Javaslatok köz- és lakóépületek energia felhasználásának és felújításának elemzéséhez[1]

Dr. Zsebik Albin
okl. gépészmérnök, zsebik@jomuti.hu

A köz- és lakóépületek korszerűsítése fontos szerepet kap az Új Nemzeti Energiastratégiában és a kapcsolódó dokumentumokban meghatározott célkitűzések elérésében. A célkitűzések eléréséhez meghatározott intézkedések pontosításához, a korszerűsítések tervezéséhez és megvalósításához nélkülözhetetlen az épületek energiafelhasználás-bázisértékének, illetve alapállapotának meghatározása országos szinten, majd épületenként.

Az ezzel foglalkozó szakmai műhelyekben erre különböző módszereket alkalmaznak. Konferencia előadásomat cikk formában figyelemfelhívásként foglalom össze. Ajánlom azok számára, akik munkájukhoz keresik a korábban szerzett tapasztalatokat, hogy általuk időt és pénzt takarítsanak meg maguknak, illetve megbízóiknak.

Az alábbiakban korábbi elemzéseim és tapasztalataim alapján ismertetem javaslataimat

- **a matematikai modellezés és tényleges energiafelhasználás alapján a bázisértékek meghatározásának módjára,**
- **a nagyszámú épületek esetében a reprezentatív módszer alkalmazására, (terjedelmi korlátok miatt csak hivatkozás formájában)**
- **a döntéshozók számára a különböző energiahatékonyság növelő intézkedések által elérhető megtakarítások szemléltetésének módjára.**

*

The modernisation of public and residential buildings will play an important role in achieving the objectives set out in the New National Energy Strategy and related documents. In order to specify the measures necessary for the achievement of the objectives, to plan and implement the modernisations, it is essential to determine the base value of the energy consumption of the buildings, respectively to define their baselines at the national level and then per building.

Various methods are used in professional workshops. I summarize my conference presentation in the form of an article. I recommend it to those who are looking for previous experience for their work, in order to save time and money for themselves and their clients.

Based on my previous analyses and experiences I summarized in this paper my recommendations

- **how to determine baselines based on mathematical modeling and actual energy consumption,**
- **for the application of the representative method in case of a large number of buildings (due to space constraints only in the form of a reference),**
- **how to demonstrate to decision makers the savings that can be made by different energy efficiency measures.**

* * *

[1] A cikk a szerző KLENEN'20 konferencián tartott előadása alapján készült..

Fűtési rendszerek korszerűsítése − PHARE projekt Egerben

Egy emberöltő eltelt azóta, hogy Magyarországon állami és EU támogatással elkezdték az épületek és fűtési rendszereink felújítását. A BME Rendszer- és Irányítástechnika Tanszéke 1995-ben kapott megbízást, hogy értékelje öt, ún. PHARE program [2] támogatással megvalósított projekt eredményét. A projektek Egerben, Nyíregyházán és Budapesten a fűtési rendszerek, Miskolcon a kazánházi hőtermelés, Szegeden a termálvíz hasznosítás korszerűsítésére irányultak. Az értékelésen különböző szakterületen tapasztalatot szerzett szakértőkkel dolgoztunk, eredményeinket rész- és zárójelentésekben [1] foglaltuk össze, szakmai konferenciákon ismertettük.

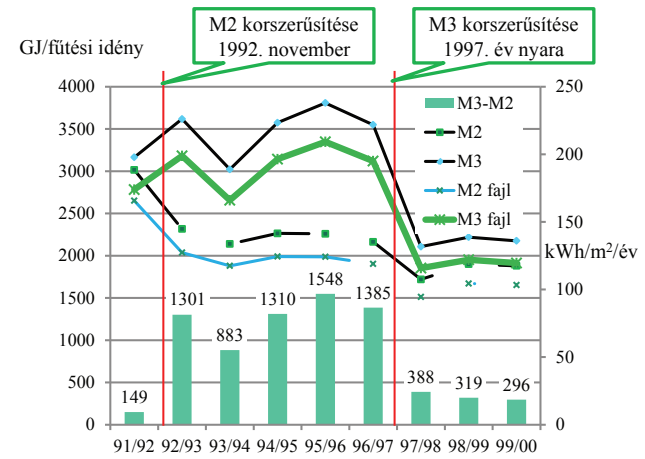
Most [2]-ből idézve az egri projekt példáján keresztül szeretném felhívni a hasonló feladatokon dolgozók és a döntéshozók figyelmét arra, hogy az energiamegtakarítás igazolására a referencia módszer alkalmazásánál is körültekintően kell eljárni. Sokszor még az alakilag hasonló, épületgépészetileg megegyező épületek esetében is eltérő lehet az energiafelhasználás. Emiatt **az épületek hőtechnikai elemzésére készített matematikai modellek felvett értékeit a tényleges energiafelhasználási adatok figyelembevételével kell meghatározni.**

A projekt előkészítése során az eredmény értékelésére a referencia módszert választották. Kiválasztottak két hasonló épületet, mindkettő hőfogadójába hőmennyiségmérőket telepítettek (egyet a teljes hőfelhasználás mérésére, egyet a használati melegvíz (HMV) készítésre felhasznált hő mérésére). Az egyik épületben, (M2) korszerűsítették a fűtési rendszert, a referenciának szánt másikban, (M3) nem. A korszerűsítés keretében a hőleadókra termosztatikus szelepet és költségosztót szereltek, a HMV mérésére mennyiségmérőt telepítettek, a strangokat szabályozókkal látták el, a keringető szivattyúkat fordulatszám szabályozásúra cserélték.

Az 1. ábra a korszerűsített és a referencia épület fűtési energiafelhasználását, a kettő különbségét, valamint az épületek fűtési fajlagosának változását mutatja. A megvalósítást követően közzé tett eredmények a két épület energiafelhasználása között hihetetlenül nagy különbséget mutattak. A nagy eltérés okának megfejtése az elemzést is érdekessé tette. A feltételezésünk − miszerint a referencia épület hőfelhasználása a korszerűsítés előtt is jelentős mértékben nagyobb volt a korszerűsített épületénél −, csak az M3 épület hasonló korszerűsítését követően igazolódott.

Az azóta szerzett tapasztalatok a korrigálást követően kapott közel 30% hőfelhasználás csökkentést nem erősítették meg, azonban a fentebb hivatkozott [2] alábbi összefoglalója még mindig aktuális. „… ismételten megállapítható, hogy a különböző módszerekkel, különböző feltételezésekkel végzett energia megtakarítási értékelések eltérő eredményekhez vezetnek. A közel 10 év

[2] Az Európai Közösségek Tanácsa (Council of European Communities) 1989 decemberében döntött 300 millió ECU gazdasági segítség folyósításáról Magyarországnak és Lengyelországnak 1990. dec. 31-ig. Ez jelentette a PHARE-program létrejöttét. – további info: http://www.kislexikon.hu/phare-program.html



1. ábra. **A külső átlaghőmérséklet alapján korrigált hőfelhasználás, ennek fajlagos és a referencia épületéhez viszonyított csökkenése**

hőfelhasználása, a korábbi elemzések és a dolgozatban eddig nem említett thermoviziós felvételek is bizonyítják, hogy **a referencia módszer alkalmazása sokszor még az alakilag hasonló épületek esetében sem megbízható.** Rosszul megválasztott referencia esetében előfordulhat, hogy a korszerűsített ház szigetelésének termikus jellemzői sokkal jobbak, mint a változatlan épületé. Ekkor a megtakarítások egy része inkább a jobb szigetelésnek és nem a korszerűsítések eredményének köszönhető.

Az értékelés során tanulmányozni kell a megtakarítások eredetét. Annak idején jelentős mértékű megtakarítást eredményezett a HMV mérőórák beépítése.

A fűtési rendszerek korszerűsítésével elérhető megtakarítás minél pontosabb meghatározása a projektek előkészítése és utólagos értékelésekor egyaránt fontos. Megállapítható azonban, hogy legyen a megtakarítás a számított legkisebb, vagy legnagyobb mértékű − 24% vagy 37% −, **meg kell találni a módját, hogy a korszerűsítésre mielőbb sor kerüljön. Ezt mind a tüzelőanyaggal való gazdálkodás, mind a környezetvédelem szempontjából kötelességnek kell tekinteni."**

Épületek felújítása – a SOLANOVA projekt

Annak idején (1995-ben) a Stuttgarti egyetem hallgatójaként a BME Rendszer és Irányítástechnika Tanszékén vezetésemmel készítette diplomatervét egy jó képességű német diák, Andreas Hermelink. A diplomaterve elkészítését követően a KLENEN (Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság) elődjeként 2001-ben Sopronban „Energiahatékonyság, energiapiac és környezetvédelem az új évezred kezdetén" címmel, szervezett konferencián találkoztunk újra. Megállapodtunk abban, hogy kezdeményezünk egy EU által támogatott épület felújítási projektet, amely keretében az európai jó és rossz tapasztalatok figyelembevételével mintaként Magyarországon felújítunk egy épületet, korszerűsítjük fűtési rendszerét, a használati melegvíz készítéséhez napenergiát hasznosítunk. Ez volt a 2003. január végén indított SOLANOVA projekt előzménye.

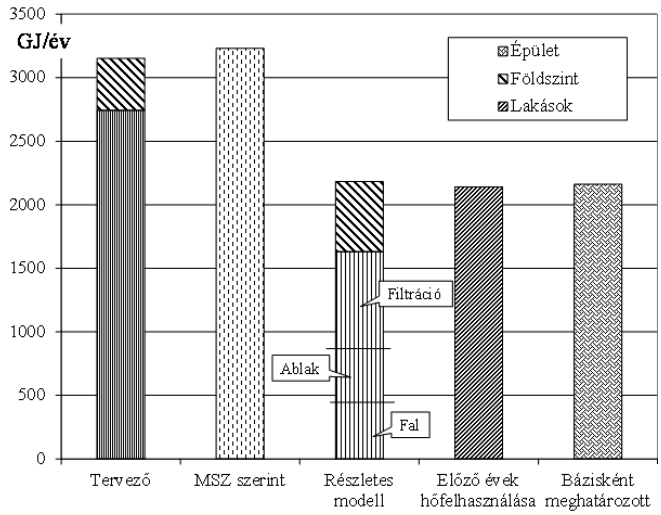
Az alábbiakban a projekthez kapcsolódva a nemzetközi kapcsolatok, rajta keresztül az EU pályázatok adta lehetőségek minél nagyobb mértékű hasznosítása, az energiafelhasználás csökkenésének számításához a bázisérték meghatározásának fontosságára, s az energiahatékonysági törekvések során az ún. visszahatás jelenségre (rebound effect) hívom fel a figyelmet.

A projekt keretében Dunaújvárosban újítottunk fel egy hét emeletes, két lépcsőházas, 42 lakásos, ~2740 m^2 fűtött alapterületű, a földszintjén különböző, nem lakás céljára szolgáló helyiségekkel rendelkező épületet. A projekt keretében végzett elemzésekről szakmai konferenciákon folyamatosan beszámoltunk, az eredményeket a 2005-ben Visegrádon szervezett, KLENEN konferencián önálló szekció keretében ismertettük, a konferencia önálló kiadványában [3] közzé tettük. A projektről [4] bevezetőjében a következőket írtam: „Jelen cikkben a projekt megvalósítási és négy éves üzemviteli tapasztalatai alapján vonunk le következtetéseket és teszünk javaslatokat. Tesszük ezt annak érdekében, hogy tanuljunk a múlt, s ha lehet mások hibájából, s felhívjuk a gazdaságpolitikánk irányítóinak figyelmét, hogy az épületek korszerűsítésével jelentős mértékben lehet csökkenteni az energiafelhasználást, ezzel párhuzamosan a környezet szennyezését, az import-energiafüggőséget. **Ésszerű és körültekintő gazdaságpolitikával a korszerűsítéshez jelentős mennyiségű hazai terméket lehetne felhasználni, s ezen termékek előállításához és a korszerűsítési munkákhoz sok embert lehetne foglalkoztatni."**

Ezt a lehetőséget eddig nem használtuk ki kellő mértékben.

A bázisérték meghatározása

A 2. ábra első oszlopa az épületnek a tervező által meghatározott hőszükséglet és a sokéves meteorológiai statisztikai adatok alapján számolt várható fűtési energiafelhasználását mutatja. A hatályos szabvány által meghatározott érték (második oszlop) szinte ezzel megegyező. Ugyanakkor, amint az az ábrán látható, az első két oszlop jelentős mértékben eltért +4°C átlagos külső hőmérsékletre korrigált néhány megelőző év tényleges hőfelhasználás átlagos értéktől (negyedik oszlop). Ezért készítettünk a várható hőfelhasználás meghatározására egy részletesebb matematikai modellt, amelynek a hőtechnikai tulajdonságait jellemző paramétereit a tényleges felhasználás ismeretében határoztuk meg. Ennek eredményét a harmadik oszlop mutatja. A fentiekre tekintettel a megtakarítás mértékének számításához a várható fűtési hőfelhasználás bázisértékének a modellezésen alapuló részletes hőtechnikai számítás és a korrigált hőfelhasználás középértékét, 2161 GJ/év-et tekintettük (ötödik oszlop). **Az épület fűtött alapterületre vetítve ez ~220 kWh/m^2/év.**

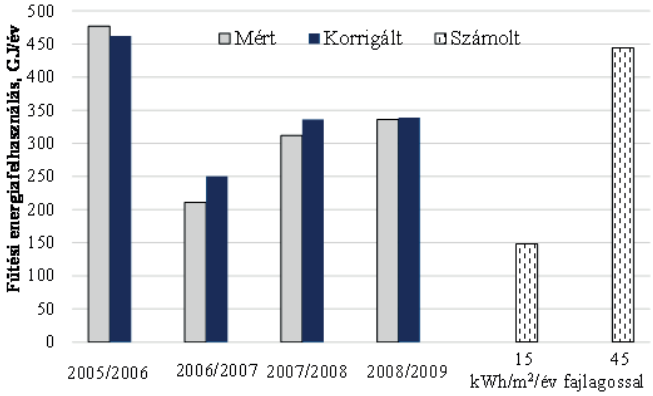


2. ábra. **A különböző módon meghatározott várható fűtési hőfelhasználás**

A példa azt szemlélteti, hogy a részletes modellek esetén is fontos a tényleges hőfelhasználás alapján történő identifikálás.

A hőfelhasználás csökkenése

A felújítást követő években a fűtési hőfelhasználást és korrigált értékének alakulását a 3. ábra szemlélteti. Az ábrán tájékoztatási céllal feltüntettük azt is, mennyi lett volna a hőfelhasználás, ha a fajlagos 15 kWh/m^{2}év, illetve 45 kWh/m^{2}év lett volna. Megállapítható, hogy a hőfelhasználás csökkenése jelentős volt, s a felújított épület az alacsony energiaigényű épület csoportba került, jó példaként szolgál a korszerűsítésre.



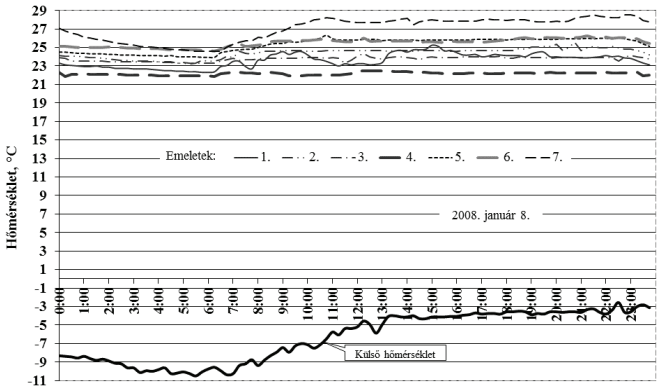
3. ábra. **A fűtési hőfelhasználás változása a felújítást követő években**

Az energiahatékonyság növelő intézkedés visszahatása (a „rebound" effektus)

Az angol nyelvű szakirodalom **„rebound effect"**-nek, (vagy **„take-back effect"**-nek), nevezi az energiamegtakarítás érdekében hozott intézkedések várható eredményének meghatározásához is kapcsolódó jelenséget. (A magyar nyelvű szakirodalomban e jelenséget rebound effektusnak, visszapattanásnak nevezik. Az EU dokumentumok magyar nyelvű változataiban bumeránghatásnak fordították[3]. Én jelen fejezetben megtartottam a [2]-ben alkalmazott „visszahatás" kifejezést.) A jelenségre [6] a következők szerint hivatkozik: „… bizonyos esetek azt bizonyítják, hogy egy technológia hatékonyságának növelése eredményeként létrejövő költségmegtakarítások arra ösztönözhetik az embereket, hogy még többet fogyasszanak. A szakpolitikák kialakításakor és a célkitűzések meghatározásakor tehát számolni kell ezzel a „bumeránghatás" néven is ismert jelenséggel."

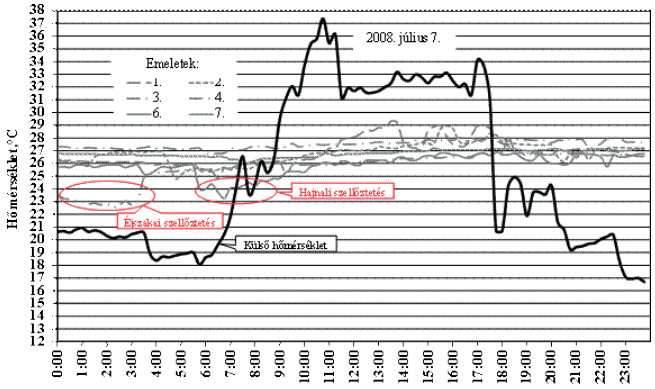
A SOLANOVA projekt keretében tapasztalt visszahatást két ábrával szemléltetem. A 4. ábra egy kiválasztott téli napon mutatja a külső, és emeletenként véletlenszerűen kiválasztott lakásokban a belső hőmérséklet változását. Megállapítható, hogy a lakók nem használták ki a felújított rendszer adta helyi szabályozás lehetőségét. Hiába hangsúlyoztuk, hogy a lakóhelyiségek belső hőmérsékletére javasolt 20 °C hőmérséklethez képest 1°C eltérés ~6% energiamegtakarítást, illetve többlet felhasználást jelent, a korábban megszokott hőmérsékletet tartották. El kellett fogadnunk, hogy a hőmérséklet csökkentéssel a felújított épületben elérhető megtakarítás olyan csekély, hogy a lakókat nem ösztönzi szokásaik megváltoztatására. Ez az energiahatékonyság növelő intézkedés visszahatásának („rebound" effektus) tipikus jelensége.

[3] https://www.linguee.hu/angol-magyar/ford%C3%ADt%C3%A1s/rebound+effect.html



4. ábra. **A hőmérséklet változása a lakásokban a fűtési idényben**

Az 5. ábra egy kiválasztott nyári napon mutatja a külső, és emeletenként véletlenszerűen kiválasztott lakásokban a belső hőmérséklet változását. A felújítás keretében nem terveztük a nyári gépi hűtés alkalmazását. Arra kértük a lakókat, hogy éjszakánként nyitott ablakokkal szellőztessék át a lakásokat, s napközben a gépi szellőzéssel csak a friss levegő igény kielégítésére törekedjenek. A téli és a nyári belső hőmérsékletet összehasonlítva nincs jelentős eltérés.



5. ábra. **A hőmérséklet változása a lakásokban nyáron**

A lakók ennek ellenére magasnak tartották a belső hőmérsékletet, s a nyári hőkomfortot nem tartották elégségesnek. Az 5. ábrából az is megállapítható, hogy a vizsgált napon a kiválasztott lakások közül csak egyben szellőztettek a javasoltak szerint éjszaka, és egyben hajnalban.

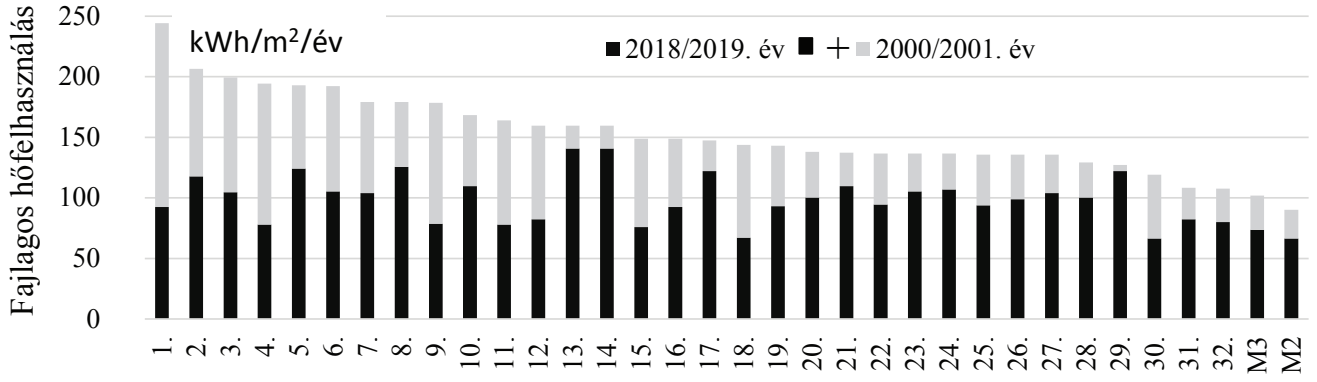
Az elmúlt években sok lakásba ablakklímát szereltek.

Az épületek felújításának eredménye

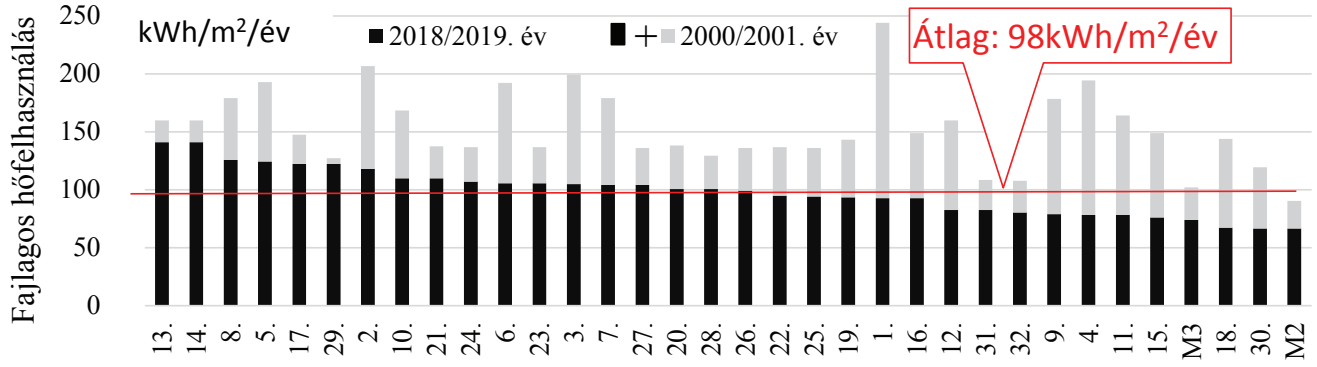
Az épületek felújításának/korszerűsítésének eredményét 34 épület – köztük a fentebb hivatkozott PHARE projekt M2 és M3 épület – adatai alapján elemeztük [7]. Az elemzés tárgyát képező épületeket az alábbi 6-8. ábrákon az oszlopok jelölik. Az oszlopok teljes magassága a felújítás előtti, a fekete színű része a közel húsz év alatt történő felújítás utáni fajlagos fűtési hőfelhasználást, a kettő különbségeként adódó, vízszintes vonalkázással jelölt, (nyomtatott formában szürkének látszó) része a megtakarítást szemlélteti.

A különböző szempontok szerinti csoportosítás többek között **a reprezentatív módszer alapján történő elemzéséhez az épületek kiválasztásában lehet az elemző segítésére.**

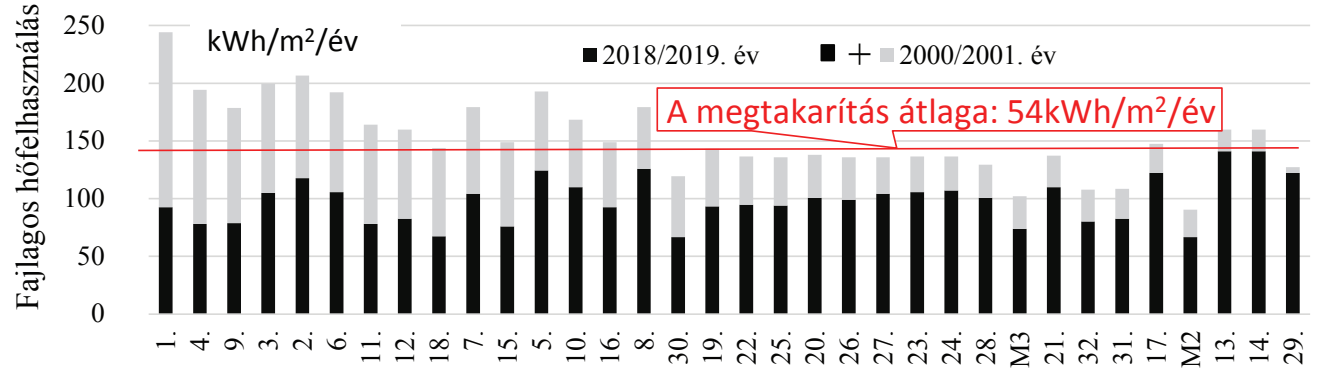
A 7. ábrán az átlagos fajlagos hőfelhasználás a 34 épület 2018/19 évi átlaga. A lakásokra vonatkoztatott értéke ettől eltérő



6. ábra. **A 2000/2001 évi adatok alapján csökkenő sorrendben csoportosítva**



7. ábra. **A 2018/2019 évi adatok alapján csökkenő sorrendben csoportosítva**



8. ábra. **A felújítás általi csökkenés sorrendjében csoportosítva**

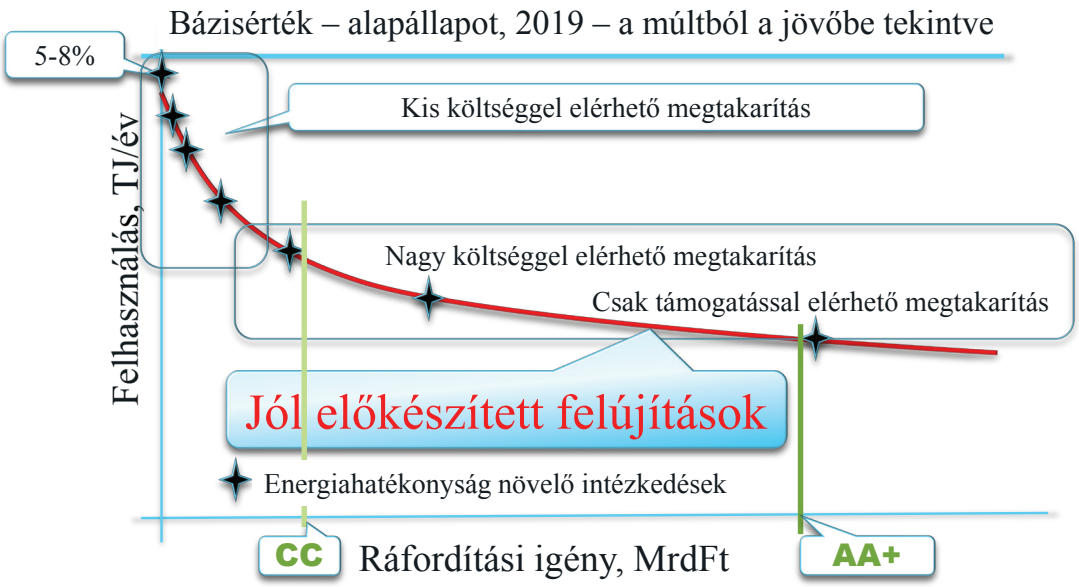
lehet. Hasonló következtetés vonható le a 8. ábrán jelölt, a megtakarításra vonatkoztatott átlagra is.

A lakások fajlagos hőfelhasználásának eloszlása

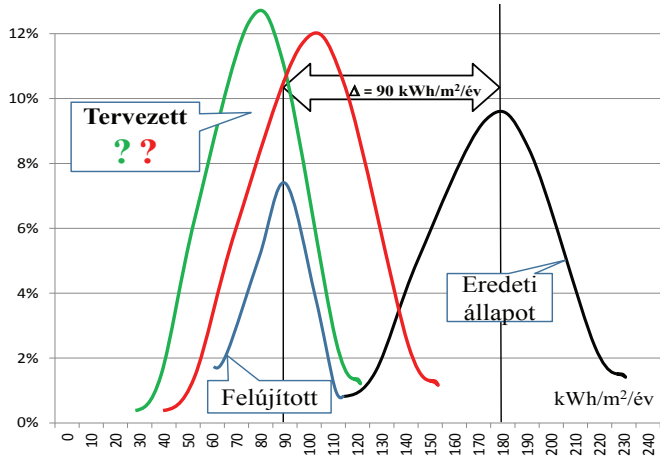
Nagyobb mintavétellel, 2018 és 2019 éves adatok alapján készült a 9. ábra. Az ábra két, normális eloszlásfüggvény mintájára mutatja a még jelenleg is az eredeti állapotban levő és a már felújított/korszerűsített fűtési rendszerekkel rendelkező épületek fajlagos fűtési hőfelhasználását. Az ábrán „Tervezett" jelöléssel további két eloszlásfüggvény alakkal szemléltettük, hogy a még eredeti állapotban levő épületeket hová kellene, vagy lehetne eljuttatni. **A cél kormányzati döntésekkel, a kívánt állapotba jutás sebessége pedig szakpolitikai intézkedésekkel határozható meg.**

A célok és a rangsor

A 10. ábra mintaként szolgál a döntés előkészítők részére. A különböző energiahatékonyság növelő intézkedésekkel elérhető energiafelhasználás csökkenésének kumulált értékeit mutatja a ráfordítási költség függvényében. **Ehhez hasonló ábrákat kellene készíteni a különböző stratégiai döntésekhez a lakóépületek és a közintézmények különböző csoportjaira.** Bázisértéknek, kiinduló, vagy alapállapotnak kellene tekinteni a már rendelkezésre álló 2018/2019. évi energiafelhasználási adatokat, az előző ábrán szemléltetett „két púpra" is tekintettel. Az energiahatékonyság növelő intézkedéseket rangsorolni és csoportosítani, majd az általuk elérhető megtakarítást kumulálni kellene [8]. Az ábrán jelölve rá kellene mutatni, hogy milyen ráfordítással



10. ábra. **A felújítás általi csökkenés sorrendjében csoportosítva**



9. ábra. **A fajlagos fűtési hőfelhasználás eloszlásának és célértékeinek szemléltetése**

lehetne eljuttatni az épületeket az egyes energetikai besorolási kategóriákba.

A rangsorral és a fűtéskorszerűsítéssel elérhető megtakarításokkal kapcsolatosan [9]-ben és [10]-ben részletesebben kifejtettem gondolataimat. Ezt most csupán azzal egészítem ki, hogy **jó lett volna már korábban, jó lenne minél előbb az épületeket a SOLANOVA projekthez hasonlóan, abból tanulva felújítani.** Ha erre most nincs lehetőség, mérlegeljük lehetőségeinket, körültekintően készítsük elő a tennivalókat. A jelenlegi állapot felméréséhez, a lehetséges intézkedések meghatározásához és költségeinek becsléséhez, a döntések előkészítéséhez **használjuk a reprezentatív módszert.**

A reprezentatívnak tekintett épületeket ne csak fizikai hasonlóságuk, hanem **tényleges energiafelhasználásukra, a fogyasztói szokásokra is tekintettel válasszuk ki.**

A korszerűsítés finanszírozásának tervezésénél ne feledkezzünk meg a „visszahatásról”.

Irodalmi hivatkozások

[1] Zsebik A. et al.: DISTRICT HEATING PILOT PROJECTS, MONITORING. Final Report to the Ministry of Industry and Trade, Hungary PHARE Project reference No.: HU 9103-05-03-L00, BME System and Control Engineering Department, Budapest, August 1996.

[2] Zsebik A. – Tarján R. – Zsebe A.: Fűtéskorszerűsítési mintamodell értékelése. A 16. Távhő Konferencia előadása. Siófok-Balatonszéplak, 2000. szeptember 26-28.

[3] Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság Konferencia kiadványa. Visegrád, 2005. június 8-10.

[4] Zsebik A. – Csata Zs.: Negyedére csökkentettük az energiafelhasználást: a SOLANOVA projekt. Energiagazdálkodás 51. évf. 2010. 1. szám 17 – 27. old

[5] Beszámolók és cikkek a Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottsága az „Energiaellátás a 21. században – kihívások és fenntartható megoldások” sorozat keretében az Energiahasznosítás Albizottságának koordinálásával „Az épületek felújításának hatása az energiafelhasználásra és a környezetre” címmel, „Bontsunk vagy felújítsunk?” mottóval 2009. november 25-én rendezett konferenciáról. Energiagazdálkodás 51. évf. 2010. 1.szám 3 – 29. old.

[6] Az EU Bizottság COM(2011) 571 sz. közleménye az EU Parlamentnek, a Tanácsának, a Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának, Brüsszel, 2011.9.20. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:HU:PDF (letöltve 2020.05.16.)

[7] Az EVAT Zrt. - https://www.evatzrt.hu/tavhoszolgaltatas - adatainak feldolgozása.

[8] Bakoss G. - Zsebik A.: A lakossági energiafelhasználás csökkentésének lehetőségei és környezetvédelmi hatásai. Zöld belépő kiadványsorozat. 1997. http://korny.uni-corvinus.hu/zold_belepo/kiadvanyok.html

[9] Zsebik A.: Mit támogassunk? Energiagazdálkodás. 54. évf. 2013. 3. szám, 28. old.

[10] Zsebik A.: A rangsor. Energiagazdálkodás. 54. évf. 2013. 3. szám, 27. old.