



**Bacsa Márk**  
építőmérnök



**Nagy Balázs**  
szerkezet-  
építőmérnök MSc,  
épületenergetikai  
szakmérnök,  
doktorandusz  
BME Építőanyagok és  
Magasépítés Tanszék



**Dr. Csanaky Judit  
Emília**  
építőmérnök PhD,  
mérnök-közgazdász  
adjunktus  
BME Építőanyagok és  
Magasépítés Tanszék

# Költségoptimalizált energia

Cikkünkben egy energiahatékony lakóépület tervezése kapcsán a 105/2012. (V. 30.) kormányrendeletben foglalt költséghatékonysági számítás alapján vizsgálunk épületszerkezeti és épületgépészeti alternatívákat, és elemezzük a költségek alakulását az életciklus időtartamára vetítve. A vizsgálatban részletesen bemutatjuk továbbá egy kondenzációs kazánrendszer és egy bivalens alternatíván kapcsolt „közel nulla” kritériumot kielégítő hőszivattyús rendszer harminc évre számított költségeit és esetleges megtérüléseik alternatíváit.

## Bevezetés

A kutatás keretein belül a célunk az volt, hogy végrehajtsunk egy költséghatékonysági elemzést egy új építésű lakóépület tervezése során. A vizsgálat egy új építésű, energiahatékony családi ház létesítésének költségeit vizsgálja, előírt harmincéves vizsgálati időtartam alatt. A lakóépület épületszerkezeti változtatásai révén több alternatívát vizsgáltunk, melyeket a teherhordó falazóelem változtatásával végeztünk, illetve a gépészeti rendszerre is több alternatív megoldást vettünk figyelembe azok sajátosságaival együtt.

A tervezett ingatlan esetén ezen alternatívák mentén kialakult változatokkal kapcsolatban meghatároztuk azok beruházási, felújítási és fenntartási költségeit a vizsgált időtartam (életciklus) alatt úgy, hogy az egyes árváltozások hatását árprognózisok figyelembevételével becsültük meg. Fontos megemlíteni, hogy minden alternatíva a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet előírásainak megfelelően készült el, és az alternatív esetén minden szerkezeti változathoz készült olyan alternatíva, mely kielégíti a rendeletben foglalt „közel nulla” besorolású épületekre vonatkozó kritériumokat. A vizsgált alternatívák összehasonlításakor meghatároztuk a költségoptimumot (a kutatásban vizsgált alternatívák közül), és vizsgáltuk a „közel nulla” kritériumok kielégítéséhez használt alternatív gépészeti rendszerek paramétereit és költségekre gyakorolt hatásait is.

## A lakóépület felépítése

A kutatás keretében vizsgált épület egy általunk tervezett kétszintes családi ház, melynek bruttó 259,8 m<sup>2</sup>, nettó 207,5 m<sup>2</sup> az alapterülete, melyek a PTH 44T Profi falazóelemmel készült alternatívához tartoznak, és kismértékben természetesen más falazóelemmel rendelkező alternatívák esetén módosultak. A változás oka, hogy nem csupán a külső épületburkot terveztük meg, hanem a belső teherhordó falakat is, melyek esetén a falazóelem vastagsága befolyásolja a nettó alapterületet, míg az épületburok belső felületét mindig állandónak terveztük meg.

A vizsgálat kezdetekor fontosnak véltük azt, hogy a lehetőségekhez mérten többféle, komplex épületszerkezet alkossa az épületet, emiatt a családi ház épületenergetikailag relevánsan hét fő szerkezeti egységre, rétegre bontható:

- Külső falazat
- Lapostető
- Kishajlású tető
- Talajon fekvő padló
- Üvegezett nyílászárók
- Üvegezetlen bejárati ajtó
- Belső teherhordó falak és válaszfalak (a külső háttároló falcsatlakozásoknál kialakuló vonalmenti hőhidak részletes figyelembevétele végett)



1. ábra: A tervezett épület 3D-s modellje

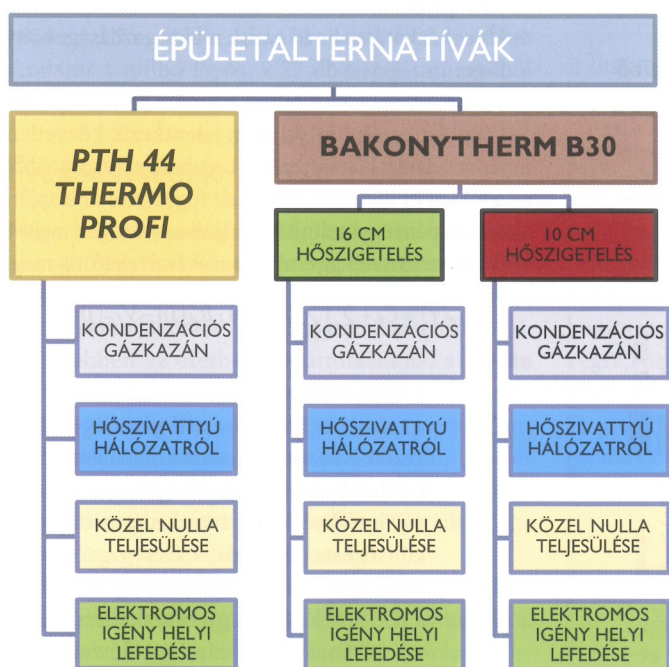


# Kapható lakóépület-tervezés

Az épületszerkezeti alternatívák kialakítása elsősorban a falazóblokk anyagának változtatásával történt. Az első vizsgált alternatívában PTH 44 Thermo Profi falazatot alkalmaztunk, melynek hőátbocsátási tényezője (U)  $0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$  értékre adódott az általunk alkalmazott rétegrendben. A második és harmadik alternatívában pedig Bakonytherm B30-as falazóblokkal kialakított épületeket vizsgáltunk, ezzel pedig két ellentétes tervezési szemléletet szerettünk volna alátámasztani. A B30-as falazóblokk esetén az egyik alternatívánál 16 cm EPS-hőszigetelés került a falazatra, melynek köszönhetően annak hőátbocsátási tényező (U)  $0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$  értéke megegyezik a PTH 44 Thermo Profi falazóelemmel számítottal. A másik alternatíva esetén pedig csupán 10 cm hőszigetelést alkalmaztunk, mellyel  $U = 0,239 \text{ W/m}^2\text{K}$  értéket kaphatunk, amivel megfelelünk a 7/2006. TNM rendelet 5. mellékletében található,  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  értékű költségoptimalizált rétegtervi hőátbocsátási tényező értékének. Fontos megemlíteni, hogy a piacon kapható B30-as falazóblokkok között jelentős differencia lehet azok hővezetési tényezőjében, mivel a falazóblokkok üregképe és a téglához alkalmazott égetett agyag anyagtulajdonságai nem egységesek, hanem gyártónként eltérőek lehetnek.

sik esetben a fűtési rendszer egy bivalens alternatíván kapcsolt  $5,6 \text{ kW}$ -os levegő-víz hőszivattyúból áll, melyet  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig működtetünk, továbbá egy alacsony hőmérsékletű gázkazánból áll, ami a levegő-víz hőszivattyút váltva kapcsolja. A második rendszer esetén további három lehetőséget vizsgáltunk. Első esetben a hőszivattyú teljes elektromosenergia-szükségletét az elektromos hálózatról láttuk el. A második esetben kielégítettük a „közel nulla” kritériumot, azaz az éves energiaszükséglet  $25\%$ -át helyben előállított energiából fedeztük mintegy 10 db napelemmodul alkalmazásával. Harmadik esetben pedig azt vizsgáltuk, hogy a teljes elektromos szükségletet helyben előállított energiával fedezve mekkora eltérések jelentkeznek a többi esethez képest. Ahhoz, hogy ezen feltételezést vizsgálhassuk, 27 db napelempanelből álló rendszert volt szükséges terveznünk.

A tervezés során kiválasztott  $1,6 \text{ m}^2$  méretű polikristályos szilícium napelemmodulok  $250 \text{ Wp}$  névleges teljesítménnyel rendelkeznek. Az egymáshoz viszonyított pozíció-, tájolás- és dőlésoptimalizálást követően a napelemeket hosszabbik oldalukra fektetve  $20^\circ$ -os dőléssel és  $1,25$  méteres sortávolságokkal kerülnek fel a lapostetőre. Egy napelempanel várható éves elektromos energiahozama  $265 \text{ kWh/a}$ .



2. ábra: Épületalternatívák grafija

## Gépészeti rendszerek

Az épületszerkezeti rétegrend-alternatívák mellett a fűtési- és használati melegvíz-ellátási rendszeralternatívákat is készítettünk. Összesen két gépészeti rendszert és négy változatot vizsgáltunk, melyek során ismét a tervezési elvek és szemléletek két végletét szerettük volna összehasonlítani. Első esetben egy  $10 \text{ kW}$ -os kondenzációs gázkazán-rendszerrel számoltunk, mely  $55/45 \text{ }^\circ\text{C}$  hőfoklépcsővel rendelkezik. Ez a rendszer a 7/2006. (V. 24.) TNM rendeletben javasolt átlagos fűtési rendszernek felel meg. A má-

## Épületenergetikai számítások

Az épületenergetikai számítások a 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet részletes módszerei alapján, Auricon EnergetiC szoftverrel történtek.

A rétegrendi hőátbocsátási tényezők az 1. táblázatban találhatóak:

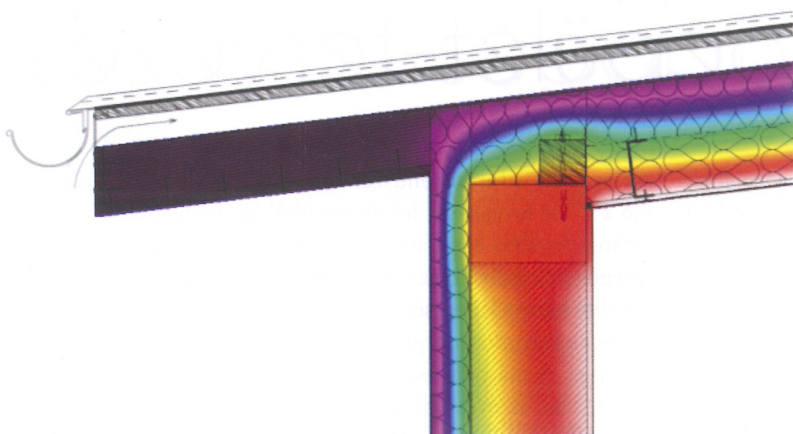
		Hőátbocsátási tényezők	
		Követelmény $\text{W/m}^2\text{K}$	Számított érték $\text{W/m}^2\text{K}$
U <sub>rei</sub>	PTH 44 Thermo Profi		<b>0,175</b>
	B30 + 16 cm hőszigetelés	0,24	<b>0,175</b>
	B30 + 10 cm hőszigetelés		<b>0,239</b>
	Kishajlású tető	0,17	<b>0,142</b>
	Lapostető	0,17	<b>0,167</b>
	Talajon fekvő szerkezet	0,3	<b>0,243</b>
	Üvegezett nyílászárók	1,15	<b>1,06-1,15</b>
	Bejárati ajtó	1,45	<b>1,10</b>

1. táblázat: Hőátbocsátási tényezők

A hőátbocsátási tényezők meghatározása után a részletes számításokhoz elengedhetetlen vonalmenti hőátbocsátási tényezőket 21 jellemző csomóponti helyen végelesemes hőtechnikai szimuláció segítségével határoztuk meg Therm 7.3 szoftver alkalmazásával, minden szerkezeti kialakítás esetén (3. ábra).

A talajjal érintkező padlószerkezet esetén háromféleképpen is vizsgáltuk a hőveszteségeket. Első eset a 7/2006. TNM rendelet egyszerűsített, táblázatos számítása alapján, második esetben 2D-s VEM szimulációval, míg harmadik esetben a TNM rendelet 2. mellékletének II. bekezdés 5. pontjában leírt MSZ EN ISO 13370:2008-as szabvány előírásai szerint számoltunk. A kapott eredmények azt mutatták, hogy az egyszerűsített számítás és a stationer 2D-s szimuláció  $36,4\text{--}38,7 \text{ W/K}$  értéket adott, amely mintegy másfélszer

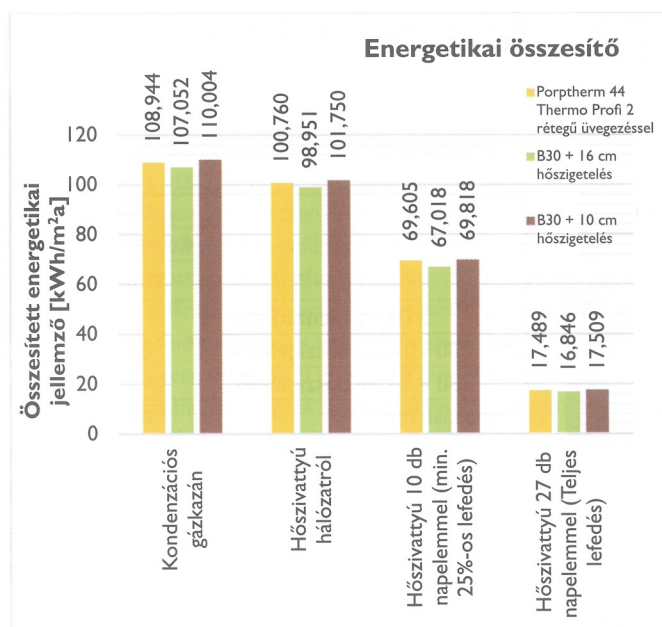




3. ábra: Példa a vonalmenti 2D-s hőhídszimulációra

nagyobbra adódott, mint a részletes számítással kapott 23,0–23,2 W/K érték. A részletes számításnál ugyanis az épület padlószerkezetének geometriáját is figyelembe vesszük, noha a számítási eljárás alapja itt is stacioner még. A további vizsgálatoknál a harmonizált EU szabványok számítási eljárásaival készített részletes számítások eredményeit vettük alapul.

Az épület összesített energetikai jellemzője szerkezetenként és gépészeti rendszerenként a következőképpen alakultak (1. diagram).



1. diagram: Épület összesített energetikai jellemzője alternatívánként

Az energetikai vizsgálat során arra a megállapításra jutottunk, hogy a vizsgált épület mind kondenzációs gázkazán, mind pedig hálózatról üzemeltetett hőszivattyú esetén (továbbá mindhárom falszerkezeti változattal) B osztályú besorolást kapott. Az energiaigény 25%-ának megfelelő energiát napelemmel előállítva viszont az épület már A+ besorolásba kerül. A kondenzációs gázkazánal kapott mintegy 4,4 t/a szén-dioxid-kibocsátás a „közel nulla” épületalternatívák esetén 1,1 t/a-re csökkent.

## Vizsgálati módszerek

Az Európai Unió 2010. május 19-én tartott bizottsági ülésén elfogadta a 2010/31/EU európai parlamenti és tanácsi irányelveket, melyek az épületek energiahatékonyságáról szólnak. Az irányelv Magyarországon a 105/2012. (V. 30.) kormányrendeletben került bevezetésre, melynek 8. §-a rögzíti, hogy „a tulajdonos kérésére az adott épület gazdasági élettartama alatti költséghatékonysági számítás is készíthető”. A költséghatékonysági számításat vagy az MSZ EN 15459:2007 szabványban leírt, vagy az azzal egyenértékű Európai Bizottság 244/2012/EU rendeletében foglalt módszerrel kell meghatározni.

Az épület gazdasági élettartamára vetített költség-optimumot, mint leggazdaságosabb alternatívát, egy referenciaépülethez képest keressük a költségoptimalizálás során a vizsgált épületszerkezeti és -gépészeti alternatívák között. A referenciaépület új építésű épületnél egy általunk választott alternatíva. A vizsgálatot két gazdaságilag külön kezelhető szinten végezhetjük el: pénzügyi- és makrogazdasági szinten, melyben négy vizsgálandó kategória szerepelhet, melyek a 244/2012/EU rendelet alapján a következők:

1. Kezdeti beruházási költség
2. Éves fenntartási, csere- és energiaköltségek
3. Ártalmatlanítási költség (abban az esetben, ha szükséges)
4. Üvegházhatást okozó gázok makrogazdasági költségei

Lakóépület esetén, mivel nem jelentkezik közvetlen makrogazdasági költség, ezért a beruházó szempontjából az adókkal és illetékekkel terhelt fogyasztói ár alapján számított pénzügyi számítás elvégzése szükséges, melyet a következő összefüggés alkalmazásával tehetünk meg:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,I}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

ahol:

- $\tau$ : a számítási időszak
- $C_g(\tau)$ : a számítási időszak alatti globális költség kezdő évre vonatkoztatva (jelen értékben)
- $C_I$ : kezdeti beruházási költségek
- $C_{a,I}(j)$ : a (j) intézkedés vagy intézkedéssorozat éves költsége az (i) évben
- $R_d(i)$ : az (i) évre vonatkozó diszkontfaktor
- $V_{f,\tau}(j)$ : a (j) intézkedés vagy intézkedéssorozat maradványértéke a számítási időszak végén a kezdő évre diszkontálva

A 105/2012. (V. 30.) kormányrendelet 7. § szerint új építésű épület esetén harminc évre, míg meglévő épület felújítása esetén legfeljebb húsz évre kell a vizsgálatokat elvégezni. A számítások során minden költséget kezdő évre vetített jelenértékben kell meghatározni. A jelenérték diszkontfaktor segítségével határozható meg, melynek meghatározása a következő lehet:

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1+r/100} \right)^p,$$



ahol:

- $R_d(p)$ : az (p) évre vonatkozó diszkontfaktor
- $p$ : vizsgált kezdődőponttól eltelt év
- $r$ : a diszkontráta a (p) évben

A kezdő évre redukált költségek alkotta globális költség mutatja meg a vizsgált időtartam alatti teljes költséget a kezdő év pénzvviszonyai között.

## Költségek meghatározása

### Kezdeti beruházási költségek

Az épület fő szerkezeti és gépészeti elemeinek mennyiségi meghatározása után tételes költségvetéseket készítettünk. Minden tétel esetén az anyag-, valamint díjköltségek a jelenlegi piaci viszonyok alapján kerültek meghatározásra, melyek együttesen alkotják a szerkezet beruházási költségét. A belső munkák árát az Építőipari Költségbecslési Segédlet alapján becsültük meg, mivel ezek függenek a beruházói igényektől is.

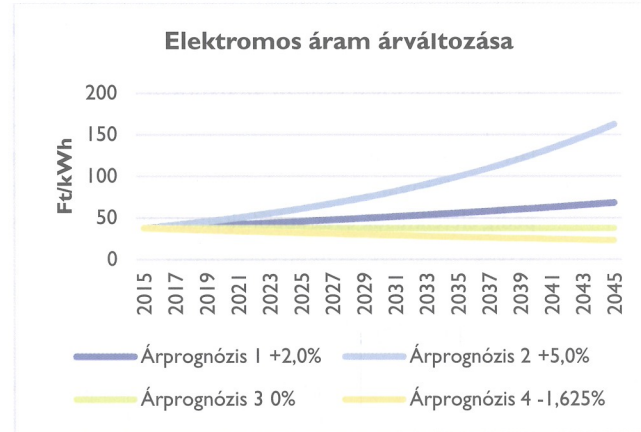
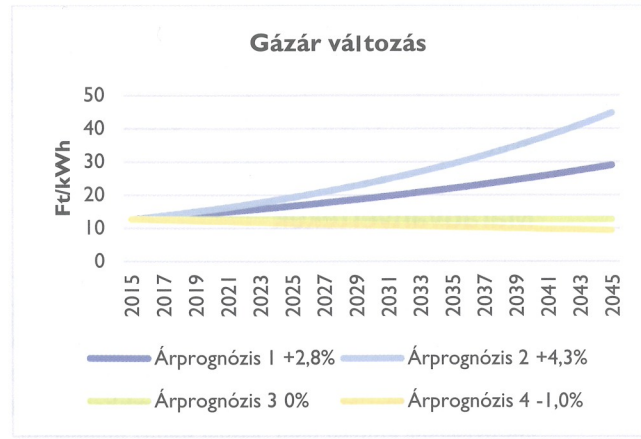
A vizsgált szerkezeti alternatívák beruházási költségei 44T és B30-as 16 cm hőszigetelésű falazat esetén mintegy 51,6 millió Ft, míg 10 cm-rel szerelt B30-as téglafalazat esetén 50,5 millió Ft-ra adódtak. A kondenzációs kazánrendszer 770 ezer Ft, a hőszivattyús rendszer 2,7 millió Ft, míg a 10 db-ból álló napelemes rendszer 1 millió Ft-ba, a 27 db napelemmodulból álló rendszer pedig 2,5 millió Ft-ba kerül.

### Éves költségek

Míg a beruházási költség meghatározása a jelenlegi piaci körülmények között történt, addig az évek folyamán jelentkező felújítási, karbantartási és fenntartási költségeket a jövőbeni árak alapján kell meghatározni. Ezért ebben az esetben a számításoknál a jövőre irányuló becsléseket kell tennünk.

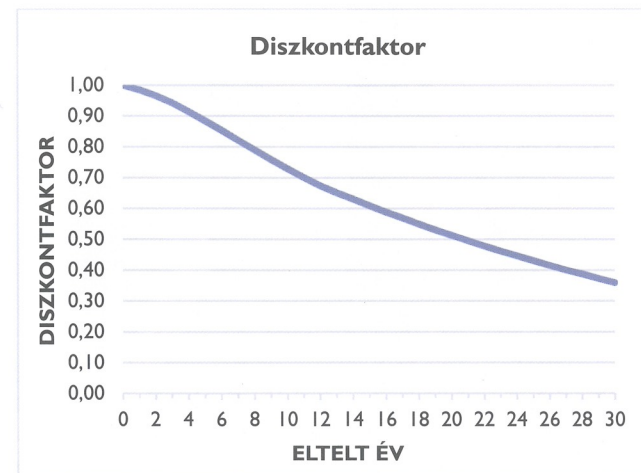
Az épületszerkezeti elemek esetén, tapasztalati úton határoztuk meg a várható élettartamokat és a karbantartási költség értékét, és azt feltételeztük, hogy a szerkezeti elem jelenértékben vett költsége közel megegyezik a jelenlegi árakkal.

Az energiahordozók esetén négy különböző árprognózist vizsgáltunk az árak jövőbeli alakulására. Ennek oka, hogy az előző évekből átváltozások tendenciái és a jelenlegi piaci árakból jelen helyzetben nem becsülhetőek meg megbízhatóan a következő évek energiaárjai. Az árprognózisok során az első esetben 2,8%-os gázár- és 2,0%-os elektromosár-növekedést feltételeztünk. A második esetben drasztikusabb növekedést vettünk figyelembe a jelenlegi energiaárakhoz képest, ahol 4,3%-os a gáz- és 5,0%-os az éves elektromosár-növekedés. A harmadik eset egy idealizált helyzetet mutat, mikor az energiaár nem változik, azaz a változás 0%-os. A negyedik pedig kismértékű csökkenést feltételez, melyet 1,0%-os gáz- és 1,625%-os elektromosár-csökkenés jellemez (2. diagram).



2. diagram: Energiahordozók árprognózisai

Mivel az árprognózisoknál a jelenlegi energiaár a kiindulási alap, ezért az árprognózis a jelenlegi piaci áron mutatja a jövőbeni költséget. Ezen értékeket befolyásolja a jövőbeni piaci helyzet, melyet diszkontáltunk a kezdő évre. A diszkontálást az előbbiekben bemutatott összefüggés alkalmazásával hajtottuk végre, mely során a harmincöt éves hozamgörbét az Adó- és Pénzügyekért Felelős Államtitkárság által közzétett harmincöt éves hozamgörbét használtuk. Az így létrejött diszkontfaktorok (3. diagram) segítségével diszkontáltuk vissza a költségeket.



3. diagram: Diszkontfaktor harminc évre



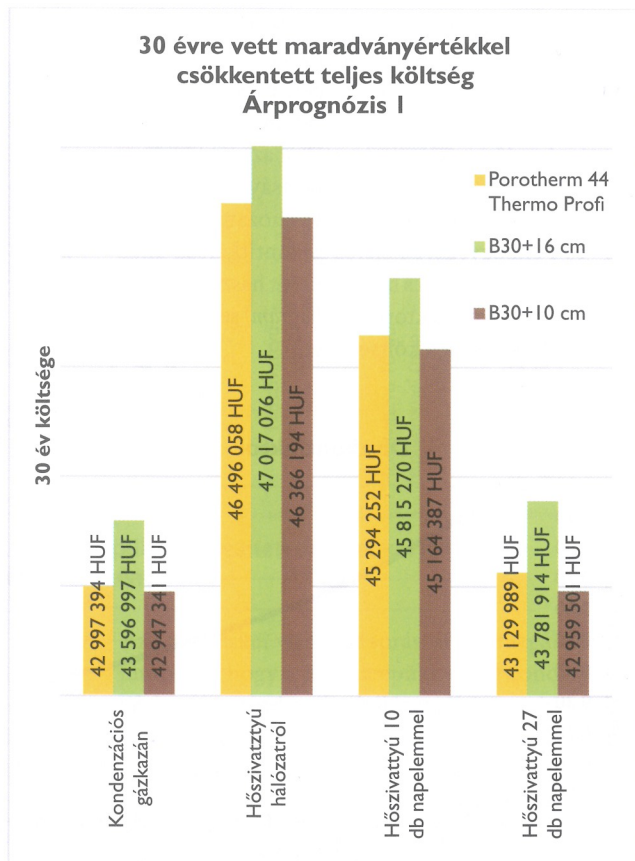
A gépészeti berendezések karbantartási és cseréköltségeit az MSZ EN 15459:2007 szabvány „A” függelékében található életciklus- és éves karbantartási költségek, valamint a beruházási költségekhez viszonyított százalékos értékek alapján határoztuk meg.

## Maradványértékek

A harmincéves vizsgálati ciklus végén az épület maradványérték meghatározásakor több feltételezést fel kellett vennünk. Az egyik, hogy az épület ezen időtartamon kívül még funkcionális marad, azaz ártalmatlanítási költség nem keletkezik, viszont amortizációs költség igen. Mivel nehéz megbecsülni, hogy az elkövetkezendő harminc év során milyen technológiai és gazdasági változás fog történni, ezért az amortizációval csupán általánosan számoltunk: Az épület azon szerkezeti elemeit, melyek a vizsgálati ciklus alatt nem kerültek felújításra, 2%-os éves amortizációval számítottuk. A felújított elemeket pedig életciklusuk és az abból eltelt idő alapján lineáris értékcsökkenésével határoztuk meg.

## Eredmények

A vizsgálatból több hasznos következtetés is levonható. Míg a beruházási költségek közel azonosan alakultak, a fenntartási költségek és azok maradványértékeiben eltérések tapasztalhatóak. Maradványérték nélkül



4. diagram: Harminc évre vett teljes költség 1. árprognózis esetén.

a PTH 44 Thermo Profi falazattal épült alternatívák adták a legnagyobb költségeket, azonban a maradványértékkel csökkentett esetben az összes árprognózis esetén a 44T és a B30 + 10 cm hőszigetelésű falazat azonos költségeket mutatott. A jelenértékre visszaszámolt harmincéves globális költségek 1. árprognózis esetén a 4. diagramon látható módon alakultak.

A kutatás alapján az állapítható meg, hogy a kedvezőbb energetikai teljesítőképesség miatti többlet beruházási költségek (pl. extra hőszigetelés) a vizsgált lakóépület esetén nem vezettek elegendő költségcsökkenéshez az életciklusra vizsgálva. A gépészeti alternatívák pedig megmutatják, hogy a rendeletben javasolt kondenzációs gázkazán-rendszerhez képest a bivalens kapcsolású hőszivattyús rendszer kiépítése megkérdőjelezhető mindaddig, míg annak elektromos segédenergia-igényét teljes mértékben nem napelemekkel fedezzük. Ezt a következtetést az indokolja, hogy az elektromos áram kWh-ra vetített költsége magasabb, mint a gáz fűtőértékéhez tartozó kWh-kénti költség, így magas elektromos igénnyel rendelkező gépészeti rendszert csak akkor célszerű alkalmazni, ha az elektromos szükségletünket valamilyen alternatív rendszerrel állítjuk elő (2. táblázat).

A 2. táblázatban továbbá azt feltüntettük, hogy a teljes bivalens rendszer a vizsgált harmincéves időtartam alatt várhatóan csak akkor térül meg egyáltalán, ha az épület teljes energiafogyasztását lefedjük. Figyelembe kell venni azonban, hogy a hőszivattyúk várható élettartama és a napelemmodulokra vállalt teljesítménygarancia huszonöt év, ezért amennyiben a megtérülési idő ezen az időtartamon kívülre esik, akkor a megtérülési idő tovább nő az ismételt beruházási költségek miatt (2. táblázat).

A harmincadik év végére a növekvő energiaárak (Árprognózis 1 és 2) mellett ki tudjuk mutatni az alkalmazott rendszerek megtérülését, amennyiben azok teljes napelemekkel előállított elektromos lefedettséggel rendelkeznek vagy többletnyereséget hoznak a rendszerbe. A napelemes rendszerek többletköltségeket generálnak beruházáskor, de a rendszer megtérülését vizsgálva hosszú távon megéri a beruházás. A jelenlegi árviszonyok között a napelemes rendszer megtérülési ideje azt mutatja, hogy míg maguk a napelempanelek hat-hét év alatt térülnek meg minden árprognózis esetén, addig a teljes rendszer megtérülése függ a napelem darabszámától és az ehhez tartozó inverter költségétől, melyet az 5. diagramon szemléltetünk.

A diagramból látszik, hogy az inverter feltételezett tízéves élettartama alatt csak abban az esetben térül meg a rendszerünk, ha az energiaárak növekedni fognak a jövőben. Ellenkező esetben a megtérülési idő sokkal hosszabb lesz a berendezés cseréköltségének következtében, melynek mértéke öt-tíz év között van a napelemmodulok számától és az árprognózistól függően, de egyik esetben sem haladja meg a huszonöt éves feltételezett napelem-élettartamot.

A költséghatékonyság-elemzés, mely a beruházói szemszögből mutatja meg a költségeket, azt az ered-



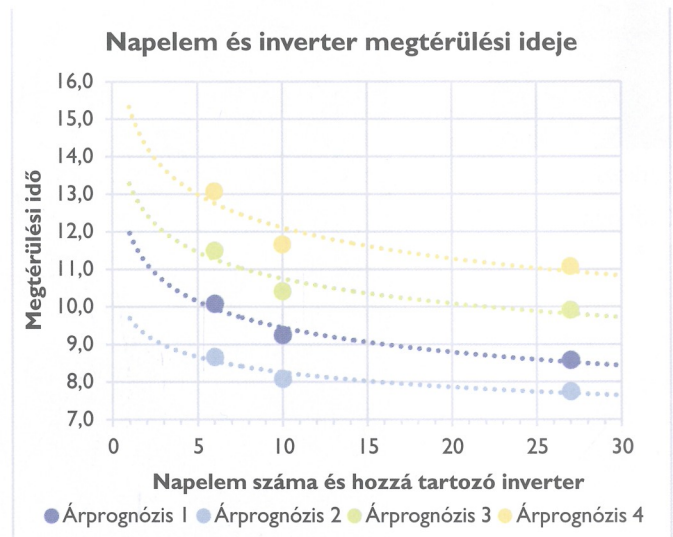
Gépészeti / szerkezeti típus	Kondenzációs gázkazán (Ft)	Hőszivattyú hálózatról (Ft)	Hőszivattyú 10 db napelemmel (Ft)	Statikusan számolt megtérülési idő (ÉV, HÓ, NAP)	Hőszivattyú 27 db napelemmel (Ft)	Statikusan számolt megtérülési idő (ÉV, HÓ, NAP)
44T Profi	0	-18 034	81 500	44, 6, 17	242 972	21, 1, 28
B30 + 16 cm hőszigetelés	0	-14 763	84 771	42, 9, 28	241 161	21, 3, 25
B30 + 10 cm hőszigetelés	0	-15 414	84 120	43, 1, 28	247 170	20, 9, 18
Teljes gépészeti rendszer beruházási költsége	771 139 HUF	2 739 081 HUF	3 630 759 HUF		5 141 610 HUF	

 2. táblázat: **Megtérülési idők és költségek éves viszonya a kondenzációs kazánhoz képest**

ményt adta, hogy abban az esetben éri meg jelenleg beruházni ilyen hőszivattyús rendszerbe, ha a hozzá szükséges teljes elektromos energiát le tudjuk fedni napelemmel, mert csak ekkor térül meg a beruházásunk költsége a jelenlegi nyomott energiaárak mellett.

## Források

- [1] *Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról* szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet
- [2] *Egyes építésügyi és területrendezési tárgyú kormányrendeletek módosításáról* szóló 105/2012. (V. 30.) kormányrendelet
- [3] *A többéves fizetési kötelezettséggel járó kötelezettségvállalások nettó jelenérték számításának módszertanáról, valamint az alkalmazandó diszkonttényezőről* szóló 161/2005. (VIII. 16.) kormányrendelet
- [4] *Az épületek energetikai jellemzőinek tanúsításáról* szóló 176/2008. (VI. 30.) kormányrendelet
- [5] Bacsa Márk: *Lakóépület tervezése „közel 0” energetikai szintre, költséghatékonyság elemzésével*, Diplomamunka, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 2015.
- [6] Nagy Balázs: *Összetett épületszerkezetek egyszerűsített és részletes hőtechnikai modellezése*, *Megtérülő Épületenergetika*, 2. évf. 2. szám, 44–48. oldal, 2015.
- [7] Tóth Elek: *Költség – Haszon Számítás*, Előadás, 2013.
- [8] Tóth Elek – Szende Árpád – Nagy Balázs: *Kötelező Energetikai Tanúsítvány*, Fórum Média Kiadó, 2015.


 5. diagram: **Napelemes rendszer megtérülési ideje napelemek számának függvényében.**
