



A lakások energiatakarékossági befektetéseinek határkölségei és járulékos előnyei – a svájci tapasztalatok

A mérsékelt égöv számos országához hasonlóan Svájc is jelentős, többnyire kihasználatlan energiahatékonysági potenciállal rendelkezik – egyebek közt a hasznos energiafelhasználás közel 50%-át és a végső felhasználás mintegy 30%-át képviselő fűtési igények csökkentésében. Összeállításunk beszámol egy, a svájci lakásszektorban megvalósítható energiatakarékossági beruházások marginális költségeinek jobb becslésére irányuló empirikus kutatás eredményeiről, az itt alkalmazott új elemzési módszerekről, a különböző szempontok szerinti költség/haszon elemzésről.

Tárgyszavak: Marginális költség; energiahatékonyság; járulékos előny; fűtés.

A mérsékelt égöv számos országához hasonlóan Svájc is jelentős, többnyire kihasználatlan energiahatékonysági potenciállal rendelkezik – egyebek közt a hasznos energiafelhasználás közel 50%-át és a végső felhasználás mintegy 30%-át képviselő fűtési igények csökkentésében. Pedig a meglévő épületállományban ezt az igényt körülbelül a harmadával – felével lehetne mérsékelni, újonnan épülőknél pedig a jelenlegi átlaghoz viszonyítva akár ötször kevesebb is lehetne a fűtési energiafelhasználás.

Tekintettel a Svájcban törvénybe is iktatott előirányzatra, amely szerint 2010-re az 1990-es szinthez képest 15%-kal kell csökkenteni a fosszilis fűtőanyagok szén-dioxid-kibocsátását, az energiahatékonysági potenciál kiaknázása különösen nagy jelentőségű. Bár a lakóházak esetében az energiatakarékossági intézkedések feltételezhetően viszonylag kis ráfordítással megvalósíthatók, sok háztulajdonos és a meglévő épületek rekonstrukcióját végző építési vállalkozás ma még alig használ-

ja ki ezeket a lehetőségeket. Pedig az említett környezetvédelmi célkitűzés egyben azt is jelenti, hogy ezen a területen az állam is felvállalhat bizonyos többletköltségeket. A magánszféra nézőpontjából azonban csak a nem kellő jövedelmezőség látható – különösen, amint az ma általában szokásos: ha a beruházási költségeket veszik figyelembe éves szintre vetített költségek helyett, a rövid távú szemlélet érvényesül (energiaárak) és a környezetvédelmi szempontokat figyelmen kívül hagyják. A Svájcban meglehetősen elterjedt bérlakások esetében pedig a meglehetősen tőkeigényes energiatakarékossági intézkedéseknél a tulajdonosok és a bérlők ellentétes érdekei és eltérő szemlélete a gátló tényezők. Emellett szerepet játszik az előnyökre és a költségekre vonatkozó információk hiányos volta (különösen a kiegészítő előnyök tekintetében), a gyenge (környezet)tudatosság, nemkülönben a tulajdonosok szociális körülményei (életkor, pénzügyi helyzet) is.

A fentieknek tulajdonítható, hogy az utóbbi 15 év során elvégzett homlokzatfelújításoknak csak negyede-harmada terjedt ki energiatakarékossági szempontok érvényesítésére, a többi csak a vakolásra és a festésre szorítkozott. Összességében, a többi épületelemet (ablakok, mennyezet, falak, pincék) is figyelembe véve a meglévő épületállományban további 30–80%-os energiaigény-csökkentésre lenne még lehe-

tőség. A távlati energiatakarékossági döntések megalapozása során fontos szerepe van a jelenlegi költség szint pontosításának, nemkülönben a költségek várható alakulása körültekintő, az új technológiák és megoldások tanulási időszakát, majd a sorozatgyártás várható méretgazdaságossági előnyeit is számításba vevő felmérésének is. E szemléletváltás részét képezi az elkerülhető externális, „külső” környezeti költségek megfelelő figyelembe vétele is, de tekintettel arra, hogy a politika a közeljövőben aligha fogja vállalni e gyakran a jelenlegi energiaárak nagyságrendjét elérő költségelemnek az árakba való beépítését (internalizálását), ez az összeállítás sem számol velük. Beszámol viszont egy, a svájci lakásszektorban megvalósítható energiatakarékossági beruházások marginális költségeinek jobb becslésére irányuló empirikus kutatás eredményeiről, az itt alkalmazott új elemzési módszerekről, a különböző szempontok szerinti költség/haszon elemzésről.

A marginális költségek koncepciójának költségbecslési módszerei

Mibe kerül egy vastagabb szigetelés vagy egy energetikai szempontból hatékonyabb ablak? A kiegészítő szigetelésnek köszönhetően mennyit javul az energiahatékonyság, és mi-

lyen további költségcsökkenés lenne elérhető? Mennyibe is kerül az energiatakarékosság? Az ilyen és ehhez hasonló kérdések megválaszolásához az alábbi két megközelítést lehet bevezetni:

- A marginális költségek szerinti megközelítés, ami az energiatakarékossági függvény első deriváltja. E megközelítés makrogazdasági megfontolásokból és gazdasági modellekben alkalmazható, támogatási programok ésszerű kialakítására, energia- vagy CO₂-adók, kiegészítő szigeteléstől várható energiahatékonyság-javulás meghatározására stb.
- Az átlagos költségekre alapozott megközelítés, ami a referenciaesethez viszonyított kiegészítő költségek és előnyök figyelembevételét jelenti. E megközelítés egyes befektetési változatoknak a referenciával történő egybevetésére alkalmas módszer, amelyet háztulajdonosok és ingatlanbefektetők a gyakorlatban is használnak, az alábbiak szerint:

$$\begin{aligned} mc_{EE} &= \frac{d\text{CapCost}}{dD_{\text{energia}}} \cong \frac{\Delta\text{CapCost}}{\Delta D_{\text{energia}}} \\ &= \frac{\text{CapCost}_n - \text{CapCost}_{n-1}}{D_{\text{energia},n} - D_{\text{energia},n-1}} \quad (1) \\ &= \frac{a_n \text{IvcCost}_n - a_{n-1} \text{IvcCost}_{n-1}}{D_{\text{energia},n} - D_{\text{energia},n-1}} \end{aligned}$$

$$ac_{EE} = \frac{a_n \text{IvcCost}_n - a_0 \text{IvcCost}_0}{D_{\text{energia},n} - D_{\text{energia},0}} \quad (2)$$

ahol – CapCost és IvcCost az energiahatékonysági beruházás tőkeköltségét és beruházási költségét jelenti, a az annuitási tényező és D_{energia} az épület vagy a vizsgált épületelem energiaigénye. Az n , $n-1$ és 0 indexek az adott energiaigény-szintet jelölik, pl. a határköltség-görbe különböző pontjainál. A 0 index a következő referenciaeseteket jelenti:

- *Új épületek*: a jelenlegi energiahatékonysági szabályozásnak megfelelő, illetve az új épületekben ténylegesen megvalósított energetikai minőség (amit empirikus úton mértek fel).
- *Meglévő épületek karbantartása*: az épületállomány karbantartása – a vakolat és a festés felújítása, tetőjavítás, cserepek cseréje stb. – kapcsán egyben energiahatékonysági intézkedések is megvalósíthatók. Ilyenkor a referencia energetikai szemszögből az eredeti épület állapotának felel meg (mivel a karbantartás nem követ energiatakarékossági célokat), a referenciaköltségek pedig a karbantartási költségek.
- *Meglévő épületek energiatakarékosságot célzó felújítása*: évente az épületállomány bizonyos hányadánál energiatakarékossági célokat is követő felújításokat végeznek el. Ezek a „fokozott energiahatékonyság” néven szereplő referenciaesetek, mc pedig a konkrét költség, ami például a szigetelés vastagságának 12 cm-ről 20 cm-re

való növelésével jár. Mind a költségeket, mind az energetikai szempontból releváns paramétereket kísérleti úton határozták meg (pl. homlokzati szigetelés 12 cm, tetőszigetelés: körülbelül 14 cm vastag. Ablakoknál: a hőátbocsátási tényező $k_{\text{üvegezés}} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k_{\text{fákeret}} = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k_{\text{műanyag keret}} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$).

A kiegészítő szigeteléssel elérhető marginális energiahatékonyság (MEE) kWh-ban kifejezve a (3)-as egyenlet alapján számítható, ahol $k_{\text{ref}} = k_{n-1}$ behelyettesítéssel, HDD a kumulált napi fűtési igényt (heating degree days) jelenti. Átlagos energiahatékonyság esetén a (3)-as egyenlet eredeti formájában érvényes, az iménti behelyettesítés nélkül:

$$\text{MEE(kWh)} = (k_n - k_{\text{ref}}) \cdot 24 \text{ HDD} \quad (3)$$

A Δd vastagságú kiegészítő szigeteléssel elérhető k -érték az adott építmény λ hővezető képességével (W/mK) és k_{ref} -fel van összefüggésben:

$$k_n = \frac{1}{1/k_{\text{ref}} + \Delta d/\lambda} \quad (4)$$

Ablakok és más átlátszó épületelemek esetében számításba kell venni a napenergiából származó energiatöbbletet (g érték) is. Egy komplett épületnél a hőveszteséget, illetve a

belső és külső hőtöbbletet is figyelembe veszik.

A svájci lakásszektorra jellemző mc energiahatékonyságot az alábbi empirikus módszerrel állapították meg:

- Közvetlen kikérdezések a cégeknél a homlokzati és a tetőszigetelés költségszerkezetére, az üveg és az ablakok árára (k és g érték), a szellőzőberendezések hatékonyságára vonatkozóan.
- A konkrét építőelemekhez kapcsolódó energetikai hatást a (3)-as egyenlet segítségével becsülték, a hővezetést pedig a nagy hatékonyságú felújításokra jellemző lineáris hővezetési állandóból kiindulva értékelték. Komplett épületeknél a számításokat megfelelő fizikai épületmodell alapján végezték.
- Az éves költségek alakulását az annuitás módszerével, az energiatakarékossági intézkedések élettartamát és kétféle kamatlábat figyelembe véve végezték (*1. táblázat*). A rendszerint hosszú távra szóló energiahatékonysági beruházások ugyanis e mutatókra fokozottan érzékenyek.
- Az egyes beruházási intézkedéseket építészeti szempontból jellemző marginális költségek és/vagy fizikai szempontok alapján összeállított beruházási csomagokban kezelték, mind az egyes épületek, mind a teljes épületállomány vonatkozásában.

1. táblázat
Feltételezett élettartam és annuitások
különbéle, építészeti jellegű
energiatakarékossági beruházásoknál

Típus	Gazdaságos élettartam (év)	Annuitás 3,5% kamatláb esetén	Annuitás 5,0% kamatláb esetén
Tetőszigetelés	50	0,043	0,055
Falszigetelés	40	0,047	0,058
Ablakok	30	0,054	0,065
Szellőzőrendszer	15	0,087	0,096

Miután az energiatakarékossági intézkedések többnyire építőipari beruházást jelentenek, a kapcsolódó fenntartási költség olyannyira alacsony, hogy a tőkeköltség aránya közel 100%-nak vehető. Ebből következően a marginális költség igen érzékeny a kamatlábra, amelyet makrogazdasági szempontból 3,5%-on lehet figyelembe venni. E kamatláb magánépületek tulajdonosai számára is megfelel, de intézményi befektetők ennél nagyobb kamattal kalkulálnak – ezért vettek a kutatók 5%-os kamatot is számításba.

Az energiahatékonyság javításának marginális vagy átlagos költségei az adott intézkedés révén elkerülhető fűtéshez és energiaelosztáshoz kapcsolható járulékos előnyökkel is egybevetethetők. Ezek az előnyök kisebb fűtőrendszerekben, de főként a megtakarított energia költségében testesülnek meg, ezért nagymértékben függenek az aktuális és a jövőben várható energiaáraktól. Az utóbbiak várható globális növekedésére a Kínában, Indiában és Dél-

Amerikában az elkövetkező évtizedekben várhatóan felgyorsuló iparosítás és motorizáció, valamint a Svájcban már hatályos CO₂-törvény, illetve az előreláthatólag tovább lépő kiotói folyamat miatt egyaránt számítani lehet. Ha az utóbbival összefüggésben akár egy szerény mértékű, tonnánként 100 CHF-os (2003-as árfolyamon 66 euró) CO₂-adót, vagy egy körülbelül 70 USD/t CO₂-kibocsátási engedélyt is bevezetnek, egymagában ez is közel a felével megnövelné a kőolaj és a földgáz kiskereskedelmi árát – ezen keresztül pedig a fűtési költségeket (olajfűtés esetén 0,020 euró/kWh-val, gázfűtésnél pedig 0,9-es hatásfokot feltételezve 0,015 euró/kWh-val).

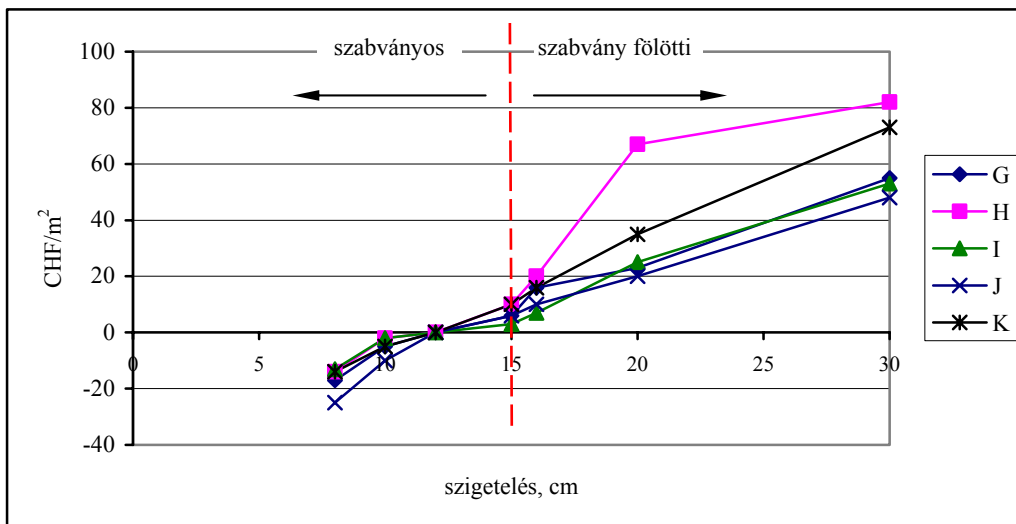
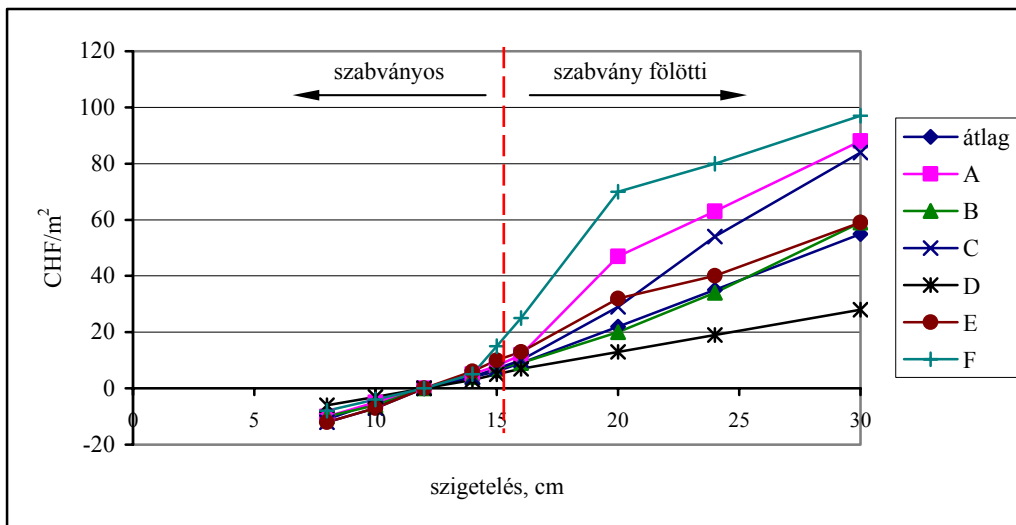
Az említett költségek és előnyök figyelembevétele mellett egy integrált gazdasági értékelésnél számolni kell más tényezőkkel is: (i) az adott költségbecslés piaci környezetével; (ii) a technológiai fejlődéshez kapcsolódó költségcsökkenéssel; (iii) az építési jellegű beruházások járulékos előnyeivel és (iv) az elkerülhető külső költségek makrogazdasági hatásaival is.

Az energiahatékonyság marginális költségei – az épületek tulajdonosai nézőpontjából

A *homlokzatok* felújításával foglalkozó cégek körében végzett felmérés szerint Svájcban a

szigetelések vastagsága 10–12 cm és 30–35 cm között változik. A referenciaszigetelésekhez viszonyítva a többletköltség mintegy harmada-fele jut csak a szigetelőanyagra, a többi a különféle építési segédelemekhez és a munkaigényesebb műveletek miatti nagyobb bérköltséghez kapcsolódik. A várakozásoktól

eltérően az új és felújított épületek költség-görbéi között nincs nagy eltérés. A nyitott homlokzatok többletköltségei lassabban emelkednek (a szigetelés vastagsága függvényében), mint a zárt homlokzatokéi, ahol bizonyos vastagság fölött kiegészítő mechanikus rögzítőelemekre van szükség (ld. az 1. ábrát).



1. ábra Átszellőzött (lent) és zárt (fent) homlokzatok kiegészítő szigetelésének többletköltségei a 12 cm vastag referenciaszigeteléshez viszonyítva, különböző svájci építőipari cégek (A–K betűkkel jelölve) adatai alapján

Az elemzés szerint a jelenleg elterjedt 8–16 cm vastag szigetelésnél a költséggörbe mind-egyik kivitelező cégnél szinte megegyező, szemben az igen vastag szigetelésekkel. Érdekes, hogy a szigetelés vastagsága szerinti ár gradiense családi és társasházak esetében többé-kevésbé megegyező, ami vélhetően a még csak kialakulóban lévő piac sajátosságainak tulajdonítható. A cégeknek még nincs kellő költségszámítási gyakorlatuk, a költségelemek között ezért a tanulópénz és az ügyfelek energiatakarékosság iránti elkötelezettségére alapozott túlszámlázás egyaránt szerepet játszhat, amit a szélső értékek elhagyásával próbált a szerző kiszűrni.

Mindezek az eltérések tükröződnek a határköltségekben is (2. táblázat). A referenciaeset-

nél az energiahatékonyság javítása céljából elvégzett felújítás (ER) átlagos költségei (ac_{EE}) és árai a legszerényebb költségnövekedéssel jellemezhető cégnél (a legkisebb meredekségű görbe – a legjobb gyakorlat) emelkednek a legkisebb mértékben, és – különösen vastagabb szigetelések esetén – közel állnak a gazdaságilag elfogadható szinthez. A fenntartási költség (M) itt 5–20%-kal kisebb a cégek átlagértékénél, ER estében pedig az átlagos költség eltérése csaknem egyharmada-fele az átlagértéknek. Mindez arra utal, hogy a műszaki haladás eredményeinek a gyakorlatba való mielőbbi átültetésével, kellő piaci expanzió mellett a felhalmozódó gyakorlati tapasztalatnak köszönhetően a piaci verseny mindinkább a legjobb gyakorlat felé szoríthatja a költségeket és az árakat.

2. táblázat

Homlokzatfelújítások hőszigetelési költségei és az energiahatékonyság átlagos költsége családi és társasházaknál

Szigetelés vastagsága (cm)	k-érték (W/m^2K)	Befektetési költség (CHF)		Átlagos bruttó költség (CHF/kWh _{UE})			
		átlag	legjobb gyakorlat	ac _{EE} az ER referenciához képest		ac _{EE} az M referenciához képest	
				átlag	legjobb gyakorlat	átlag	legjobb gyakorlat
0 (M ref.)	0,85–1,1	35	35	NA	NA	–	–
12 (ER ref.)	0,28	117	112	–	–	0,061	0,058
16	0,23	127	119	0,12	0,08	0,065	0,061
20	0,2	140	133	0,17	0,10	0,070	0,067
30	0,15	174	143	0,25	0,13	0,084	0,069

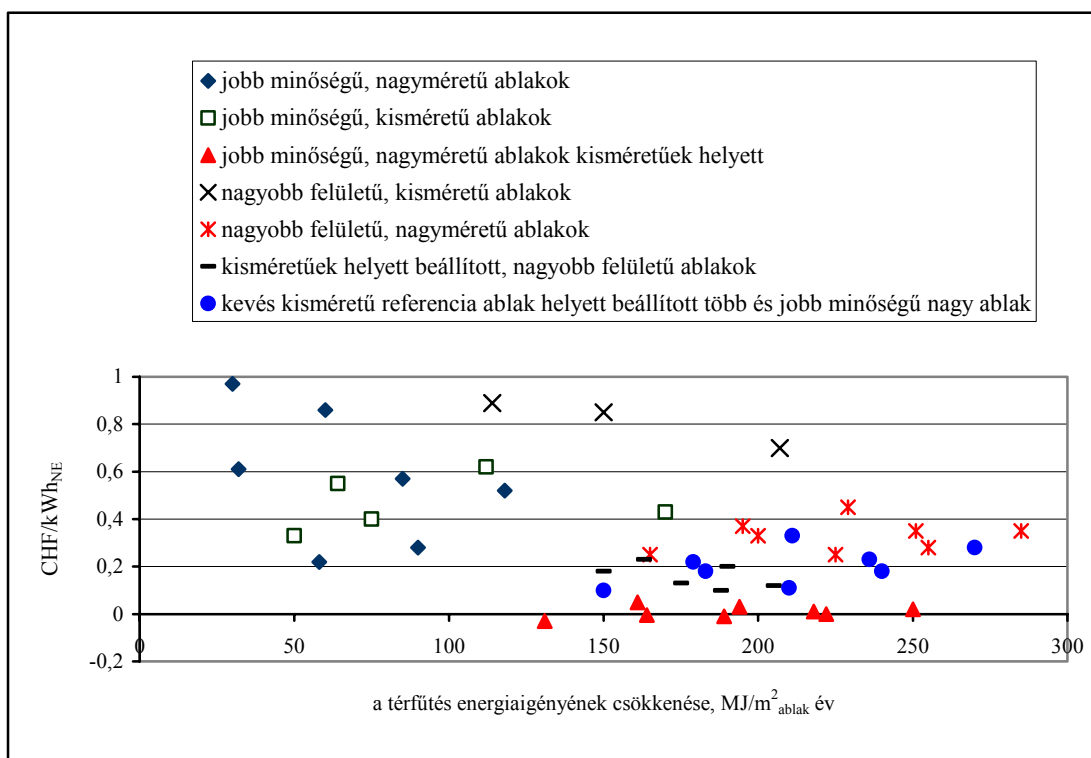
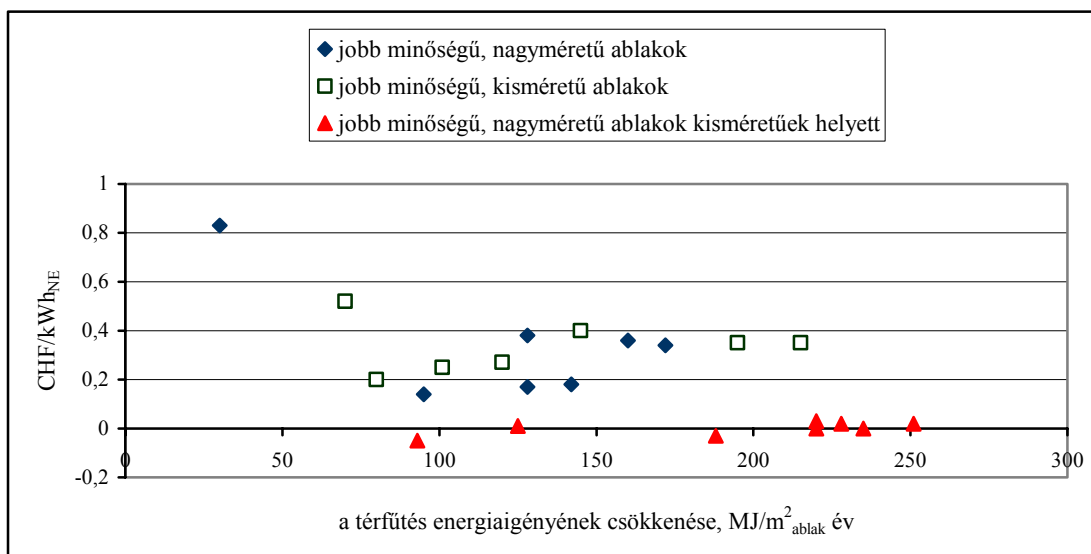
A különböző kivitelezők átlagát és a legjobb gyakorlatot 3,5% reálkamatláb mellett határozták meg. Az M referencia a normál karbantartás (vakolat, homlokzatfestés) szerinti alap, az ER referencia az energiahatékony felújítás alapesete (12 cm külső hőszigetelés). NA = nem alkalmazható.

Ablakok és ablakkeretek esetében a korábban energiatakarékosság céljából végzett átalakítások főként az üvegezés fejlődésére támaszkodtak. Mindazonáltal megfelelő bevonatokkal, különféle gázszigetelésekkel és háromrétegű üvegezés alkalmazásával a jelenlegi, szabványosnak tekinthető $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ -s szint tovább javítható. E művelet többletköltségei fa- és műanyag (pl. PVC) keretes ablakok esetében is hasonlóak, de nagy és kisebb méretű ablakoknál már jelentős eltérés mutatkozik. Nagy ablakok referencia k -értéke kisebb, ami geometriai okok mellett annak tulajdonítható, hogy az üveg hőszigetelése jobb a kereténél, és fajlagos (m^2) költsége is alacsonyabb, de enyhébben emelkedik az energiahatékonyság függvényében árgörbéje is. Egy négyzetméterre számítva ezért közel ugyanannyiért lehet megkapni egy korszerű, nagyméretű, a passzív épületelemekre vonatkozó szigorú német szabványt is kielégítő ablakot, mint egy ugyanolyan jellemzőjű szabványos kisméretűt. Ebből kiindulva új épületeknél a nagyobb ablakméret különösen vonzó – különösen, ha figyelembe vesszük az így szükségtelen falrész költségét is.

Az utóbbi néhány évben próbálkoztak az ablakkeretek tulajdonságainak javításával is, ami bő piaci kínálatban is kifejezésre jutott. A műanyag keretek esetében ez jobban sikerült, mint a fa vagy fa-fém kombinációjú megoldá-

soknál. Fából készült ablakkereteknél a fejlesztés nagyobb mértékű áremelkedéshez vezetett, mint a műanyag keretek esetében, de a MINERGIE minősítésnek, illetve a szigorú német szabványnak megfelelő, jól szigetelt fakeretekre így is nagy a kereslet.

Az energiatakarékos ablakok energiahatékonyságának értékelése eltér a nem átlátszó építőelemektől, mivel a kibocsátott, veszteség-számba menő energia mellett a különböző típusú üvegek által beengedett napenergia szolgáltatta energianyereséget is számításba kell venni. Ennek köszönhetően más lesz a k -érték, és az ablak tájolásától, árnyékolásától, g -értékétől, geometriai jellemzőitől, illetve a többlet napenergia, valamint a kibocsátási és szellőzési energiaveszteség arányától függően erősen eltérő marginális költségek adódnak (ld. a 2. ábrát). Eszerint déli fekvésű, nemkülönben a kismértékben árnyékolt keletnyugatra néző ablakok nettó energiaárama az egész fűtési idényben pozitív, mivel az ablakok itt napenergia-kollektorként működve energiát gyűjtenek. Az üveg minőségének megválasztásánál ezért nemcsak az alacsony k -érték releváns, hanem a lehetőség szerint minél nagyobb g -érték is (teljes energiaátbocsátási hatásfokuk $\geq 50\%$, ellenkező esetben a jobb k -értéket a nem eléggé nagy napenergia-nyereség lerontja).



2. ábra Összegző illusztráció új épületeknél alkalmazott alternatív, energiatakarékos ablakok bruttó átlagos költségeire vonatkozóan, a különböző tájolás (északi balra; déli jobbra), 3,5%-os reálkamatlábból és 30 éves élettartamból kiindulva

Az egyes építőelemek szintjéről az épület egészére áttérve a költségeket, illetve az álta-

luk elérhető előnyöket illetően bizonyos kölcsönhatással is számolni kell. A napsütésből,

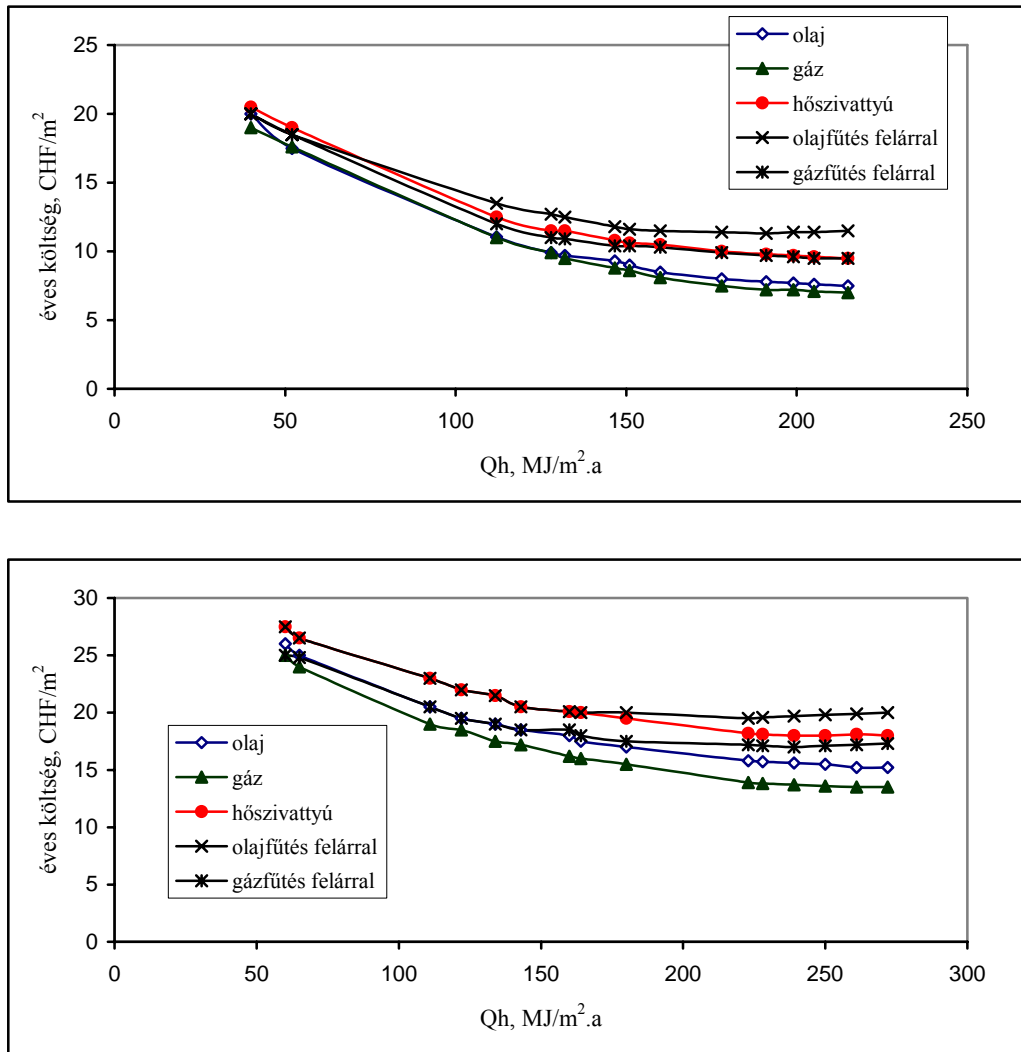
illetve az emberek és az elektromos készülékek által kibocsátott hőenergiából származó energianyereség aránya például a szigetelés vastagsága és a beérkező napenergia növelésével kissé csökken, ami a szigetelés révén elérhető energiahatékonyság-javulást kissé mérsékli, és a megfelelő marginális költség valamelyest megnő.

Miután meglévő épületek esetében a geometriai arányok vagy a tájolás adott (és csak korlátozott mértékben módosítható), az energiatakarékossági fejlesztési potenciál az egyes épületelemek fejlesztési lehetőségeiből is levezethető. Új létesítményeknél viszont az építészeti koncepció révén az energiaigény jelentős mértékben befolyásolható – kerülve például az árnyékolást és a nagy ablakméreteket részesítve előnyben. Emellett nagyobb döntési szabadságot kap a tervező a nettó energiaigény kielégítésének módját illetően is, mivel helyhiány, meglévő elosztórendszerek stb. nem korlátozzák.

Különböző kiindulási feltételek és építészeti koncepciók mellett új épületek esetében a marginális költség görbéi és az energiahatékonyság javulása is viszonylag hasonlóak. Nagyobb eltérések az átlátszó épületelemek arányától és minőségétől, illetve az alkalmazott szellőzési megoldásoktól függően tapasztalhatók. Ha például a légcseré aránya már a

referenciaesetnél is alacsony (a zárt építmény és adott felhasználói viselkedés miatt) a mechanikus szellőzőrendszer fejlesztése révén elérhető lehetséges fűtésiigény-csökkenés kisebb, a megfelelő marginális költség pedig valamivel nagyobb lesz, ami befolyásolja a költséggörbe jellegét (a marginális költség meredekebben nő).

A fűtés kapacitásigénye általában nem teljesen igazodik az évi fűtési igény mérséklődésének mértékéhez, mivel itt a leghidegebb és napenergia-többletet sem adó napokból kell kiindulni. Kisebb olaj-, gáz- és fafűtéses rendszerek alkalmazásával meglehetősen szerény mértékű az elérhető költségcsökkenés, nem úgy a talajhőt hasznosító hőszivattyúknál, amely esetben érezhetően csökken a beruházási költség. A MJ/m²-ben megadott térfűtési igényhez (Q_h) kapcsolódó költségek és előnyök éves szinten is becsülhetők (3. ábra). Az ábra segítségével a lakásgazdálkodás más költségelemével, köztük a lakbérrel való egybevetésre is van lehetőség. A teljes éves költség a leszámítással éves szintre hozott, az energiahatékonyság javítását célzó tökeköltségek és a fűtési energia költségeinek összegeként határozható meg. A nettó teljes éves költség (a járulékos előnyök figyelembevételével) a jelenleg alkalmazott építési módoknak megfelelő térfűtési igények (200–250 MJ/m²) körzetében, kezdetben egy meglehetősen lapos görbe



3. ábra A hőtermelésben és elosztásban elérhető költségcsökkenés figyelembevételével felmerülő éves költségek társasházak (balra) és családi házak (jobbra) esetén. (Olaj- és gázfűtés, 210 CHF/t CO₂ kibocsátási felárral)

mentén változnak. Például 40–60 MJ/m²-es fajlagos fűtési igény-csökkenéshez még abban az esetben is igen szerény költségek járnak, ha azzal a valószínűtlen feltételezéssel élünk, hogy az energiaár a fejlesztés élettartama alatt mindvégig 0,055 CHF/kWh marad. A térfűtési igény 100 MJ/m² teljes, illetve 2–3 CHF/m² nettó költség árán csökkenthető, ami egy 120

m²-es lakásnál havi 20–30 CHF többletköltség. Amennyiben számolunk egy 210 CHF/t CO₂ mértékű CO₂-adó bevezetésével összefüggő energiaár-emelkedéssel is, a költséggörbe még laposabbá válik, a gazdaságossági optimum pedig balra, az alacsonyabb fajlagos energiaigény felé tolódik.

A 3. ábrán szereplő értékek nem a legjobb gyakorlatnak megfelelő költségeket képviselik, ezért a jövőben a költségnövekedés a tanuló-pénz csökkenése és a méretgazdaságossági előnyök miatt mérséklődni fog. A költséggörbétől eltérően a beruházási költségek már közvetlenül a referenciapont után meredeken emelkednek, ezért ebből kiindulva nem juthat el egyetlen építési megoldás sem az energiahatékonyság és gazdaságosság szempontjából egyaránt optimális megoldáshoz.

A hőszigetelési beruházások járulékos előnyei

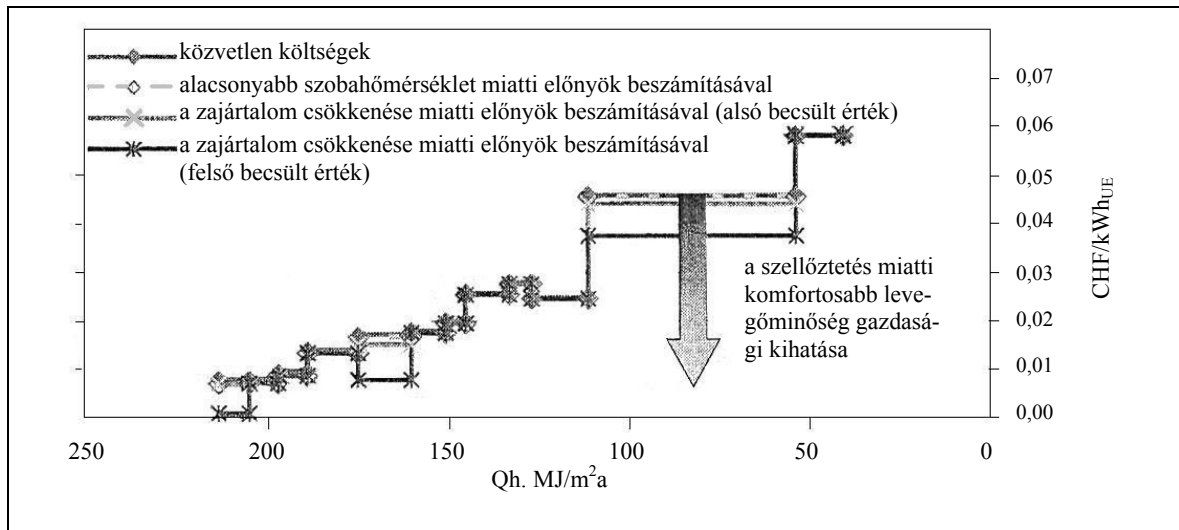
Az adott területen a magán- és a közszférában egyaránt felmerülhetnek járulékos előnyök. A magánszektorban ezek hatásainak figyelembevételére a gazdaságossági számítások során mutatnak a következők néhány példát:

- A fűtést illetően javuló komforttal kapcsolatos empirikus vizsgálatok során a fal és a belső légtér hőmérséklete közötti különbség lehet mérvadó. Amennyiben az ezzel kapcsolatban más kutatók által megállapított mértéket érvényesítjük (e hőmérsékleti különbséget 5 °C-kal csökkentjük), a szoba-hőmérséklet a komfortérzet romlása nélkül 1 °C-kal mérsékelhető – e tényező számításbavétele azonban csak néhány CHF/kWh-s költségmegtakarítást eredményez.
- A régi duplaüveges ablakok kettős, vagy hármas üvegréteggel ellátott, aszimmetrikus üvegezésű vagy speciális anyagú üvegből készült új ablakokra cserélése, valamint a rolók felújítása és ásványi szigetelő anyagok alkalmazása egyaránt mérsékli a bejutó külső zajt. A külső zaj miatt felmerülő, a lakberek változásában kifejezhető veszteséget más tanulmányok 1 dB-re vetítve a lakbér 0,6–0,9%-ára becsülték. A kutatók szerint e veszteség az ablakok megfelelő felújításával a felére mérsékelhető. Zajos környéken a hármas üvegezésnek köszönhetően a potenciális lakbér 3–7%-át is elérheti a kiesés-csökkenés.
- A Zürcher Kantonalbanknak a vásárlási hajlandóság alakulása vizsgálatával (hedonic pricing) készített becslése szerint egy családi ház energiatakarékos ablakai az értékesítési ár 2–3,5%-át teszik ki. Egy másik, a „Minergie” védjegy minősítési feltételeit kielégítő, újonnan épült családi ház esetében ez az arány (5%-os szórással) 9%.
- A kiválasztott példák szerint a zajártalom csökkentése jelentős mértékben befolyásolhatja a hőszigetelési beruházások jövedelmezőségét. A közvetlen nettó költségek (leszámított éves beruházási összeg, mínusz az energiaköltség-csökkenés) sokszor valóban elmaradnak a fent említett járulékos előnyök becsült értékétől: a 2–4 CHF/m²-es nettó közvetlen költség (3. ábra) a jellemző

100–200 CHF/ m²-es éves lakbér 1–4%-a. A 2–4 CHF/m²-es közvetlen költséget tőkésítve (3,5% reálkamat és 35 éves gazdasági élettartam mellett) 8-16 ezer CHF adódik, ami a jellemzően 500 000–900 000 CHF értékesítési ár 1–2%-a. Jelenlegi áron egy, a „Minergie” minősítési feltételeit kielégítő épület teljes nettó közvetlen költsége 7–10 CHF/m² (tőkésítve 3–7%), 3–5 CHF/m²-es (210 CHF/t) CO₂-adóval pedig 1–3%.

- A lakás komfortját jelentős mértékben javítja a belső levegő minősége is – különösen forgalmas környéken, ahol a bejutó levegő szűrésével, vagy a külső levegő kevésbé szennyezett oldalon való bevezetésével érhető el javulás. A másik szélsőséges eset,

amikor egy tiszta levegőjű környéken a lakásban fűzéskor stb. keletkező nedvesség és szennyeződések okoznak a lakóknak gondot. E hatások számszerűsítéséhez azonban a megfelelő epidemiológiai adatok tanulmányozására és/vagy alkalmas gazdasági becslési módszerek (pl. a fizetési hajlandóság) alkalmazására lenne szükség. Egy tanulmány szerint megfelelő levegőminőségű új lakásért akár 5%-kal is hajlandók többet fizetni a bérlők, amit beszámítva, az energiahatékonyság javulása révén elérendő megtakarítás szükséges mértéke csökken – nemkülönben az erősen csökkenő marginális költség is (ld. a nyíllal jelölt helyet az 4. ábrán).



4. ábra Szigetelési beruházások marginális költséggörbéi bizonyos járulékos előnyök (nagyobb komfort, zajvédelem, jobb levegőminőség a szellőzőrendszernek köszönhetően) és olajfűtés figyelembevételével

Energiagazdasági megfontolások – a marginális költséggörbék segítségével

Az energiagazdaságosság optimalizálási célkitűzései eltérőek az általános vállalkozói gazdaságossági kalkulációkéitól. Közületi gazdasági és népjóléti nézőpontból optimális energiahatékonyság akkor érhető el, ha az adott célkitűzés elérését lehetővé tevő különböző megoldások marginális (nem pedig átlagos) költségei megegyeznek. Nemzetgazdasági szinten az energiaigények bizonyos energiaárszint, vagy meghatározott CO₂-adó melletti csökkenése potenciális lehetőségeinek meghatározására is össze lehet állítani marginális költséggörbét, segítségükkel valamennyi potenciális lehetőség figyelembe vehető.

Marginális költségöbe megszerkesztéséhez adott termikus és építőipari paraméterek alapján megfelelő referenciát kell találni új létesítmények, illetve külön a felújítások esetére, lehetőség szerint a komplett épületre vonatkozóan. Ezután országos szinten becsülni szükséges a szóba jöhető fejlesztési intézkedések lehetséges számát, amihez a szegényes svájci energetikai statisztika miatt kérdőíveket is felhasználtak. Újonnan készülő épületek esetében viszonylag könnyű egy ilyen országos modellt szerkeszteni, mivel ismertek a jövőben létesülő lakónegyedek és az alkal-

mazható építési technológiák. Ami például a 2010-ben előreláthatólag fűtést igénylő összes lakóterületet illeti, ez családi házak esetében körülbelül 27 millió m², társasházaknál pedig 25 millió m². Más forrás szerint új lakások fűtési igénye (a melegvíz és az átalakítási veszteség beszámításával) körülbelül 400 MJ/m², ami azt jelenti, hogy a szigetelés vastagsága nem is éri el a korábban említett 12–14 cm-t.

A referenciaesetre számítva 2010-re az új lakóépületekhez kapcsolódó összesített éves fűtési igény 7600 TJ. Amennyiben megfelelő energiatakarékossági intézkedésekre (padlók, tetők, falak és az ablakok) kerülne sor, Svájc új családi házainak egészében az éves fűtési igényt 0,10 CHF/kWh_{UE} marginális költség-szint mellett 1300 TJ-lal lehetne mérsékelni. Ezt az igényt 0,20 CHF/kWh_{UE} marginális költséggel további 935 TJ-lal lehetne csökkenteni. Amennyiben a legjobb gyakorlatnak megfelelő megoldásokat (pl. minden épületben szellőző rendszert) alkalmaznák, a marginális költségek csaknem 50%-kal alacsonyabbak is lehetnének. A megbízhatóbb arány azonban itt csak 30%, a marginális költségek ugyanis 0,23–0,38 CHF/kWh_{UE} -ra tehetők, az adott helyzettől és a fűtési módtól függően, ha a teljes szellőzési költséget az energiahatékonyságra terhelik. E marginális költségeket kell egybevetni a hőenergia áraival (hosszú távú, átlagos energiaár

osztva a rendszer hatásfokával). A hőenergia költsége 0,05 CHF/kWh (a jelenlegi fűtőanyagárak mellett) és körülbelül 0,1 CHF/kWh lehet (a várható áremelkedés és/vagy CO₂-adó figyelembevételével). A fenti előfeltételeket kombinálva, de járulékos előnyökkel még nem számolva 0, illetve igen alacsony nettó költség szint kalkulálható. Társasházak esetében a jövőben fűtendő mintegy 25 millió m² éves hőigénye a referenciaszinten körülbelül 5600 TJ. Kellő energiahatékonysági beruházásokkal a bruttó fűtési igény itt 0,1 CHF/kWh bruttó marginális költség szinten mintegy 700 TJ-lal lenne mérsékelhető.

Az energiatakarékossági rekonstrukció esetében a referenciának tekintendő fejlesztés leírása valamivel bonyolultabb, mivel ehhez sokféle kiindulási adat összegyűjtése és feldolgozása szükséges. Mivel ez utóbbit még nem sikerült elvégezni, az országos szinten érvényesnek tekinthető felújítási marginális költséggörbék összeállításához bizonyos előfeltételezésekből kellett kiindulni. Ennek dacára a kapott eredmények eléggé informatívak, amit az alábbi példa is érzékeltet.

Az 1900 és 1961 között épített családi házaknál alapul vehető referenciaesetben a térfűtési igény 2010-re megvalósuló csökkenésének feltételezett mértéke 7%, miután a fenntartási

munkák mellett – ahogy azt az utóbbi 10–15 év tapasztalatai is alátámasztják – joggal feltételezhető, hogy ebben a körben számottevő energiatakarékossági felújításokra is sor fog kerülni. Ami pedig a marginális költséggörbét illeti, feltételezték, hogy az elkövetkező 10 év során az épületek falainak további 15%-át szigetelik, mégpedig 12 cm helyett 20 cm vastagon (ld. az 4. ábrát). A tetőkre vonatkozóan a referenciaeset 1,5 millió m² (6,5%) 12 cm vastag hőszigetelését feltételezi, és a marginális görbén a szigetelés vastagságát 14 cm-ről 20 cm-re növelik. Feltételezték továbbá, hogy 1,9 millió m² (8,3%) esetében nemcsak a cserepezést és/vagy az alátétezt újítják fel, hanem szigetelést is beiktatnak.

Jelentős mértékű, körülbelül 1100 TJ térfűtési igény-csökkenés lehetséges, ha a bruttó marginális költség 11 CHF/kWh. E költség szinten a hőtechnikai referenciafejlesztésen túl további 9%-kal lehetne mérsékelni a fűtési igényt az 1900 és 1961 között épített családház-állománynál, 0,09-0,13 CHF/kWh_{UE} bruttó marginális költség tartományban pedig újabb 3%-kal. Hosszabb távon e költségcsökkenés mértéke a fűtőrendszereknél elérné a 0,01–0,03 CHF/kWh-t, az energiaköltségeknél az utóbbi évek árai alapján kalkulálva a 0,04–0,06 CHF/kWh-t, várható jövőbeni áron pedig a 0,08–0,11 CHF/kWh-t.

A 2010-ig várható műszaki fejlődés költségcsökkentő potenciálját is beszámítva az amúgy is magas értéket további 500 TJ-lal lehetne növelni, amikor már a pincék falainak szigetelését és a külső falszigetelés megerősítését változatlan energiaárak mellett is gazdaságosan lehetne elvégezni. Az adott épületkategóriában ez a teljes hőigény újabb 2%-át jelenti, vagy pedig az itt eszközölhető felújítások 20%-os megvalósíthatóságát.

Nagy ingatlan-portfoliót kezelő befektetők, főként az adminisztratív testületek és a politikusok számára fontos körülmény, hogy a hőszigetelésekkel kapcsolatos intézkedések területén már a múltban is megfigyelhető volt bizonyos műszaki/gazdasági fejlődés. A gyakorlat tanúsága szerint az új technológiák alkalmazásuk kiterjedtségének megkétszereződése esetén 10–20%-kal kevesebb költséggel valósíthatók meg, mint anélkül. Az energiatakarékossági intézkedések (különösen az építési jellegűek) költség szerkezete azonban eltérő, ezért az elkövetkező két-három évtizedben várható költségcsökkenés becsléséhez az egyes összetevők esetén más és más árindexek alkalmazására van szükség. Amennyiben az energiahatékonyság javítására irányuló intézkedéseket megfelelő feltételek kialakításával (ideiglenes támogatási programokkal, adókedvezményekkel, exporttámogatással, termelési kooperációkkal, az igények közös kielégítésé-

vel stb.) támogatják, az érintett üzleti vállalkozások lehetőséget kapnának a megfelelő tapasztalatok megszerzésére, a tanulási időt követő nagysorozatú gyártásra/szolgáltatásra.

Következtetések és további lehetőségek

A lakóépület-állomány hőszigetelése javításának költség szerkezete és az ilyen intézkedésekhez kapcsolódó járulékos előnyök figyelembevétele meglehetősen komplex téma. A tárgyalása során korábban tett egyszerűsítések egyfelől az energiatakarékossági költségek alábecsléséhez, másrészt pedig a jövőbeni árak szerepének nem megfelelő tükrözéséhez vezettek. Az ismertetett kutatás ezzel szemben arra a következtetésre jutott, hogy korábban egyáltalán nem hőszigetelt épületrészek (falak, mennyezetek vagy pincék) szigetelése az esetek túlnyomó többségében gazdaságos, különösen akkor, ha a kalkulációt a hosszabb jövőbeni időszakban várható energiaárak megfelelő becslésével is kiegészítik. Energiagazdasági szempontból a kiegészítő szigetelés a járulékos előnyök (pl. betegség és az ehhez kapcsolódó jövedelemkiesés és bizonyos „külső” környezeti költségek elkerülése) figyelembevételével a 0,008–0,034 CHF/kWh, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenésének hatásait is beszámítva pedig a

0,045–0,08 CHF/kWh tartományban költség-hatékony.

További, a tanulmány keretében nem tárgyalt járulékos makrogazdasági előnyök is említendők, köztük az energiaimport kiváltása hatékony hazai termékekkel, a megtakarított energiaköltségek felhasználása másutt, a kínálkozó exportlehetőségek, valamint a foglalkoztatás bővülése – különös tekintettel a vidéki és a hátrányos helyzetű régiók tekintetében. Az épületfelújítások és az energiatakarékos új építkezés más környezet- és éghajlatvédelmi intézkedésekhez viszonyítva igen alacsony, gyakran negatív költségigénye energiagazdasági és éghajlati politikai nézőpontból csekély jelentős potenciális lehetőségeket nyit a fejlesztési irány előtt. Az utóbbi 30 év során szerzett tapasztalat és a jelen vizsgálat eredményei alapján megfelelő kiaknázásuk érdekében a következő eszközök és intézkedések érdemelnek figyelmet:

- az építési szabványoknak az energiatakarékosági követelményekkel és a kielégítésükre módot adó technológiai megoldásokkal összhangban álló megújítása és e szempontoknak megfelelő, rendszeres karbantartása;
- a svájci „Minergie”, a német „Passivhaus” és más hasonló szabványok és védjegyek veti-

tési alapként és kísérleti terepként is felhasználhatók a szabványok megújításánál;

- a jobb hőszigetelés eredményeként az energiatermeléshez kapcsolódóan elkerülhető, néhány CHF/kWh-ra becsülhető külső költségek megfelelő központi szabályozási intézkedéseket (pl. CO₂-adó vagy törvény) indokolnak, egyéb járulékos előnyöket (pl. zajvédelem, levegőminőség) pedig a lakásbérlettel kapcsolatos jogi szabályozás megújításával kellene figyelembe venni;
- a hőszigetelési intézkedések járulékos előnyeinek számszerűsítése és megfelelő figyelembevétele érdekében a beruházási döntésekben e területen további kutatásokra lenne szükség.

Összeállította: Dr. Balog Károly

Irodalom

- [1] Jacob, M.: Marginal costs and co-benefits of energy efficiency investments – the case of the Swiss residential sector. = Energy Policy, 34. k. 2. sz. 2005. jan. p. 172–187.
- [2] Eckmanns, A.: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. = <http://www.bfe.admin.ch/themen/00507/00607/index.html?lang=de>.