



BME OMIKK
ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG
VILÁGSZERTE

44. k. 12. sz. 2005. p. 44–62.

Racionális energiafelhasználás, energiatakarékosság



A lakóépületek energiatakarékossági megoldásainak gazdaságossága

Az energiatakarékosság szempontja a lakóépületek esetében többnyire az új épületek kapcsán merül fel, pedig az energiafogyasztás és az üvegházhatásért felelős gázkibocsátás csökkenését csak akkor lehet elérni, ha javítjuk a meglévő lakóépületek energiafelhasználási hatásfokát is. Belga kutatók modellszámítás segítségével összehasonlították az energiatakarékosságot elősegítő megoldásokat, és ennek alapján sikerült gazdasági célszerűségi rangsorukat megadni. A német felhasználók véleményét kérdőívek segítségével tudakolták, és a conjoint-elemzés segítségével szűrték le belőle, hogy hogyan rangsorolják a háztulajdonosok és a bérlők a lehetséges megoldásokat.

Tárgyszavak: energiatakarékosság; lakóépületek energiaellátása; épületfelújítás.

A lakóépületek építésekor és felújításakor mindig felmerül a kérdés, hogy a lehetséges energiatakarékossági megoldások közül melyiket alkalmazzák, illetve, hogy egyáltalán bevezessenek-e ilyen megoldást. Az Európai Unióban direktívák születtek a kérdés szabályozására, Németországban pedig megalkották az erre vonatkozó rendeletet (EnEV, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik

bei Gebäuden, 2002. február, kormányrendelet az épületek esetében alkalmazandó energiatakarékos hőszigetelés és energiatakarékos berendezések használatáról). Belga kutatók számítógépes modellszámítással határozták meg a lehetséges megoldások gazdasági paramétereit, ebből következően arra, hogy milyen sorrendben érdemes megfontolni a lehetőségeket. Németországban egy kiállításon megkérdezték a látogatókat, és válaszaik alapján határozták

meg az érdekeltek által a kiválasztáskor fontosnak tartott összetevőket. A két vizsgálat eredményei konzisztensen összefüggnek, és az itt következő összeállítás alapját képezik.

Az épület-felújításoknál alkalmazható energiatakarékossági módszerek gazdaságossága

A belga kutatók kétfajta felújítást vizsgáltak. Először azt, amikor az épület nettó energiaszükségletét a tető, a homlokzat és a padló szigetelésével, jobb üvegezéssel és jobb ablakokkal csökkentik. Másodszor azt az esetet, amikor az épület teljes energiafogyasztását a fűtési rendszer cseréjével vagy megújuló energiaforrások felhasználásával csökkentik. A vizsgálat célja egy mikrogazdasági optimum, tehát a költség és haszon optimális egyensúlyának megkeresése volt.

Referenciaépületek

A vizsgálat elvégzéséhez ún. referenciaépületeket kellett választani. A belga lakóépületekről rendelkezésre álló statisztikai adatok alapján öt épülettípust választottak ki. A mintát korlátozták az egyedi lakóházas és a házsoros beépítésre, ami együtt a belga épületek 63%-át teszi ki. Három magányosan álló épülettípust

választottak: egy klasszikus villát, egy tipikus flamand vidéki házat és egy modern, jól felszerelt házat, továbbá kétfajta soros beépítésű épületet¹: egy kisebbet, dolgozó osztályokbeli és egy nagyobb, felsőbb osztálybeli tulajdonossal. Ezek közül egyedül a modern épület épült az 1973-as olajválság után, 5 cm vastag hőszigetelése van, és lapos a teteje. A többi épületnek nincs hőszigetelése. Az egyedi házak közönséges kétrétegű üvegezésűek (hőátbocsátási tényező: $k=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$), fából készült vagy hőszigetelő betét nélküli alumínium ablakkeretekkel. A sorba épített házak egyrétegű üvegezésűek ($k=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), fából készült ablakkeretekkel. Mindegyik referenciaház fűtése – kivéve a kisebbik soros házat – eredetileg központi, földgáz vagy olajtüzeléssel, a fűtésre és melegvíz előállítására egybeépített kazánnal/vízmelegítővel. A vízhőmérsékletet szabályozták a vízmelegítőben, és a legfontosabb helyiség hőmérsékletét beállítható termosztát szabályozta. Egyik házban sem volt a fűtőtesteken hőfokszabályozó szelep. A kisebbik, soros beépítésű házban egyedi helyiségfűtés volt gázkályhakkal és egy önálló, gáztüzelésű vízmelegítő.

¹ Ez a fajta, a holland, flamand és brit városokban gyakori beépítés nem felel meg teljesen a hazai sorháznak. Egymástól általában különböző, bár esetenként nagyon hasonló – sőt egyforma – egyedi épületek vannak egy közös homlokzati síkkal, egy előkert mögött egymás mellé építve. – *A szerk.*

Az energiatakarékossági eszközök

Elsőnek a szigetelés és a javított üvegezés hatását vizsgálták, a tető, homlokzat és padló szigetelését egyaránt elemezték. Mindegyik referenciaépület esetében mindegyik burkoló összetevőre lépésenként változtatták a szigetelés vastagságát nullától a maximális értékig. A maximum függött a burkoló összetevőtől és a lakóépület szerkezeti részleteitől. Ferde tetők esetében a legnagyobb szigetelésvastagság 20–24 cm volt, lapos tetőknél 12–20 cm, a homlokzat esetében 6–8 cm, a padlónál 8–10 cm. A vastagságot a padló és a homlokzat esetében 2 cm-es lépésekben növelték nullától a maximumig, a tetőnél 4 cm-enként.

A számításba vett üvegezési módok a következők:

- háromrétegű üvegezés ($k=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- hőszigetelő üvegezés, levegő töltésű ($k=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- hőszigetelő üvegezés, argon töltésű ($k=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- hőszigetelő üvegezés, kripton töltésű ($k=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$),
- nagy hőszigetelésű üvegezés ($k=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$),

Az egyrétegű üvegezésű referenciaépületek esetében – miként a soros beépítés kiinduló állapotában – a felsoroltakon kívül számításba vették a hagyományos kétrétegű üvegezést is

($k=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$), mint lehetséges javítást. Az eredeti ablakkeretek helyett fából vagy alumíniumból készült, hőszigetelő betéttel ellátott keretekkel számoltak. Az üvegezési megoldásokat és a hőszigetelés vastagságának összes kombinációját számítógéppel szimulálták az öt referenciaépület esetében. Ez mintegy 400 változatot jelentett épületenként a burkolati megoldásoktól függően.

A második lépésben a szigetelési megoldásokat a fűtési rendszerekkel kombinálták. Nagyszámú rendszerváltozót vettek számításba, lényegében a felhasznált szimulációs eljárás által felkínált lehetőségeket. A helyiségek fűtése lehetett helyi vagy központi, különböző energiahordozóval. Helyi fűtőeszközként gázkályhák, közvetlen és hőtárolós elektromos kályhák jöttek számításba. Központi fűtési rendszerként választható volt a nagy hatásfokú vagy kondenzáló vízmelegítő (kazán), földgáz vagy olajtüzeléssel, és egy elektromosan hajtott hőszivattyú. A hő szétosztására a helyiségek között szigetelt csövek, a hőleadásra fűtőtestek szolgáltak, amelyeket egyik változatban még hátsó hővisszaverő ernyővel is elláttak. A helyiség hőmérsékletét szobatermosztát vagy hőfokszabályozós szelep szabályozta. A vízmelegítő kimenő víz hőmérséklete lehetett rögzített és változó. A keringető szivattyúk lehettek rögzített vagy változtatható sebességűek. A melegvíz előállítására hat lehetőséget vettek számba:

1. közvetlen elektromos vízmelegítő,
2. közvetlen gázos vízmelegítő, őrláanggal,
3. közvetlen gázos vízmelegítő, őrláng nélkül,
4. tárolós rendszerű gázos vízmelegítő,
5. tárolós rendszerű elektromos vízmelegítő,
6. tárolós rendszerű vízmelegítő, összeépítve a fűtés vízmelegítőjével.

Ez közel 400 lehetséges épületgépészeti megoldást jelent. Mivel az összes kombináció (400x400, épületenként) figyelembevétele megvalósíthatatlan lett volna a vizsgálat során, a következő módszert alkalmazták: az első lépés eredményéből kiválasztottak négy mértékadó szigetelési szintet, és ezt a négyet kombinálták a fűtési rendszer változataival. A kiválasztott szigetelések között volt a két szélsőség és két gazdaságilag érdekes változat:

1. változatlan szigetelés (marad a referenciahelyzet: szigetelés nélkül, kivéve a modern, jól felszerelt épületet),
2. az a szigetelési szint, amely a megtakarított CO₂ minden tonnájára vonatkoztatva a minimális beruházást valósítja meg szigetelésben és üvegezésben,
3. az a szigetelési szint, amely a minimális teljes nettó jelenértéket² valósítja meg, csak

² Gazdaságilag kevésbé képzett olvasóink kedvéért: a nettó jelenérték (net present value, NPV) a pénz időértékének figyelembevétele, vagyis a különböző időben kiadott vagy bevételezett összegek egyenlege, egyenként a jelen időpontra (például egy beruházás kivitelezése) átszámítva. Általában akkor jó egy beruházás, ha az NPV pozitív, vagyis a jelenre átszámított bevételek nagyobbak a jelenre átszámított kiadásoknál. Itt a minimális NPV a cél, mert a beruházás az energiaköltség csökkentésére irányul.

- a szigetelésben és üvegezésben végrehajtott beruházást számítva,
4. a maximális szigetelési szint, a legjobb üvegezéssel és az összes burkolati összetevő esetében a maximális szigetelési vastagsággal.

Az épületek burkolásának és a fűtési rendszernek a számításba vétele mellett elemezték a megújuló energiaforrások használati lehetőségét is. Ebből a célból egy lapos napkollektor és napelemek felszerelésének a hatását is számították mindegyik kombinációhoz.

A megoldások hatását az energiafogyasztásra és a károsanyag-kibocsátásra az elsődleges energiafogyasztásnak és a CO₂ kibocsátásnak a teljes életciklusra felvett leltárával becsülték; a gazdasági hatást a teljes nettó jelenértékkel. Mivel a kutatás célja a felújítások értékelése volt, csak a referenciaesethez képesti energia- és beruházási többletet vették figyelembe. Feltételezték, hogy a felújítás után 30 évig használják a berendezést. Hogy azután mi történik (lebontás, újabb felújítás), ezzel a kérdéssel nem foglalkoztak, tehát az épület életciklusának befejező fázisát nem vették számításba. Az egyes összetevők figyelembe vett élettartama: üvegezésre 25 év, a gépészeti berendezéseké 15–20 év, a szigetelésé több mint 30 év.

A nettó jelenértéket a következő képlettel számították:

$$NPV = I_0 + \sum_{j=x,y,z} \frac{I(1+r_I)^j}{(1+a)^j} + \sum_{i=1}^n \frac{K_E(1+r_E)^i}{(1+a)^i} + \sum_{i=1}^n \frac{K_M(1+r_M)^i}{(1+a)^i} \quad (1)$$

ahol I_0 a kezdeti beruházási költség euróban, I az x , y , vagy z év múlva bekövetkezett csere beruházási költsége, K_E az éves energiaköltség, K_M az éves karbantartási költség, r_I , r_E , r_M a beruházási költség, energiaköltség és karbantartási költség éves nettó (infláció feletti) növekedése, a a a kamatláb és n az épület használatának fázisait képviseli.

A beruházási költség tartalmazza a személyi ráfordításokat is (a nettó költség 30%-ának feltételezve, ha nem volt más adat) és 6% áfát (ez Belgiumban a jelenlegi áfakulcs a 15 évesnél idősebb épületek felújítása esetén). Ebben a projektben 5%-os nettó kamatlábat tételeztek fel, évi 2% nettó energiaár-növekedést és a beruházási és karbantartási költségek 0%-os nettó éves növekedését. Ezeknek az értékeknek nagy a bizonytalansága, de tekintettel arra, hogy a projekt célja az energiatakarékossági megoldások összehasonlítása és optimalizálása, így a relatív értékek fontosabbak az abszolút számoknál, és az így talált viszonyok nem változnak meg jelentősen a kamatlábra és a

költségek éves nettó változására tett feltevések megváltoztatásával.

Az épület szimulációs modellje

Az energiafogyasztást a belga energiahatékonysági szabályozás (Energy Performance Regulation, EPR) által tervezés esetére adott számítási eljárással számolták. Ez lényegében az EN 832 szabványon alapul. Először kiszámították a nettó és bruttó hőigényt, amely összeítve magában foglalja a hő elosztásának, kibocsátásának és szabályozásának a hatékonyságát, valamint a helyiségek fűtéséhez és a melegvíz előállításához elfogyasztott energiát. Ez utóbbi esetekben nemcsak a hőközlés hatékonyságát és a szivattyúk és ventilátorok energiafogyasztását vették figyelembe, hanem a napkollektorok szolgáltatott energiát is. Ebben az eljárásban kiszámították az elsődleges energiafogyasztást is, beleszámítva az elsődleges energiafelhasználáshoz a belga erőművekben elfogyasztott olajat vagy gázt, azok átlagával számolva, és kivonva a napelemek szolgáltatott energiát, ahol ilyen volt. A figyelembe vett éghajlati paraméterek a brüsszeli teszt-referenciaév adatai (Test Reference Year of Brussels, Belgium).

Az EPR nem veszi figyelembe a háztartási eszközök által elfogyasztott és a világítási célú villamos energiát, mivel azt túlságosan a felhasználás

nálói szokásoktól függőnek tartja. Ebben a vizsgálatban azonban beszámították ezt a villamosenergia-fogyasztást is. Ezt a fűtött alapterület alapján, 26 belga lakóépület háztartási és világítási villamosenergia-fogyasztásának statisztikai elemzésére alapozva számították ki:

$$E_{\text{házt.,világítás}} = (201 + 0,725 \times A_{\text{alap}}) \times 8,76 \quad (2)$$

ahol $E_{\text{házt.,világítás}}$ a háztartási és világítási villamosenergia-fogyasztás (kWh) és A_{alap} a fűtött alapterület (m^2).

Az EPR-nek vannak moduljai a megújuló energiaforrást használó rendszerek teljesítményének kiszámítására, vagyis a napkollektorok és napelemek energialeadására. A napkollektorok használhatók csak tisztálkodási melegvíz előállítására, vagy a helyiségek fűtésére és a tisztálkodási melegvíz együttes előállítására. Az EPR-be beépítették a kollektorok alapulveendő teljesítményjellemzőit, ezek általában a standard síklapú kollektoroz tartozó értékek, a belga éghajlat mellett. A specifikálandó paraméterek a tájolás, a dőlésszög és a felület. Ebben a vizsgálatban csak a tisztálkodási melegvíz termelését vették figyelembe. 5 m^2 napkollektort tételeztek fel, amelyet a legtöbb kollektorgyártó standard méretként ajánl Belgiumban, egy átlagos család éves tisztálkodási melegvízszükséglete kb. 50%-ának fedezésére. Azt feltételezték, hogy a kollektort a tetőre

szerelték, így a dölést és tájolást az arra legalkalmasabb tetőfelület meghatározta.

A napelemeket tekintve az EPR négy elemtípust és két alkalmazási rendszertípust vesz figyelembe. Az elemtípusok:

- monokristályos,
- polikristályos,
- amorf egyrétegű,
- amorf kétrétegű.

Az alkalmazási rendszerek típusai szerint:

- napelemes panelek a tetőbe építve, vagy szigetelt keretbe szerelve és
- napelemes panelek központi vagy panelenkénti váltóirányítóval.

A specifikálandó paraméterek a tájolás, a dőlésszög és a felület. Ebben a vizsgálatban a Belgiumban leggyakrabban használt típust választották, egy polikristályos panelt, központi átalakítóval, a tetőbe beépítve. 10 m^2 felülettel kb. 1 kW csúcsteljesítmény érhető el vele a belga éghajlaton. A dőlésre és tájolarásra ugyanaz igaz, mint a napkollektorok esetében. Az eredeti EPR-ben megadott számítási eljárást megvalósító szoftvercsomagot, amely kiszámítja az elsődleges energiafogyasztást és a CO_2 kibocsátását, beleértve az energiatakarékossági intézkedések hatását is, kiegészítették a beruházás és a felújítás alatt és az épület használata során fellépő energiaköltséget is figyelembe vevő jelenérték kiszámításával.

Eredmények

Helyszűke miatt itt a részletek mellőzésével az öt referenciaépületre elvégzett számításból adódó gazdaságilag optimális felújításnak csak az összegző adatait adjuk meg az *1. táblázatban*, és pedig az átlagos megtakarítást és a hozzá tartozó költséget 1 m^2 fűtött alapterületre és 1 m^3 fűtött léghőméterre vetítve.

A hőszigetelési és üvegezési megoldások összehasonlítása

- A tető hőszigetelése bizonyult a legeredményesebb megoldásnak mind energetikailag, mind gazdaságilag, mivel a tetőfelület az épület külső burkának nagy részét képezi, amelynek nagy a hatása a hőigényre, de egyúttal kis költségű a többi megoldáshoz képest.
- A homlokzatok hőszigetelése és az ablakkeretek cseréje a legdrágább volt a megoldások közül. Ez éppen ezért az összes épülettípus esetében kívül esett a gazdasá-

gilag optimális tartományon. Ezen túl az esztétikai hatását sem tartották elfogadhatónak, mivel a külső szigetelés esetében vakolat a látható felület, ami eltér a Belgiumban megszokott vörös téglától. A legtöbb háztulajdonos hajlamos ennek a változatnak az elutasítására. Adott esetben építési előírások is tilthatják.

- A padló hőszigetelése a legtöbb esetben kifizetődőnek tűnt. Ez azonban csak akkor igaz, ha a feltételei is teljesülnek, és pedig ha olcsón el lehet helyezni, azaz ha a pince mennyezetére szerelhető, vagy ha az eredeti padlót valamilyen egyéb okból amúgy is fel kell szedni. Ilyen esetben nem kell a megemelt padlószint miatt másodlagos költséggel számolni.
- A jobb üvegezés, mint a kis hőátbocsátású, levegővel vagy argonnal töltött hézagú többrétegű üvegek felhasználása szintén része az optimális megoldásnak, mivel a minimális teljes nettó jelenértékhez vezettek.

1. táblázat

A gazdaságilag optimális épületfelújítás átlagos költségei és megtakarításai Belgiumban

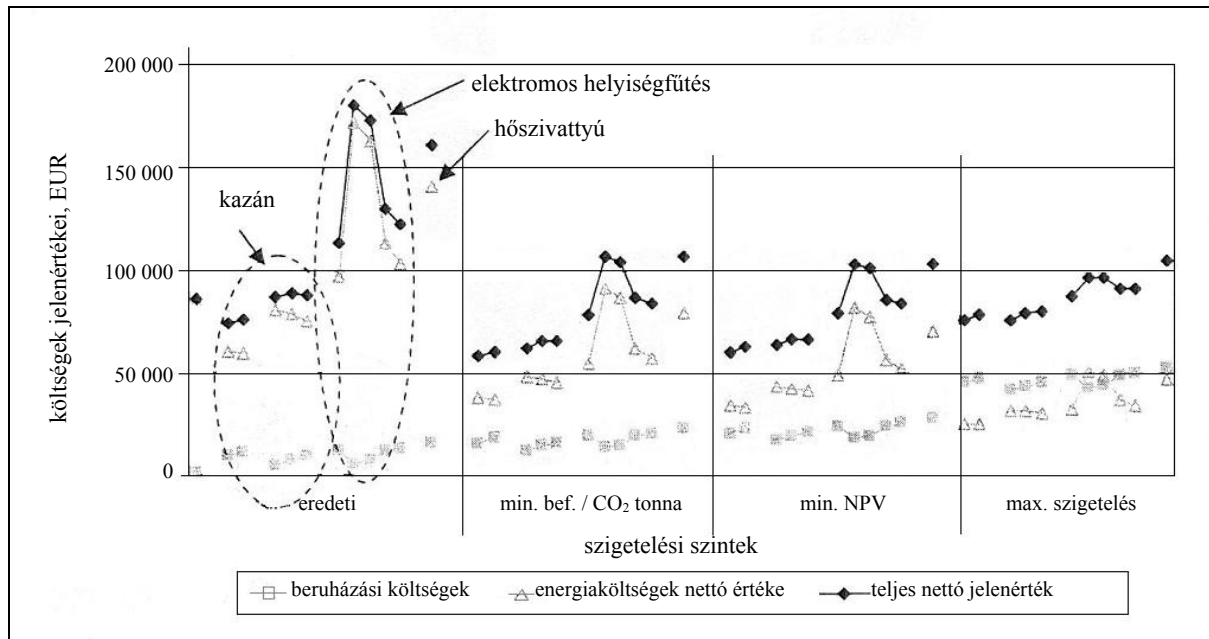
	1 m^2 fűtött alapterületre	1 m^3 fűtött léghőméterre
Energiamegtakarítás (kWh/év)	167 ± 48	62 ± 18
CO ₂ -kibocsátás csökkenése (kg/év)	$35 \pm 7,6$	$13 \pm 1,7$
Beruházási költség (EUR)	$46,67 \pm 14,84$	$17,79 \pm 5,92$
Teljes nettó jelenérték (EUR)	$209,20 \pm 52,38$	$79,15 \pm 21,11$

Nyilvánvalóan az energiamegtakarításból eredő legnagyobb gazdasági előny az eredetileg szigetetlen házaknál lép fel, mivel a hőszigetelésnek mindig az első centimétere a leghatékonyabb és leghasznosabb. Az első olajválság után épített, eredetileg részben szigetelt, kétrétegű üveggel ellátott házak esetében az újabb energiamegtakarítási megoldások hatása sokkal kisebb. A modern, jól felszerelt ház esetében az évente megtakarítható CO₂ egy tonnájára jutó optimális beruházási költség háromszor-négyszer akkora, mint a szigetetlen épületek esetében. A vizsgálat azt is megmutatta, hogy a részben szigetelt ház esetében a legtöbb energiamegtakarítási megoldás nem költséghatékony, a költségeket és hasznot 30 éves időszakra véve figyelembe. A referenciahelyzetben 5 cm szigetelést feltételezve a lapos tetőben (a hőleadó felület 19%-a) és az üreges falban (a hőleadó felület 21%-a), kétrétegű üvegezéssel, a modern épület eredetileg elérte az átlagos hőátbocsátási tényezőre a $k=1,0$ W/m²K értéket, szemben a szigetetlen épületek 1,8–2,2 W/m²K értékével. Itt csak a jobb üvegezéssel lehetett gazdaságosan növelni az energetikai hatékonyságot, mivel az üvegezés ezen épület teljes hőleadó felületének csaknem 9%-a. Persze a gazdasági haszonnak nem kell a hőszigetelés melletti egyetlen indoknak lennie. A nyári és téli kényelemérzet növelhető valamennyire vastagabb tetőszigeteléssel, és az üvegfelületek bepárásodása is

eltűnik a jobb üvegezés és jobb ablakkeretek felhasználásával, ha a szükséges légáramlást biztosítják.

Épületgépészeti változatok

Az 1. ábra bemutatja az egyedül álló vidéki ház esetében a teljes nettó jelenértéket és annak megoszlását a beruházási költség és az energiaköltség nettó jelenértéke között a négy hőszigetelési változat, továbbá a fő fűtőberendezés-változatok esetében. A rossz hőszigetelésű esetben a teljes nettó jelenérték főként az energiaköltségből áll, míg a jól szigetelt változatban, hatékony berendezésekkel a beruházási költségek meghaladják a 30 évre számított energiaköltséget. Jól szigetelt épületek esetében nagyon kicsi a különbség a teljes nettó jelenértéken belül a gáz vagy olajtüzelésű kazános központi fűtési rendszer és egy elektromos helyiségfűtés között. Ehhez járul az is, hogy a mai kazánok nem illeszkednek a különlegesen jól szigetelt épületek nagyon kis hőszükségletéhez, aminek a pénzügyi eredményeként az ilyen házakban előnyössé válik az elektromos helyiségfűtési rendszer. Amennyiben azonban az elsődleges energiafogyasztást és a CO₂ kibocsátást hasonlítjuk össze, az elektromos helyiségfűtés hátrányosnak bizonyul a gáz- vagy olajtüzeléssel szemben.



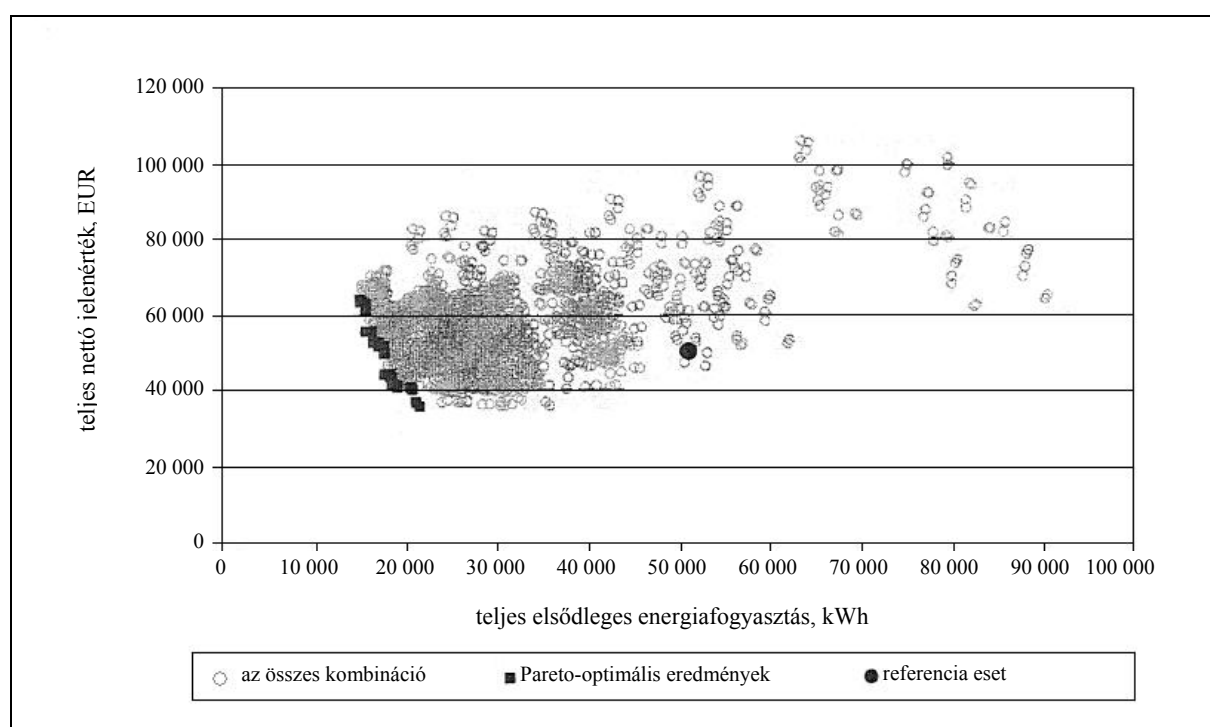
1. ábra Flamand vidéki ház, a fűtési rendszer fő változataival (kazán, elektromos helyiségfűtés és hőszivattyú): a költségek jelenértékei a négyféle szigetelési szint esetén

A részletes vizsgálat azt mutatta, hogy a jobb fűtési rendszernek az optimálisnál vékonyabb szigeteléssel való kombinációja gyakran az optimális vastagságú szigeteléséhez hasonló teljes nettó jelenértéket ad. Bár még kisebb nettó jelenérték érhető el némelykor kevesebb szigetelés elhelyezésével és egy energiahatékony fűtési rendszerre fordított nagyobb beruházással, ez mégsem ajánlatos, mivel ezeknek az elméletileg egyenértékű kombinációknak eltérőek a következményeik. A szigetelés az épület „hardver” része, és hosszabb élettartamú, mint a fűtési rendszer. Továbbá a fűtési rendszer felépítése és méretei közvetlenül összefüggenek az épület termikus minőségével, és a kockázatokat nem lehet figyelmebe venni, ha a szigetelést a fűtési rendszer cseréje után

helyezik el. Ha a hőszigetelés és fűtőberendezés közötti választás a kérdés, előnyös először a hőszigetelésbe befektetni a pénzt. Azután, ha telik majd rá, kicserélhető a rosszabb fűtési rendszer.

A megújuló energiaforrások felhasználása

Sem a napkollektor, sem a napelemek nem képezték részét a pénzügyileg optimális megoldásnak egyik referenciaépület esetében sem. A napelem-panelek 10 335 eurós és egy napkollektoros rendszer 6500 eurós beruházási költségét összevetve a Belgiumban elérhető átlagos éves energiaköltség-megtakarítás napelemre mindössze 100–130 eurós és a napkollektorra évi 40–60 eurós értékével, egy efféle eszköz



2. ábra A teljes nettó jelenérték és a teljes elsődleges energiafogyasztás összefüggése a kisebbik soros beépítésű flamand ház összes felújítási kombinációja esetében

messze van a gazdasági optimumtól. Ezt igazolja a 2. ábra is, amely a teljes elsődleges energiafogyasztás és a teljes nettó jelenérték összefüggését ábrázolja a kisebbik sorosan beépített ház felújítása esetében. A szürke körök adják az elsődleges energiafogyasztás és a megfelelő teljes nettó jelenérték összefüggését adott hőszigetelés, üvegezés és fűtőberendezés kombinációra a kisebbik soros beépítésű házra. A kitöltött fekete kör az ábra közepén ábrázolja a referencia esetet. Az összes kombináció együtt meglehetősen szétszórt felhőt ad. Azok a pontok, amelyek az eredetnél rosszabb helyzetet ábrázolnak, rossz hőszigetelésű változatok, elektromos fűtéssel kombinálva, ami sok-

kal nagyobb elsődleges energiafogyasztással és magasabb energiaköltséggel jár, mint a referencia eset. A bal oldalon lévő fekete négyzetek mutatják egy Pareto-optimumkeresés eredményét. Valamely eredmény akkor Pareto-optimális, ha nincs a kombinációk halmazában másik eredmény, amely adott célt tekintve egyenlő vagy jobb teljesítményű volna, anélkül, hogy rosszabb teljesítményű volna egy másik célt tekintve. A Pareto-optimum fogalmát gyakran használják a több célt optimalizáló problémák esetében, és módszert ad több cél, jelen esetben a teljes nettó jelenérték és a teljes elsődleges energiafogyasztás közötti kapcsolat meghatározására. A legelső fekete

négyzetek ábrázolják a gazdaságilag optimális kombinációkat, amikor az épületburkolással összefüggő lehetőségek közül csak a hőszigetelést és üvegezést vettük figyelembe. Amint az ábrából látható, a kisebbik soros beépítésű ház szigetelésének javításával az épület energetikai hatékonysága könnyen feljavítható az eredeti elsődleges energiafogyasztás felére, a teljes nettó jelenérték egyidejű 30%-os csökkentésével. Az ábra azonban azt is mutatja, hogy a teljes nettó jelenérték meredeken emelkedik, amikor az elsődleges energiafogyasztást jobb fűtési rendszer telepítésével, napkollektorral és nap-elemmel akarjuk csökkenteni. A teljes elsődleges energiafogyasztás további 25%-os csökkentése jobb fűtési rendszerrel és megújuló energiaforrások felhasználásával a teljes nettó jelenérték 75%-os növekedésével jár. Amint az ábra mutatja, ezek a megoldások megjavítják az épület energetikai teljesítményét, de drágán, messze túl a gazdasági optimumon.

A felhasználók véleménye

A németországi vizsgálat során a lakóházak energetikai műszaki megoldásainak alkalmazóit és használóit kérdezték meg. Az egyik cél annak a meghatározása volt, hogy a háztulajdonosok mit részesítenek előnyben (melyek a preferenciáik), amikor az energiatakarékosságra vezető lehetséges megoldások közül választanak építési

technológiát és szóba jöhető fűtési és más műszaki berendezéseket, vagyis a döntésükben mely tényezők és milyen súllyal játszanak szerepet, és mely technikákat és intézkedéseket részesítenek előnyben a különböző területeken. Hogy az épülettulajdonosok felfogásáról behatóbb ismereteket szerezzenek, azt is megkérdezték, hogy adott technikai megoldás mellett és ellen milyen érveket tartanak fontosnak.

2002-ben szeptember végétől november elejéig Baden-Württembergben tartott különböző vásárokon kérdezték meg 120 bérlőt és lakástulajdonost, szűrőpróbaszerű kiválasztással. Mivel a vizsgálat az Energie Baden-Württemberg AG hálózati ellátási területére összpontosított a megkérdezetteknek nagy része (92,5%) ebből a tartományból való.

A preferenciák meghatározása *conjoint* elemzéssel

A conjoint elemzés általánosan elismert módszer a vevők preferenciáinak mérésére. Abból az alapelgondolásból indul ki, hogy a terméknek a vásárló által felismert összhasznossága az egyes terméksajátosságok részhasznosságából tevődik össze. Az eljárás megkísérli a tapasztalatilag meghatározott összhasznosságból az egyes sajátosságok hozzájárulását kiszámítani. Az ismertetett vizsgálatban egy

számítógéppel támogatott változatot, az adaptív conjoint analízist használták. Ennek a fő előnye, hogy a termékek sok sajátosság szerint, és azok mindegyikének a saját megjelenése³ szerint oszthatók fel, így az elemzés nagyon részletes lehet. Ebben az esetben hat terméksajátosságot egyenként háromtól hatig terjedő számú megjelenéssel vettek figyelembe.

Épületek energetikai sajátosságai és azok megjelenései

A terméksajátosságok és megjelenéseik meghatározását a szakirodalom segítségével végezték el. Az EnEV rendelet, a megjelenése óta a tárgyban megjelent cikkek és a DIN V 4701-10 szabvány alapján képzett listát szakértői megbeszéléseken kiegészítve állították össze.

Az átlagos lakóépületet energetikailag öt mértékadó sajátossága jellemzi: a fűtési rendszer, a melegvíz-előállítás, a szellőztetési rendszer, a hőszigetelés és a decentralizált villamosenergia-termelés jellege. Ebben a listában mind épületszerkezeti, mind olyan épületgépészeti összetevők vannak, amelyek az energiatakarékosság szempontjából kihasználhatók. Ezeken túl fontos sajátosság a berendezések ára.

Az egyes területeken belül a különböző műszaki megoldások képezik a felsorolt sajátos-

ságok megjelenéseit. A vizsgálat ésszerű mértékben tartása érdekében csak a legfontosabbakat vették figyelembe. Mindazonáltal ügyeltek arra, hogy a kiválasztott megoldások a lehetséges technikák széles spektrumát lefedjék: legyenek közöttük hagyományos megoldások, mint a szokásos gáz- és olajfűtés, és legyenek újak, mint az innovatív tüzelőanyag-elem.

Az árak mint sajátosságnak a megjelenését először a szakértők által megadott átlagárakból számították ki a különböző műszaki megoldásokra. Az alsó árhatár a legolcsóbb megoldást adó elképzelést jellemzi, a felső árhatár az összes ill. legdrágább összetevőkből álló elképzelést. Eredményül nagyon széles tartomány adódott az árhatárok között, ami azzal a veszéllyel jár, hogy az ár a többi sajátossággal szemben meghatározó szerepet játszhat. Ennek elkerülése céljából a felméréshez négy mérsékelt árszintet rögzítettek.

A conjoint-elemzésben nehézséget szokott okozni, ha olyan terméksajátosságról ill. annak megjelenéséről kérdezik a megkérdezett, amelyről hiányosak az ismeretei. Ilyen esetekben szokásos a leíráshoz a szövegen kívül vizuális segédeszközöket (pl. képeket) is felhasználni. Ebben a vizsgálatban a kevésbé ismert berendezések, szerkezetek, mint pl. a hőszivattyú vagy a tüzelőanyag-elem esetében kihasználták ezt a lehetőséget.

³ A sajátosságok és megjelenéseik értelmezése a következő bekezdésekben kiderül. – *A szerk.*

A sajátosságok megjelenéseinek részhasznosságai

A 2. táblázat foglalja össze a kérdőívek feldolgozásából kiadódó részhasznossági értékeket. A preferenciaértékek a +100 .. –100 tartományba eshetnek, a nagyobb érték a megkérdezett számára nagyobb hasznosságot jelent. A tapasztaltakból leszűrhető tanulságok: a műszaki megvalósíthatóságtól függetlenül a legjobban kedvelt megoldások a központi fűtés gázkazánnal, a vízmelegítés napenergiát használó berendezéssel (napkollektor), a szellőztető levegő be- és elvezetése hővisszanyeréssel, a teljes hőszigetelés (falak, pince, tető), az áramtermelés tüzelőanyag-elemmel, és a legolacsonyabb ár (20 000 EUR). Ezen túl látható, hogy melyik megoldást választanák következőnek. A legegyszerűbb az árpreferencia leírása: legelsőnek a legolcsóbb, legutolsónak a legdrágább megoldást választanák.

Több megkérdezett hangsúlyozta az újonnan épített épület műszaki felszerelése és a régi épületek energetikai felújításának viszonylag korlátozott lehetőségei közötti különbséget. Az esetleges akadályozó építési adottságok mellett mindenképp a nagyobb ráfordításigény gátolja ezen a területen a beruházásokat. Megállapítható volt továbbá, hogy némelyik megkérdezett alapvetően elutasítóan viszonyul valamelyik energiahordozóhoz, például a gáz-

hoz vagy a villamossághoz. Ezek a felhasználók az ilyen hordozót használó megoldást annak hatékonyságától függetlenül elutasítják.

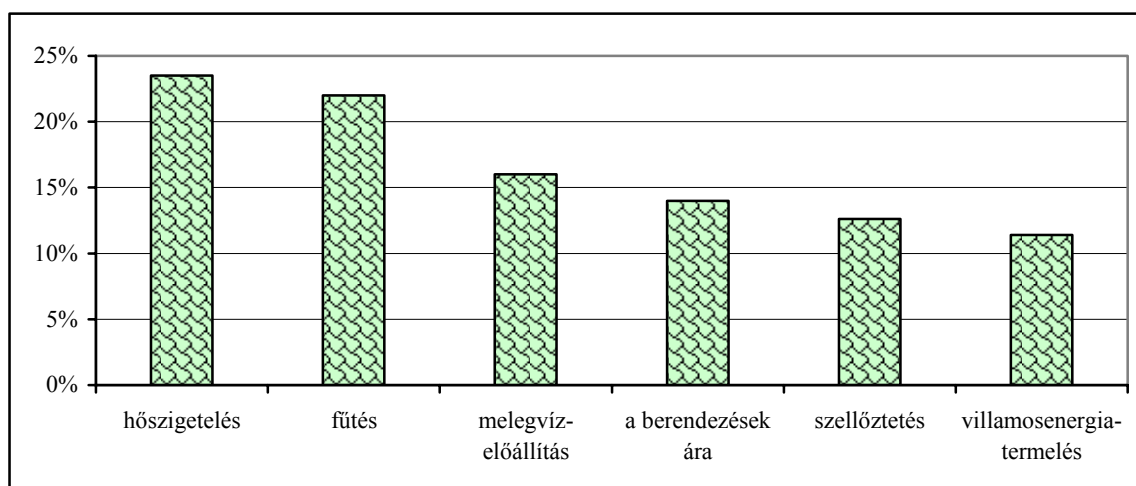
2. táblázat
Az energetikai sajátosságok megjelenési formáinak átlagos részhasznosságai Németországban

Sajátosság/Sajátosság megjelenése	Részhasznossági érték
Helyiségfűtés	
Gázkazán	24,32
Tüzelőanyag-elem	21,52
Hőszivattyú	20,72
Táv hőellátás közelről/távolból	-12,18
Hagyományos olaj-/gázfűtés	-18,43
Hőtárolós villamos fűtés	-35,95
Melegvíz-előállítás	
Napenergiát használó berendezés	29,30
Csatlakozás a meglévő fűtési rendszerhez	2,36
Helyi, átfolyó rendszerű vízmelegítő	-31,65
Szellőztetés	
Levegő be- és elvezetése hővisszanyeréssel	21,80
Nincs	-9,24
Levegő be- és elvezetése	-12,56
Hőszigetelés	
Teljes hőszigetelés (falak, pince, tető)	50,75
Hőszigetelő üvegezésű ablakok	17,91
Külső falak hőszigetelése	9,81
Semmilyen extra hőszigetelés	-78,48
Villamosenergia-termelés	
Tüzelőanyag-elemes	10,96
Napelemes	5,57
Semmilyen	-16,53
Műszaki megoldás ára	
20 000 EUR	35,56
30 000 EUR	15,23
40 000 EUR	-11,43
50 000 EUR	-39,45

A sajátosságok egymáshoz képesti fontossága

Az értékelés során a részhasznossági értékek mellett figyelembe kell venni az egymáshoz képesti fontosságot is. Ebben a tekintetben a hőszigetelés a megkérdezettek számára a viszonylag legfontosabb megoldás, kissé mögötte van a helyiségek fűtése. Jóval hátrább következik a vízmelegítés, az ár, a szellőztetés és a saját áramtermelés. Mindez jól látható a 3. ábrán. A fogyasztók szeme előtt leginkább a hőszigetelés és a fűtési rendszer van, mivel ezek a jelenleg a nyilvánosság előtt leginkább tárgyalt témák a lakóépületek energiatakarékossága területén. Ezen belül is a hőszigetelésben nagyobb megtakarítási lehetőséget látnak, mint a fűtési technikában.

Ezzel szemben a szellőztetési rendszer útján vagy a saját villamosenergia-termeléssel elérhető energiatakarékossággal ritkán találkozunk, ami ezeknek a preferenciákban megjelenő viszonylag kis jelentőségében tükröződik vissza. Ezenkívül a szellőztetőrendszert a többség természetellenesnek és zavarónak tartja, ami által ehhez a technikához negatív képzetek tapadnak. Mivel a technika mai állása mellett a napelemek és a tüzelőanyag-elemek nem képesek az áramszolgáltatótól való függetlenség megvalósítására, ezért ez a technika jelenleg kevésbé érdekes a megkérdezettek körében. Mindamellet az áramszolgáltatótól és annak áraitól való függetlenséget olyan célnak tartják, amelyre érdemes törekedni. Ebből következik, hogy a megkérdezettek többsége kihasználná a nagyobb hatásfokú és megbízha-



3. ábra A sajátosságok egymáshoz képesti fontossága Németországban

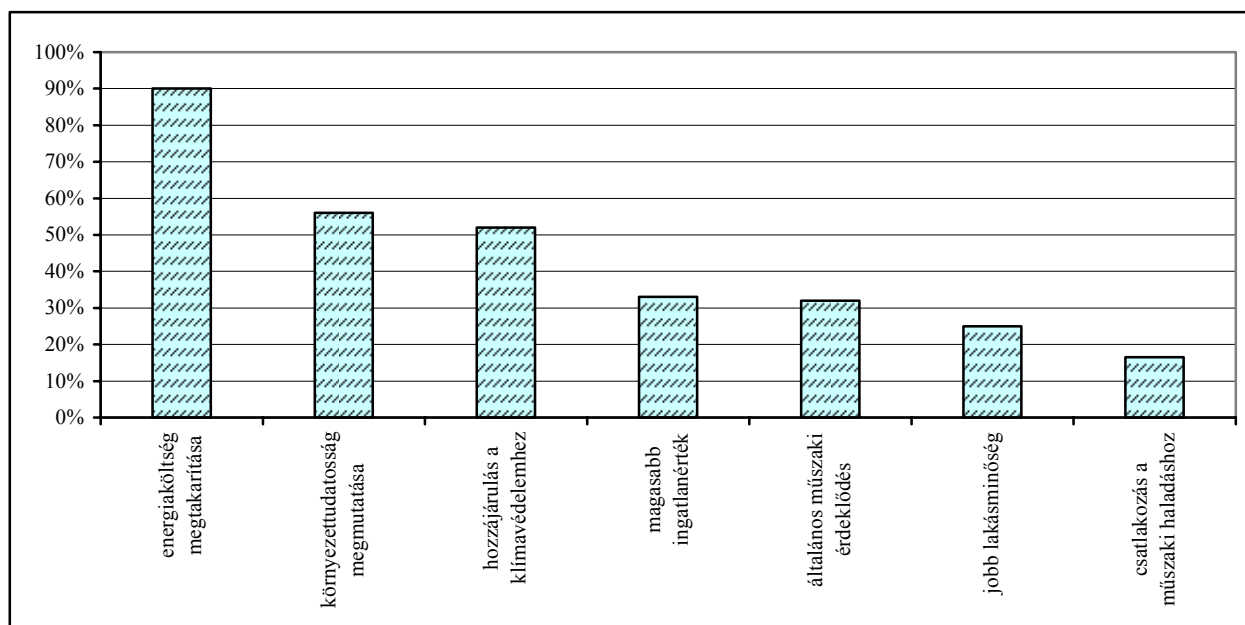
több megoldásokat a saját villamosenergia-termelésre. Az ár aránylag kis súlya arra utal, hogy a teljes lakóház-energetikai beruházások hosszú élettartamúak, és folyamatos költségvonzatuk van. Tendenciaszerűen megállapítható, hogy megvan a készség az ez irányú beruházásra, ha idővel a hatékony technikának köszönhetően költségek takaríthatók meg.

A demográfiai tényezők csak csekély mértékben befolyásolták a beállítottságot. Érdekes eredmény, hogy a bérlők számára az összes megkérdezettre számított átlagos értékekhez képest fontosabb a hőszigetelés, a fűtés és az ár. Ez annak tulajdonítható, hogy a bérlők a fűtési számla révén elsősorban ezzel a három

tényezővel találkoznak. Ehhez jön az is, hogy a bérlők számára az ár sokkal fontosabb preferenciaképző, mint a tulajdonosok számára. Úgy tűnik fel, hogy a háztulajdonosok, akik a saját tulajdonukra fordított beruházásoknak maguk a döntéshozói és haszonélvezői, inkább gondolnak hosszabb távra. A bérlők ezzel szemben láthatóan rövidebb távon gondolkodnak, ami következhet a társadalom által megkövetelt rugalmasságból és mobilitásból.

A beruházás mellett szóló érvek

A 4. ábra mutatja be ezeknek az érveknek a sorrendjét. A legtöbben (88,3%) a költségmegtakarítást tartják a legvonzóbb érvek. Ezen



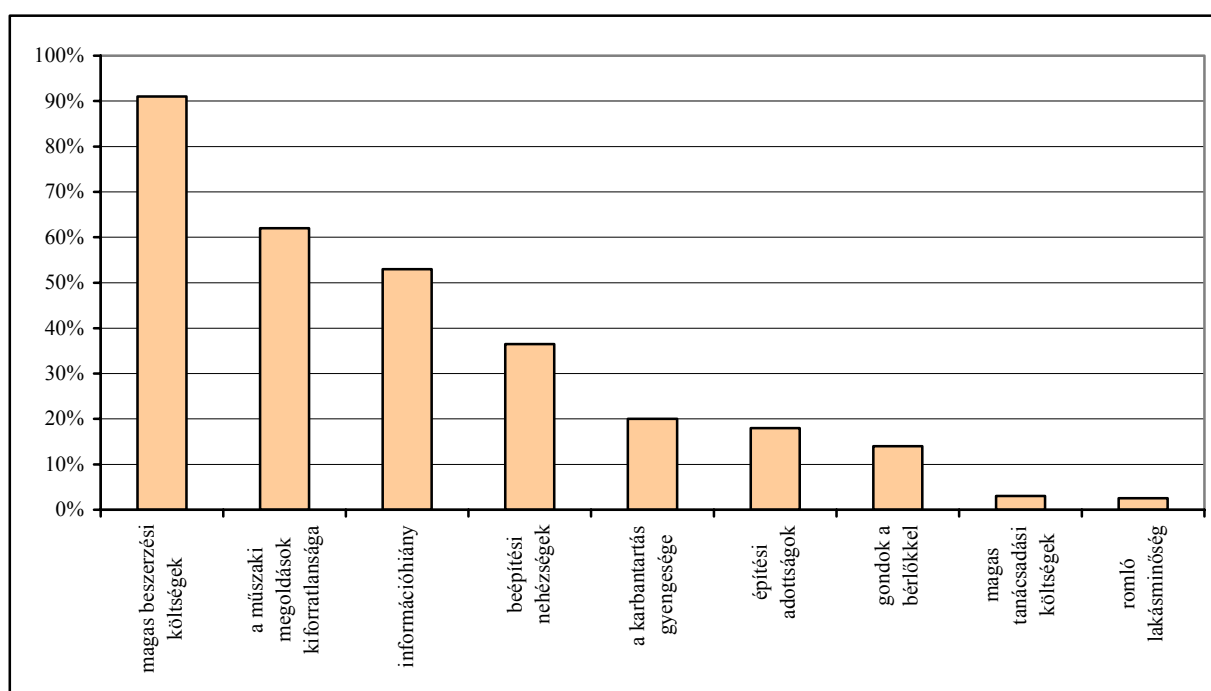
4. ábra Az épületet érintő új műszaki beruházás mellett érvek gyakorisága Németországban (többes megjelölés meg volt engedve a felmérésnél)

belül a többségnek fokozott elvárásai vannak a járulékos költségek csökkenését illetően. A megkérdezettek 54,2%-a nyomós érvnek tartja a környezettudatosságot. Egyúttal fontosnak tartják, hogy a beruházás kívülről is látható legyen, pl. a tetőre telepített, napenergiát hasznosító berendezés formájában. 51,7% ugyanakkor a klímaváltozás elleni fellépést tartja fő indítéknak. Az ingatlan értéknövekedését 32,5% tartja fontosnak, 25% a lakás minőségének javulását. Sokan tartják fontosnak az általános műszaki érdeklődést (31,7%), a műszaki újítások közvetlen telepítését és kihasználását. 16,7% szerint a beruházók csatlakozni kívánnak a műszaki haladáshoz.

Végezetül a megkérdezetteknek módjuk volt saját gondolataikat is kifejezni. Számos megkérdezett látja előnyösnek a függetlenedést az energiaszolgáltatóktól. Mások kiemelték az állami támogatások szerepét, továbbá azt, hogy bizonyos esetekben jogszabályi kötelezettség is fennáll a beruházásokra.

A beruházás elleni érvek

Az 5. ábra szemlélteti az ellenvélemények megoszlását. A megkérdezettek több mint 90%-a vélte a magas beszerzési költségeket a legfontosabb akadállynak, amely késlelteti ezeket a beruházásokat. Érdekes módon ez az



5. ábra Az épületet érintő új műszaki beruházás elleni érvek gyakorisága Németországban (több megjelölés meg volt engedve a felmérésnél)

álláspont ellentétben áll az árak a conjoint-elemzésben kiadódott csekélyebb szerepével. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a belépési küszöb, amíg egy beruházási döntés megszületik, nagyon magas: egy meglévő műszaki berendezés kicserélése egy újabbra sokáig késik a magas beruházási költségek miatt. Ezt erősíti az épületek területén amúgy is nagyon hosszú beruházási ciklusidő. Amint azonban a régi technika helyettesítésének szükségességét felismerték, akkor már az ár kisebb szerepet játszik. Az új épületeknél és felújításoknál a beszerzési döntések esetén az új berendezések ára nem olyan fontos, ha az új technika folyamatos járulékos költségekkel is jár.

További ellenérveket találnak magukban a megoldásokban: kb. 62% kockázatosnak, ill. kiforratlannak tartja az új technikákat. Ide elsősorban a mindeddig meglehetősen gyenge hatásfokú megoldások, pl. a napelemek tartoznak.

Jelentős akadálynak látják (a megkérdezettek 52,5%-a) az információhiányt. A legtöbb embernek nincs tudomása az energiatakarékossági lehetőségekről. Ennek oka részben a műszaki érdeklődés hiánya, részben az áttekinthetetlen információkínálat. A terület összetettsége és a nem elfogulatlan, nem érdeektől mentes tanácsadás miatt a felhasználók kiszolgálta-

tottnak érzik magukat. Az információhiányt a megkérdezés során közvetlenül tapasztalni lehetett, gyakran meg kellett magyarázni a különböző megoldásokat.

A megkérdezettek 36,7%-a túlzottan ráfordításiigényesnek találta az új technikák beépítését, mind pénzügyileg, mind építési szempontból. Ehhez jön még 20%-uk szerint, hogy a hézagos karbantartói hálózat miatt a folyamatos karbantartás, illetve hiba esetén a megfelelő javítás nehezen oldható meg. 18,3% utalt a kedvezőtlen építési adottságokra (pl. műemlékvédelem alatt álló épület hőszigetelésének esete), amelyek tovább nehezítik az új technika bevezetését. Csupán 2,5% látja akadálynak, hogy az új technika ronthat a lakás minőségén.

A megkérdezettek 14,2%-a lát nehézséget a bérlőkkel kapcsolatosan. Ez arra utal, hogy az irodalomból beruházó/felhasználó dilemma-ként ismert probléma, amely itt bérbeadó/bérlő dilemma formában jelenik meg, ezen a területen csekély jelentőségű. Az ingatlantulajdonos, a bérbeadó fizeti ugyan az energiatakarékosság költségeit, de nem élvezzi azt. Ezt a bérlő teszi, akit a beépített új berendezések, vagy a megjavult hőszigetelés miatt kevesebb járulékos költség terhel. A bérbeadó jogi korlátozások miatt nem háríthatja az egészet át a bérlőre. Másrészt a bérlő sem tudná teljes mértékben

élvezni egy esetleges saját beruházás hasznát, ha adott esetben korábban el kell hagynia a bérelt objektumot. Így egyik félnek sincs sok oka az energiatakarékosságba beruházni. A conjoint-elemzés eredménye, miszerint a bérlők érzékenyebbek az árra, megerősítik a beruházó/felhasználó dilemma fennállását. A beruházási indokokra vonatkozó válaszokból azonban levezethető, hogy a bérlők általában nyíltan viszonyulnak az efféle beruházásokhoz, vagyis a bérbeadó tulajdonosok egyetértésre juthatnak ebben a kérdésben a bérlőjükkel. A többség számára a tanácsadási költségek csak elhanyagolható mértékben befolyásolják a beruházási döntést. Ezért a szövetségi kormánynak az egyéni mérnöki tanácsadást – pl. a helyszíni tanácsadást – pénzzel támogató programjai megkérdőjelezhetők.

Ezekon kívül a megkérdezettek egyéb okokat is megnevezhettek. Sokan hivatkoztak információhiányra és rossz minőségű tanácsadásra a házi energiatakarékosság terén. Némelyek több támogatást várnak el az államtól az új technikák bevezetésekor, különösen régi épületek felújítása esetén. Mások további érvként emlegették a kutatások kezdetleges állását (kis határfok, energiatarolás nehézsége) és maguknak a technikáknak a csekély elfogadottságát. Mások nem akarják magukat a technikától függő helyzetbe hozni, és előnyben részesítik a jól bevált régit. Ehhez járul még, hogy az új

eszközök esetében a járulékos költségek nehezen számíthatók, ami bizonytalansági tényezőként a beruházást kevésbé vonzóvá teszi. Említették a társadalom kényelmességét is, vagyis hogy az emberek jelentős része nem szívesen szembesül az új gondolatokkal.

Összegzés

A rendelkezésre álló felújítási pénzkerettől és motivációtól függően a különböző energiamegtakarítási megoldások megvalósítása időben elkülönülhet, mivel a legtöbb a többitől függetlenül megvalósítható. Mégis van értelme bizonyos sorrendet figyelembe venni, először a leghatékonyabb és legtartósabb megvalósításával. Ez a sorrend:

1. a tető szigetelése,
2. a padló szigetelése, ha megvalósítható,
3. jobb hőszigetelésű üvegezés (a legtöbb felújításnál az ablakkereteket amúgy is ki kell cserélni),
4. energetikailag hatékonyabb fűtési rendszer,
5. megújuló energiaforrásokat felhasználó rendszerek.

A megkérdezések során igazolódott a hőszigetelés és a fűtési rendszer fontosságának elfogadottsága, amit a német piaci helyzet is jelez. Ezekhez képest csekély a saját villamosenergia-termelés és a szellőztetés jelentősége.

Ez részben az információk, tapasztalatok hiányára is visszavezethető. Látható, hogy a megújuló energiaforrásokat felhasználó megoldásoknak általában pozitív a híre, különösen a hőszivattyú felhasználásának fűtési célra, a napelemeknek áramtermelésre és a napkollektoroknak melegvíz előállítására. Látható továbbá, hogy a tüzelőanyag-elemek is némi jelentőségre tettek szert a házi villamosenergia- és hőtermelésben.

Leszögezhető, hogy a döntő tényező a beruházások tekintetében továbbra is a költség és az értéknövelés, de a környezettel kapcsolatos elképzelések is befolyásra tettek szert.

Megállapítható, hogy a német fogyasztók a modellszámítással meghatározott célszerűségi

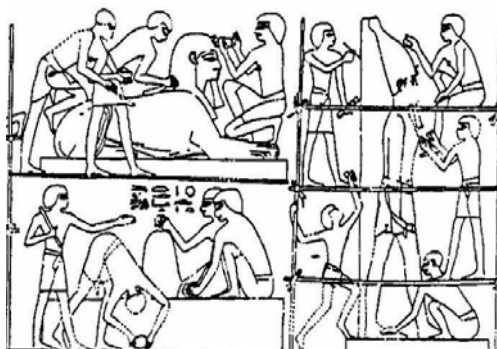
sorrendnek megfelelő preferenciával viszonyulnak az energiatakarékossági lehetőségekhez, a modellszámítás azonban finomabb, részletesebb, a hőszigetelésen belül is további besorolást, és ezzel segítséget ad egy beruházási döntéshez.

Összeállította: Gaul Géza

Irodalom

- [1] Verbeeck, G.; Hens, H.: Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? = Energy and Buildings, 37. k. 7. sz. 2005. p. 747–754.
- [2] Bruschi, M.; Zühlsdorf, D. stb.: Die Beurteilung von Technologien bei der Hausenergie-technik aus Anwendersicht. = Forum der Forschung, 8. k. 17.sz. 2004. dec. p. 31–36.

Csak a módszerek változtak, a probléma ugyanaz maradt...



BME OMIKK

ÜZEMFENNTARTÁS–KARBANTARTÁS

Havonta a karbantartásról, hogy a szakismeretét is karbantarthassa...