent advances in the analysis of residential electricity consumption and applications of smart meter data, *Applied Energy*. 208 (2017) 402–427. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2017.10.014>.
- [120] K. Zhou, C. Yang, J. Shen, Discovering residential electricity consumption patterns through smart-meter data mining: A case study from China, *Utilities Policy*. 44 (2017) 73–84. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2017.01.004>.
- [121] J.N. Adams, Z. Deme Bélafi, M. Horváth, J.B. Kocsis, T. Csoknyai, How Smart Meter Data Analysis Can Support Understanding the Impact of Occupant Behavior on Building Energy Performance: A Comprehensive Review, *Energies (Basel)*. 14 (2021) 1–23. <https://doi.org/10.3390/en14092502>.
- [122] J.P. Gouveia, J. Seixas, A. Mestre, Daily electricity consumption profiles from smart meters - Proxies of behavior for space heating and cooling, *Energy*. 141 (2017) 108–122. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.09.049>.
- [123] J.P. Gouveia, J. Seixas, Unraveling electricity consumption profiles in households through clusters: Combining smart meters and door-to-door surveys, *Energy and Buildings*. 116 (2016) 666–676. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.01.043>.
- [124] X. Serrano-Guerrero, G. Escrivá-Escrivá, C. Roldán-Blay, Statistical methodology to assess changes in the electrical consumption profile of buildings, *Energy and Buildings*. 164 (2018) 99–108. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.12.059>.
- [125] S. D'Oca, C. Chen, T. Hong, Z. Belafi, Synthesizing building physics with social psychology: An interdisciplinary framework for context and behavior in office buildings, *Energy Research and Social Science*. 34 (2017) 240–251. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.08.002>.

- [126] M. Sunikka-Blank, R. Galvin, Introducing the prebound effect: The gap between performance and actual energy consumption, *Building Research and Information*. 40 (2012) 260–273. <https://doi.org/10.1080/09613218.2012.690952>.
- [127] N.H. Sandberg, I. Sartori, M.I. Vestrum, H. Brattebø, Using a segmented dynamic dwelling stock model for scenario analysis of future energy demand: The dwelling stock of Norway 2016–2050, *Energy and Buildings*. 146 (2017) 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.016>.
- [128] G. Gróf, B. Janky, A. Bethlendi, Limits of household’s energy efficiency improvements and its consequence – A case study for Hungary, *Energy Policy*. 168 (2022) 113078. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113078>.
- [129] Tekla Sebestyén Szép, Energiafelhasználás és energiahatékonyság., *Energiagazdálkodás*. 54 (2013) 1–5.
- [130] Tekla Sebestyén Szép, *Energiahatékonyság: áldás vagy átok?*, *Terület Statisztika*. (2015) 54–68.
- [131] T. Loga, N. Diefenbach, R. Born, *Deutsche Gebaudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, Darmstadt, 2011.
- [132] S. Sorrell, *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, London, 2007.
- [133] S. Sorrell, J. Dimitropoulos, M. Sommerville, Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy*. 37 (2009) 1356–1371. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.026>.
- [134] B. Alcott, Jevons’ paradox, *Ecological Economics*. 54 (2005) 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020>.
- [135] J. Freire-González, Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries, *Energy Policy*. 102 (2017) 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.002>.
- [136] H. Adan, F. Fuerst, Do energy efficiency measures really reduce household energy consumption? A difference-in-difference analysis, *Energy Efficiency*. 9 (2016) 1207–1219. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9418-3>.
- [137] H. Benli, Potential application of solar water heaters for hot water production in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54 (2016) 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.061>.
- [138] T. Baležentis, M. Butkus, D. Štreimikienė, Z. Shen, Exploring the limits for increasing energy efficiency in the residential sector of the European Union: Insights from the rebound effect, *Energy Policy*. 149 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112063>.
- [139] *Háztartási költségvetési és életkörülmény adatfelvétel (HKÉF)*, (n.d.). <https://www.ksh.hu/eletmod>.
- [140] *Központi Statisztikai Hivatal adatszolgáltatása: Lakásállomány*, (n.d.). <https://www.ksh.hu/lakas>.
- [141] *Központi Statisztikai Hivatal, Háztartási Költségvetési és Életmód Felvétel (HKÉF)*, (2010).
- [142] Z. Szentkirályi, M. Détshy, *Az építészet rövid története*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2004.
- [143] P. Birghoffer, L. Hikisch, eds., *A panelos lakóépületek felújítása*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994.
- [144] MSZ-04-140/2, n.d.

- [145] The European Parliament and European Council, DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union. 153 (2010) 23. https://doi.org/10.3000/17252555.L_2010.153.eng.
- [146] Hungarian census report 2011; Hungarian Central Statistical Office (in Hungarian), (2011).
- [147] 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről, n.d.
- [148] A.M.S.Z. En, M.S.Z. En, MAGYAR SZABVÁNY MSZ EN 15459-1 Épületek energetikai rendszereinek gazdaságossági értékelési eljárása, 2017.
- [149] MEHI, 900 ezer háztartás tervezi lakását energiahatékonyrá tenni a közeljövőben, 2016. (n.d.).
- [150] 176/2008. (VI. 30.) Korm. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról, 2008. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800176.kor>.
- [151] COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) .../... of 4.6.2021 supplementing Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council by establishing the technical screening criteria for determining the conditions under which an economic activity is, 2021.
- [152] Épületek energetikai teljesítőképessége. Fűtési és hűtési energiaigények, belső hőmérséklet, valamint az érzékelhető és rejtett hőterhelés 1. rész: Számítási eljárások, 2017.
- [153] K. Severnyák, O. Fülöp, P. Nagy, Cost Optimal Levels of Minimum Energy Performance Requirements of Buildings and Building Elements, Budapest, 2013.
- [154] Z. Szalay, Modelling building stock geometry for energy, emission and mass calculations, Building Research & Information. 36 (2008) 557–567. <https://doi.org/10.1080/09613210802396429>.
- [155] T. Csoknyai, Z. Szalay, A. Zöld, M. Horváth, B. Nagy, N. Balázs, E. Barna, A.-T. Balázs, R. Goda, Z. Szánthó, Az épületek energetikai jellemzői meghatározásának módszertana, (2020).
- [156] B. Kiss, Z. Szalay, Modular approach to multi-objective environmental optimization of buildings, Automation in Construction. 111 (2020) 103044. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103044>.
- [157] European Commission COMMUNICATION from the COMMISSION: A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050, 2011.
- [158] B. Kiss, E. Kácsor, Z. Szalay, Environmental assessment of future electricity mix – Linking an hourly economic model with LCA, Journal of Cleaner Production. 264 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121536>.
- [159] MSZ EN ISO 52000-1:2017 Épületek energetikai teljesítőképessége. Átfogó kiértékelés. 1. rész: Általános keretrendszer és eljárások (ISO 52000-1:2017), 2017.
- [160] M. Horváth, J.N. Adams, Z. Deme Béla, L. Czétány, Z. Szalay, S. Várnagy, A. Reith, T. Csoknyai, Large scale smart meter data assessment for energy benchmarking and occupant behaviour profile development, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012121>.
- [161] M. Horváth, H. Kovács, V. Vámos, Z.D. Béla, T. Csoknyai, Theory and Reality : a Comparative Analysis of Standardized and Real Building Energy Usage and Impact of Input Simplifications, Proceedings of BSO-V 2020 5th Building Simulation and Optimization Virtual Conference. (2020).

- [162] L. Czétány, V. Vámos, M. Horváth, Z. Szalay, A. Mota-Babiloni, Z. Deme-Bélafi, T. Csoknyai, Development of electricity consumption profiles of residential buildings based on smart meter data clustering, *Energy and Buildings*. 252 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111376>.
- [163] OMSZ napi adatok, (n.d.).
- [164] Századvég Gazdaságkutató ZRt., Az ÉMI épület-típológia szociológiai elemzése, 2013.
- [165] S. Zsuzsa, K. Benedek, Dinamikus paraméterek az energiaigény számításában, *Magyar Épületgépészet*. LXVI. évf. (2017) 20–27.
- [166] Dr. Szajkó Gabriella at al, Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon, 2009.
- [167] P. Bódis, L. Gálhidy, Á. Harmat, G. Szajkó, K. Varga, Country Analysis – Hungary Final version for stakeholder consultation, 2021.
- [168] T. Csoknyai, A magyarországi lakóépület állomány energetikai elemzése épülettípológián alapuló modellezéssel, *Magyar Épületgépészet*. LXXI (2022) 3–10.
- [169] M. Horváth, T. Csoknyai, Correlation analysis of tilted and horizontal photovoltaic panel's electricity generation and horizontal global radiation, *Idojaras*. 120 (2016) 255–264.
- [170] M. Horváth, T. Csoknyai, Simplified calculation method of annual incoming solar energy on tilted and oriented surfaces for the Carpathian basin, *Thermal Science*. 2018 (2018) 977–988. <https://doi.org/10.2298/TSCI170525120H>.
- [171] M. Horváth, T. Csoknyai, Maximal and Optimal DHW Production with Solar Collectors for Single Family Houses, in: 7th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency Conference, Subotica, 2015: pp. 59–64.
- [172] I. Csoknyai, T. Csoknyai, A HVMV hő- és vízfogyasztás vizsgálata panelépületeknél, *Magyar Épületgépészet*. 63 (2014) 19–21.
- [173] M. Horváth, S. Hrabovszky-Horváth, T. Csoknyai, Parametric analysis of solar hot water production in “commi-block” buildings, in: 5th International Youth Conference on Energy (IYCE) 2015, IEEE, Pisa, 2015: pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IYCE.2015.7180769>.
- [174] 2021/0426 (COD) Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast), 2021.
- [175] J.A. Duffie, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4. kiadás, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2013.
- [176] Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), (2018).
- [177] Zöld Beruházási Rendszer, (2016).
- [178] Környezet és Energia Operatív Program (KEOP), n.d.
- [179] Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, (2008).
- [180] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- [181] Központi Statisztikai Hivatal, 2011. ÉVI NÉPSZÁMLÁLÁS 6. A lakások és lakóik, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 2013.

14. MELLEKLETEK

1. Melléklet: Az épületfelmérés során gyűjtött kiegészítő adatok

Az alábbi táblázatok az épületfelmérések során összegyűjtött kiegészítő (számításon kívüli) adatokat, azok formátumát, megfelelőségi tartományát mutatják. A listán jelentősen egyszerűsítettem az áttekinthetőség kedvéért, például a határoló szerkezeteknél csak a külső falakra vonatkozó kérdéseket tüntettük fel. Hasonlóan jártam el az épületgépészeti rendszereknél is.

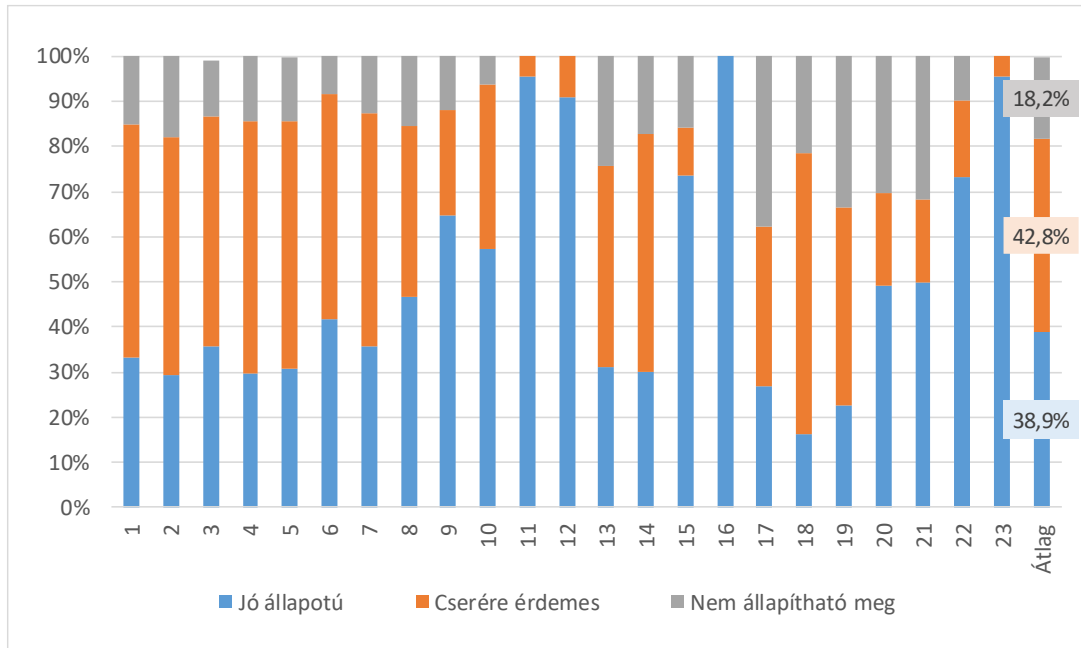
14.1. táblázat: Az épületfelmérés során gyűjtött kiegészítő adatok (kivonat)

Épület műszaki alapadatai			
Épület tipológiai besorolása	lista		
Építés éve (becsült)	természetes szám	> 1500	
Szintek száma	természetes szám	>0	
Fűtött szintek száma	természetes szám	szintek számánál	nem lehet
Lakások száma	természetes szám	>0	
Lakók száma (becslés)	természetes szám		
Tulajdonos	lista		
Egyéb funkciójú terek (pl. üzletek) térfogataránya (teljes légtérfogat)	természetes szám		%
Épület állapota	lista		
Talajnedvesség okozta problémák	lista		
Műemléki védettség	lista		
Rendelkezésre áll-e az épület tervdokumentációja?	lista		
Elhelyezkedés	lista		
Szomszéd fűtött épülettel határos falfelület	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Fedett földterület	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Szintterület (fűtetlen terekkel, közlekedőkkel, pincével padlástérrel)	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Összes fűtött szintterület (fűtött közös terekkel)	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Összes fűtött lakott szintterület (többlakásos ház esetén a lakások összterülete, cs...	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Hőszigetelt ház esetén: hőszigetelt burkon belüli összes szintterület	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Épület befoglaló méretei - A irány	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m
Épület befoglaló méretei - B irány	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m
Épület alaprajzi tagoltsága	lista		
Épület függőleges tagoltsága	lista		
Határoló szerkezet adatok			
Külső falak			
a típusba tartozó szerkezetek összegzett felülete		m ²	
felülettel súlyozott átlagos rétegtervi hőátbocsátási tényező		W/m ² K	
felülettel súlyozott átlagos eredő hőátbocsátási tényező (hőhidakkal, de hőmérsékleti korrekció nélkül)		W/m ² K	
Átlagos szerkezeti vastagság		cm	
külső falak utólagos hőszigetelése	lista		
felújítás éve	természetes szám	nem lehet korábbi, mint az e	
felújítás előtti szigetelés vastagsága	természetes szám		cm
felújítás utáni és előtti szigetelés vastagság különbsége	természetes szám		cm
szigetelés vastagsága	természetes szám		cm
külső falfelület hány %-a lett szigetelve	természetes szám	0-100	%
további szerkezetek azonos struktúrában... (követelmény szerinti bontásban)			
nyílászárók kategóriánként			
ablakcsere			
ablakcsere	lista		
felújítás éve	természetes szám	nem lehet korábbi, mint az e	
cserélt ablakok átlagos U-értéke	szám, 2 tizedes jegyig	0,2-6,0	W/m ² K
összes ablakfelület hány %-a	természetes szám	0-100	%
Árnyékolók (több lakás esetén a leginkább jellemző)			
jelen állapot	lista		
lehetséges felújítás	lista		

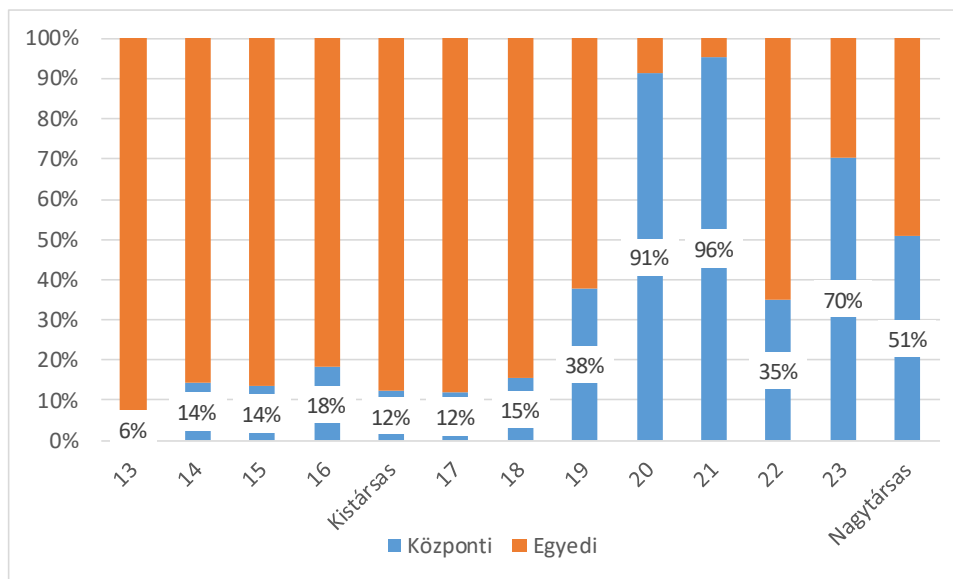
14.2. táblázat

Főbb gépészeti berendezések adatai			
Központi hőtermelő adatai			igény esetén több hőtermel
jelleg	lista		
db	természetes szám		db
telepítés éve (becslés)	természetes szám	> 1500	
névleges teljesítménye	természetes szám		kW
gyártmány	szöveg		
állapot	lista		
Napkollektor van telepítve?	lista		
típus	lista	ha van napkollektor	
összfelület (abszorberfelület)	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Napelemes rendszer van telepítve?	lista		
hálózatra csatlakoztatva?	lista		
Névleges teljesítmény	szám, 1 tizedes jegyig	>=1	kWp
összfelület	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Egyedi hőtermelők adatai			igény esetén több hőtermel
jelleg	lista		
db	természetes szám		db
telepítés éve (becslés)	természetes szám	> 1500	
állapot	lista		
fűtési puffertároló	lista		
állapot	lista		
fűtött térben van?	lista		
térfogat	természetes szám		liter
hőszigetelés vastagsága	természetes szám		cm
Épületgépészeti rendszerek, fűtési rendszer példáján bemutatva			
Utolsó jelentős korszerűsítés (vagy kiépítés) éve	természetes szám	> 1500	
A leghosszabb alapvezeték becsült hossza	természetes szám		m
Alapvezetékek inkább a fűtött térben haladnak?	lista		
Fel szállók száma (becslés)	természetes szám		
A hőközpontbeli alapvezetékek hőszigetelése	lista		
vastagság	szám, 1 tizedes jegyig	>0	cm
A hőközponton kívüli alapvezetékek hőszigetelése	lista		
vastagság	szám, 1 tizedes jegyig	>0	cm
Egyebek			
A hőszigetelés minősége	lista		
A fűtés mérése és elszámolása	lista		
Füstgázvezető rendszer helye	lista		
Füstgázvezető rendszer anyaga	lista		
Füstgázvezető rendszer hőszigetelése	lista		
Füstgázvezető rendszer jellege - hány egységet szolgál ki?	lista		
Füstgázvezetés módja	lista		
Hűtés			
központi / egyedi	lista		
hűtéssel rendelkező lakások aránya	természetes szám	0-100	%
gépi hűtés kültéri egysége telepíthető	lista		
Egyéb megújuló alkalmazhatósága			
Talajkollektor elhelyezhető?	lista		
Talajszondák elhelyezhető?	lista		
Tűzifa / pellet tároló elhelyezhető, szállítás megoldható?	lista		
Termásvíz alapú távhő vagy hulladékhő van a közelben?	lista		
Távhőre kapcsolódás könnyen megoldható lenne?	lista		
Napenergia hasznosítás szempontból használható tetőfelület becslése			
Dőlésszög	lista		
Teljes tetőfelület	szám, 1 tizedes jegyig	>=0	m ²
Magastető forma	lista	ha lista09=zömében lapos,	
Magastető esetén ebből használható (benapozott és szerelhető; műemléki korláto	természetes szám	ha lista09=zömé %	
Lapostető esetén ebből használható (liftgépházak, felépítmények nélküli, jellemző	természetes szám	ha lista09=medit %	

2. Melléklet: Az épületfelmérés további eredményei



14.1. ábra: HMV hőtermelő állapota



14.2. ábra: Központi és egyedi HMV rendszerek aránya társasházakban

14.3. táblázat: Fűtési hőtermelők megoszlása típus szerint (családi házak)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"Csak egy hőtermelő" eset részaránya	94,2%	91,9%	93,6%	89,5%	90,2%	88,5%	89,4%	89,2%	94,1%	95,4%	98,2%	93,9%
"Két hőtermelő" eset részaránya	5,6%	N/A	N/A	10,0%	N/A	N/A	10,3%	10,3%	5,2%	4,0%	0,0%	6,1%
Leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű
Második leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	51,8%	70,7%	69,7%	68,6%	72,9%	62,9%	73,3%	68,3%	87,1%	94,1%	78,6%	87,5%
Leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd
Második leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	48,2%	28,4%	26,2%	28,6%	26,0%	30,6%	26,7%	30,0%	12,9%	5,9%	14,3%	8,3%
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Gázkonvektor	Gázkonvektor	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Kondenzációs gázkazán	Kondenzációs gázkazán
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	30,1%	28,8%	26,2%	24,8%	22,3%	21,0%	25,9%	28,3%	28,0%	39,7%	32,1%	58,3%
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Kályha	Gázkonvektor	Gázkonvektor	Gázkonvektor	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Fatüzelésű kazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	24,1%	18,8%	12,3%	13,3%	19,0%	12,9%	20,7%	15,0%	28,0%	22,1%	21,4%	16,7%
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Szilárd	Gáznemű	Szilárd	Gáznemű	Szilárd	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	55,6%	57,6%	63,6%	50,0%	61,7%	40,0%	66,7%	60,0%	54,5%	57,1%	100,0%	50,0%
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Szilárd	Gáznemű	Szilárd	Gáznemű	Szilárd	Elektromos	Elektromos
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	33,3%	35,6%	30,3%	34,2%	33,0%	40,0%	31,0%	36,0%	36,4%	42,9%	0,0%	25,0%
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Cserépkályha	Cserépkályha	Cserépkályha	Cserépkályha	Szilárd tüzelésű kazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Fatüzelésű kazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Fatüzelésű kazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Kondenzációs gázkazán	Kondenzációs gázkazán
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	22,2%	18,6%	30,3%	18,4%	29,8%	20,0%	23,8%	36,0%	22,7%	28,6%	66,7%	37,5%
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Kályha	Gázkonvektor	Kályha	Kályha	Fatüzelésű kazán	Cserépkályha	Szilárd tüzelésű kazán	Szilárd tüzelésű kazán	Kandalló	Kandalló	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Kandalló
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	22,2%	18,6%	18,2%	10,5%	11,7%	12,0%	14,3%	16,0%	18,2%	14,3%	33,3%	12,5%

14.4. táblázat: Fűtési hőtermelők megoszlása típus szerint (társasházak)

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
"Csak egy hőtermelő" eset részaránya	88,5%	92,2%	95,0%	95,8%	96,6%	97,2%	97,3%	99,4%	98,9%	100,0%	98,6%
"Két hőtermelő" eset részaránya	N/A	5,5%	4,2%	4,2%	3,4%	2,5%	N/A	0,5%	1,0%	0,0%	1,1%
Leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Távhő	Távhő	Gáznemű	Gáznemű
Második leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Szilárd	Távhő	Elektromos	Távhő	Távhő	Távhő	Távhő	Gáznemű	Gáznemű	Távhő	Távhő
Leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Gázkonvektor	Gázkonvektor	Távfűtés	Távfűtés	Távfűtés	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán
Második leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Gázkonvektor	Gázkonvektor	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Kondenzációs gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Távfűtés	Gázkonvektor	Kondenzációs gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Elektromos	Gáznemű	Gáznemű	Gáznemű	Távhő	Távhő	Gáznemű	Gáznemű
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Szilárd	Elektromos	Megújuló	Elektromos	Szilárd	Elektromos	Elektromos	Gáznemű	Gáznemű	Távhő	Elektromos
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Hőszivattyú	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Távfűtés	Távfűtés	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Gázkonvektor	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Hőszivattyú	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Gázkonvektor	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Kondenzációs gázkazán
részaránya	17,6%	19,4%	33,3%	0,0%	25,6%	17,5%	27,8%	16,7%	25,0%	25,0%	20,0%

14.5. táblázat: HMV hőtermelők megoszlása típus szerint (családi házak)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"Csak egy hőtermelő" eset részaránya	98,5%	99,3%	97,4%	98,7%	98,2%	95,0%	99,7%	95,3%	98,5%	95,4%	95,3%	93,8%
"Két hőtermelő" eset részaránya	1,2%	0,7%	2,4%	1,2%	1,5%	4,8%	0,3%	4,5%	1,4%	3,2%	3,8%	5,7%
Leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Elektromos 62,1%	Elektromos 66,0%	Elektromos 50,9%	Elektromos 53,1%	Elektromos 55,4%	Gáznemű 51,7%	Elektromos 63,4%	Gáznemű 69,0%	Gáznemű 81,2%	Gáznemű 82,5%	Gáznemű 65,2%	Gáznemű 86,4%
Második leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Gáznemű 25,8%	Gáznemű 27,1%	Gáznemű 44,6%	Gáznemű 45,9%	Gáznemű 41,5%	Elektromos 48,3%	Gáznemű 36,6%	Elektromos 31,0%	Elektromos 18,8%	Elektromos 15,9%	Elektromos 21,7%	Megújuló 9,1%
Leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Elektromos fűtőpatron 34,8%	Elektromos fűtőpatron 38,8%	Elektromos fűtőpatron 33,0%	Elektromos fűtőpatron 31,6%	Elektromos fűtőpatron 36,4%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 28,3%	Elektromos fűtőpatron 34,8%	Gázüzemű bojler 32,8%	Átfolyós kombikazán 32,9%	Gázüzemű bojler 17,5%	Átfolyós kombikazán 26,1%	Olaj- és gázkazánok; kondenzációs 27,3%
Második leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 24,1%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 18,8%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 12,3%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 13,3%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 19,0%	Elektromos fűtőpatron 12,9%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 20,7%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 15,0%	Gázüzemű bojler 28,0%	Átfolyós kombikazán 22,1%	Elektromos fűtőpatron 21,4%	Átfolyós kombikazán, kondenzációs 16,7%
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Gáznemű 50,0%	Elektromos 71,4%	Elektromos 46,2%	Elektromos 66,7%	Elektromos 60,0%	Elektromos 53,8%	Szilárd 100,0%	Gáznemű 50,0%	Megújuló 100,0%	Gáznemű 42,9%	Gáznemű 75,0%	Gáznemű 50,0%
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Szilárd 50,0%	Megújuló 28,6%	Gáznemű 38,5%	Megújuló 33,3%	Gáznemű 26,7%	Gáznemű 46,2%	Elektromos 0,0%	Elektromos 40,0%	Elektromos 0,0%	Elektromos 28,6%	Elektromos 25,0%	Elektromos 25,0%
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Átfolyós gáz-vízmelegítő 50,0%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 42,9%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 23,1%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 50,0%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 40,0%	Elektromos fűtőpatron 30,8%	Szilárdtüzelésű fűrdőhenger 100,0%	Gázüzemű bojler 30,0%	Falhasználó által egyedileg megadva 100,0%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 28,6%	Kondenzációs gázkazán 50,0%	Kondenzációs gázkazán 50,0%
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Falhasználó által egyedileg megadva 50,0%	Falhasználó által egyedileg megadva 28,6%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 23,1%	Falhasználó által egyedileg megadva 33,3%	Elektromos fűtőpatron 20,0%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 23,1%	Szilárdtüzelésű fűrdőhenger 0,0%	Elektromos; átfolyós vízmelegítő, tároló 20,0%	Szilárdtüzelésű fűrdőhenger 0,0%	Elektromos fűtőpatron 28,6%	Hőszivattyú 25,0%	Hőszivattyú 25,0%

14.6. táblázat: HMV hőtermelők megoszlása típus szerint (társasházak)

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
"Csak egy hőtermelő" eset részaránya	94,2%	92,8%	95,3%	100,0%	96,7%	95,3%	98,1%	98,2%	98,8%	99,4%	99,1%
"Két hőtermelő" eset részaránya	2,9%	5,8%	3,3%	0,0%	2,4%	2,2%	1,7%	1,0%	1,0%	0,6%	0,7%
Leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Gáznemű 65,5%	Gáznemű 65,7%	Gáznemű 84,2%	Gáznemű 90,0%	Gáznemű 50,5%	Gáznemű 71,3%	Gáznemű 59,5%	Távhő 88,1%	Távhő 78,9%	Gáznemű 80,5%	Gáznemű 86,4%
Második leggyakoribb elsődleges energiahordozó részaránya	Elektromos 34,5%	Elektromos 34,3%	Elektromos 10,5%	Távhő 10,0%	Elektromos 46,2%	Elektromos 22,1%	Távhő 28,6%	Gáznemű 9,9%	Gáznemű 19,7%	Elektromos 9,8%	Távhő 9,1%
Leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Elektromos fűtőpatron 24,1%	Átfolyós kombikazán 21,4%	Átfolyós kombikazán 36,8%	Alacsony hőmérsékletű gázkazán 30,0%	Elektromos fűtőpatron 36,6%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 42,6%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 35,7%	Távfűtés 92,1%	Távfűtés 82,9%	Átfolyós kombikazán 41,5%	Átfolyós kombikazán 27,3%
Második leggyakoribb elsődleges hőtermelő részaránya	Átfolyós kombikazán 14,7%	Elektromos fűtőpatron 15,8%	Állandó hőmérsékletű gázkazán 27,3%	Átfolyós kombikazán 18,2%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 24,0%	Gázüzemű bojler 22,3%	Távfűtés 26,7%	Olaj- és gázkazánok;kondenzációs 2,5%	Olaj- és gázkazánok;kondenzációs 4,5%	Alacsony hőmérsékletű gázkazán 30,2%	Olaj- és gázkazánok;kondenzációs 18,5%
Leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Gáznemű 69,2%	Gáznemű 73,1%	Gáznemű 100,0%	N/A N/A	Gáznemű 63,9%	Gáznemű 82,1%	Gáznemű 92,3%	Távhő 62,5%	Távhő 50,0%	Gáznemű 87,5%	Gáznemű 100,0%
Második leggyakoribb másodlagos energiahordozó részaránya	Elektromos 30,8%	Elektromos 26,9%	Elektromos 0,0%	N/A N/A	Elektromos 36,1%	Elektromos 17,9%	Elektromos 7,7%	Megújuló 25,0%	Gáznemű 25,0%	Távhő 12,5%	Elektromos 0,0%
Leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Átfolyós kombikazán 38,5%	Átfolyós kombikazán 30,8%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 25,0%	N/A N/A	Elektromos;átfolyós vízmelegítő, tároló 25,0%	Átfolyós kombikazán 38,5%	Kondenzációs gázkazán 30,8%	Távfűtés 62,5%	Távfűtés 75,0%	Átfolyós kombikazán 50,0%	Átfolyós kombikazán 60,0%
Második leggyakoribb másodlagos hőtermelő részaránya	Elektromos;átfolyós vízmelegítő, tároló 23,1%	Elektromos fűtőpatron 19,2%	Gázüzemű bojler 25,0%	N/A N/A	Alacsony hőmérsékletű gázkazán 19,4%	Állandó hőmérsékletű gázkazán 15,4%	Gázüzemű bojler 15,4%	Falhasználó által egyedileg megadva 25,0%	Állandó hőmérsékletű gázkazán 25,0%	Átfolyós gáz-vízmelegítő 12,5%	Kondenzációs gázkazán 20,0%

14.7. táblázat: A napenergia hasznosítás számításához felhasznált épületfelmérésből származó adatok épülettípusonként [12]

	Lakás	Lakó	Szintek száma	Belmag.	Épület befoglaló méret		Szintterület		Maximális hasznosítható tetőfelület
					x	y	Összes	Fűtött	
	[db]	[fő]	[db]		[m]	[m]	[m]	[m ²]	
1.	1	2,97	1	2,65	13,7	7,3	101,7	69,9	18
2.	1	2,97	1	2,65	14,4	8,3	120,7	78,2	13
3.	1	2,43	1	2,8	15,4	9,1	187,1	107,6	14
4.	1	2,55	1	2,8	13,3	9,1	146,9	99,2	12
5.	1	2,35	1	2,8	12	9	125,8	84,5	13
6.	1	2,75	2	2,8	16,1	9,7	224,1	150,1	16
7.	1	3,25	1	2,8	12,1	8,6	145,9	96,4	17
8.	1	3,25	2	2,8	13,3	9,6	238,9	180,5	15
9.	1	3,65	1	2,8	13	9,3	146,8	99,2	13
10.	1	3,65	2	2,8	15,5	10,8	232,6	200,1	16
11.	1	3,91	1	2,7	15,4	9,6	161,1	108,2	12
12.	1	3,91	2	2,7	18,5	11,9	269,4	233,8	18
13.	6	2,39	3	3,1	21,6	13,6	681,2	524,1	16
14.	6	2,39	3	2,8	22,5	11,4	631,7	466,4	27
15.	6	3,02	3	2,8	23,8	14,9	611,2	459,9	18
16.	6	3,02	3	2,7	21,8	15,3	634,5	523,1	12
17.	33	1,95	5	3,1	33,6	21,3	3264,4	2373,8	18
18.	31	2,10	4	2,8	45	14,7	2252,7	1717,6	58
19.	36	2,31	5	2,65	40,8	13,5	2357,4	1974,2	58
20.	76	2,23	8	2,65	46	16,4	6029,3	5513,5	67
21.	52	2,35	6	2,65	43,3	15,4	3467,7	3058,6	59
22.	27	2,64	4	2,8	35,5	19,3	2055	1971,4	21
23.	49	2,64	5	2,7	41,2	24,7	3333,2	2963,1	27

3. Melléklet: Energiahatékonysági skála alternatív javaslata

Az alábbi táblázatban látható alternatív skála kidolgozása során a következő sarokpontokat vettem figyelembe:

- Az EU Taxonómia rendelet [151] kiemelten kezeli az épületállomány energiahatékonysági szempontból legjobb 15%-át. Ez alapján határoztam meg a C kategória határértékét.
- A 2021-ben megjelent épületek energiahatékonyságáról szóló EU irányelv tervezet [174] a tagállamok számára azt javasolja, hogy az energiahatékonysági skála G-től A kategóriáig terjedjen, ahol a G az energiahatékonysági szempontból legrosszabb 15%-ot foglalja magában, az A pedig a nettó nulla karbonkibocsátású épület. A táblázatban javasolt skála annyiban tér el ettől, hogy az A kategóriát nem a karbonkibocsátáshoz, hanem az energiamérleghez köti, ezért itt további megfontolások szükségesek, ami nem tárgya jelen disszertációnak, tekintettel arra, hogy meglévő épületek esetén ennek a kategóriának elhanyagolható a relevanciája.

14.8. táblázat: Energiahatékonysági skála alternatív javaslata

Kategória	Kategóriához tartozó szöveges jellemzés	Határértéknél jobban teljesítő épületek célzott aránya	Célzott arányhoz tartozó E _P kategória határérték	Javasolt E _P kategória határérték	Javasolt határértéknél jobban teljesítő épületek aránya
A	Nettó nulla energiafelhasználású épület vagy rendeltetési egység	-	-	0	0,0%
B	Közel nulla energiafelhasználású épület vagy rendeltetési egység	-	-	75	1,0%
C	Lakóépület-állomány legjobb 15%-ába tartozik	15%	153,2	150	14,1%
D	Lakóépület-állomány legjobb 35%-ába tartozik	35%	218,3	220	35,3%
E	Lakóépület-állomány legjobb 60%-ába tartozik	60%	331,1	330	59,8%
F	Lakóépület-állomány legjobb 85%-ába tartozik	85%	476,2	480	85,3%
G	Lakóépület-állomány 85%-nál rosszabbul teljesítő épület vagy rendeltetési egység	100%	-	-	100%

4. Melléklet: Napkollektorok energiahozamának számítási módszere [12]

Jelen pontban ismertetett módszer a [12] vonatkozó fejezeteinek kivonatos változata. A hivatkozott PhD disszertáció Horváth Miklós munkája, témavezető a Szerző volt.

A napkollektoros rendszer energiatermelésének számításához szükséges volt a feltételezett rendszer néhány paraméterének rögzítése, amelyek a modellben alkalmazott napkollektor típusától is függenek. A típus kiválasztásához összevetettünk számos piacon elterjedt kollektortípust, mely munka részleteit a [12] ismerteti.

A számítások során egy átlagosnál jobb minőségű kollektor adataival számoltunk, melynek paramétereit, illetve az egyes felvett rendszerparamétereket a 14.9. táblázat mutatja.

14.9. táblázat: A modellben alkalmazott napkollektoros rendszer főbb paraméterei [12]

Paraméter	Érték
η_0	0,8177
k_1	3,65
k_2	0,009
$K_{dir}(50^\circ)$	0,95
FR	0,95
FR'/FR	0,8
t_{ref}	100 °C

A megadott paraméterek és bemenő adatok alapján az épülettípusonkénti napkollektor hozam számítást a (1) – (7) egyenletek segítségével végeztük el [175]:

$$\frac{X_{c1}}{X} = \frac{11,6 + 1,18 \cdot t_{HVM} + 3,86 \cdot t_{v\acute{I}z} - 2,32 \cdot t_{e,i}}{t_{ref} - t_{e,i}} \quad (1)$$

(2)

$$X = \left(FR \cdot k_1 + FR \cdot k_2 \cdot (t_{HVM} - t_{e,i}) \right) \cdot \frac{FR'}{FR} \cdot (t_{ref} - t_{e,i}) \cdot \tau_m \cdot \frac{A_{koll}}{Q_{ig\acute{e}ny,i}} \cdot \frac{1}{1000} \quad (3)$$

$$X_c = X \cdot \frac{X_{c1}}{X} \cdot \frac{X_{c2}}{X} \quad (4)$$

$$Y = \eta_0 \cdot Q_{s,i} \cdot \frac{FR'}{FR} \cdot K_{dir}(50^\circ) \cdot \frac{A_{koll}}{Q_{ig\acute{e}ny,i}} \quad (5)$$

$$f_i = \min(1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X_c - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X_c^2 + 0,0215 \cdot Y^3; 1) \quad (6)$$

$$Q_{koll,i} = f_i \cdot Q_{HVM,i} \quad (7)$$

A napkollektor termelés számításához meghatároztuk a típusonként HVM igényeket is, mert napkollektorok hatásfokát jelentősen befolyásolja a lefedési arány. Ennek részleteit a [12] ismerteti.

Az egyes épülettípusokon elhelyezhető kollektorok, illetve napelemek darabszámát a 14.10. táblázat foglalja össze, amit a rendelkezésre álló kihasználható tetőfelületet és a kollektor bruttó

méreteit figyelembe véve határoztunk meg. Az energiagyűjtő szerkezetek tájolását a számítások során egységesnek tekintettük a különböző épülettípusoknál. Magastetős épületeken a hasznosítható tetőfelületet átlagosan DK-DNy tájolásúnak, míg lapostetős épületek esetén az energiagyűjtő szerkezeteket déli tájolásúnak vettük fel. Az optimális kollektorszámot annak figyelembe vételével, a tervezési gyakorlatnak megfelelően határoztuk meg, elfogadható értéken tartva mind az éves rendszerhatásfokot, mind a szoláris részarányt.

14.10. táblázat: Az egyes lakóépület típusok esetén elhelyezhető kollektorok maximális és optimális, illetve az elhelyezhető PV panelek darabszáma

Épülettípus	maximális kollektorszám	optimális kollektorszám	maximális napelem panelszám
1.	18	2	25
2.	13	2	18
3.	14	2	19
4.	12	2	16
5.	13	2	18
6.	16	3	23
7.	17	2	24
8.	15	3	22
9.	13	2	18
10.	16	3	23
11.	12	2	16
12.	18	3	25
13.	16	12	22
14.	27	12	38
15.	18	12	25
16.	12	12	16
17.	18	18	25
18.	58	58	58
19.	58	58	58
20.	67	67	67
21.	59	59	59
22.	21	21	30
23.	27	27	37

5. Melléklet: Napelemek energiahozamának számítási módszere [12]

Jelen pontban ismertetett módszer a [12] vonatkozó fejezeteinek kivonatos változata. A hivatkozott PhD disszertáció Horváth Miklós munkája, témavezető a Szerző volt.

Napelemes rendszereket villamos hálózatra kötött, ún. „on-grid” rendszernek tekintettük. A napelemekre is elvégeztük a napkollektorokhoz hasonló típuselemzést, melynek részleteit a [12] tartalmazza.

A számítások során egy átlagosnak tekinthető napelem típussal számoltunk, melynek paramétereit a 14.11. táblázat tartalmazza. A számítások során 98%-os inverter hatásfokot feltételeztünk.

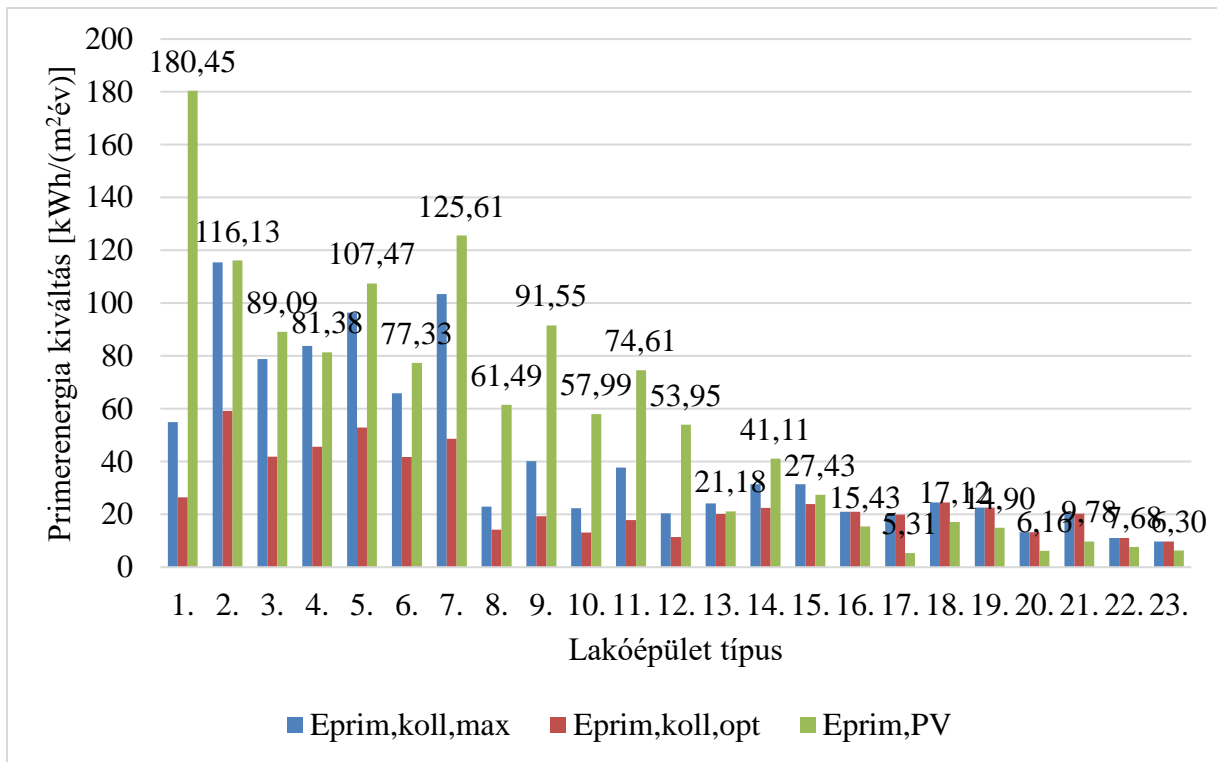
14.11. táblázat: A modellben alkalmazott napelemes rendszer főbb paramétereit [12]

Paraméter	Érték	Mértékegység
I_{MPP0}	8,38	A
U_{MPP0}	30,4	V
$P_{névleges}$	255	Wp
α	0,04	%/°C
β	-0,31	%/°C
η_{INV}	98	%
A_{PV}	1,6434	m ²

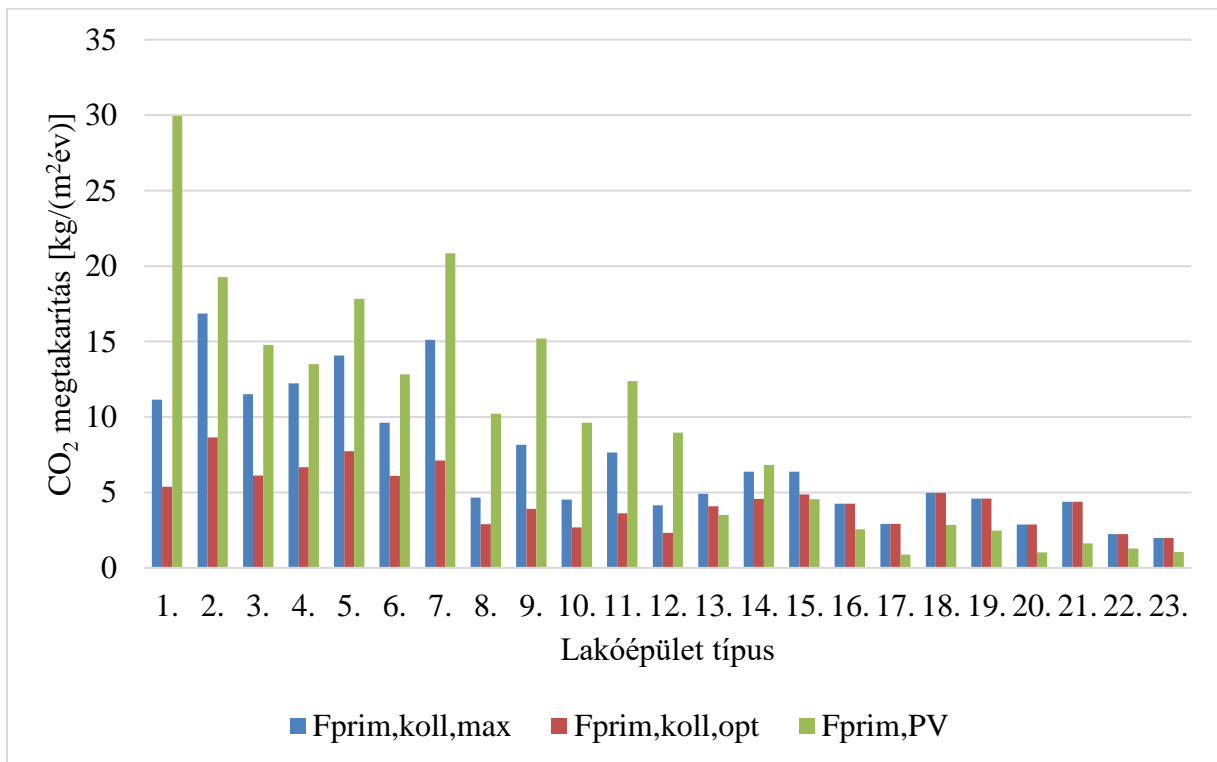
A napelemek által termelt energiát a (8) egyenlet alapján számítottuk, amit általánosan alkalmaznak a passzív ház tervezési gyakorlatban is [176]:

$$Q_{e,i} = n_{PV} \cdot I_{MPP0} \cdot U_{MPP0} \cdot Q_s \cdot \eta_{INV} \cdot 0,00083 \cdot \left[1 + 0,01 \cdot (\alpha + \beta) \cdot (t_{e,i} - 25) + 0,0081 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot (t_{e,i} - 25)^2 \right] \quad (8)$$

Az elhelyezhető napelemek számát az épületfelmérés során meghatározott kihasználható tetőfelületek figyelembe vételével határoztuk meg a 14.7. táblázat alapján.



14.3. ábra: Napenergia hasznosítással elérhető primerenergia kiváltás épülettípusonként



14.4. ábra: Napenergia hasznosítással elérhető CO₂ megtakarítás épülettípusonként

6. Melléklet: Széndioxid emisszió számítási módszertan

Az alkalmazott módszer a 7/2006 (V.24.) TNM rendelet [1] számítási módszeréből indul ki, azzal a különbséggel, hogy a felhasználási célonkénti primer energiafelhasználások képleteiben a primer energia konverziós tényezőket széndioxid kibocsátási tényezők váltják fel, melyek értékét az alábbi táblázat foglalja össze. Ugyanezen értékek alkalmazását alkalmazták a ZBR [177] és KEOP [178] épületenergetikai pályázatokban, illetve a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában [179].

14.12. táblázat: A modellben alkalmazott széndioxid emissziós tényezők [180]

Energiahordozó	f_{CO_2} g/kWh
elektromos áram	365
földgáz	203
tüzelőolaj	279
szén	377
távhő	273
tűzifa, biomassza	0
nap, szél, vízenergia, geotermális energia (hőszivattyú kivételével)	0

Megjegyzem, hogy távhő és villamos energia esetén a táblázattól markánsan eltérő értékeket is alkalmaznak a gyakorlatban. Nyilvánvalóan más a távhőhöz köthető emisszió attól függően, hogy milyen energiahordozókból, milyen technológiai folyamatok segítségével állítják elő a hőt. Ugyanakkor a tapasztalat az, hogy energiátanúsításkor az ezzel kapcsolatos adatok megbízhatósága kérdéses, ezért nem tartottunk célszerűnek további bontást alkalmazni. A villamos energiát illetően pedig nincs egységes szakmai, szakpolitikai álláspont az emissziós tényező értékével kapcsolatban és jelentősége az épületek hőfelhasználása szempontjából kisebb.

7. Melléklet: Felújítási változatok technikai adatai

14.13. táblázat: Eredeti állapot modellezésénél figyelembe vett hőtermelők

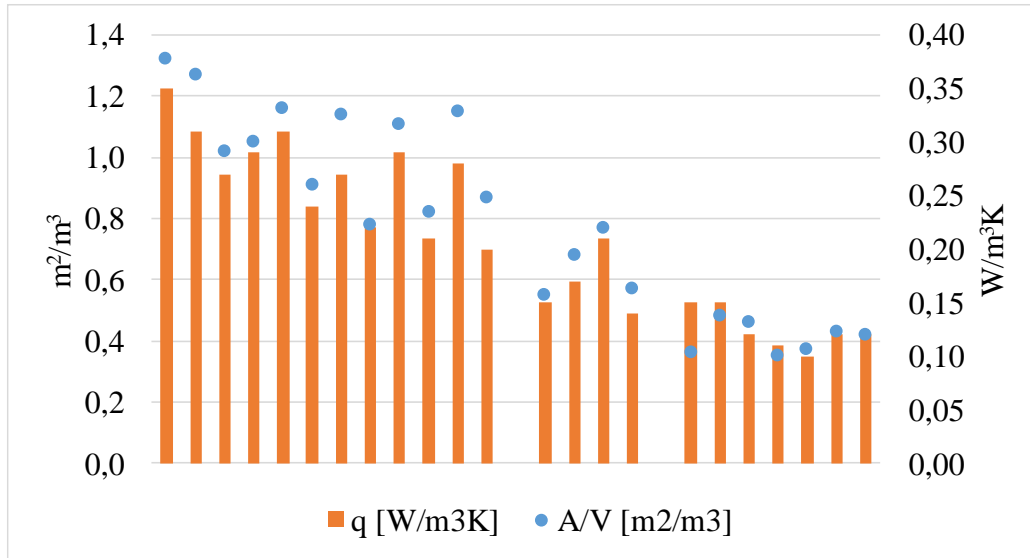
	Fűtés	HMV
1. típus	Gázkonvektor	Elektromos fűtőpatron
2. típus	Gázkonvektor	Elektromos fűtőpatron
3. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
4. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
5. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
6. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
7. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
8. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Gázüzemű bojler
9. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Átfolyós kombikazán
10. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Gázüzemű bojler
11. típus	Kondenzációs gázkazán	Átfolyós kombikazán
12. típus	Kondenzációs gázkazán	Kondenzációs gázkazán
13. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Elektromos fűtőpatron
14. típus	Állandó hőmérsékletű gázkazán	Átfolyós kombikazán
15. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Átfolyós kombikazán
16. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Alacsony hőmérsékletű gázkazán
17. típus	Gázkonvektor	Elektromos fűtőpatron
18. típus	Gázkonvektor	Átfolyós gáz-vízmelegítő
19. típus	Távfűtés	Átfolyós gáz-vízmelegítő
20. típus	Távfűtés	Távfűtés
21. típus	Távfűtés	Távfűtés
22. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Átfolyós kombikazán
23. típus	Alacsony hőmérsékletű gázkazán	Átfolyós kombikazán

14.14. táblázat: A padlószerkezetek felújításánál alkalmazott hőszigetelés vastagságok ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$)

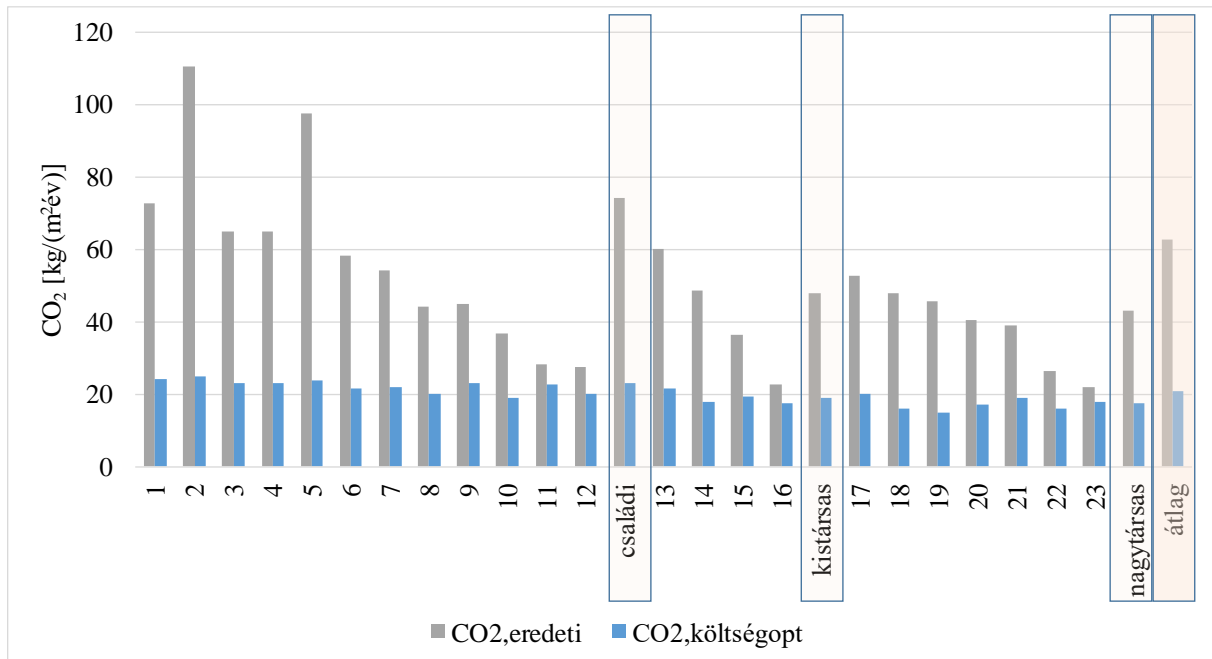
	hőszigetelés vastagság (cm)
1. típus	8
2. típus	8
3. típus	8
4. típus	8
5. típus	8
6. típus	9
7. típus	9
8. típus	9
9. típus	10
10. típus	0
11. típus	10
12. típus	11
13. típus	9
14. típus	9
15. típus	11
16. típus	11
17. típus	9
18. típus	9
19. típus	9
20. típus	8
21. típus	8
22. típus	11
23. típus	10

8. Melléklet: Modellépület számítások további eredményei

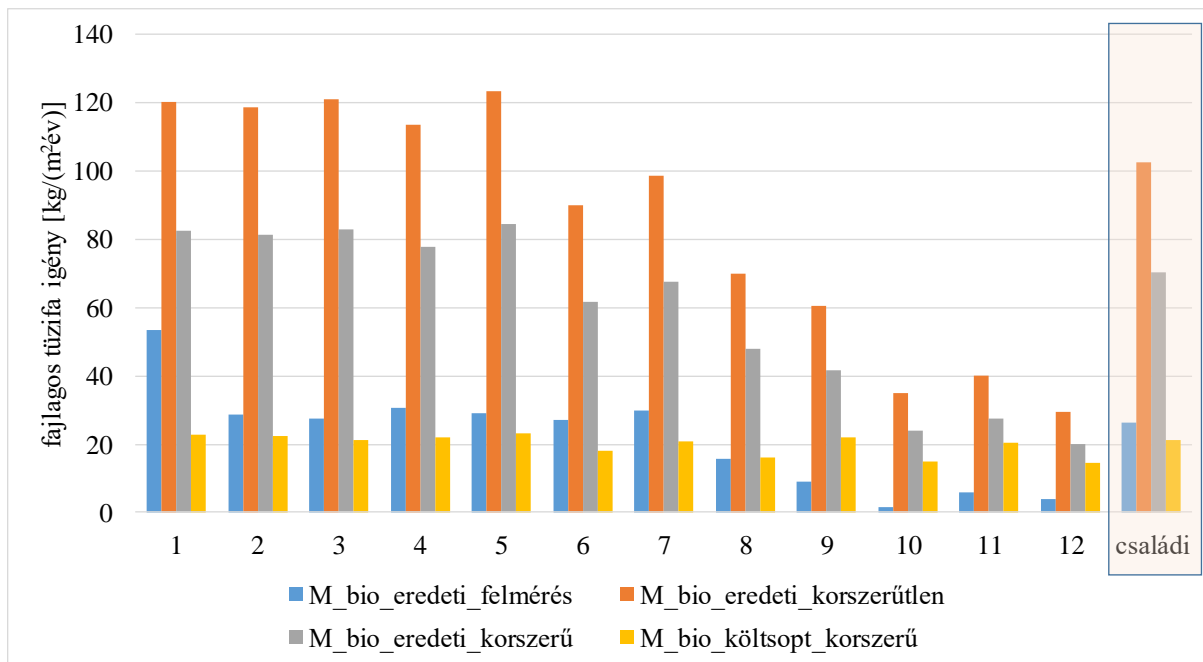
Az ábrákon a 'szaldó' éves energiamérleg szemléletű számítást, a 'bruttó' havi energiamérleg szemléletű számítást jelöl.



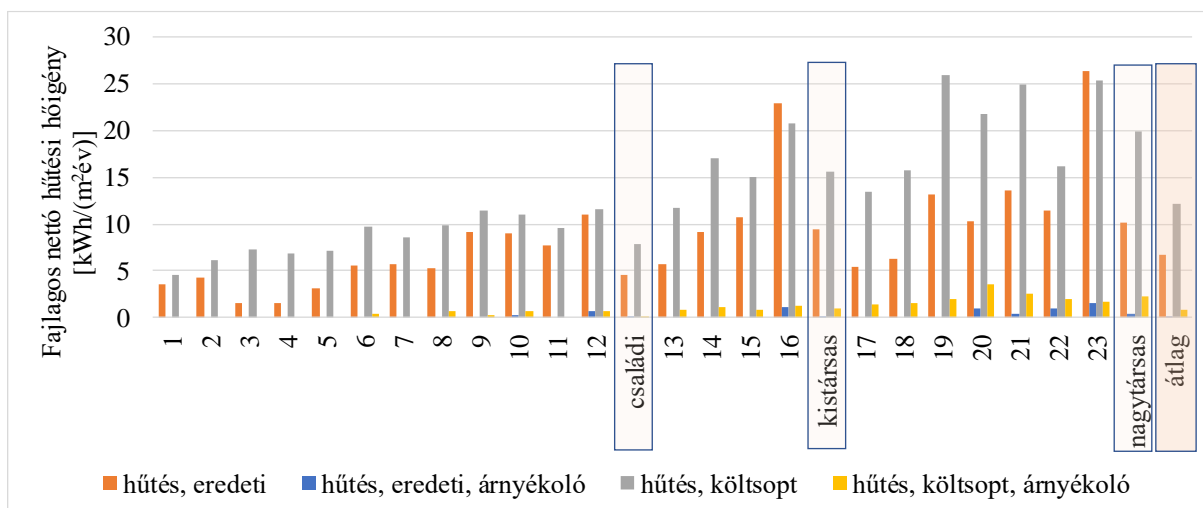
14.5. ábra: A fajlagos hővesztés tényező és a felület-térfogat arány alakulása épülettípusonként, költségoptimalizált követelményszintre történő korszerűsítés esetén



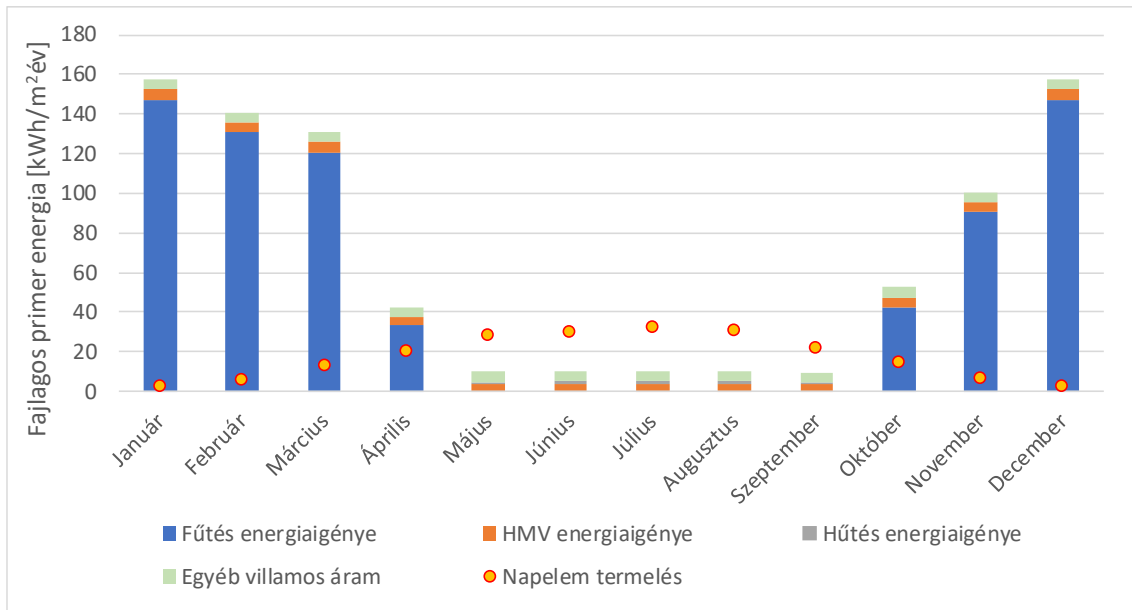
14.6. ábra: A fajlagos széndioxid emisszió alakulása korszerűsítés nélkül (felmérés alapján) és költségoptimalizált követelményszintek megfelelő korszerűsítés esetén



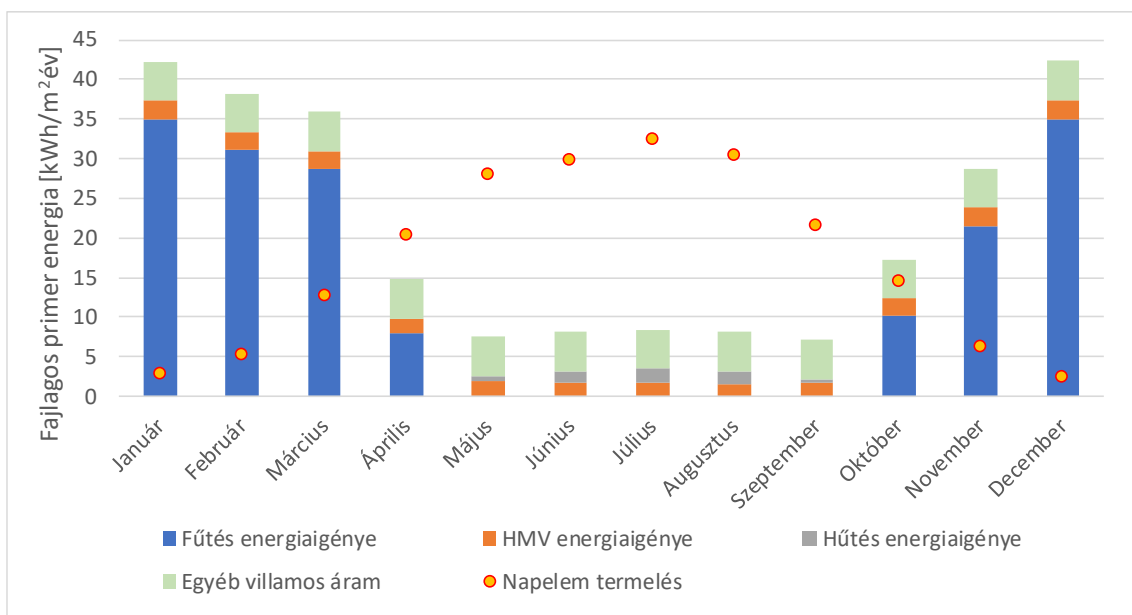
14.7. ábra: Fajlagos tűzifa felhasználás eredeti állapotban és különböző korszerűsítési megoldások esetén



14.8. ábra: Az árnyékolók alkalmazása és a felújítottság hatása a fajlagos nettó hűtési hőigényre

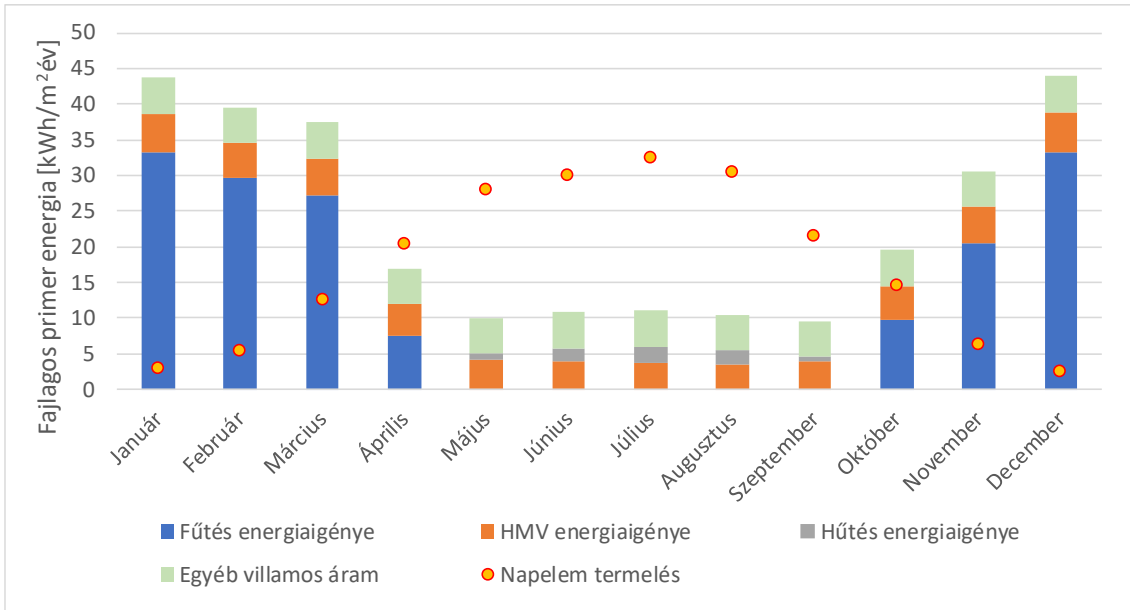


14.9. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, eredeti szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül

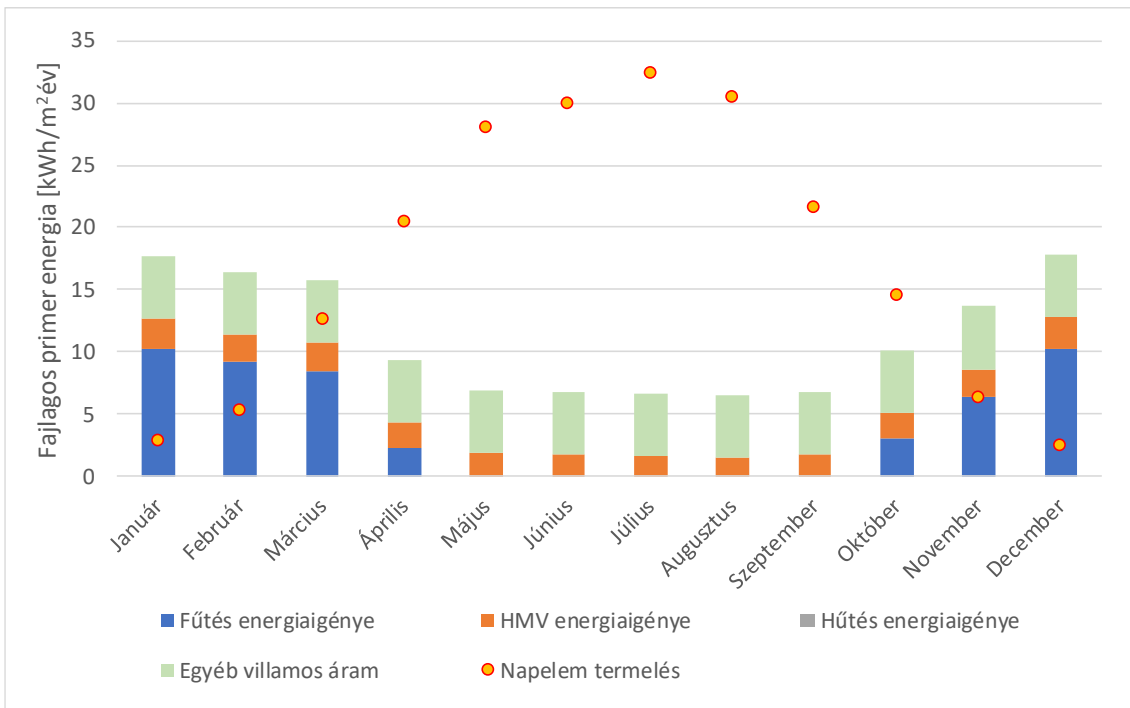


14.10. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, eredeti szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül

dc_2011_22

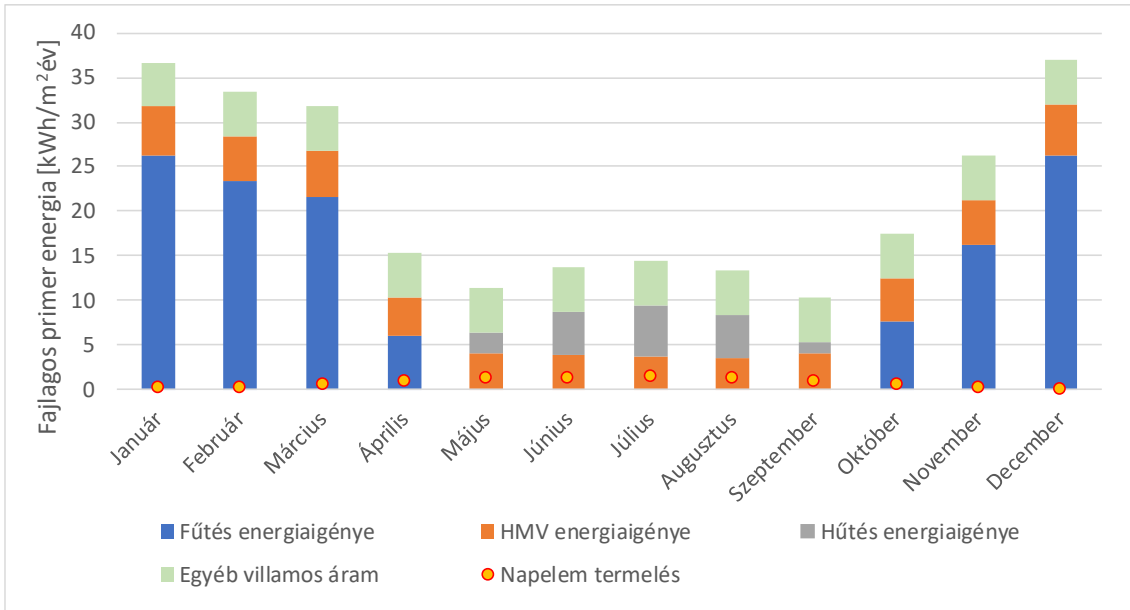


14.11. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, felújított szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül

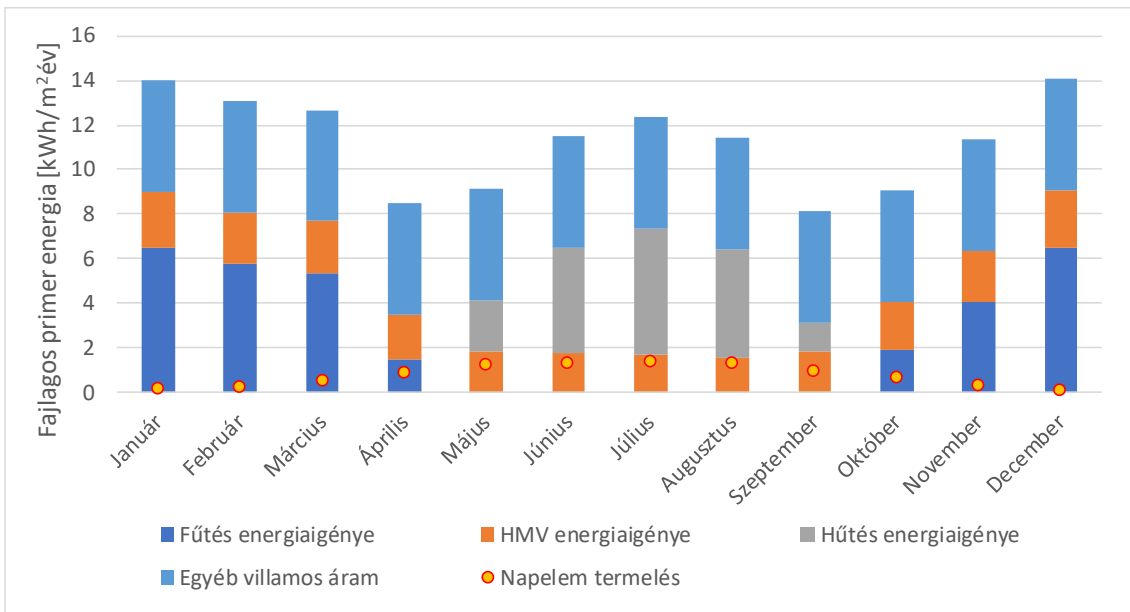


14.12. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolókkal

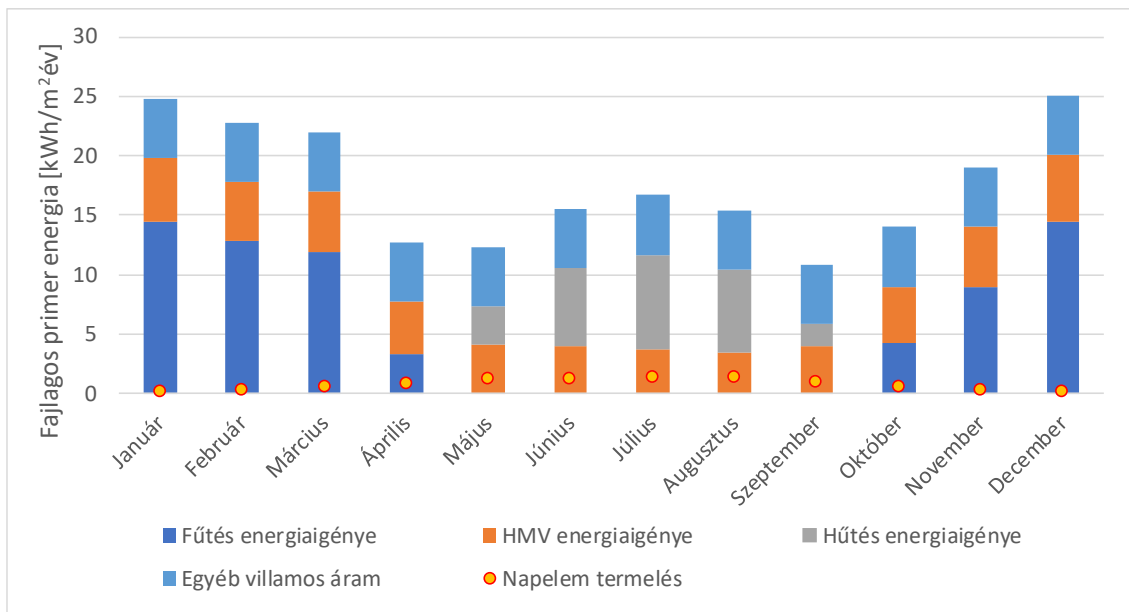
dc_2011_22



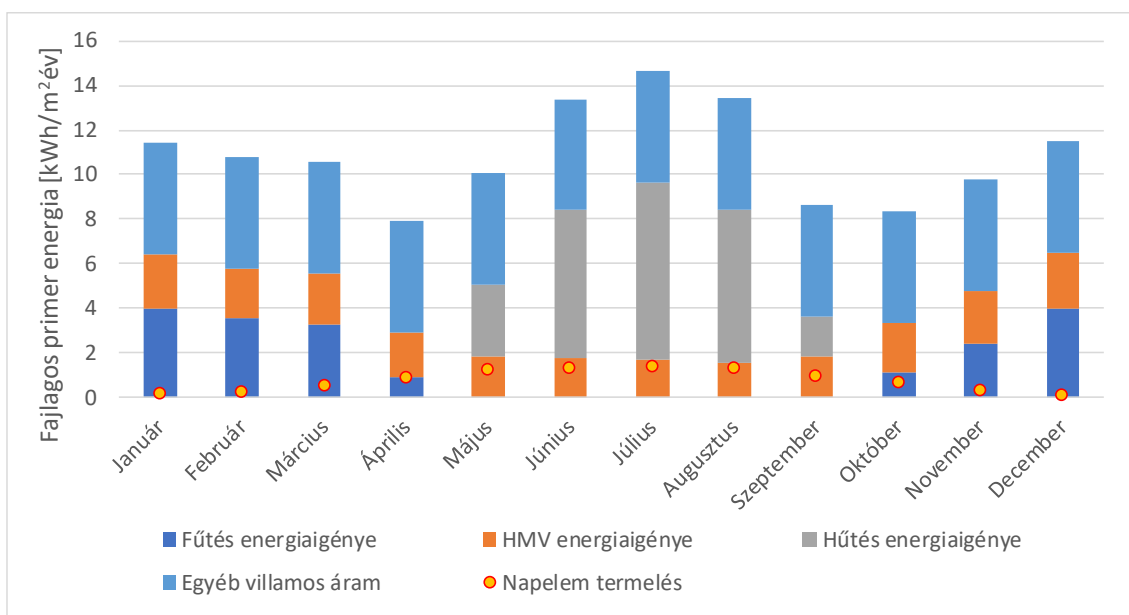
14.13. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, eredeti szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül



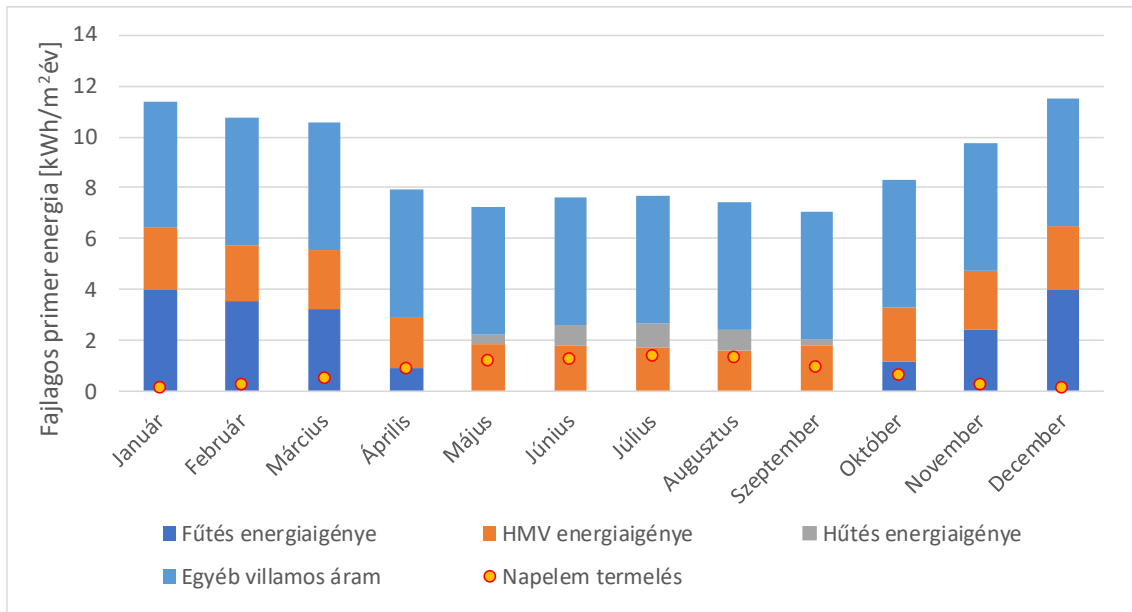
14.14. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, eredeti szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül



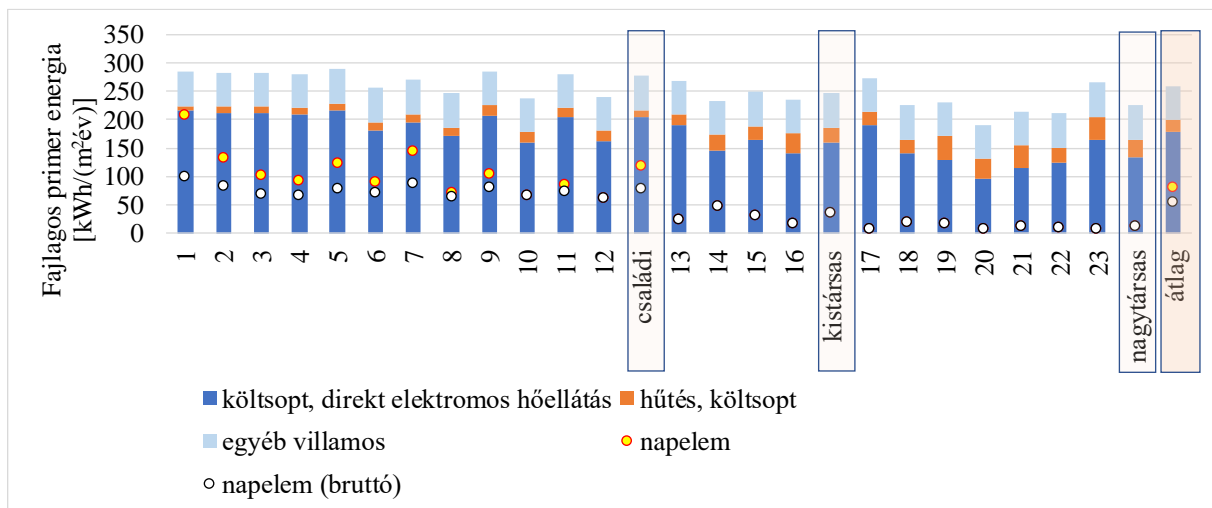
14.15. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül



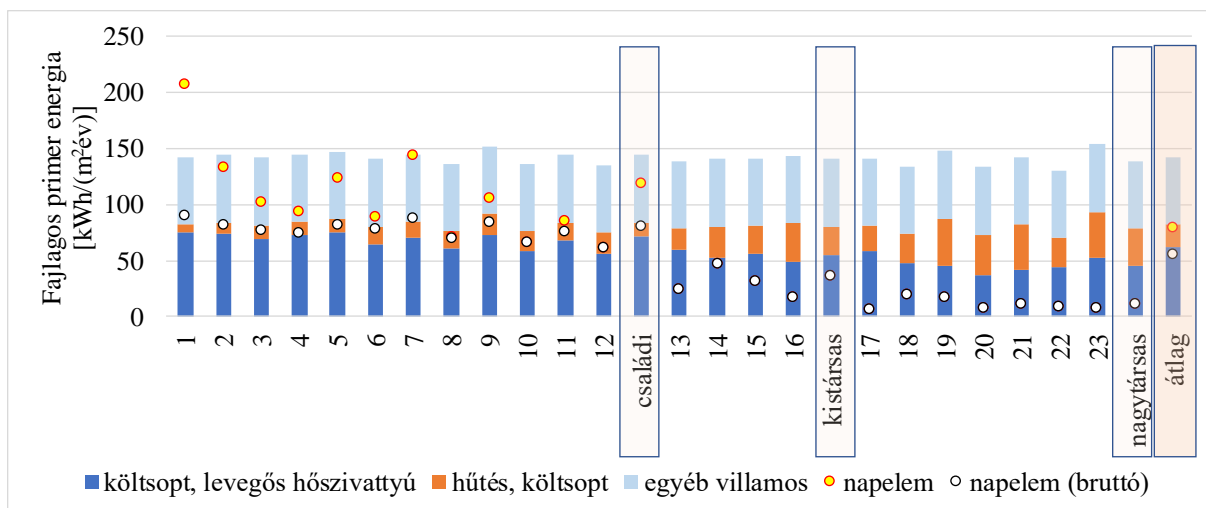
14.16. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül



14.17. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolókkal



14.18. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, direkt elektromos hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását



14.19. ábra: Fajlagos primerenergia igény összetétele a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását

9. Melléklet: Országos extrapoláció során alkalmazott háttér adatok

14.15. táblázat: Alapterületi korrekció meghatározása társasházak esetén*

	A_N	$A_{N,lakás}$	$A_N / A_{N,lakás}$ felmérésből	$A_N / A_{N,lakás}$ alkalmazott
	[m ²]	[m ²]	[-]	[-]
13. típus	524.1	486.7	1.08	1.05
14. típus	466.4	459.4	1.02	1.05
15. típus	459.9	445.3	1.03	1.05
16. típus	523.1	491.5	1.06	1.05
17. típus	2373.8	2235	1.06	1.05
18. típus	1717.6	1639	1.05	1.05
19. típus	1974.2	1796	1.10	1.10
20. típus	5513.5	4191	1.32	1.10
21. típus	3058.6	2837	1.08	1.10
22. típus	1971.4	1749	1.13	1.10
23. típus	2963.1	2878	1.03	1.05

* A számított fajlagos energetikai és költség mutatók nettó fűtött szintterületre vonatkoznak, a statisztikai adatok viszont az összegzett lakásalapterületről állnak rendelkezésre. A probléma csak társasházaknál merül fel a közös terek miatt. Ezért a statisztikai adatokat korrigálni kellett. A felmérés során a szakértők megbecsülték a lakások összalapterületét és a nettó fűtött szintterületet is. A két érték hányadosainak típusonként átlagértékeit adja a táblázat. A felmérés adatainak részletes elemzése alapján megállapítható, hogy az eltérés nagyobb társasházaknál jelentősebb. Ugyanakkor a konkrét értéket jelentősen befolyásolja az aktuális használati mód, a földszinti üzlethelyiségek kihasználtsága, a közös fűthető terek kifűtöttsége, melyek hatását a szakértők szubjektív módon ítélték meg, ami miatt az adatokban nagy a szórás és a becslési bizonytalanság (ld. a 20. típusnál szereplő kiugró értéket). Mindezt mérlegelve a korrekciós tényezőket kissé módosítottuk. A számításokban alkalmazott értékek a táblázat utolsó oszlopában találhatóak.

14.16. táblázat : Lakások száma épülettípusonként, megyei bontásban [27]

	Összesen	Budapest	Bács-Kiskun	Baranya	Békés	Borsod-Abaúj-Zemplén	Csongrád	Fejér	Győr-Moson-Sopron	Hajdú-Bihar	Heves	Jász-Nagykun-Szolnok	Komárom-Esztergom	Nógrád	Pest	Somogy	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Tolna	Vas	Veszprém	Zala
1. típus	195 670	940	30 671	6 672	22 578	8 054	15 554	10 469	1 762	12 637	6 450	21 559	2 240	2 836	20 724	5 632	8 129	11 678	2 102	2 039	2 944
2. típus	484 798	1 634	57 597	16 447	38 875	28 523	36 936	18 651	3 269	41 609	21 224	49 051	6 080	15 938	58 312	10 247	53 727	14 986	3 077	3 179	5 436
3. típus	266 912	53 036	9 379	14 817	6 162	22 226	7 647	7 451	15 295	6 038	8 609	2 888	9 296	6 405	27 331	14 500	2 841	6 405	16 241	18 216	12 129
4. típus	232 178	24 458	7 108	11 357	4 768	25 125	4 374	10 403	17 706	5 235	11 786	3 268	11 684	9 985	21 929	13 752	4 856	6 900	9 704	14 584	13 196
5. típus	569 326	26 614	30 731	16 973	28 144	47 449	24 826	23 879	30 479	31 591	23 888	25 177	18 738	17 277	78 315	27 527	39 720	15 928	16 973	24 104	20 993
6. típus	134 494	17 412	6 680	5 953	4 149	8 087	4 833	4 690	8 645	3 258	4 456	2 356	4 624	2 707	23 111	6 674	6 964	4 053	4 770	5 424	5 648
7. típus	261 085	10 183	18 839	7 190	13 767	20 038	9 148	12 705	10 256	23 027	8 869	15 832	7 404	5 446	38 894	9 208	21 912	6 106	5 456	9 859	6 946
8. típus	113 278	11 036	6 240	4 649	4 169	9 021	4 094	4 849	6 147	5 640	4 368	3 203	3 399	2 424	16 082	5 018	7 374	3 094	3 576	4 806	4 089
9. típus	206 838	11 029	10 906	5 806	6 023	12 382	5 858	10 045	9 628	17 292	5 851	7 133	4 549	3 024	48 292	7 660	20 760	3 035	4 798	7 016	5 751
10. típus	130 117	17 437	5 055	4 626	2 728	6 337	4 332	5 789	7 925	6 558	3 327	2 612	2 859	1 445	32 216	4 275	6 727	2 058	4 183	4 985	4 643
11. típus	54 030	2 620	2 534	1 523	1 031	2 637	1 469	3 168	3 729	4 214	1 399	1 707	1 446	696	15 554	1 873	3 159	614	1 507	1 877	1 273
12. típus	39 829	4 645	1 454	1 302	682	1 568	1 204	1 872	2 919	2 123	855	701	1 012	352	12 642	936	1 615	469	1 174	1 264	1 040
Cs. h. össz.	2 688 555	181 044	187 194	97 315	133 076	191 447	120 275	113 971	117 760	159 222	101 082	135 487	73 331	68 535	393 402	107 302	177 784	75 326	73 561	97 353	84 088
13. típus	84 187	37 631	2 391	4 533	1 662	4 130	4 181	1 604	6 093	2 458	1 323	1 048	2 055	1 473	4 190	1 450	548	919	2 882	2 002	1 614
14. típus	147 411	42 700	7 320	5 625	3 187	8 498	5 308	3 712	6 192	5 079	4 175	4 512	6 796	2 531	10 425	3 932	5 817	3 849	4 275	7 671	5 807
15. típus	48 074	13 887	1 897	2 481	995	589	3 022	657	4 539	2 982	1 140	1 258	574	123	5 704	1 118	1 495	604	1 127	1 675	2 207
16. típus	22 720	5 373	707	1 184	174	345	844	487	1 464	1 391	388	576	298	35	6 492	298	729	189	530	545	671
4-9 össz.	302 392	99 591	12 315	13 823	6 018	13 562	13 355	6 460	18 288	11 910	7 026	7 394	9 723	4 162	26 811	6 798	8 589	5 561	8 814	11 893	10 299
17. típus	242 287	221 416	611	1 599	408	1 536	3 482	899	3 982	1 595	516	404	678	198	659	579	389	100	1 565	913	758
18. típus	277 402	83 455	8 777	16 408	8 702	18 662	14 363	11 628	9 195	9 846	8 309	9 690	9 389	3 515	9 101	10 329	7 210	3 694	11 582	11 637	11 910
19. típus	188 110	55 581	6 428	2 253	6 358	11 549	2 170	5 513	5 454	8 909	9 552	5 904	13 579	8 879	8 305	2 381	5 339	4 535	5 853	5 017	14 551
20. típus	334 180	119 104	10 242	19 322	4 964	33 487	19 402	24 003	18 376	17 208	4 010	6 280	11 926	2 013	10 640	4 659	7 561	5 005	3 407	12 292	279
21. típus	188 121	71 019	7 862	11 775	5 144	10 533	11 381	7 735	7 054	13 584	2 000	4 595	5 516	1 283	8 018	3 898	5 874	2 478	1 723	6 379	270
22. típus	88 616	40 477	3 663	1 991	883	1 096	5 289	1 616	4 906	4 407	1 405	874	1 118	220	5 519	3 093	3 737	706	2 144	2 053	3 419
23. típus	54 091	31 880	957	1 006	511	887	2 228	738	2 236	1 957	644	824	804	30	4 081	1 266	1 043	190	904	1 143	762
10-x ÖSSZ.	1 372 807	622 932	38 540	54 354	26 970	77 750	58 315	52 132	51 203	57 506	26 436	28 571	43 010	16 138	46 323	26 205	31 153	16 708	27 178	39 434	31 949
ÖSSZESEN	4 363 754	903 567	238 049	165 492	166 064	282 759	191 945	172 563	187 251	228 638	134 544	171 452	126 064	88 835	466 536	140 305	217 526	97 595	109 553	148 680	126 336

14.17. táblázat : Lakások hasznos alapterülete [181] épülettípusonként, megyei bontásban [27]

	Összesen	Budapest	Bács-Kiskun	Baranya	Békés	Borsod-Abaúj-Zemplén	Csongrád	Fejér	Győr-Moson-Sopron	Hajdú-Bihar	Heves	Jász-Nagykun-Szolnok	Komárom-Esztergom	Nógrád	Pest	Somogy	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Tolna	Vas	Veszprém	Zala
1. típus	13 556 022	60 409	2 200 733	506 425	1 697 069	516 912	1 147 822	730 371	123 935	799 279	416 816	1 429 841	154 136	175 722	1 369 178	373 154	514 265	196 166	135 156	138 083	180 867
2. típus	37 673 053	110 836	4 694 644	1 371 558	3 246 063	2 072 332	3 016 658	1 417 732	245 759	3 087 952	1 599 403	3 770 344	452 685	1 144 465	4 490 346	714 002	4 179 635	381 380	208 288	224 636	379 098
3. típus	22 011 191	4 345 229	810 638	1 255 180	553 917	1 760 888	683 141	619 337	1 290 552	459 308	692 020	242 506	760 278	503 235	2 259 268	1 197 145	258 167	251 701	1 341 703	1 435 886	961 832
4. típus	19 212 580	2 003 191	596 437	969 796	403 156	2 024 401	372 285	840 367	1 551 762	383 669	975 430	252 312	995 665	828 144	1 794 305	1 128 893	409 881	239 793	817 645	1 178 390	1 087 754
5. típus	48 178 673	2 043 211	2 641 569	1 444 734	2 435 028	4 070 683	2 132 407	2 037 854	2 757 940	2 526 896	2 071 379	2 080 791	1 607 524	1 486 489	6 291 673	2 334 897	3 489 559	653 691	1 487 932	2 043 667	1 781 262
6. típus	16 947 788	1 946 608	831 261	777 031	531 386	1 078 990	616 949	589 927	1 114 167	396 780	601 348	295 840	615 950	370 987	2 812 860	881 363	904 467	248 053	616 568	689 417	729 322
7. típus	23 115 283	876 850	1 678 592	639 562	1 216 729	1 834 522	799 757	1 138 967	969 413	1 952 541	819 703	1 372 165	656 941	507 608	3 230 265	814 247	2 012 135	238 864	514 613	897 205	619 321
8. típus	15 779 157	1 513 596	850 954	661 696	567 096	1 285 559	570 502	680 882	855 419	769 985	625 267	429 535	481 906	342 451	2 196 585	717 699	1 027 577	187 401	500 448	675 352	587 093
9. típus	17 689 824	951 321	927 479	501 671	514 946	1 090 074	494 931	881 150	879 784	1 429 344	513 798	602 641	399 225	258 105	3 996 834	637 380	1 773 165	111 184	440 489	623 824	503 503
10. típus	19 051 992	2 675 571	718 408	669 501	389 291	922 241	629 586	846 356	1 121 610	921 566	483 800	374 915	421 860	212 573	4 717 481	640 323	963 058	133 247	608 582	731 752	699 124
11. típus	4 634 254	220 259	222 643	130 078	89 559	221 703	128 743	282 787	339 646	351 892	120 265	144 196	126 973	57 298	1 303 299	156 049	271 904	27 117	134 671	166 630	110 525
12. típus	5 471 162	647 570	204 222	173 721	93 960	224 622	169 359	267 432	400 518	289 004	120 410	96 086	139 266	51 044	1 656 250	135 772	231 032	33 384	164 164	183 935	152 289
Cs. H. Össz.	243 320 979	17 394 651	16 377 580	9 100 953	11 738 200	17 102 927	10 762 140	10 332 162	11 650 505	13 368 216	9 039 639	11 091 172	6 812 409	5 938 121	36 118 344	9 730 924	16 034 845	2 701 981	6 970 259	8 988 777	7 791 990
13. típus	4 834 678	2 136 739	139 434	259 296	102 527	238 665	256 897	95 352	370 348	131 834	83 901	62 500	108 735	73 977	231 997	84 909	32 373	39 761	167 380	114 475	90 399
14. típus	9 487 583	2 781 953	480 967	341 481	202 012	510 543	368 147	245 121	415 673	325 391	260 074	292 547	405 642	148 761	669 021	249 662	367 912	170 740	265 133	515 546	404 375
15. típus	3 390 947	1 106 296	124 358	164 810	61 427	41 628	205 369	49 246	287 800	200 494	74 152	86 191	38 038	7 024	406 554	73 273	91 424	21 139	76 849	112 573	141 808
16. típus	1 527 933	400 547	45 968	73 406	11 257	22 602	56 033	35 217	92 267	93 142	23 600	35 518	20 708	2 562	434 149	17 864	41 974	7 987	33 124	35 161	40 530
4-9. össz.	19 241 141	6 425 535	790 727	838 993	377 223	813 438	886 446	424 936	1 166 088	750 861	441 727	476 756	573 123	232 324	1 741 721	425 708	533 683	239 627	542 486	777 755	677 112
17. típus	14 066 410	12 827 623	38 538	96 749	22 691	95 209	225 422	54 608	234 982	103 282	27 856	26 008	35 855	9 847	32 475	35 512	21 444	3 542	87 700	46 010	38 276
18. típus	14 343 767	4 191 175	465 602	848 283	487 556	938 519	762 120	604 522	493 272	515 092	448 727	498 817	466 528	168 445	484 541	556 307	375 984	94 624	601 545	599 646	636 008
19. típus	10 092 096	2 953 975	331 543	133 018	355 710	574 965	117 565	280 562	288 626	477 764	547 016	314 032	698 313	463 019	458 325	127 462	291 252	140 955	337 649	265 168	818 989
20. típus	17 552 852	6 278 660	541 901	997 740	263 987	1 734 120	1 038 597	1 252 436	967 858	898 784	215 139	318 653	627 251	103 596	572 228	239 871	387 554	118 706	184 714	641 587	15 331
21. típus	10 278 151	3 859 524	423 557	627 604	280 819	565 242	643 762	413 287	384 484	757 192	115 973	253 524	299 627	72 759	454 709	208 039	328 190	72 217	92 972	351 324	14 966
22. típus	5 032 533	2 285 358	212 643	107 884	53 254	60 008	330 015	92 188	278 095	262 384	74 912	51 516	65 623	12 337	312 152	168 341	204 448	24 550	122 983	107 109	190 555
23. típus	2 911 821	1 705 258	54 322	53 500	26 540	51 670	124 778	40 819	123 961	106 393	34 813	46 933	44 465	1 825	214 034	62 185	56 533	3 808	47 678	62 053	43 317
10.x Össz.	74 277 630	34 101 573	2 068 106	2 864 778	1 490 557	4 019 733	3 242 259	2 738 422	2 771 278	3 120 891	1 464 436	1 509 483	2 237 662	831 828	2 528 464	1 397 717	1 665 405	458 402	1 475 241	2 072 897	1 757 442
ÖSSZESEN	336 839 750	57 921 759	19 236 413	12 804 724	13 605 980	21 936 098	14 890 845	13 495 520	15 587 871	17 239 968	10 945 802	13 077 411	9 623 194	7 002 273	40 388 529	11 554 349	18 233 933	3 400 010	8 987 986	11 839 429	10 226 544

14.18. táblázat: Az épületállomány állapota (lakásszám %-ában kifejezve) ([141] alapján)

	Épület típusa	Az épület		
		Jó állapotú	Felújításra érdemes	Gazdaságosan nem felújítható
1	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - vályog, alapozás nélkül	11,0	59,8	29,3
2	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - vályog, alapozással	9,4	76,9	13,7
3	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1944 előtt - téglá, kő, kézi falazóelem	21,0	66,9	12,1
4	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1945-1959 - téglá, kő, kézi falazóelem	21,9	72,4	5,7
5	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1960-1979 - téglá, kő, kézi falazóelem - 119 m2 alatt	12,0	85,4	2,6
6	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1960-1979 - téglá, kő, kézi falazóelem - 120 m2 felett	23,8	76,2	–
7	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1980-1989 - téglá, kő, kézi falazóelem - 119 m2 alatt	29,3	70,7	–
8	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1980-1990 - téglá, kő, kézi falazóelem - 120 m2 felett	56,7	43,3	–
9	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1990-2005 - téglá, kő, kézi falazóelem - 119 m2 alatt	67,7	32,3	–
10	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 1990-2005 - téglá, kő, kézi falazóelem - 120 m2 felett	69,1	29,4	1,5
11	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 2006 után - téglá, kő, kézi falazóelem - 119 m2 alatt	100,0	–	–
12	Családi ház vagy sorház (1-3 lakás) - 2006 után - téglá, kő, kézi falazóelem - 120 m2 felett	95,8	4,2	–
13	Társasház 4-9 lakás - 1945 előtt - téglá, kő	5,7	65,7	28,6
14	Társasház 4-9 lakás - 1945-1989 - téglá, kő, kézi falazóelem	19,7	80,3	–
15	Társasház 4-9 lakás - 1990-2005 - téglá, kő, kézi falazóelem	81,8	18,2	–
16	Társasház 4-9 lakás - 2006 vagy utána - téglá, kő, kézi falazóelem	100,0	–	–

dc_2011_22

	Épület típusa	Az épület		
		Jó állapotú	Felújításra érdemes	Gazdaságosan nem felújítható
17	Társasház min, 10 lakás - 1944 előtt - tégl, kő, kézi falazóelem	9,0	74,0	17,0
18	Társasház min, 10 lakás - 1945-1989 - tégl, kő, kézi falazóelem	12,3	86,2	1,5
19	Társasház min, 10 lakás - közép nagyblokk,, öntött, alagútsalus	12,6	87,4	–
20	Társasház min, 10 lakás - 1979 előtt - panel	21,3	78,8	–
21	Társasház min, 10 lakás - 1980 után - panel	16,9	83,1	–
22	Társasház min, 10 lakás - 1990-2005 - tégl, kő, kézi falazóelem	76,7	23,3	–
23	Társasház min, 10 lakás - 2006 vagy utána - tégl, kő, kézi falazóelem	96,3	–	3,7

10. Melléklet: A 2016-2020 közötti öt éves időszakban történt korszerűsítésekre vonatkozó MEHI felmérés eredményei

14.19. táblázat: A háztartások hőszigetelésére vonatkozó felmérés eredményei [5]

Történt hőszigetelés az elmúlt 5 évben és ha igen mely szerkezeteket érintette?	családi	panel	egyéb társas	összesen n
nem történt szigetelés	1088	314	235	1637
fal	145	82	42	269
fal+födém/tető	44	11	5	60
fal+födém/tető+pince	15	1	1	17
fal+pince	1	0	0	1
födém/tető	17	1	2	20
födém/tető+pince	0	1	0	1
pincefödém	0	0	1	1
nem tudom	2	1	0	3
teljes minta	1312	411	286	2009

14.20. táblázat: A háztartásokban történt nyílászáró cserékre vonatkozó felmérés eredményei [5]

	családi	panel	egyéb társas	összesen n
Történt nyílászáró csere az elmúlt 5 évben?	473	163	106	742
nem	839	248	180	1267
teljes minta	1312	411	286	2009

14.21. táblázat: A hőellátó rendszer korszerűsítésére vonatkozó felmérés eredményei [5]

Történt-e hőellátó rendszert érintő korszerűsítés az elmúlt 5 évben és ha igen mire terjedt ki?	családi	panel	egyéb társas	összesen
nem történt intézkedés	1022	324	213	1559
fűtési hőtermelő csere	147	28	27	202
f.hőterm.+HMV hőterm.	17	3	4	24
f.hőterm.+HMV hőterm.+radiátor	2	0	0	2
f.hőterm.+HMV hőterm.+radiátor+szabályozás+csövek+kémény	2	0	0	2
f.hőterm.+HMV hőterm.+kémény	1	0	0	1
f.hőterm.+radiátor	13	0	5	18
f.hőterm.+radiátor+szabályozás+csövek	2	0	0	2
f.hőterm.+radiátor+szabályozás+csövek+kémény	2	0	0	2
f.hőterm.+radiátor+csövek	3	0	0	3
f.hőterm.+szabályozás	2	1	0	3
f.hőterm.+szabályozás+csövek	1	0	0	1
f.hőterm.+csövek	1	0	0	1
f.hőterm.+kémény	1	0	0	1
HMV hőterm.	62	8	16	86
HMV hőterm.+radiátor	1	0	0	1
HMV hőterm.+radiátor+csövek	0	0	1	1
HMV hőterm.+szabályozás	1	0	0	1
radiátor	16	25	15	56
radiátor+szabályozás	0	3	2	5
radiátor+csövek	1	0	0	1
szabályozás	5	14	2	21
szabályozás+csövek	1	2	0	3
csövek	7	4	1	12
csövek+kémény	1	0	0	1
kémény	0	0	1	1
nem tudja	1	0	0	1
teljes minta	1312	412	287	2011

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

3.1. táblázat: Hazai lakóépület-állomány „bottom-up” modellezéséhez kapcsolódó fontosabb forrás dokumentumok és adatforrások	20
6.1. táblázat: Lakóépületek tipológiai mátrixa (kicsi : 120 m ² hasznos alapterület alatti, nagy: 120 m ² hasznos alapterületű vagy nagyobb)	33
6.2. táblázat: Családi házak tipológiájának illusztrációja	34
6.3. táblázat: Társasházak tipológiájának illusztrációja	35
7.1. táblázat: Felmérendő épületek számának megoszlása különböző megközelítésekkel [69]	39
7.2. táblázat: A felmért minta összetétele és összevetése a népszámlálás adatokkal [69]	40
7.3. táblázat: A felmért minta összetétele megyei bontásban összevetve a népszámlálási adatokkal [69]	41
8.1. táblázat: Utólagosan hőszigetelt (nyílászárók esetén kicserélt) szerkezetek aránya	47
8.2. táblázat: A lakóépületek felújítottságára vonatkozó felmérések eredményei	48
8.3. táblázat: Határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezői	49
8.4. táblázat: A legfontosabb energetikai mutatók épülettípusonként (2029 épület felmérési eredményeinek átlaga alapján)	61
8.5. táblázat: Fajlagos energiahordozó felhasználások épülettípusonként (2029 épület felmérési eredményeinek átlaga alapján)	62
8.6. táblázat: A 2021. augusztus 18-án hatályos energiahatékonysági skála [149]	66
8.7. táblázat: Javaslat az energiahatékonysági skála módosítására	69
9.1. táblázat: Az épületszerkezetek hőátbocsátási tényezőire (U-érték, W/m ² K) alkalmazott követelmények	75
9.2. táblázat: Fajlagos villamos energia felhasználás eredeti állapotban és különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások esetén	83
9.3. táblázat: A háztartások végső energiateljesítménye felhasználási célok szerint [PJ/év] [70]	89
9.4. táblázat: Villamos energiamérleg havi számításához használt arányok	89
10.1. táblázat: A lakóépület-állomány energiahordozónkénti energiateljesítménye országos szinten (végső energia)	95
10.2. táblázat: A hazai lakóépület-állomány primer energiateljesítménye (PJ/év) megyénkénti bontásban, a 2029 felmért épület eredményeinek kivetítésével (teljes kifűtöttség feltételezésével)	96
10.3. táblázat: A hazai lakóépület-állomány szén-dioxid kibocsátása (millió tonna / év) megyénkénti bontásban, a 2029 felmért épület eredményeinek kivetítésével (teljes kifűtöttség feltételezésével)	97
10.4. táblázat: A háztartások hőfokhíddal korrigált primer energiateljesítménye felhasználási célok szerint [PJ/év]	99
10.5. táblázat: A számított és mért fajlagos primer energiaigények közös nevezőre hozása hőfokhidas korrekcióval	102
10.6. táblázat: A számításban figyelembe vett, részleges hőszigeteléssel elérhető energiamegtakarítások (első oszlop), illetve az intézkedések előfordulási gyakorisága a megkérdezett mintában (utolsó négy oszlop)	103

10.7. táblázat: A számításban figyelembe vett, hőellátó rendszer részleges korszerűsítésével elérhető energiamegtakarítások (első oszlop), illetve az intézkedések előfordulási gyakorisága a megkérdezett mintában (utolsó négy oszlop)	104
10.8. táblázat: A felmérést követő időszakban lezajlott energiamegtakarítás hatására kialakult állapot meghatározásához figyelembe vett adatok	105
10.9. táblázat: A felmérést követő időszakban lezajlott energiamegtakarítás hatása a primer energiafelhasználásra	106
14.1. táblázat: Az épületfelmérés során gyűjtött kiegészítő adatok (kivonat)	128
14.2. táblázat	129
14.3. táblázat: Fűtési hőtermelők megoszlása típus szerint (családi házak)	131
14.4. táblázat: Fűtési hőtermelők megoszlása típus szerint (társasházak)	132
14.5. táblázat: HMV hőtermelők megoszlása típus szerint (családi házak)	133
14.6. táblázat: HMV hőtermelők megoszlása típus szerint (társasházak)	134
14.7. táblázat: A napenergia hasznosítás számításához felhasznált épületfelmérésből származó adatok épülettípusonként [12]	135
14.8. táblázat: Energiahatékonysági skála alternatív javaslata	136
14.9. táblázat: A modellben alkalmazott napkollektoros rendszer főbb paraméterei [12]	137
14.10. táblázat: Az egyes lakóépület típusok esetén elhelyezhető kollektorok maximális és optimális, illetve az elhelyezhető PV panelek darabszáma	138
14.11. táblázat: A modellben alkalmazott napelemes rendszer főbb paraméterei [12]	139
14.12. táblázat: A modellben alkalmazott széndioxid emissziós tényezők [179]	141
14.13. táblázat: Eredeti állapot modellezésénél figyelembe vett hőtermelők	142
14.14. táblázat: A padlószervezetek felújításánál alkalmazott hőszigetelés vastagságok ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$)	143
14.15. táblázat: Alapterületi korrekció meghatározása társasházak esetén*	152
14.16. táblázat : Lakások száma épülettípusonként, megyei bontásban [27]	153
14.17. táblázat : Lakások hasznos alapterülete [180] épülettípusonként, megyei bontásban [27]	154
14.18. táblázat: Az épületállomány állapota (lakásszám %-ában kifejezve) ([140] alapján)	155
14.19. táblázat: A háztartások hőszigetelésére vonatkozó felmérés eredményei [5]	157
14.20. táblázat: A háztartásokban történt nyílászáró cserékre vonatkozó felmérés eredményei [5]	157
14.21. táblázat: A hőellátó rendszer korszerűsítésére vonatkozó felmérés eredményei [5]	158

ÁBRÁK JEGYZÉKE

3.1. ábra: Végső energiafogyasztás ágazatonként, EU-27, 2018 (az összes%-a, olajegyenérték tonna alapján) [25]	14
3.2. ábra: Felhasználási célonkénti háztartási energiafelhasználás néhány uniós országra és az EU egészére, folyamatosan lakott lakásszámra vetítve, 2019 (saját szűrés [26] adatbázisból)	15
3.3. ábra: Háztartások hűtési célú energiafelhasználásának alakulása a teljes energiafelhasználáshoz képest (EU, 1990-2016) (saját szűrés [26] adatbázisból)	15
3.4. ábra: Energiahordozónkénti háztartási energiafelhasználás néhány uniós országra és az EU egészére, folyamatosan lakott lakásszámra vetítve, 2019 (saját szűrés [26] adatbázisból)	16
3.5. ábra : A magyar épületmátrix családi házainak névleges adaptációs görbéje (a függőleges csoportosulás a lakások kategóriába rendezettsége miatt jelenik meg) [106], [107], [108]	25
3.6. ábra : A prebound és rebound hatás megjelenése az energiamegtakarításban [136], [107], [106]	26
4.1. ábra: Módszertani áttekintő	28
5.1. ábra: Lakásépítés, lakásmegszűnés (2000–) [140]	29
5.2. ábra: Nem lakott lakások aránya Magyarországon [27]	29
7.1. ábra: Országos lakásszámok épülettípusonként [146]	39
8.1. ábra: Átlagos építési év	45
8.2. ábra: Felület-térfogat arány (A/V)	46
8.3. ábra: Átlagos szintszám	46
8.4. ábra: Ablakok (fa vagy PVC) állapota	50
8.5. ábra: Üvegezési arányok nettó üvegfelületre és bruttó ablakfelületre vetítve	50
8.6. ábra: Jellemző árnyékoló típusa	51
8.7. ábra: Árnyékolók kivitelezési lehetőségei	51
8.8. ábra: Fűtési hőtermelő állapota	52
8.9. ábra: Központi és egyedi fűtési rendszerek aránya társasházakban	53
8.10. ábra: Költségosztási módok megoszlása társasházakban	53
8.11. ábra: Gépi hűtéssel ellátott épületek aránya	54
8.12. ábra: Szellőztetési módok megoszlása	55
8.13. ábra: Tűzifa / pellet tároló elhelyezésének lehetősége	56
8.14. ábra: Teljes bruttó tetőfelület és annak napenergia hasznosítás szempontjából potenciálisan hasznosítható hányada	56
8.15. ábra: Tető dőlésszöge	57
8.16. ábra: Magastető típusa	57
8.17. ábra: Talajkollektor telepítésének lehetőségei (igen: talajkollektor telepíthető)	58
8.18. ábra: Talajszondák telepítésének lehetőségei (igen: talajszondák telepíthetők)	58
8.19. ábra: Távhőre kapcsolódás lehetőségei (nagy társasházak esetén, panelházak kivételével; igen: a távhőre kapcsolódás könnyen kivitelezhető)	59
8.20. ábra: Termásvíz alapú távhő vagy hulladékhő hasznosításának lehetőségei (nagy társasházak esetén; igen: a hasznosítás lehetősége fennáll)	59
8.21. ábra: A felmért épületek összesített energetikai jellemzőjének sűrűségfüggvénye	60
8.22. ábra: Az összesített energetikai jellemző sűrűségfüggvénye Weibull eloszlást követ (a hisztogram a teljes mintára vonatkozik)	60
8.23. ábra: A felmért épületek fajlagos hőveszteség tényezői típusonként (box-plot)	63
8.24. ábra: A felmért épületek összesített energetikai jellemzői típusonként (box-plot)	63

8.25. ábra: A felmért épületek széndioxid kibocsátása típusonként	64
8.26. ábra: Fajlagos energiahordozó felhasználások épülettípusonként	65
8.27. ábra: A felmért és a 2016-2020. időszakban tanúsított épületek energiahatékonysági kategóriák szerinti megoszlása	67
8.28. ábra: A felmért épületek módosított skála szerinti megoszlása	69
9.1. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: fajlagos hőveszteség tényező	71
9.2. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: fajlagos nettó fűtési hőigény	71
9.3. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: összesített energetikai jellemző	72
9.4. ábra: A 2029 épület felméréséből meghatározott átlagértékek összevetése a modellezett épületek eredményeivel: széndioxid emisszió	72
9.5. ábra: Az összesített energetikai jellemző alakulása korszerűsítés nélkül (felmérés alapján) és költségoptimalizált követelményszintek megfelelő korszerűsítés esetén	79
9.6. ábra: Nem megújuló primer energia megtakarítások komplex és részleges felújítások esetén (viszonyítási alap: modellezett eredeti állapot)	80
9.7. ábra: Tűzifa eredetű fajlagos hőenergia felhasználás eredeti állapotban és különböző korszerűsítési megoldások esetén	81
9.8. ábra: Az összesített energetikai jellemző értéke eredeti állapotban és különböző tűzifa alapú korszerűsítési megoldások alkalmazásával ($e_{bio}=0,6$ esetén)	82
9.9. ábra: Az összesített energetikai jellemző értéke a különböző tűzifa alapú korszerűsítési megoldások alkalmazásával ($e_{bio}=0,2$ esetén)	82
9.10. ábra: Fajlagos villamos energia felhasználás eredeti állapotban és különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások esetén	83
9.11. ábra: Az összesített energetikai jellemző változása különböző villamos energia alapú hőellátási megoldások, valamint a költségoptimalizált szint szerinti korszerűsítés esetén (viszonyítási alap: felmért eredeti állapot)	84
9.12. ábra: Az árnyékolók alkalmazása és a felújítottság hatása a gépi hűtés villamos energiaigényére	84
9.13. ábra: Napkollektoros hőtermelés maximális és optimális darabszám esetén hasznos fűtött alapterületre vetített fajlagos értéke épülettípusonként	85
9.14. ábra: A szoláris részarány és a rendszerhatásfok alakulása optimális és maximális kollektorszám esetén épülettípusonként	86
9.15. ábra: Napelemes áramtermelés maximális tetőkihasználtság esetén hasznos fűtött alapterületre vetített fajlagos értéke épülettípusonként	86
9.16. ábra: Az épülettípusok primer energiaigénye (eredeti és költségoptimalizált szinten korszerűsített állapotban) összevetése az optimális napkollektoros és napelemes áramtermeléssel kiváltható primer energiával	88
9.17. ábra: Tetőre telepített napenergia hasznosító rendszerekkel elérhető megújuló részarány költségoptimalizált szinten korszerűsített állapot esetén épülettípusonként	88
9.18. ábra: A HMV energiaigény havonkénti megoszlása az éves átlagfogyasztáshoz képest 167 hazai háztartásra végzett nagyfelbontású mérés alapján [162]	89
9.19. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül	90

9.20. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok eredeti állapotban, direkt elektromos hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását	91
9.21. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolókkal (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását	91
9.22. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával különböző korszerűsítések esetén átlagos lakóegység esetén	92
9.23. ábra: Különböző megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő felújításhoz képest épülettípusonként	93
9.24. ábra: Különböző megújuló energiát hasznosító rendszerekkel elérhető nem megújuló primerenergia megtakarítás a költségoptimalizált követelményszintnek megfelelő felújításhoz képest (típusokra kapott eredmények átlaga), $e_{bio}=0,6$	94
10.1. ábra: Részesezés az országos primerenergia felhasználásból, eredeti állapot (felmérés)	98
10.2. ábra: Hőfokhíddal korrigált, energiamérlegből levezetett primerenergia felhasználás a lakóépület szektorra 2015-18-as átlagos hőfokhadra korrigálva ([70] és budapesti hőmérséklet adatok [163] alapján)	99
10.3. ábra: A magyar épületmátrix lakásainak effektív adaptációs görbéje 2015-18-as időszak átlagos hőfokhíd értékére korrigálva	102
10.4. ábra : Energetikai célú biomassza termelés és felhasználási statisztikák ([168] alapján)	107
14.1. ábra: HMV hőtermelő állapota	130
14.2. ábra: Központi és egyedi HMV rendszerek aránya társasházakban	130
14.3. ábra: Napenergia hasznosítással elérhető primerenergia kiváltás épülettípusonként	140
14.4. ábra: Napenergia hasznosítással elérhető CO ₂ megtakarítás épülettípusonként	140
14.5. ábra: A fajlagos hőveszteség tényező és a felület-térfogat arány alakulása épülettípusonként, költségoptimalizált követelményszintre történő korszerűsítés esetén	144
14.6. ábra: A fajlagos széndioxid emisszió alakulása korszerűsítés nélkül (felmérés alapján) és költségoptimalizált követelményszintek megfelelő korszerűsítés esetén	144
14.7. ábra: Fajlagos tűzifa felhasználás eredeti állapotban és különböző korszerűsítési megoldások esetén	145
14.8. ábra: Az árnyékolók alkalmazása és a felújítottság hatása a fajlagos nettó hűtési hőigényre	145
14.9. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, eredeti szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül	146
14.10. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, eredeti szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül	146
14.11. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, felújított szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül	147

- 14.12. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 1. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolókkal 147
- 14.13. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, eredeti szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül 148
- 14.14. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, eredeti szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül 148
- 14.15. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, direkt elektromos hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül 149
- 14.16. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolók nélkül 149
- 14.17. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával havi bontásban: 22. épülettípus, felújított szerkezet, levegő hőszivattyús hőellátással, gépi hűtéssel, árnyékolókkal 150
- 14.18. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, direkt elektromos hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását 150
- 14.19. ábra: Fajlagos primerenergia igény összevetése a napelemek által maximálisan kiváltható primer energiával: épületburok költségoptimalizált követelmények szerint korszerűsítve, levegős hőszivattyús hőellátással (sötétkék), opcionális gépi hűtéssel árnyékolók nélkül (narancs) figyelembe véve a világítás és és elektromos készülékek (világoskék) fogyasztását 151

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ÉMI: ÉMI Nonprofit Kft.

HMV rendszer: használati melegvízellátó rendszer

KSH: Központi Statisztikai Hivatal

MEHI: Magyar Energiahatékonysági Intézet Közhasznú Nonprofit Kft.

MEKH: Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal

MMK: Magyar Mérnöki Kamara

REKK: Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont

TNM rendelet: tárcánélküli miniszteri rendelet

VÁTI: VÁTI Városépítési Kft.

JELÖLÉSJEGYZÉK

A_{koll}	kollektorfelület [m ²]
$A_{koll,opt}$	optimális kollektorfelület [m ²]
f_i	szoláris részarány [-]
f_{CO_2}	CO ₂ emisszió konverziós faktor [g/év]
E_f	fűtés fajlagos nem megújuló primer energia igénye [kWh/m ² év]
$E_{háztartási}$	a háztartási gépek fajlagos nem megújuló primer energia igénye [kWh/m ² év]
E_{HMV}	HMV fajlagos nem megújuló primer energia igénye [kWh/m ² év]
$E_{hű}$	a gépi hűtés fajlagos nem megújuló primer energia igénye [kWh/m ² év]
E_P	összesített energetikai jellemző a tézisekben: eredeti állapotra jellemző összesített energetikai jellemző [kWh/m ² év]
ΔE_P	$E_P - E_{P,eredeti}$: valamely intézkedés által elért változás az összesített energetikai jellemzőre nézve az eredeti állapothoz képest [kWh/m ² év]
$E_{P,KNE}$	a közel nulla energiaigényű épület összesített energetikai jellemzőjének követelményértéke, energiatanúsítás esetén a kategóriába sorolás referencia értéke
$E_{P,eredeti+direkt}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha direkt villamos hőellátásra való átállás történik szerkezeti felújítás nélkül [kWh/m ² év]
$E_{P,eredeti+direkt+napelem}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha direkt villamos hőellátásra való átállás történik szerkezeti felújítás nélkül, valamint napelemek kerülnek telepítésre [kWh/m ² év]
$E_{P,eredeti+hősziv}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha levegő-víz rendszerű hőszivattyús hőellátásra való átállás történik szerkezeti felújítás nélkül [kWh/m ² év]
$E_{P,eredeti+hősziv+napelem}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha levegő-víz rendszerű hőszivattyús hőellátásra való átállás történik szerkezeti felújítás nélkül, valamint napelemek kerülnek telepítésre [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+árny+direkt}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha direkt villamos hőellátásra való átállás, referencia szerkezeti felújítás történik külső árnyékolókkal [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+árny+direkt+napelem}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha direkt villamos hőellátásra való átállás, referencia szerkezeti felújítás történik külső árnyékolókkal, valamint napelemek kerülnek telepítésre [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+árny+hősziv}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha levegő-víz rendszerű hőszivattyús hőellátásra való átállás, valamint referencia szerkezeti felújítás történik külső árnyékolókkal [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+árny+hősziv+napelem}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha levegő-víz rendszerű hőszivattyús hőellátásra való átállás, valamint referencia szerkezeti

	felújítás történik külső árnyékolókkal, valamint napelemek kerülnek telepítésre [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+direkt}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha direkt villamos hőellátásra való átállás, valamint referencia szerkezeti felújítás történik [kWh/m ² év]
$E_{P,ref+hősziv}$	összesített energetikai jellemző értéke, ha levegő-víz rendszerű hőszivattyús hőellátásra való átállás, valamint referencia szerkezeti felújítás történik [kWh/m ² év]
$E_{X,eredeti}$	eredeti állapotra jellemző valamely energetikai jellemző
$E_{X,ref}$	referencia korszerűsítéssel elért valamely energetikai jellemző
FR	kollektorból elszállítható hő aránya [-]
FR'/FR	kollektor átfolyási száma [-]
I_{MPP0}	névleges áramerősség [A]
$k_1; k_2$	napkollektor hőmérsékletfüggését kifejező tényezők [W/(m ² K)]; [W/(m ² K ²)]
$K_{dir}(50^\circ)$	napkollektorra érkező sugárzás beesési szögének korrekciója [-]
n_{PV}	napelem darabszám [-]
$P_{névleges}$	napelem névleges teljesítménye [Wp]
q	fajlagos hővesztésgtényező [W/m ³ K]
q_F	fajlagos nettó fűtési energiaigény [kWh/m ² év]
$q_{HMV,i}$	épület i-ik havi fajlagos HMV hőfelhasználása [kWh/m ² hó]
$Q_{HMV,i}$	épület i-ik havi HMV hőfelhasználása [kWh/hó]
$Q_{HMV,fajl}$	HMV ellátó rendszer végső hőenergia igénye
$Q_{koll,i}$	kollektorok által a hónapban megtermelt energia [kWh/hó]
$Q_{igény,i}$	havi HMV rendszer hőigény [kWh/hó]
$Q_{el,i}$	napelemes rendszer által termelt havi villamos energia [kWh/hó]
Q_s	panel felületre a hónapban érkező sugárzás mennyisége [kWh/hó]
$Q_{s,i}$	az abszorber felületére, a hónapban érkező sugárzás mennyisége [kWh/hó]
R	rebound hatás [%]
$t_{e,i}$	havi átlagos külső hőmérséklet [°C]
t_{HMV}	melegvíz hőmérséklete [°C]
t_{ref}	referencia hőmérséklet [°C]
$t_{víz}$	hidegvíz hőmérséklete [°C]
U_{MPP0}	névleges feszültség [V]
X_{c1}/X	hőmérsékleti korrekció értéke [-]
X_{c2}/X	tároló méret korrekciós értéke [-]
Y	valószínűségi változó [-]
α, β	rövidzárási és üresjárási hőmérséklettényező [%/K]
η_0	napkollektor optikai hatásfoka [-]
η_{INV}	inverter hatásfoka [%]
τ_m	hónap hossza [óra/hó]