



„A legnagyobb globális kihívás az erőforráshatékony és fenntartható energiaellátásra való átállás.”

Pre-bound és rebound hatás

Az energiahatékonysági fejlesztések eredményeinek korlátozódása

Készítették:

Gróf Gyula

Tihanyi Kata

Energiahatékonysági kutatások Alprojekt

Budapest, 2021

Az energiahatékonysági fejlesztések eredményeinek korlátozódása¹

Absztrakt

Az energetikai és klímapolitikai törekvések eredménye, hogy a lakásszektorra vonatkozó energetikai követelmények folyamatosan szigorodnak és ezek teljesítéséhez a háztartások energiaigényeinek mind hatékonyabb kielégítésére van szükség. A nagyszámú elavult fűtési rendszerű és nem kellően hőszigetelt épületállomány energiafogyasztásának csökkentésére tömeges energetikai hatékonyságnövelő beruházási programok vannak szinte valamennyi EU országban. Ugyanakkor a tapasztalatok szerint sokszor ezek a programok a tervezettnél mérsékeltebb hatást érnek el. A tervezett energiamegtakarítás elmaradása összetett folyamatok eredménye, amelyekben jelentős szerepet játszik a lakást használók viselkedése, illetve ennek megváltozása. A prognózis hiba bekövetkezhet a felújítást követő többlet energiafelhasználás (rebound) miatt és a felújítás előtti fogyasztás túlbecslése (pre-bound) miatt, illetve a két hatás együttes megjelenése miatt. A rebound és pre-bound ikerjelenségeknek a gazdaság egészére kiterjedő hatása is van, ugyanis a felhasználóknál az energiahatékonyság növekedése miatt keletkező átcsoportosítható forrás más területen való felhasználásra, azaz helyettesítő vagy kiegészítő fogyasztás vásárlásra fordítódik. A gazdaság egészének új egyensúlya így megnövekedett energiafogyasztást eredményezhet. A rebound és pre-bound mértékének minél pontosabb ismerete és figyelembevétele az energiahatékonysági programok tervezésénél ezért kiemelten fontos. Egységes módszertan hiányában ugyan sokszor ellentmondásos értékeléssel találkozhatunk a szakirodalomban, de a konzisztens adatokat tartalmazó adatbázisok létrehozása és az azokhoz való hozzáférés kulcsfontosságú a mind pontosabb eredményekhez. A magyarországi lakásszektor energiahatékonysági fejlesztési programoknál akár ~45-50%-os közvetlen, enyhén emelkedő tendenciájú, és 30%-os közvetett, enyhén csökkenő tendenciájú, rebound mértékekre lehet számítani.

¹ A tanulmány a Magyar Nemzeti Bank és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem között létrejött Együttműködés keretében és finanszírozásával készült a Zöld pénzügyek, zöld gazdaság műhelyben.

The study was financed in the cooperation of the National Bank of Hungary and Budapest University of Technology and Economics under the Green Finance Research Project

Tartalomjegyzék

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ	3
1. ELŐZETES	5
2. BEVEZETÉS	6
3. A KÖZVETLEN REBOUND HATÁS	9
4. A KÖZVETETT REBOUND HATÁS	12
5. A PREBOUND HATÁS	14
6. A TELJES VAGY EREDŐ REBOUND HATÁS	19
7. AZ ENERGIAMEGTAKARÍTÁSI RÉSZ ÉS OKAI	22
8. HATÁS-ÚTVONAL TÉRKÉP	25
9. A REBOUND HATÁS MÉRTÉKE AZ EU ORSZÁGOKBAN	31
10. A REBOUND HATÁS MAGYARORSZÁGON	39
10.1. A HAZAI HÁZTARTÁSI ENERGIAFOGYASZTÁS KÖZVETLEN REBOUND MÉRTÉKE	41
10.2. A HAZAI HÁZTARTÁSI ENERGIAFOGYASZTÁS EGYÜTTES REBOUND MÉRTÉKE	43
11. ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK	46
12. IRODALOMJEGYZÉK	48
A SZERZŐKRŐL	52

Vezetői összefoglaló

Kulcsszavak: energiahatékonyság, közvetlen és közvetett rebound és pre-bound, energiamegtakarítási prognózis hiba

Az energiahatékonysági beruházások eredményessége a tapasztalatok szerint a legtöbb esetben elmarad az előzetesen meghatározott mértéktől, ezt a csökkenés *energiamegtakarítási rés*-nek nevezik. Az eredménytelenségnek számos oka van és többnyire nem tudunk egyetlen előidézőt megnevezni, mert egy összetett folyamat eredményezi. Az energiamegtakarítási rés létrejöttéhez négy lényeges elemet társítunk: (1) a felújítás előtti állapot nem megfelelő ismerete, (2) az alul fűtöttség vagy komforthiány, (3) a felújítás során fellépő technikai okok és (4) a felújítást követő használati mód.

Az energiamegtakarítás eredmény elmaradása abból a téves tervezési hipotézisből ered, hogy a nem felújított lakások energiafogyasztása pusztán azok fizikai állapotától függ és a felújítás után a fizikai állapotjavulás által indokolt energiamegtakarítás meg is valósul. A prognózis hiba tehát a felújítás utáni többletfogyasztás, és a felújítás előtti fogyasztás túlbecslése miatt is bekövetkezhet. Az energiahatékonyság növelését követő többlet fogyasztást *reboundnak*, míg a felújítás előtt az épület fizikai állapota által indokoltnál kisebb fogyasztást *pre-boundnak* nevezik. A jelenségek mértékének meghatározása bonyolult, mert az emberek helyzetektől függő viselkedésének meghatározására van alapvetően szükség. Nem csak a viselkedési séma, hanem az energiafelhasználás műszaki és gazdasági körülményei, illetve valamennyi komponens kölcsönhatása határozza meg a rebound és pre-bound hatás mértékét. A mértéktől függően, a nagyszámú háztartásra való kiterjedés azt eredményezi, hogy az energiahatékonysági beruházások tömegétől várt primerenergia megtakarítás akár nem is jön létre.

Az éghajlatváltozás mérséklését célzóan az épületenergetikához kapcsolódóan az Európai Unió számos direktívát és ajánlást fogadott el, amit az egyes tagállamok a saját rendeleteikbe és törvényeikbe építettek be. Az energetikai és klímapolitikai törekvések folyamatosan változnak, helyesebben szigorodnak azok az előírások, amelyek szabályozzák a lakásszektorra vonatkozó energetikai követelményeket. Mind a fizikai és a gazdasági környezet megújítása elengedhetetlen ahhoz, hogy az energiahatékonyságba történő beruházások megtérüljenek, mivel egy épület értéke nem csak magának az épületnek a minőségétől függ, hanem a környező épületektől, az infrastruktúrától és a környéktől. Következésképpen az összehangolt város felújítás ösztönzést nyújthat arra, hogy többet költsenek az épületek minőségének javítására az érintettek. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2018-as adatai szerint a lakásszektor felelős a végső energiafelhasználás kb. 24%-ért, a földgázfelhasználás 40%-ért és a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének 11%-ért. Ebből is látható, hogy az ezen a téren történő eredményes beavatkozásnak jelentős hatása lehet a klímapolitikai célok elérésében. Az előzőek alapján elmondható, hogy a politikai döntéshozóknak és az energetika politikát befolyásoló szakembereknek fontos foglalkozniuk a meglévő épületállomány energiahatékonyságának

javításával és pontos kutatásokat érdemes végezni, valamint valós adatokon alapuló statisztikákat vizsgálni annak érdekében, hogy az energiahatékonyságot növelő intézkedések valóban azt a célt érik el, amire a programok tervezői számítanak, hiszen nagyon sok befolyásoló tényező változtathat az eredményeken.

A rebound és pre-bound következtében elmaradó energiamegtakarítás jelentősége az egyre ambiciózusabb nemzeti és EU programokkal együtt megnövekedett és az energiahatékonyságot javító programokkal foglalkozóknak, függetlenül attól, hogy a döntéshozatali folyamat mely részében érintettek, foglalkozniuk kell ezekkel a hatásokkal, hogy az elvárt eredmények megvalósuljanak.

A rebound hatást tárgyaló tanulmányunk nyolc érdemi fejezetben mutatja be a 2020/21 tanévben végzett kutatások eredményét. Egy-egy fejezet tartalmazza a direkt, indirekt és az ún. pre-bound hatásokat. Külön fejezet foglalkozik a direkt és indirekt hatások egymásra hatásával és kapcsolatával, valamint az ún. energiamegtakarítási rés megjelenésében betöltött szerepükkel. A rebound hatás érvényesülését fékező társadalmi erőfeszítések lehetőségeit Ausztria példáján keresztül tárgyaljuk. Véleményünk szerint bár az osztrák társadalmi szerkezet lényeges eltéréseket is mutat Magyarországhoz képest, a különbség nem olyan nagy, hogy a megállapított tanulságok ne lennének hasznosíthatók. Nyilvánvaló, hogy a teoretikus megállapításokon túl a rebound hatások mértékének ismerete a legfontosabb, így a rebound hatások mértékét külön fejezetben mutattuk be Európai Unió szinten és külön Magyarországra vonatkozóan.

Fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy minden számítási módszer Achilles pontja a konzisztens adatok gyűjtése és a kutatások során való hozzáférés. Jelen tanulmányban elsősorban nemzetközi adatbázisokban található adatokra támaszkodtunk, elsősorban azért, mert az irodalmi források szerzői is ezekből az adatbázisokból dolgoznak, így biztosított az összehasonlíthatóság.

Magyarországra vonatkozó rebound adatok, néhány kivételtől eltekintve, harmonizálnak az EU országok rebound mértékére vonatkozó adatokkal. A lakásszektorral kapcsolatos energiahatékonysági programoknál ~70-80% összesített rebound hatás megjelenésére lehet számítani. Ezen belül a direkt rebound enyhe emelkedése és az együttes rebound enyhe csökkenésére vonatkozó eredményeket kaptunk.

A pre-bound hatás jelentőségét célszerű ehelyütt kiemelni, mert a nem elfogyasztott energiát lehetetlen megspórolni. A becült és mért értékek közötti különbség okainak vizsgálatakor mutatkozik meg, hogy milyen nagy jelentősége van annak, hogy az energiahatékonysági beruházások vállalásakor valós, mért adatokra alapozzuk a programokat, hiszen így kisebb az esélye, hogy a célok nem valósulnak meg.

1. Előzetes

Az energiahatékonysági beruházások eredményessége a tapasztalatok szerint a legtöbb esetben elmarad az előzetesen meghatározott mértéktől. Ennek a helyzetnek számos oka van és többnyire nem tudunk egyetlen előidézőt megnevezni. A jelenséget *energiamegtakarítási rés* néven azonosíthatjuk a szakirodalomban, és egy komplex folyamat eredménye. Az energiamegtakarítási rés létrejöttéhez négy lényeges elemet társíthatunk: (1) a felújítás előtti állapot nem megfelelő ismerete, (2) az alul fűtöttség vagy komforthiány, (3) a felújítás során fellépő technikai okok és (4) a felújítást követő használati mód. A tervezett energiamegtakarítás megvalósulásához vezető előidézők között a használathoz kapcsolódik az ún. *rebound* hatás, amikor a felújítást követően a használók a tervezett energiafelhasználásnál több energiát fogyasztanak. Széles körben megfigyelt nemzetközi tapasztalat az is, hogy a lakások nagy részénél a lakók kevesebb energiát használnak el fűtésre, mint amennyit a lakás vagy épület energetikai állapota indokolna, ezt *pre-bound* hatásnak nevezik. A *pre-bound* nagy számú háztartásra való kiterjedése azt eredményezi, hogy az energiahatékonysági beruházások tömegétől várt primerenergia megtakarítás nem jön létre. Ennek oka abból a többnyire téves tervezési hipotézisből ered, hogy a nem felújított lakások energiafogyasztása pusztán azok fizikai állapotától függ és a felújítás után a fizikai állapotjavulás által indokolt energiamegtakarítás meg is valósul.

A prognózis hiba tehát bekövetkezhet a felújítás utáni többletfogyasztás miatt, de bekövetkezhet a felújítás előtti fogyasztás túlbecslése miatt is.

A nagytömegű felújítást követő új energiafogyasztási állapot, illetve ennek primerenergia igényének prognosztizálása és az így elérhető CO₂ megtakarítás meghatározása ezért egy igen komplex feladat.

Jelen tanulmány alapvetően a rebounddal foglalkozik, de az energiahatékonyság növelésére irányuló programok vizsgálata a *pre-bound* nélkül érdemben nem végezhető el teljes körűen, így a *pre-bound*ot is tárgyalja a tanulmány, továbbá kitér ezeknek az „iker” jelenségeknek az energiamegtakarítási rés létrehozásában betöltött szerepére.

A rebound és *pre-bound* jelenséget az Európai Unió és Magyarország vonatkozásában egyaránt tárgyaljuk tanulmányunkban. Források elemzése nyomán bemutatjuk a hatások %-os mértékét az EU országaira és Magyarországra. Mivel nincs egységesen elfogadott módszertan a számítások elvégzésére, a különböző szerzőktől származó eredmények olykor egymással is ellentmondásban vannak. Mivel jelen tanulmányban elsősorban az épületenergetikára koncentrálnunk célszerű kiemelni, hogy az energiafelhasználás növekedésének és okainak számos olyan aspektusa is van, amelyre tanulmányunk nem tér ki.

2. Bevezetés

Az energiafelhasználással, illetve az energiahatékonysággal foglalkozó tanulmány bevezetőjében nem kerülhető el annak tárgyalása, hogy melyek az alapvető célok, amelyeket az erőfeszítéseinkkel szolgálni szeretnénk.

Első helyen annak a felismerését célszerű említeni, hogy az éghajlatváltozás kedvezőtlen irányba tart, aminek számos, a hétköznapiakban is azonosítható jele van. Ezek megjelenítése a médiában és ezzel párhuzamosan az összeadódó egyéni tapasztalatok eredményezték azt, hogy az egyes országok és a nemzetközi szervezetek egyaránt egyre növekvő erőforrásokat összpontosítanak az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak mérséklésére. A vonatkozó programok egyik alap célkitűzése a fosszilis energiahordozók felhasználásának visszaszorítása, a szén-dioxid kibocsátás minél nagyobb mértékű csökkentése. A szükséges intézkedések az éghajlatváltozás mérséklését célzó tevékenységekhez való önkéntes csatlakozástól a kötelező érvényű rendelkezésekig számosak. Az épületenergetikához kapcsolódóan az Európai Unió számos direktívát és ajánlást fogadott el, amit az egyes tagállamok a saját rendeleteikbe és törvényeikbe építettek be. Az energetikai és klímapolitikai törekvések folyamatosan változnak, helyesebben szigorodnak azok az előírások, amelyek szabályozzák a lakásszektorra vonatkozó energetikai követelményeket.

Az Unió, illetve a tagországok által kitűzött cél, hogy jelentős mértékben csökkentsék a saját szén-dioxid kibocsátásukat és 2050-re elérjék a klímasemlegességet. Ezen cél elérésének egyik módja pedig a fogyasztás csökkentése. Ha a fogyasztás csökkentését vizsgáljuk, akkor két lehetséges utat figyelhetünk meg. Az egyik, hogy az egyes emberek (háztartások) és vállalkozások, azaz a fogyasztók viselkedését próbáljuk meg megváltoztatni, arra ösztönözni őket, hogy habár számukra nem feltétlenül kényelmes, mégis próbáljanak kevesebbet fogyasztani, takarékoskodni, jobban ügyelni a felhasznált energiára. A másik út pedig az energiahatékonyság fejlesztése különböző korszerűbb, hatékonyabb eszközök, módszerek bevezetésével, amelyek azt segítik elő, hogy ugyanazt a szolgáltatást kevesebb erőforrás felhasználásával lehessen biztosítani. Belátható, hogy a második út egy technológizálható, „könnyebbnek” tekinthető út, hiszen az emberek nem szívesen mondanak le a már kialakult kényelmi szintjükről, ha nincsenek elkötelezve.

A fejlett országok egyik fő politikai célja az energiaigény csökkentése a gazdaság minden ágazatában. Különösen kiemelt cél, hogy az épületek alacsonyabb energia fogyasztási szintje a megnövekedett energiahatékonyság révén csökkentse az energiaimporttól való függést és javítsa az energiát importáló országok kereskedelmi mérlegét (Umbach, 2010). Az alacsonyabb energiaigény szintén elismert tényező a környezeti hatások, például az energiafelhasználással és az energiaforrások kimerülésével járó éghajlatváltozási kockázatok minimalizálása érdekében. Ezen okok miatt a fejlett gazdaságok

döntéshozói fokozatosan fordítják figyelmüket az energiahatékonysági erőfeszítésekre. (Adan & Fuerst, 2016)

Európában nagyszámú épület alacsony hőszigetelési követelményei és elavult fűtési rendszerei aránytalan energiafogyasztást jelentenek (Calì, Osterhage, Streblow, & Müller, 2016), ezért itt határozott beavatkozásra van szükség. A meglévő épületek energiahatékonyságának javítását gyakran az egyik legköltséghatékonyabb intézkedésnek tartják a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére (Ashford, 1999) (Lowe, 2000) és jelentős energiamegtakarítási potenciált mutattak ki különböző országokban (Hekkanen, Kauppinen, & Santalo, 1999) (Badescu & Sicre, 2003) (Hastings, 2004) (Commission, 2005). A városmegújítás egy jó beavatkozási pontot biztosít az energetikai fejlesztésekhez, mivel más felújítási intézkedésekkel is összekapcsolhatók és együttműködést biztosít, ha egyidőben hajtják végre (Kohler & Hassler, 2002). Továbbá fontos lehet a fenntartható energiaforrásokra való átálláshoz, hiszen az energetikai infrastruktúra változásai más építés fejlesztéssel is párosulhatnak, ezáltal csökkentve a társadalmi költségeket (Sunikka, 2006).

Mind a fizikai és a gazdasági környezet megújítása elengedhetetlen ahhoz, hogy az energiahatékonyságba történő beruházások megtérüljenek, mivel egy épület értéke nem csak magának az épületnek a minőségétől függ, hanem a környező épületektől, az infrastruktúrától és a környéktől. Következésképpen az összehangolt város felújítás ösztönzést nyújthat arra, hogy többet költsenek az épületek minőségének javítására az érintettek (Awano, 2005).

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2018-as adatai szerint a lakásszektor felelős a végső energiafelhasználás kb. 24%-ért, a földgázfelhasználás 40%-ért és a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének 11%-ért. Ebből is látható, hogy az ezen a téren történő eredményes beavatkozásnak jelentős hatása lehet a klímapolitikai célok elérésében (IEA, 2018).

Az előzőek alapján elmondható, hogy a politikai döntéshozóknak és az energetika politikát befolyásoló szakembereknek fontos foglalkozniuk a meglévő épületállomány energiahatékonyságának javításával és pontos kutatásokat érdemes végezni, valamint valós adatokon alapuló statisztikákat vizsgálni annak érdekében, hogy az energiahatékonyságot növelő intézkedések valóban azt a célt ériék el, amire a programok tervezői számítanak, hiszen nagyon sok befolyásoló tényező változtathat az eredményeken. A felhasználók viselkedése, illetve annak megváltozása egy ilyen eredményrontó befolyás lehet a rebound (azaz visszapattanó) hatáson keresztül. (A rebound hatást a magyar szakirodalmi környezetben szokás „visszapattanás” -ként leírni. Ebben a tanulmányban megtartottuk az angol megnevezést, elsősorban az ikerjelenség a pre-bounddal való közös szereplés miatt.)

A rebound hatás a következőképpen magyarázható: „Mivel az energiahatékonyság javítása csökkenti az energiaszolgáltatások határköltségeit, várhatóan növekedni fog ezen szolgáltatások fogyasztása. Az

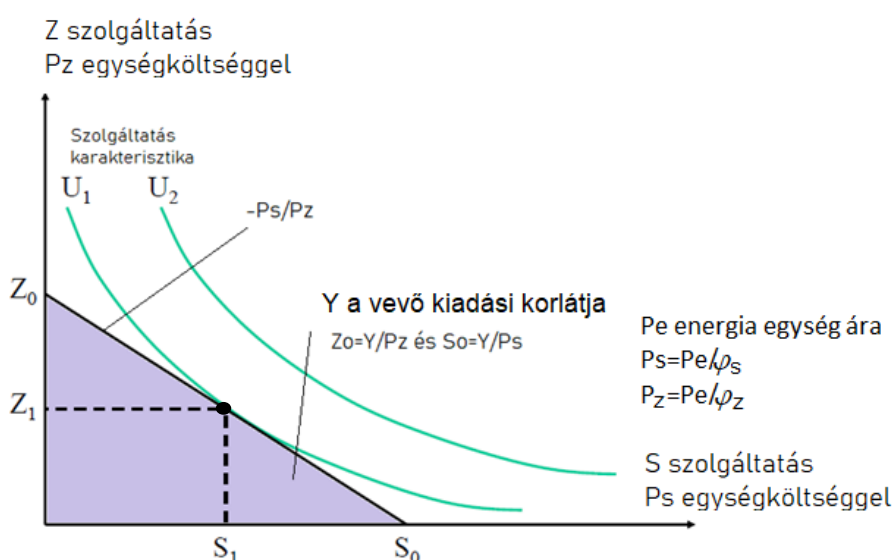
energiaszolgáltatások ezen megnövekedett fogyasztása várhatóan ellensúlyozza az energiafogyasztás előre jelzett csökkenésének egy részét vagy egészét” (Sorrell, Dimitropoulos, & Sommerville, 2009). Egy másik meghatározás: „a rebound hatás meghatározott termékek felhasználóinak a szükségleteik növelésére és az elvárásaik emelésére való hajlandósága a technológiai fejlesztések megvalósulásakor” (után) (Calì, Osterhage, Streblow, & Müller, 2016). Tehát a rebound hatás – energia fogyasztási aspektusból – az energiahatékonysági intézkedések hatásának mértékéeként is értelmezhető: minél nagyobb a nagysága, az előzetesen kalkulált energiamegtakarításnak annál nagyobb része vész(het) el a megnövekedett kereslet következtében (Szép, 2013). (A legkézzelfogható példa, amikor egy lakóépület esetében egy energiahatékonyság növelését célzó felújítás után azért nem a várt eredményt kapjuk, mert a lakók a felújítás következtében csökkent energiaköltségek hatására magasabb belső hőmérsékletet tartanak fenn, mint a felújítás előtt és ez az energiamegtakarítási tervben nem szerepel általában.)

A rebound jelenség felismerését William Stanley Jevons (1865) „The Coal Question” munkájával azonosítják az irodalomban. A huszadik században ugyan számos munka született, a legutóbbi évtizedek szakirodalmi tükrében Brookes (Brookes L. G., 1978) és Khazzoom (Khazzoom, 1980) cikkei tekinthetők újabb mérföldköveknek, ugyanis ezek alapján Saunders 1992-ben alkotja meg a Khazoom-Brookes posztulátumot (Saunders H. D., 1992). A fogalmi rendszer és mennyiségi meghatározás tisztázásában játszott szerepe miatt érdemes megemlíteni a „Defining the rebound effect” cikket (Berkhout, Muskens, & Velthuisen, 2000). A rebound értékelése és szerepe körüli szakmai vita a kétezres évek elejére eléggé kiteljesedett, amire például Alcott „Jevons’ paradox” című (Alcott, 2005) munkája is utal. A vita messzire vezet jelen tanulmány tartalmától, lényegében a rebound neoklasszikus és az ökológus közgazdaságtan képviselői általi felfogás és megközelítés különbségéből adódik (Amado & Sauer, 2012). A rebound jelenség léte és hatása körül a szakirodalomban folyó vitával párhuzamosan az 1980-as évtizedtől alakulnak, fejlődnek a rebound formális elemzési és empirikus becslési módszerei (Freire-González, 2017). Célszerű külön megemlíteni a több melléklet kötetével is ellátott Sorrell által 2007-ben írt tanulmányt (Sorrell S. , 2007).

Az utóbbi években, évtizedekben ez a jelenség további figyelmet kapott és számos tanulmány foglalkozott a témával, ezeket a későbbiekben idézzük. Meg kell jegyezni, hogy nincs ugyan egységesen elfogadott módszertan (még) és az adatbázisok elérhetősége és a felhasznált adatbázisok különbsége is fennál, mégis megfigyelhetők közös vonások vagy megfigyelések, amelyekre rávilágítunk.

3. A közvetlen rebound hatás

Az előző fejezetben említett meghatározás: „a rebound hatás meghatározott termékek felhasználóinak a szükségleteik növelésére és az elvárásaik emelésére való hajlandósága a technológiai fejlesztések megvalósulásakor” nyomán a rebound keletkezésének és elméleti meghatározásának módját mutatjuk be. Tekintsük az 1. ábra szerint egy fogyasztó egyensúlyi állapotú két energia tartalmú szolgáltatás között megosztott fogyasztását. A jövedelmének a kétféle fogyasztásra fordítható része Y , amit, ha teljesen az egyik (Z) vagy a másik (S) szolgáltatásra fordít, akkor Z_0 és S_0 határmennyiséget tud beszerezni. A határmennyiségeket a szolgáltatások egységköltsége határozza meg, amit pedig az adott szolgáltatás energetikai hatásfoka alapján kapunk a P_e energia egység árából. A Z és S szolgáltatás közötti megosztást a U_1 szolgáltatás karakterisztikára eső egyensúlyi pont szerint fogja a vevő megosztani, ami Z_1 és S_1 mennyiségű szolgáltatást jelent.



1. ábra. Két energiát tartalmazó szolgáltatás egyensúlyi fogyasztása

A technológiai fejlesztés eredménye szerinti új helyzetet a 2. ábra mutatja. Az S szolgáltatás technológiai fejlesztés eredményeként megnövekedett hatásfoka miatt csökkenő Ps' új egységköltsége kisebb lesz, mint a technológiai fejlesztést megelőző Ps egységköltség. Ekkor változatlan Y vevői forrás mellett az S szolgáltatásból Y teljes ráfordításával $S'_0 > S_0$ mennyiségű szolgáltatás vásárolható. Ennek következménye, hogy az új egyensúly a $Z_0 - S'_0$ egyenes mentén, az U_2 szolgáltatás karakterisztika szerint jön létre, Z_1 helyett Z_2 és S_1 helyett S_2 vásárolt mennyiségekkel. A technológiai fejlesztéskor kalkulált energia megtakarítás abból indul ki, hogy az S szolgáltatás mennyisége változatlan marad, de energiatartalma a hatásfok növekedés miatt csökken, ennek mértéke:

$$ENG = \frac{E(S_1) - E^*(S_1)}{E(S_1)} * 100\% \quad (3.1)$$

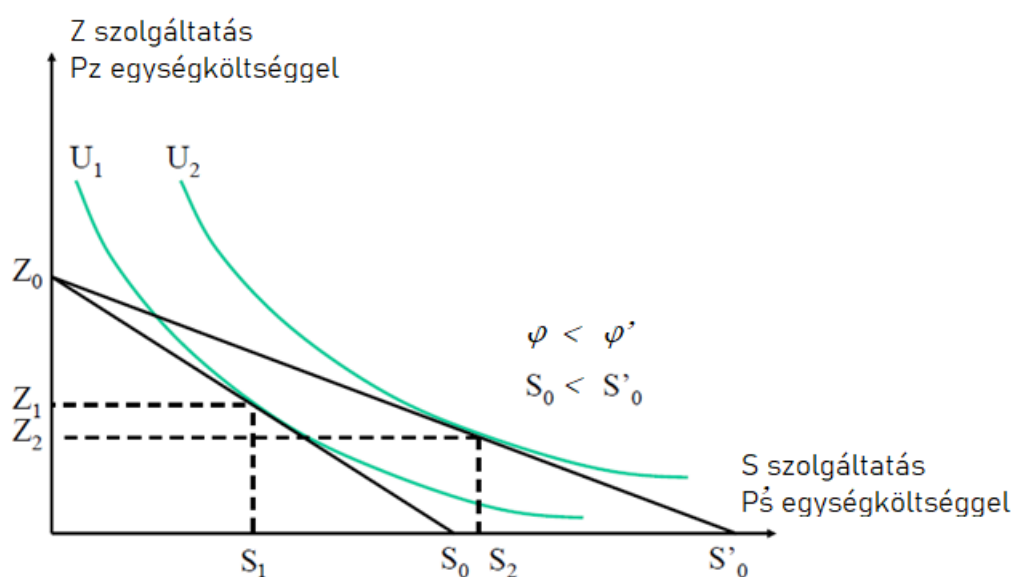
A helyzet azonban, amint azt a 2. ábra mutatja, hogy S_2 mennyiségű szolgáltatás kerül megvásárlásra, így a megvalósult energiamegtakarítás az S mennyiségre nézve:

$$ACT = \frac{E(S_1) - E^*(S_2)}{E(S_1)} * 100\% \quad (3.2)$$

A mérnöki tervezés (ENG) és a megvalósult aktuális (ACT) energiamegtakarítás különbsége lesz az ún. direkt rebound hatás, százalékban kifejezve:

$$REB_d = \frac{ENG - ACT}{ENG} * 100\% \quad (3.3)$$

A direkt (közvetlen) rebound megnevezés azt a tényt rögzíti, hogy ez az eltérés közvetlenül a szolgáltatás hatékonyság növekedése miatti árcsökkenés által okozott többlet energia tartalmú szolgáltatás vásárlása miatt jön létre. (A példában ugyanazt a szolgáltatást/árut vesszük igénybe, de többet.)



2. ábra. Az új fogyasztási egyensúlyi állapot az S szolgáltatás hatékonyság növekedése után

Célszerű megjegyezni, hogy az ACT számításakor csak az S szolgáltatás által érintett energiafelhasználást írtuk fel, holott a Z szolgáltatás vásárlása is megváltozik:

$$ACT = \frac{E(S_1) + E(Z_1) - E(S_2) - E(Z_2)}{E(S_1) + E(Z_1)} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

Általában kettőnél több szolgáltatás között osztjuk meg a vásárlásra fordítható erőforrásokat, ez a magyarázat arra, hogy az aktuális energiafelhasználás meghatározása egyértelműen nem minden esetben sikerül, így a rebound meghatározása is nehezzé válik.

$$ACT = \frac{\sum_1^n E(S_1^j) - \sum_1^n E(S_2^j)}{\sum_1^n E(S_1^j)} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

A valóságban egyszerre több szolgáltatás energiahatékonysága is változhat, így a kalkulált energiamegtakarítás képlete is összetett összefüggéssé válik:

$$ENG = \frac{\sum_1^m E(S_1^j) - \sum_1^m E^*(S_1^j)}{\sum_1^m E(S_1^j)} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Végül a közvetlen rebound számítása az (3.5) és (3.6) alapján a (3.3) összefüggéssel történhet.

Az előbbiek szerint valós társadalmi körülmények között a gazdasági szektorokban jelentkező technológiai fejlesztések következményeként meghatározni a közvetlen rebound hatás összetevőit nem tűnik egyszerűnek. A rebound számítása az ún. **rugalmassági együtthatók** alapján is lehetséges. A rugalmassági együtthatók a fogyasztásváltozást írják le. A példánk szerinti S szolgáltatás kereslet rugalmassági együtthatója:

$$\eta_S(S) = \frac{\partial \ln(E(S))}{\partial \ln(\varphi)} \quad (3.7)$$

A felhasznált energia ár-rugalmassága:

$$\eta_{P_S}(S) = \lim_{\frac{\Delta S}{P_S}} \frac{\frac{\Delta S}{S}}{\frac{\Delta P_S}{P_S}} = \frac{\partial S}{\partial P_S} \cdot \frac{P_S}{S} \quad (3.8)$$

A közvetlen rebound számítása mindkét rugalmassági együtthatóval lehetséges:

$$REB_d = [1 - \eta_S(S)] \cdot 100\% \quad (3.9)$$

$$REB_d = -\eta_{P_S}(S) \cdot 100\% \quad (3.10)$$

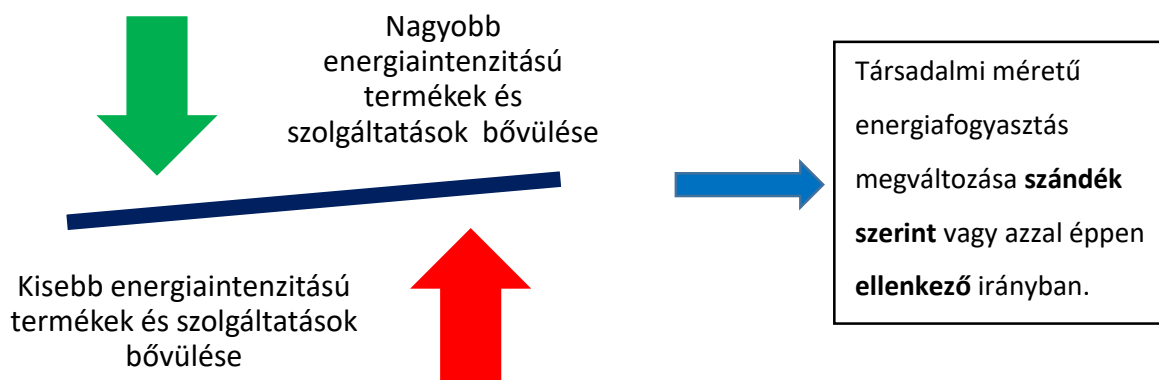
A (3.7) – (3.10) összefüggések egyik hátránya, hogy csak csökkenő árváltozások mellett adnak helyes eredményt, mely problémát a historikus árváltozásokra bontás módszerrel lehet orvosolni. A rugalmassági együtthatók meghatározására számos egyéb javasolt módszert is kidolgoztak. A gazdasági adatok hozzáférhetősége is változó, így ez a tény is hozzájárul a rebound számítási módszerek sokszínűségéhez és az egységes módszertan hiányához. Megjegyezzük, hogy a bemutatott közvetlen (fogyasztói magatartás okozta) rebound szemléltetésének gondolatmenete eredetileg Khazzoom már említett munkájában jelent meg (Khazzoom, 1980). Ennek kiegészítéseként a termelői magatartás által teremtett rebound hatás leírásának megismerésére jelen tanulmány szerzői Berkhout és munkatársai munkáját ajánlják (Berkhout, Muskens, & Velthuijsen, 2000).

4. A közvetett rebound hatás

A közvetlen rebound hatás elméleti keletkezésénél azzal a feltételezéssel élünk, hogy a szolgáltatás vásárlásra fordítható Y forrást a vevő teljes mértékben felhasználja. A gazdaság fejlődésével azonban a helyzet az, hogy az Y forrás a gazdasági fejlődés időszakában többnyire bővül, illetve az S szolgáltatás megvásárlása mégsem bővül olyan ütemben, mint azt a 2. ábra alapján várnánk, hanem pl. az S_n értéken kerül egyensúlyba, ($S_1 < S_n < S_2$) a fogyasztás mennyisége. Az egyensúly létrejöttéhez $Y_2 = Y - \Delta Y$ ráfordítás csökkenésre van szükség, ami azt jelenti, hogy ΔY (új)felhasználási keret keletkezik. Ezt az (új)felhasználási vagy átcsoportosítható keretet más, nem S illetve Z szolgáltatás vásárlására lehet fordítani, ezáltal keletkezik az ún. indirekt (közvetett) rebound hatás. Az (új)felhasználási keretet a fogyasztó fordíthatja olyan szolgáltatásra/árura melynek energiatartalma kevesebb vagy több energiafogyasztást eredményez. Az előbbi esetben helyettesítő, míg az utóbbi esetben kiegészítő fogyasztásról van szó.

Ebben az esetben a ΔY (új)felhasználási keret keletkezésének egy szolgáltatáshoz kapcsolódó technológiai fejlődést adtunk magyarázatul, de könnyen belátható, hogy hasonló változás, azaz felszabaduló keresleti forrás növekedés számos egyéb ok miatt is létrejöhet (pl. jövedelem emelkedés, piaci árcsökkenés, hatósági árkorlátozás stb.). **A végeredmény a megnövekedett energiafogyasztás.**

Az elmondottakat a 3. ábra foglalja össze.



3. ábra. A közvetett rebound hatás kialakulásának mechanizmusa

Amint a 3. ábra szerint megállapítható nem feltétlenül az energiafogyasztás növekedésével jár az indirekt rebound hatás. Az eredmény attól függ, hogy milyen a helyettesítő és a komplementer szolgáltatások/árak összetétele és ára. A helyettesítő szolgáltatás/áru igénybevételének növekedésével az energiafelhasználás csökken, a komplementer szolgáltatások/árak térnyerése pedig energiafogyasztás növekedést eredményez.

Az indirekt esetben nem tudjuk, hogy energiamegtakarítás vagy többlet felhasználás jön létre a változás nyomán. Egyszerű esetben az egy db Z új szolgáltatás mennyisége és energiatartalma határozza meg az eredményt:

$$IND = E(S_1) - E^*(S_n) + E(Z) \quad (4.1)$$

Az így létrejövő rebound hatás értéke pedig:

$$REB_{id} = \left[\frac{IND}{E(S_1) - E^*(S_2)} - 1 \right] \cdot 100\% \quad (4.2)$$

A közvetlen számolás az indirekt rebound esetében a szolgáltatások/árak számának növekedésével jelentősen bonyolulttá válik. Mint a direkt rebound esetében, a rugalmassági együtthatók bevezetésével a számítások formálisan egyszerűsödnek ugyan, de az indirekt esetben szükséges ún. *kereszt-árérzékenységi* együtthatók meghatározása is komplex feladat. Két különböző, az S és Z szolgáltatásra:

$$\eta_{P_S}(Z) = \lim_{\frac{\Delta P_S}{P_S}} \frac{\frac{\Delta Z}{Z}}{\frac{\Delta P_S}{P_S}} = \frac{\partial Z}{\partial P_S} \cdot \frac{P_S}{Z} \quad (4.3)$$

A (4.3) szerinti kereszt-árérzékenységi együttható azt mutatja meg, hogy az S árváltozása milyen Z változást eredményez. Gyakorlatban olyan sok számú ilyen együttható igény merülhet fel, ami a tényleges számítások elvégzését is kérdésessé teheti. Közvetett rebound meghatározására ezért inkább különféle modell számításokon alapuló módszer a jellemző az irodalomban, ezeket így csoportosíthatjuk:

1. A helyettesítés rugalmasságának meghatározására irányuló tanulmányok, amelyek az energia és a tőke közötti helyettesítés becslésével foglalkoznak.
2. Általános összehasonlító egyensúlyi modellek, melyek lehetővé teszik a hatások szimulációját, figyelembe véve a gazdaság egészére gyakorolt különböző hatásokat.
3. Makroökonometriai tanulmányok, az előzőekhez hasonlóak, de ökonometriai modellek alkalmazásával a makroökonómiai modell egyes paramétereinek becslésére szolgálnak.
4. Az energiával, a termelékenységgel és a gazdasági növekedéssel kapcsolatos tanulmányok, melyek megfelelnek egy empirikus tanulmánynak, beleértve a gazdaságtörténeti tanulmányokat, az ökológiai közgazdaságtant, a bomlásanalízist és az input-output elemzést. Nem feltétlenül elválasztva a direkt – indirekt hatást.

5. A prebound hatás

Az energiahatékonysági fejlesztések eredményeinek korlátozódását többféle hatás okozhatja. Ezek egyike az úgynevezett pre-bound, azaz előzetes hatás. A hatást a hazai szakirodalom alul fűtés jelenséggént említi. Ezt a jelenséget az energiahatékonysági felújítás hitelképességre gyakorolt hatásának tanulmányozásakor a magyar háztartásokra mi is megállapítottuk az MNB részére 2020-ban készült tanulmányunkban (Gróf, és mtsai., 2020). Itt nemzetközi kontextusba helyezzük a jelenséget.

Energiahatékonyságot célzó felújítások vizsgálatakor a prebound hatással Minna Sunikka-Blank és Ray Galvin (2012) foglalkozott részletesebben. Azt találták, hogy Németországban vizsgált 3400 német otthon esetén a lakók átlagosan 30%-kal kevesebb fűtési energiát fogyasztanak, mint amennyi az energiahatékonysági besorolásuk (EPR) alapján várható lenne. Ez a hatás tehát a rebound hatással ellentétben az energiahatékonysági fejlesztések előtt vizsgálandó és nem több, hanem kevesebb fogyasztást jelent (Sunikka-Blank & Galvin, 2012). A jelenség egy adott gazdaság (ország) aggregált fűtési energia szükséglet vizsgálatainál szembetűnő, ugyanis az összesített energiafelhasználás elmarad az átlagos állapotból vagy az épületállományt reprezentáló épületmátrix alapú számításoknál egyaránt.

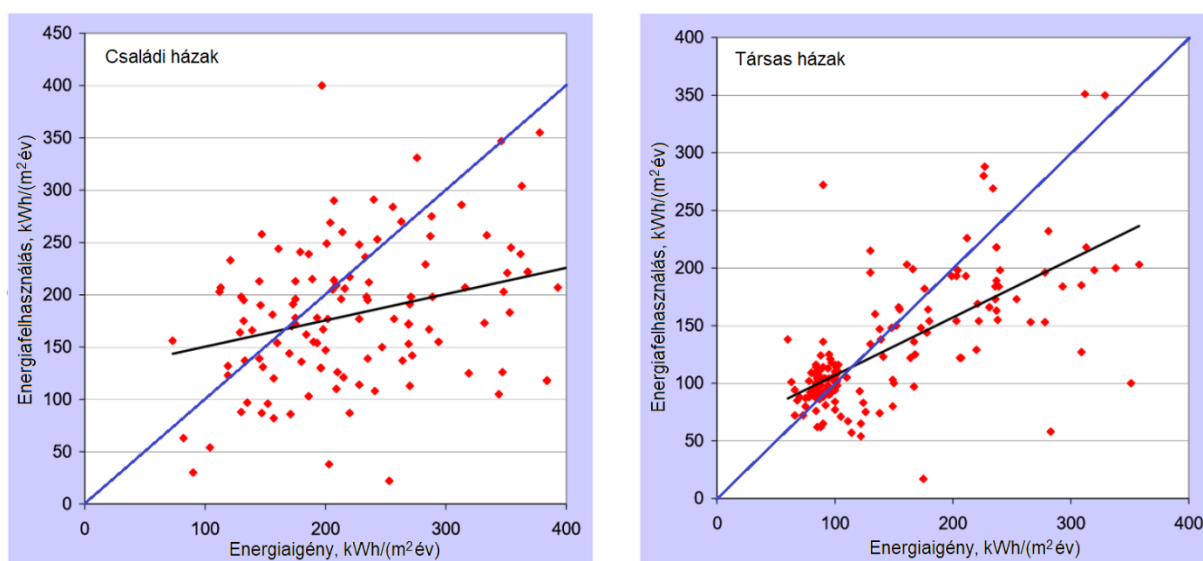
Az energiahatékonysági besorolást, azaz EPR-t (Németországban általában Energiekennwert néven használt) kWh/m²év-ban adják meg, tehát az éves, négyzetméterenként szükséges fűtési energiát adja meg, figyelembe véve olyan fizikai tényezőket, mint például az épület burkolatának minősége, a fűtési rendszer és a földrajzi elhelyezkedés. Tehát ez egy mérnöki számításokkal alátámasztott adat. Az EPR-t a potenciális energia-megtakarítások előrejelzésére is használják az energia hatékonysági felújításoknál. A német lakások átlagos EPR-értéke 225 kWh/m²év körül mozog, 15-től 400 kWh/m²év-ig terjed. Ezzel szemben a német háztartások fűtésre fordított átlagos, mért energiafogyasztása 150 kWh/m²év körülire becsülhető. Ez általában 30%-kal elmarad az átlagos EPR-től (225kWh/m²év) (Sunikka-Blank & Galvin, 2012).

Megfigyelhető, hogy az azonos energiaminősítésű lakásoknál a fűtésre felhasznált energiamennyiség nagy mértékben eltér egymástól, azaz a statisztika felől szemlélve, az adatok szórása nagy. Előfordul, hogy egy lakás többször annyi energiát fogyaszt fűtésre, mint egy másik. Érdeemes lehet megtudni az ezen fűtési szokások mögött álló motivációt, hiszen egyes háztartások, amelyek magasabb komfortot is megengedhetnek maguknak, mégis azt választják, hogy keveset költenek a fűtési energiára, míg mások nem így tesznek.

A németországi adatok alapján továbbá az is látható, hogy minél magasabb az EPR, annál alacsonyabbnak tűnik a mért energiafogyasztás az EPR-rel arányosan. Például egy olyan ház átlagos mért fogyasztása, amelynek EPR-értéke 300 kWh/m²év, körülbelül 40%-kal alacsonyabb a számított

értéknél, míg a 150 kWh/m²év átlagos EPR-értékkel rendelkező lakások tényleges energiafogyasztása 17%-kal alacsonyabb a számított értéknél. Tehát a prebound hatás az EPR növekedésével együtt növekszik. Úgy is fogalmazhatunk, hogy általánosságban minél rosszabbak a hőfizikai tulajdonságai az otthonnak, annál gazdaságosabban viselkednek a lakók a helyiségfűtésükkel kapcsolatban (Sunikka-Blank & Galvin, 2012).

A Német Energiaügynökség által összegyűjtött és elemzett adatok eredményét mutatja a 4. ábra. A mért energiafelhasználást (függőleges tengely) az EPR függvényében ábrázolva (vízszintes tengely) a családi házaknál (bal oldalon) és a többlakásos épületeknél (jobb oldalon).



4. ábra. Az adaptációs görbék (mért és számított energia fogyasztás) családi házak (bal) és többlakásos házak (jobb) esetén (Sunikka-Blank & Galvin, 2012)

Mindegyik grafikonon a fekete folytonos egyenes vonal a regressziós vonal, míg a kék folytonos vonal $y=x$, amely az összes olyan pontot képviseli, ahol a tényleges fogyasztás megegyezne a kiszámított EPR értékkel, azaz nem lennének nettó viselkedési hatások. A pontok széles függőleges szórása bármely adott x értéknél az energiafelhasználás nagy eltéréseit tükrözi, függetlenül az épület fizikai jellemzőitől, míg a regressziós vonal általános alakja azt jelzi, hogy az átlagos energiafelhasználás hogyan változik az EPR-rel. (Egyébként célszerű megjegyezni, hogy átlagos viselkedés gyakorlatilag kevés van, mint az élet számos egyéb területén.)

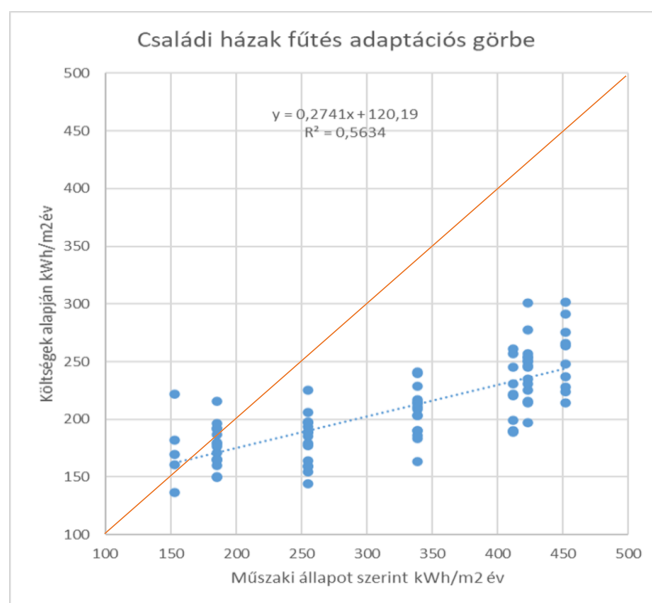
A tapasztaltak azt sugallják, hogy sok háztartás kevesebbet fogyaszt, mint amit az épületfizikai állapotuk indokolna. A 4. ábra bal oldali grafikonja azt mutatja, hogy egyesek csak 100–130 kWh/m²év-t fogyasztanak olyan családi házakban, amelyek EPR-besorolása akár 400 kWh/m²év.

A skála másik végén az alacsony energiájú lakások általában ellentétes tendenciát, a rebound hatást jelzik. Az 4. ábra jobb oldali grafikonján látható az alacsony energiájú végek azon pontjainak többsége, amelyek az $y=x$ vonal fölé esnek, jelezve, hogy sok alacsony energiafelhasználású lakásban a tényleges

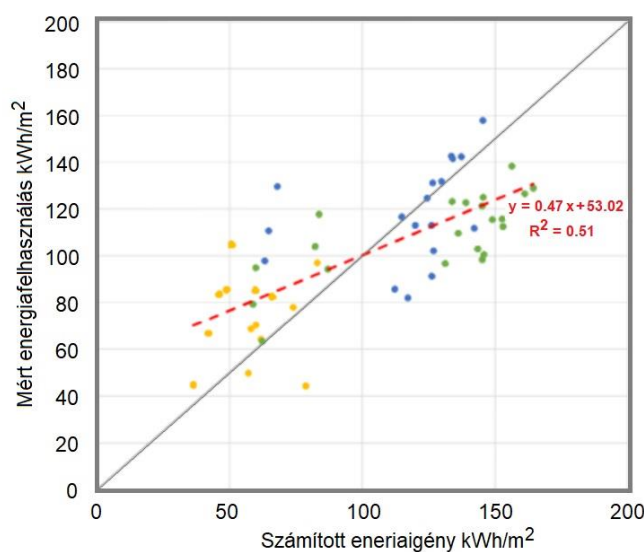
fogyasztás meghaladja a számított EPR-t, ezek az esetek a korábban tárgyalt rebound hatást demonstrálják.

A 2020-ban végzett saját vizsgálataink alapján a magyar háztartásokat jellemző adatokat hasonló konstrukcióban ábrázolja az 5. ábra.

Összehasonlítva a német (4. ábra) és a norvég (6. ábra) adatokkal a hazai családiházakat, ma még, azokat kevésbé jellemzi a magas energiahatékonyság és az ezt jellemzően kísérő többlet fűtési energiafelhasználás, amire a jövőben feltétlenül számítani kell az energiapolitika lakhatással foglalkozó részleteinek megtervezésénél.



5. ábra. A magyar épületmátrix lakásainak adaptációs görbéje
(A függőleges csoportosulás a lakások kategóriába rendezettsége miatt jelenik meg.)

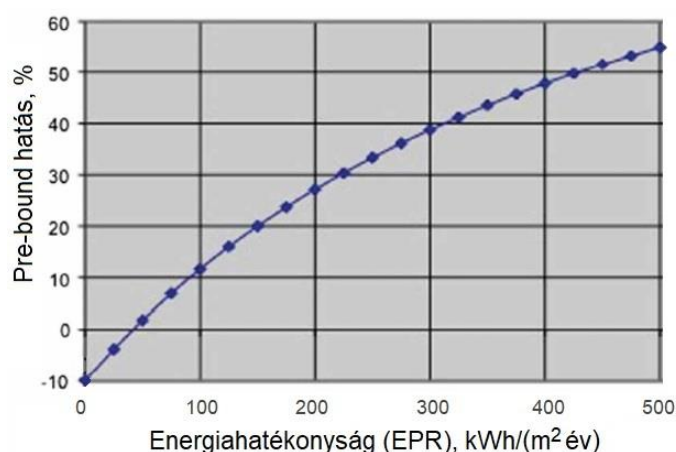


6. ábra. A norvég épületmátrix lakásainak adaptációs görbéje (Sandberga, Sartori, Vestrum, & Brattebø, 2017)

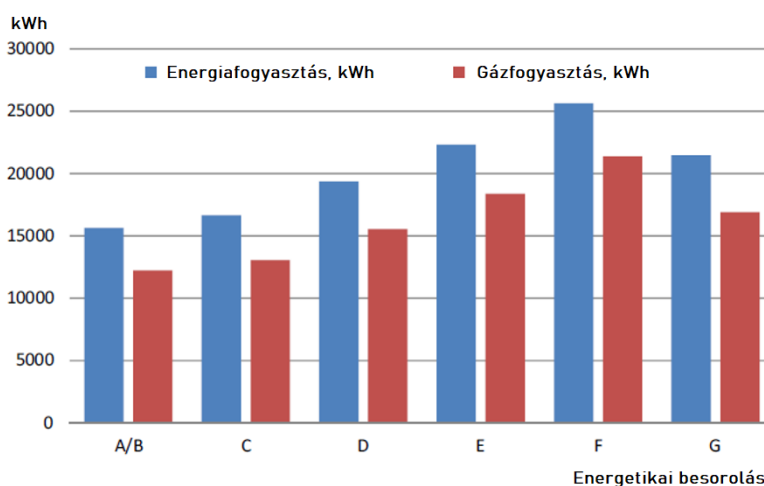
A pre-bound hatás %-os mértéke a növekvő hatékonyság mellett csökken, amit a 7. ábra szemléltet. Az 7. ábra menetét az (5.1) egyenlet szerint számolták, ami tulajdonképpen Loga és munkatársai (Loga, Diefenbach, & Born, 2011) modellje, és a pre-bound értékek becslésére szolgál.

$$P\% = 100 \left[1,2 - \frac{1,3}{1+EPR/500} \right] \quad (5.1)$$

Mértéke nulla lesz, ahol az EPR ~50kWh/m²év, és ez alatt az EPR alatt pedig negatív a pre-bound hatás, azaz a rebound dominál. Fontos megjegyezni, hogy a pre-bound hatás valószínűleg nagyobb lesz magas EPR-értékű lakások esetében és ezt a trendet a számítási modell jól adja meg, ugyanakkor az alacsony EPR értékeknél véleményünk szerint alul teljesít.



7. ábra. A pre-bound hatás változása az EPR függvényében (Loga, Diefenbach, & Born, 2011)

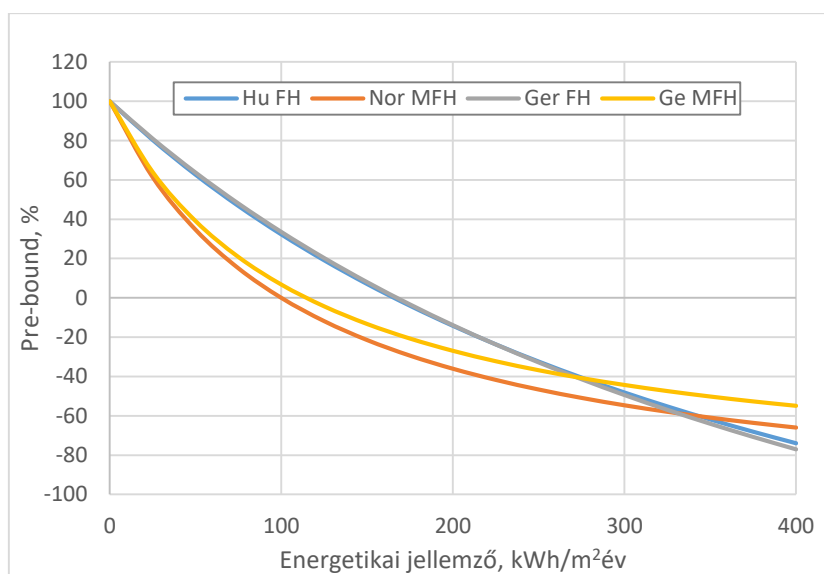


8. ábra. Az energia- és gázfogyasztások átlagos értékei a különböző besorolások esetén (Adan & Fuerst, 2016)

Az Egyesült Királyságban a gázfűtés jellemző. A pre-bound hatás megnyilvánulását a 8. ábra mutatja. Az energiahatékonysági felújítások előtti összes energia- és gázfogyasztás energetikai besorolástól való függését vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a legkevésbé hatékony minősítésű, G besorolású ingatlanok energia és gázfogyasztása nem illeszkedik a növekedő trendbe (Adan & Fuerst, 2016). Az egyre gyengébb besorolással a gáz és a teljes energiafogyasztás növekedik, a G ingatlanoknál a növekedés

elmarad. Ez azzal magyarázható, hogy az egyre kevésbé energiahatékony épületek lakói nem tudnak megfelelő komfortszintet fenntartani. A besorolás romlásával ennek a komfortnak a fenntartása egyre több energiát igényel. A G besorolású ingatlanok energiafogyasztás visszaesését az ilyen épületekben lakók jövedelem korlátja magyarázza. Gyakori körükben az energiaszegénység és jellemzőbb rájuk, hogy sokkal takarékosabban bánnak az energiával, mint a tehetősebbek, a pénzügyi okok miatt.

Bár az irodalomban a pre-bound hatásnak a 7. ábra szerinti ábrázolása jellemző, meglátásunk szerint az általunk javasolt, 9. ábra szerinti változat jobban szolgálja a jelenség megértését. Egyrészt teljesül az az üzenet, hogy ahol negatív érték van, ott kevesebb, ahol pozitív, ott több a felhasznált energia, mint az energetikai jellemző szerinti energia. Nulla energia igénynél, a teljes felhasznált energia, azaz 100% a többlet. Ez mutatja, hogy a % számítás vetítési alapja a **ténylegesen** használt energia. A tényleges energiafelhasználás megállapítása némi számolást igényel. Pl., ha $200 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ értéknél a pre-bound érték -14% , akkor a tényleges energiafelhasználás $200/1,14=175 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ értékű. Összefoglalva, $200 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ a számított energiafelhasználás, a tényleges energiaigény $175 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ és ennek 14% -a azaz $25 \text{ kWh/m}^2\text{év}$ az az energia, amit a lakók nem használnak fel.



9. ábra. A pre-bound bemutatására javasolt ábrázolási módszer szemléltetése

A 9. ábra szerint a magyar és német családi házakban élők szinte azonos mértékben használnak fel kevesebb energiát, mint amennyit az épület állapota indokolna. Hasonló együtt futás figyelhető meg a norvég és német társasházi lakások vonatkozásában is.

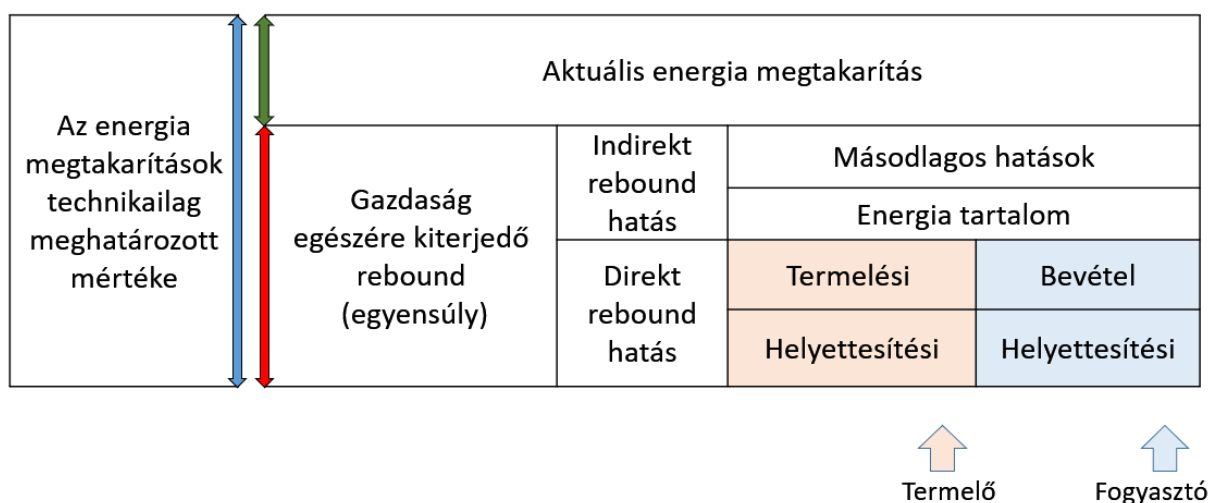
6. A teljes vagy eredő rebound hatás

A rebound hatás vizsgálatában korábban a direkt és indirekt hatás szétválasztása és külön-külön meghatározására való törekvés volt a jellemző. A kutatások és vizsgálatok mind szélesebb körű elterjedésével az utóbbi időben az irodalom tanulmányozása alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A rebound meghatározására vonatkozó módszerek konfliktusba kerülhetnek egymással azáltal, hogy egymásnak ellentmondó értékeket határoznak meg alkalmazásuk során.
- A kutatások a teljes gazdaságra kiterjedő (közvetett) hatásra fókuszálnak inkább.
- A „kétféle” rebound összekapcsolása: **átcsoportosítható keret**, azaz a megmaradó monetáris források egy másik területen kerülnek elköltésre -> (újra) **egyensúly** a gazdaságban.
- Egyes szerzők szerint a közvetett rebound lényegében **része** a közvetlen reboundnak és a **szétválasztás nem indokolt**.
- A bővülő **átcsoportosítható** keret elköltése energiahatékonyság változás nélkül pusztán a viselkedés és a gazdaság szerkezetének állapota szerint következik be. (pl. energiaárak változása)
- A rebound (jelző nélkül) a gazdasági fejlődés szükségszerű jelensége a szerzők hipotézise szerint és akár a fenntarthatatlan fejlődés ismérve amennyiben az energiaforrások korlátozottak.

A gazdaságban az energiafelhasználás változása egy komplex, dinamikus egyensúly eredménye.

A reboundok gazdaságban betöltött helyét és szerepét a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra. A reboundok szerepe és helye a gazdaságban (Sorrell S. , 2007)

A korábbiakhoz képest vegyük észre, hogy Sorrell (Sorrell S. , 2007) a direkt rebound hatást a termelői és a fogyasztói szegmenshez külön-külön rendeli, azaz a direkt rebound hatást aszerint is megkülönbözteti, hogy az „fogyasztói” viselkedés vagy „termelői” viselkedés eredménye.

A rebound hatás tehát magában foglal minden olyan mechanizmust, amely csökkenti az energiahatékonysági intézkedések várható energiamegtakarítását. A legismertebb és általában

tanulmányozott az energia szolgáltatás költségeinek csökkentéséből eredő, az energiahatékonyság javítása utáni megjelenése. Ha a költségcsökkenés az energiaszolgáltatás iránti kereslet potenciális növekedéséhez vezet, akkor közvetlen (direkt) rebound hatásról van szó. Ha viszont egyéb olyan termékek és szolgáltatások iránti kereslet potenciális növekedése figyelhető meg, amelyek többlet energiafelhasználást igényelnek, akkor közvetett (indirekt) rebound hatásról van szó. A harmadik hatásként a gazdaság egészére kiterjedő változásokról van szó, amelyeknél az árak és mennyiségek változásából adódóan a gazdasági rendszer egy új egyensúlyi állapotba kerül (Freire-González, 2017).

Egyszerű példákon keresztül szemlélítve:

- *Direkt rebound hatás:* a lakás komfort növelése az energiahatékonyságot növelő felújítás előtti komforthoz képest.
- *Indirekt rebound hatás:* Az energiahatékonysági felújítás utáni megtakarításból például megengedheti magának egy család, hogy autót használjon az addigi tömegközlekedés helyett.
- *Gazdaság egészére kiterjedő rebound hatás:* A termelés és a kereslet áttér az energiaigényesebb ágazatokra.

Lehetséges út a rebound hatások kialakulásához (Freire-González, 2017):

- (1) javul az energiahatékonyság a háztartásokban;
- ↓
- (2) **direkt** rebound hatás van;
- ↓
- (3) ebből a javulásból pénzübeli megtakarítás származik;
- ↓
- (4) ezt a megtakarítást más árukra és szolgáltatásokra fordítják;
- ↓
- (5) ezen áruk és szolgáltatások előállításához energiára van szükség, így az energiafogyasztás növekszik;
- ↓
- (6) és **indirekt** rebound hatáshoz vezet;
- ↓
- (7) végül a gazdaság egy új **energiafogyasztás egyensúlyt** vesz fel.

Természetesen az, hogy a fent említett (2)-es és (4)-es pont bekövetkezik-e, erősen függ az emberek viselkedésétől is. Lehetséges, hogy hiába olcsóbb a fűtés, a komfortot (hőmérsékletet) mégis ugyanazon a szinten tartják, mint korábban. Valamint természetesen az is az emberek viselkedéséből adódik, hogy mihez kezdenek a megspórolt pénzükkel.

A legnagyobb mértékű direkt hatás a közlekedési és a háztartási szektorban jelentkezik, míg a legnagyobb indirekt hatás az energaintenzív iparágaknál (Szép, 2013).

A direkt rebound hatás két különböző forrásból származhat (Sorrell S. , 2007):

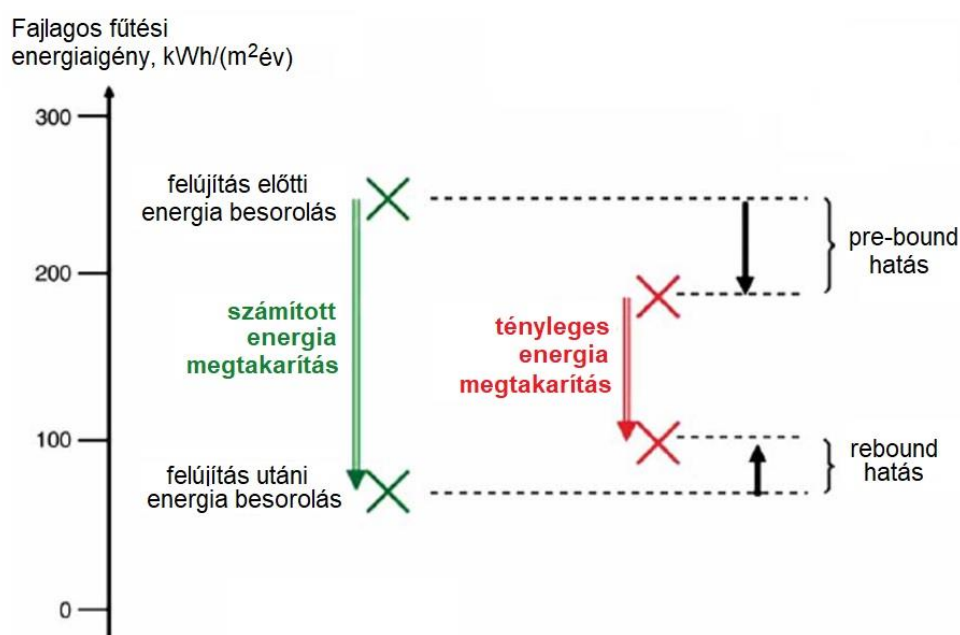
- (1) Energiatartalom: az energiahatékonyságot javító intézkedések előállításához és végrehajtásához szükséges energia. Ez a hatás valójában még az energiahatékonyság javulása előtt jelentkezik.
- (2) Másodlagos hatások: az energiahatékonyság javításából származó közvetett energiafogyasztás, amely az intézkedés végrehajtása után és annak következményeként jelentkezik. (Általában ezt vizsgálják.)

Összefoglalóan tehát megállapíthatjuk, hogy a kétféle rebound megkülönböztetése és külön-külön számítása módszertanilag kedvezőnek tűnik, de ugyanakkor nehezen vagy alig kivitelezhető, ha egy teljes szektorra vagy egy teljes gazdaságra szeretnénk az értékeket meghatározni. Az összefonódás szétválasztása annál nehezebb minél jobban eltávolodunk a mikrogazdasági környezettől.

7. Az energiamegtakarítási rés és okai

Az előző fejezetekben tárgyalt rebound és pre-bound hatások önmagukban is fontos jelenségek és külön-külön hozzájárulnak a tervezett és megvalósult energiamegtakarítás különbségének létrehozásához. Ebben az alfejezetben az ún. energiamegtakarítási rés (energy saving gap) kialakulását vizsgáljuk. Ezt lényegében reboundok közös, az épületenergetikára jellemző megjelenésének tekinthetjük. Az alkalmazott metodika, megváltoztatott fogalomrendszerrel nyilván más szektorra is kiterjeszthető.

Az energiamegtakarítási rés jelenségéről akkor beszélhetünk, amikor egy (épület) energiahatékonyság növelést célzó beruházás nyomán a számított és a valóban elért energiamegtakarítás eltér egymástól. Mégpedig azt a fontos esetet tekintve, amikor a valóságban kevesebb energia kerül megtakarításra. Ez tulajdonképpen, mint látni fogjuk, egy, a páros rebound – pre-bound hatáshoz képest, komplexebb folyamat. A 11. ábra részletesen mutatja az energiamegtakarítási rés alapvető komponenseit (Adan & Fuerst, 2016) alapján.



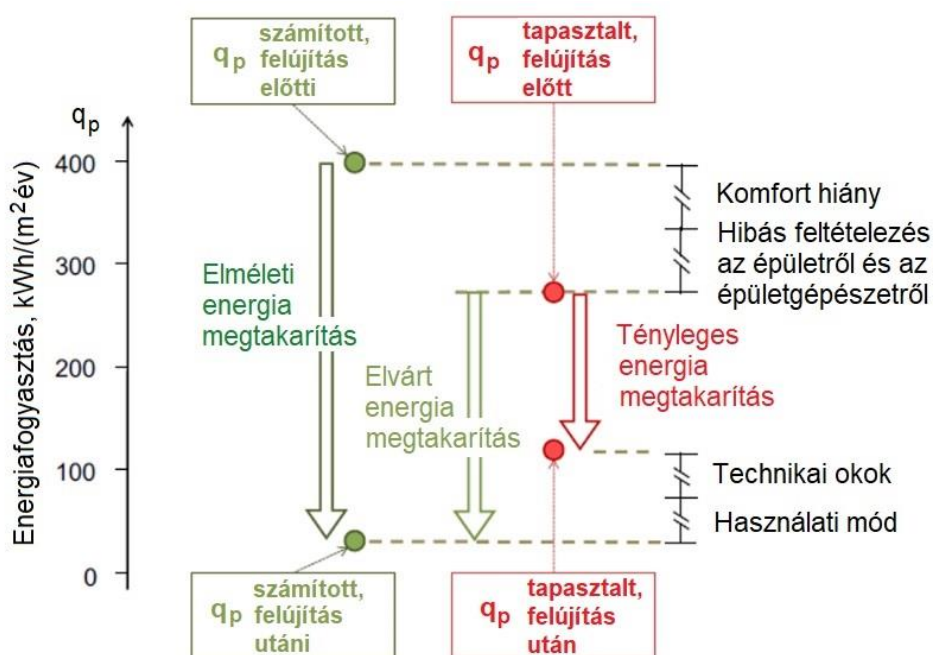
11. ábra. A prebound és re-bound szerepe az épületenergetikai megtakarításban (Adan & Fuerst, 2016)

A 11. ábra az épületek várható (számított) és megfigyelt fűtési energiafogyasztását mutatja be a felújítási folyamat előtt és után. Keresztek jelölik a felújítás előtti és utáni állapotokat. A zöld színű jelek az épület fizikai állapota (besorolás, felmérés, mérnöki számítások) alapján kapott értékeket tükrözik. Ezzel szemben piros színnel azok az állapotok vannak jelölve, amelyek a megfigyelt, mért adatokon alapszanak és így a valóságot reprezentálják.

Látható, hogy az eltervezett energiamegtakarítás csökkenését okozza a *pre-bound* és *rebound* hatás egyaránt. A pre-bound hatás befolyása onnan ered, hogy az energiamegtakarításba beszámításra kerül

az az energiamennyiség is, amelyet a lakók valójában el sem fogyasztanak, de az energetikai besorolásokon alapuló számítások eredményében benne van. A rebound hatás pedig a felújítás után csökkenti a megtakarításokat azzal, hogy a tervezetthez képest több fűtési energia felhasználása jelentkezik (pl. magasabb komfort igény jelenik meg a lakóknál mert gyermek született).

A 12. ábra már az energiamegtakarítási rés lehetséges okaira is rávilágít a folyamatokat kivetítve a felújítandó lakások halmazára. A felújítatlan épületek várható és a felújítás utáni megfigyelt primer energiafogyasztása közötti különbségeket a komfort-rés (pre-bound), valamint az épület anyagával és állapotával kapcsolatos téves adatok szerinti mérnöki számítások, illetve felmérések okozhatják. A felújítatlan épületek komfort-rése (pre-bound mértéke) önkényes lehet, mivel a lakók úgy dönthetnek, hogy csökkentik a kényelmüket, hogy pénzt takarítsanak meg, és/vagy korlátozza őket az épület és annak gépészeti rendszere, illetve a jövedelmük. Az új vagy felújított épületek tervezett és megfigyelt primer energiafogyasztása közötti eltérés mind technikai problémákkal, mind a lakók viselkedési kérdéseivel összefüggésben vannak. (A műszaki kérdések nem általános hatások, és esetről esetre kell mérlegelni őket. Gyakran nagyon hasznos lehet például az is, hogy egy felújítás során tájékoztassák a lakókat arról, hogy hogyan a leghatékonyabb használni az új fűtést. (Cali, Osterhage, Streblow, & Müller, 2016))



12. ábra. Az energiamegtakarítási rés okai (Cali, Osterhage, Streblow, & Müller, 2016)

Problémát jelent, hogy az előzetesen összegyűjtött energetikai adatok alapján még nem lehet különválasztani a lakók viselkedésének és a technikai problémáknak a szerepét. A lakók viselkedése lényegesen eltérhet az elvárttól, és nagyon különbözhetnek egymástól és meg is változhat a helyzetük a felújítások alatt vagy után (ld. gyermekszületés). Míg az egyes épületek/lakások fizikai jellemzői

teljesítik az energetikai célokat, más esetekben a lakók hatása olyan jelentősnek tűnik, hogy az energetikai célokat egyáltalán nem lehet elérni. (Calì, Osterhage, Streblow, & Müller, 2016)

Az energiamegtakarítási rés nagy problémákat, félreértéseket generálhat több területen is. Például az energiahatékonysági felújításokat végző cégek, vállalkozók számára problémákat okozhat, ha nem valósul meg az ígért energiafelhasználás csökkenés. Háztulajdonosok, bérbeadók és lakásszövetségek is rosszul járhatnak, hiszen egy beruházás elkezdése előtt felméri a megtérülési időt, amely függ az elért megtakarításoktól. Ha viszont az kisebb az elvártnál, akkor magasabb költségekkel, hosszabb megtérülési idővel kell szembe nézniük és ez megmutatkozhat a kiadásaikban (pl. bérleti díjak emelkedése, ha bérlakásokról van szó vagy gondot okozhat a hiteltörlesztőrészlet kifizetésénél a havi megtakarítás hiánya stb.). A többlet költségek, azaz a tervezetthez képest hosszabb megtérülés, kisebb energia megtakarítás stb. éppen a lakhatási költségekkel küzdők számára jelenti a legnagyobb kihívást.

A politikai döntéshozók szerepét nehéz túlértékelni amikor az energiahatékonyság országos szintű javításáról van szó. Tisztában kell lenniük az energiamegtakarítások pontos meghatározásának jelentőségével, de leginkább azzal a ténnyel, hogy az energiamegtakarítás becslésének valós, mért adatokon kell alapulnia, azért, hogy jobban közelítse majd a valóság a kitűzött célokat és így ne vegyék el a pontatlanságokból adódó eltérések az érintett szereplők kedvét a további, energiahatékonyság növelést célzó intézkedésektől. A felhasznált irodalmak tanulmányozása során nagy számban találkozni a valós mérések fontosságának kiemelésével. Mindenki egyetért abban, hogy csak így érhetők el a kitűzött célok. Ebben a kontextusban tehát az **adatgyűjtést és az adatokhoz való hozzáférés** fontosságát hangsúlyozottan kell minden érintett szereplőnek kezelnie.

8. Hatás-útvonal térkép

Az eddigiek alapján elmondhatjuk, hogy a rebound hatás kialakulása és annak mértéke számos tényezőtől függ. Bonyolult ok-okozati összefüggések állnak a jelenség mögött, ezek átláthatóbb kezelésének egyik módszertani fogása az ún. „hatás-útvonal térképek” szerkesztése.

Seebauer és munkatársai (2019) hatás-útvonal feltérképezéssel szemléltették az elektromos autók és az épületfelújítások kapcsán megfigyelhető alapvető hajtóerőket, következményeket, befolyásoló tényezőket Ausztriában. A hajtóerők hálózatán keresztül követve a politikai impulzusokat, a hatás-útvonal térkép bemutatja az energiahatékony technológiáknak a piaci diffúzióra, a rebound hatásra és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére gyakorolt direkt, indirekt és nem szándékolt hatásait. Egy átláthatóbb képet adva az ok-okozati összefüggésekről és azok erősségéről (Seebauer, Kulmer, & Fruhmann, 2019). Mivel ebben a munkában az épületfelújításokkal foglalkozunk, ezért a 13. ábra az épületek felújításához kapcsolódó hatás-útvonal térképet mutatja.

A hatás-útvonal térkép különböző színű szövegbuborékokból, valamint azokat összekötő, eltérő vastagságú és színű nyilakból áll.

A sárga színű szövegbuborékokban található a fő elemeket:

- Beruházás;
- Direkt rebound elkerülése;
- Indirekt rebound elkerülése;
- Nemzetgazdaság szintű rebound elkerülése.

Szürke és fekete szövegbuborékokban ábrázolták a szerzők az általuk feltárt lehetséges okokat, következményeket. A nyilak vastagsága a hatás, illetve következmény erősségére utal, színe pedig a pozitív, negatív együtthatókat jelzi. Láthatunk továbbá három nagy kategóriát:

- MEGVALÓSÍTÁS – a beruházások befogadása;
- HASZNÁLAT – a beruhást követő használat;
- HALMOZÓDÓ HATÁSOK – a gazdaság egészére kiterjedő hatások.

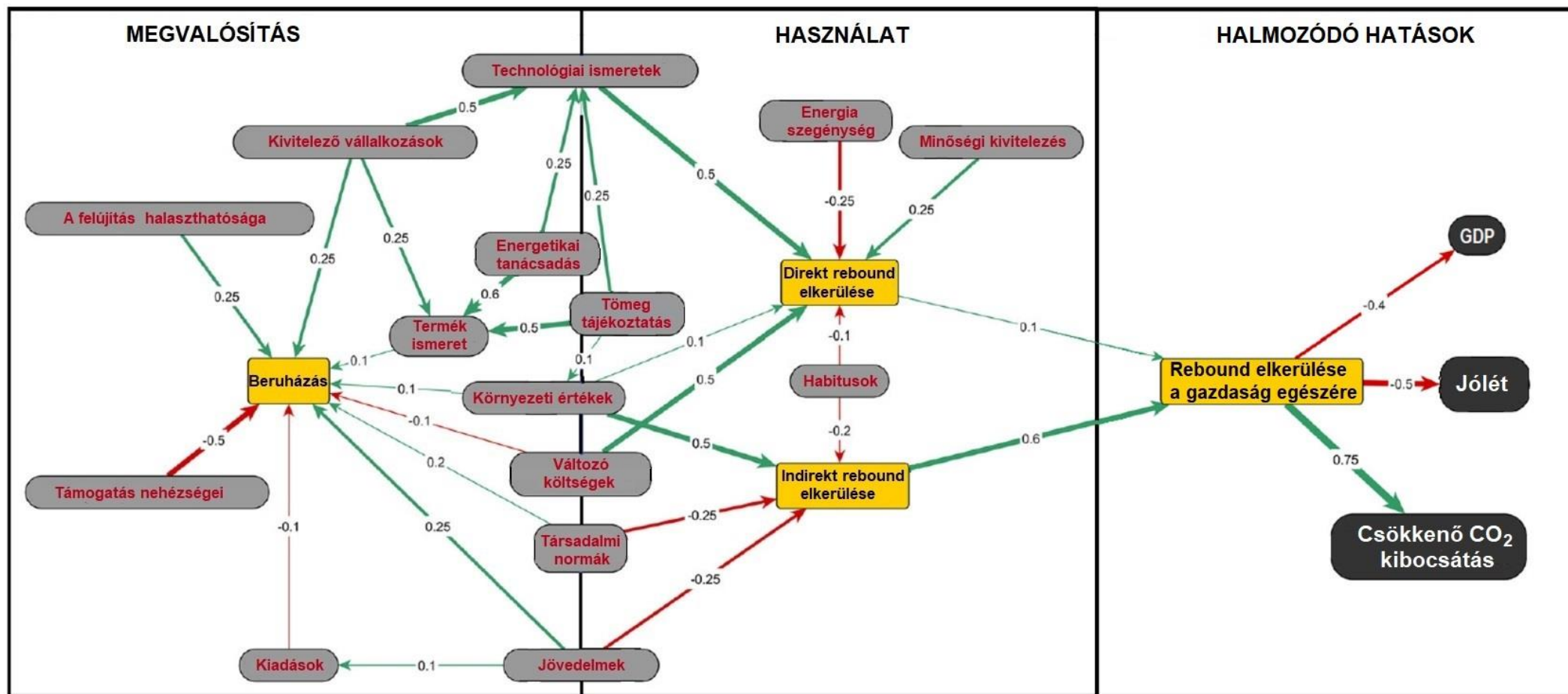
A nyilak vastagságához rendelt hatásegütthatók számértékének értelmezését mutatja az 1. Táblázat, a hatásegütthatók megnevezését pedig a 2. Táblázat tartalmazza.

1. Táblázat. A hatáseggyütthetők értelmezése a hatás-útvonal térképhez.

Számérték	Jelentése
0	Nincs kapcsolat, az egyik elem megváltoztatása nem változtatja meg a másik elemet.
0,25	Kis változás, az egyik elem változása marginális változást okoz a másik elemben.
0,5	Részleges változás, az egyik elem változása közepes vagy nagy változást okoz a másik elemben.
0,75	Ekvivalens változás, az egyik elem változása azonos méretű változást okoz a másik elemben.
1	Többszörös változás, az egyik elem megváltoztatása sokrétű változást okoz a másik elemben.
Pozitív	Pozitív okozati irány, az egyik elem növekedése a másik elem növekedéséhez vezet. (zöld szín)
Negatív	Negatív okozati irány, az egyik elem növekedése a másik elem csökkenéséhez vezet. (piros szín)

2. Táblázat. Az útvonal-térkép hatáseggyütthetőinek jelentése (Seebauer, Kulmer, & Fruhmann, 2019)

Megnevezés	Értelmezés, jelentés
Beruházás	A beruházások számát, valamint a támogatásokra való jelentkezők számát jelöli.
Kiadások	A felújítás intenzitásától és minőségétől függő kiadások.
Tömeg tájékoztatás	Termékinformációk közlése, beleértve a szén-dioxid-lábnyomot, a fenntarthatóságot és a különféle energiahatékony technológiák fogyasztói előnyeit.
Társadalmi normák	A közösség elvárásai arról, hogy el kell-e sajátítani egy energiatakarékos technológiát.
Környezeti értékek	Személyes meggyőződés, hogy részt kell venni a környezet védelmében.
Változó költségek	A felújítás után komfortszintre fűtött lakóterület fűtésének négyzetméterre eső ára.
Jövedelmek	Rendelkezésre álló jövedelem.
Termék ismeret	A felújítási lehetőségek, a szigetelőanyagok, technológiák stb. ismerete.
Jólét	Jólét, a rendelkezésre álló jövedelem által korlátozott fogyasztási lehetőségekben mérve.
Minőségi kivitelezés	Megvalósítás műszaki/szerkezeti hibák nélkül, a szigetelő elemek beépítése és helyes méretezése az épületen belül, a fűtési rendszerek előbeállításai stb.
Energia szegénység	Azon társadalmi réteg, amely a felújítás előtt nem tudja (anyagi okok miatt) kellően komfortban tartani lakhelyét.
Energetikai tanácsadás	Termékinformációk közlése az épületszigetelésről, a szigetelőanyagokról és technológiákról, valamint a technológia megfelelő felhasználásáról.
A felújítás halaszthatósága	A technológia hátralévő élettartama és az épületelemek, például a fűtés, az ablakok stb. megújításának sürgőssége.
Kivitelező vállalkozások	Épületgépészeti, építési vállalkozások, a felújítások tervezéséért, megvalósításáért; termékinformációk közléséért felelősek.
Támogatás nehézségei	A támogatások megszerzéséhez szükséges lépések, az érintett testületek és szereplők száma a támogatás jóváhagyásáig (pl. Bankok, önkormányzati / állami és szövetségi hatóságok).
Technológiai ismertek	Tudás a megfelelő épületgépészeti rendszerekről.



13. ábra. Épületfelújítás útvonal-térképe (Seebauer, Kulmer, & Fruhmann, 2019)

A térkép elemzése

Ezek ismeretében már elkezdhetjük a térkép elemzését.

1) MEGVALÓSÍTÁS - a beruházás elhatározása

Láthatjuk, hogy a beruházások megvalósulásának valószínűségét pozitívan befolyásolhatja az épületelemek rossz állapota miatti megújítások sürgőssége, az épületgépészeti szereléssel és építéssel foglalkozó vállalkozások, a felszerelni kívánt berendezésekről való ismeretek, a környezeti értékek, szociális normák, valamint a rendelkezésre álló jövedelem. Az eddig felsoroltak a közvetlenül ható ösztönzők, de láthatjuk az 13. ábra összetettségéből, hogy közvetett ösztönzők is vannak. Ilyen például, a média és az energetikai tanácsadás jelentős mértékű hozzájárulása ahhoz, hogy mennyi ismeretük van a lakóknak az adott technológiáról és annak megfelelő használatáról. A felújítási lehetőségek, a szigetelőanyagok, technológiák stb. ismerete viszont már csak elég kis mértékben járul hozzá a beruházás vállalásához. A beruházás elhatározásánál negatív hatásokkal is találkozhatunk. Ilyen többek között a támogatások igénylése körülötte nehézségek, változó költségek és kiadások. Ezek a hatások tehát, amiknek jelenléte csökkenti a beruházásra való hajlandóságot. A térkép tanulmányozása éppen ezért lehet hasznos olyanoknak, akiknek tevékenysége a beruházások ösztönzéséhez vagy szabályozási környezet kidolgozásához, alakításához kapcsolódik. Így segíthet a pozitív és negatív hatások figyelembevétele az épületfelújítási intézkedések hatékonyságának növekedést.

2) HASZNÁLAT – a beruházás eredménye

A beruházást követően a használat során jelentkezik az esetleges rebound hatás, célunk ennek mérséklése vagy elkerülése. 0,5-ös hatás-együtthatóval rendelkezik az adott technológia használatáról rendelkezésre álló tudás (beleértve a fűtés és szellőzés irányítását). Tehát, minél jobban ismerik a lakók az adott technológiát, annál hatékonyabban tudják használni és annál kisebb az esélye, hogy több energiát használnak, mint kellene, így elkerülve a rebound hatást. A technológiákról való tudás megszerzésében nagy szerepe van a gyártóknak, kisebb szerepe pedig az energetikai konzultációnak, de a médiának is van. Magas változó költségek esetén a fűtés intenzitása általában csökken, így elkerülve a rebound hatást. Pozitív, 0,25-ös hatást gyakorol a rebound elkerülésére az, hogy a megvalósítás műszaki/szerkezeti hibák nélkül történik, valamint a helyes méretezés és előkészület is fontos. A környezeti értékek itt is pozitív hatást gyakorolhatnak azáltal, hogy valaki a környezet védelme érdekében takarékosabban éli mindennapjait. Piros nyíllal szerepelnek az emberi szokások (pl. magasabb belső hőmérséklet fenntartása, kevesebb figyelem a takarékoskodásra az alacsonyabb árak mellett), valamint az energiaszegénység. Az energiaszegénység olyan emberek csoportját foglalja magába, akik alacsony jövedelemszintűek, ezáltal energetikailag rosszabb állapotú épületekben élnek és jövedelmük elég magas százalékát kell energiára költeniük. Jellemző, hogy nem tudják kellő komfortban tartani otthonukat, valamint energiahatékonyságot célzó beruházásokat sem tudnak

megpályázni, anyagi okok miatt. Körükben fennáll annak a veszélye is, hogy például több lakásos épület esetén a bérbeadó eszközöl egy felújítást, emiatt lakbért emelhet és így a szegényebb rétegek kiszorulhatnak, még rosszabb állapotú helyekre kell költözniük. (Bergera & Höltl, 2019) Ha mégis valamilyen felújítást sikerül eszközölniük, akkor a megtakarított energiát arra fogják felhasználni, hogy magasabb belső hőmérsékletet és komfortot tartsanak fenn. Esetükben így alakul ki a rebound hatás. Természetesen az ő helyzetük még további odafigyelést igényel a politikai döntéshozók részéről.

Az indirekt rebound hatásra magasabb a környezeti értékre figyelés következménye, mint a direkt esetben. A környezettudatosabb emberek jobban figyelnek arra, hogy ne vásároljanak felesleges dolgokat és ne növeljék az energiafelhasználást más területeken sem. Az ellenkezője is megmutatkozik persze, 0,2-es együtthatóval szerepel a térképen a szokások hatása. Ilyen például, amikor megszólal valakit régebbi autója miatt, akkor is, ha jól működik és elvárják, hogy ha megteheti, akkor váltson szebb kocsira. Szintén negatív a szociális normák és a rendelkezésre álló jövedelem hatása. A szociális normák esetén elmondhatjuk, hogy sok olyan elvárás van, amelynek meg kell az embereknek felelniük, és nem mondhatók kevés energiát igénylő folyamatoknak. Ha pedig valakinek sok pénze van, hajlamos többet költeni felesleges, a kényelmet növelő dolgokra.

3) HALMOZÓDÓ HATÁSOK - a nemzetgazdaság szintje

Végso fő elem (cél) a gazdaság egészére kiterjedő rebound-hatás elkerülése. Látható, hogy mind a direkt, mind az indirekt rebound elkerülésének növekedése növeli a gazdaság egészére kiterjedő rebound elkerülését is. Mindkét útvonal-térképen a gazdaság egészére kiterjedő visszapattanást elsősorban az indirekt visszapattanás vezérli. A hatékonyságnövelésből származó megtakarítások átcsoportosítása más fogyasztási területekre sokkal erőteljesebb rebound hatású, mint a direkt felhasználás növekedése. Az egész gazdaságra kiterjedő rebound hatás ellentmondásos gazdasági, társadalmi és környezeti célokat tükröz. A megnövekedett fogyasztás gazdasági fejlődéshez vezet, mivel a GDP növekszik, majd a magasabb bérek és a fogyasztási lehetőségek növekedése miatt a jólét emelkedik. A gazdasági szintű rebound elkerülése pedig elősegíti a szén-dioxid és egyéb, üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését, viszont negatív hatással van a GDP-re és a jólétre. Ez is igazolja, hogy valószínűleg egy gazdaság vezetői sem döntenének úgy, hogy GDP-jüket csökkentve mérsékeljék a fogyasztást.

Az épületfelújítási útvonal térkép jól szemlélteti a közvetítő szereplők szerepét. A tömegtájékoztatási eszközök, az épületgépészeti és az építőipari vállalkozások, valamint az energetikai tanácsadók kevés közvetlen hatást gyakorolnak a befogadásra vagy a felhasználásra, de közvetett módon járnak el más térképi elemek, például termékismeretek vagy a technológia használatával kapcsolatos ismeretek révén. Ez utóbbi nagy potenciállal rendelkezik a direkt rebound elkerülésére, és mindezek a közvetítő szereplők előmozdítják ezt. Ezek a közvetítői kapcsolatok azt jelzik, hogy a hatékony politikáknak az

elemek keverékével kell foglalkozniuk, nem csak azokat az elemeket kell meghatározniuk, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a befogadáshoz vagy a használathoz. (Seebauer, Kulmer, & Fruhmann, 2019)

Az útvonal térkép azokat az ösztönzőket mutatja, amelyek hozzájárulnak ahhoz, hogy mérsékelhető/elkerülhető legyen a közvetlen és a gazdaság egészére kiterjedő rebound:

- magas környezeti értékek, amelyek elsősorban a nem energiaigényes, fenntartható termékekre terelik a fogyasztást;
- gyenge társadalmi normák, mivel az energiahatékony technológia bevezetésének presztízsnövekedése kevésbé szolgál a megnövekedett fogyasztás igazolásaként;
- alacsony rendelkezésre álló jövedelem, amely csökkenti a fogyasztást, vagy a kiadásokat olcsóbb és kevésbé energiaigényes termékekre tereli. A jövedelem kihasználása a rebound megelőzésére a hatékonyságnövelés általánódójának bevezetésével valószínűleg a politikai megvalósíthatóság és a nyilvánosság elfogadottságának határaival ütközik. (Seebauer, Kulmer, & Fruhmann, 2019)

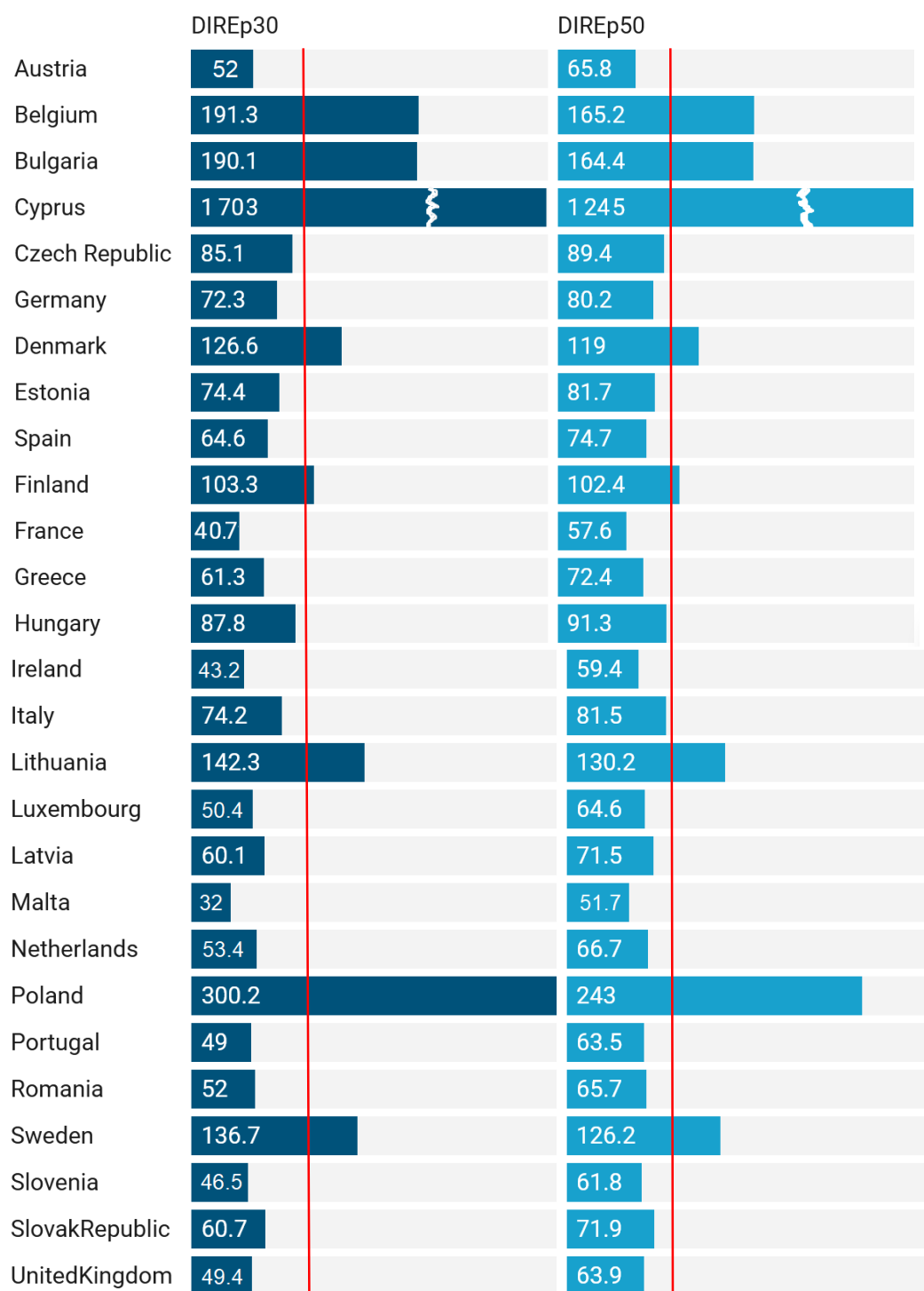
A hatás-útvonal térkép a felismert társadalmi hatások megjelenítésével és a kapcsolatok mennyiségi mutatókkal való ellátásával járul hozzá egy gazdaságban az energiafelhasználás tudatosabb alakításához és jelentősége hosszabb távon érvényesül, továbbá célszerű folyamatosan aktualizálni.

9. A rebound hatás mértéke az EU országokban

A rebound hatások kutatásának célja nem lehet más, mint a minél pontosabb mennyiségi leírásuk. Tanulmányunk szempontjából az Európai Uniót alkotó országok épületenergetikai szektorainak jellemző eredményeit mutatjuk be ebben a fejezetben. Az összehasonlításból levonható következtetéseknél figyelembe kell venni, hogy az egyes számadatok ugyan azonos alapokról induló, de mégis csak különböző módszer alapján kerültek kiszámításra. A vizsgált időtartomány és az adatok forrásaként alkalmazott adatbázisok sem teljesen azonosak. Az egyes szerzők által alkalmazott módszertan részletes tárgyalásától úgy ítéljük meg, hogy terjedelmi korlátok és a tartalom követhetősége miatt eltekinthetünk. Az eredmények bemutatásánál a forrásokból a numerikus adatokat kinyertük és új ábrákat generáltunk. Ennek alapvető oka, hogy a források elektronikus változatában megjelent diagramok megítélésünk szerint többnyire elég apró betűkkel szerkesztettek és nehézkesen olvashatók.

Korábbiakban részletesen bemutattuk, hogy az indirekt rebound hatás és a direkt rebound hatás nem függetlenek egymástól. Gonzales (Freire-González, 2017) munkájában azt írja, hogy bizonyos indirekt rebound hatások a direkt rebound hatások részét képezik, azoktól függenek és nem különíthetők el. A 14. ábra mutatja az Európai Unió 27 országában a lakásszektorra vonatkozó (épületenergetikai hatékonyság növelő beruházásokat követő) direkt és indirekt rebound együttes értékeit.

A szerző módszertana röviden a következő. Az értékek meghatározása egyrészt az energetikai folyamatok szimulációja alapján másrészt régiós környezeti input-output adatok elemzésével történt. A kettő összekapcsolásával ad a szerző becslést az épületek felújítását követő rebound hatásra. Az elemzés a 2007-es gazdasági struktúrára alapszik (2008-as válság előtt). A háztartásokra az ún. „arányos újra felhasználási modellt” alkalmazza, ami azt jelenti, hogy a többletbevétel ugyanabban a struktúrában kerül elköltésre, mint az eredeti jövedelemnél. (Ez feltételezi, hogy az összesített fogyasztói magatartás hasonló a vizsgált országokban. A jövedelem rugalmassági adatok ismerete nélkül egyébként más modell nehezen kivitelezhető.) A közvetlen rebound számítása helyett, két árrugalmasság értéket (lényegében direkt rebound értéket) vett fel a szerző (30% és 50%). A modell számítások a közvetett rebound meghatározását eredményezték. A modell kialakítása és a felhasznált adatok a háztartások energiafelhasználására, illetve a háztartások közvetlen és közvetett rebound hatásaira összpontosított. (Freire-González, 2017)



14. ábra. Együttes direkt és indirekt rebound hatás az EU-27 országainak háztartásaiban (Freire-González, 2017)

Az 14. ábra az EU-27 országot mutatja, azonban Ciprushoz tartozó értékek (1703% és 1245%) olyan kiugróan magasak, hogy a jobb ábrázolhatóság érdekében Ciprus oszlopai nem arányosak.

González az egyes országok értékei alapján összegzett hatásként számította a teljes európai rebound hatást (Freire-González, 2017). Ehhez a 2007-es évi GDP értékeket használta fel, hogy az egyes gazdaságokat tudja súlyozni. Az Európai Unió első 27 országára a direkt és indirekt együttes rebound hatásra 73,62%-ot adott meg, ha a direkt rebound 30%-os, míg 50%-os esetben 81,16% ez az érték.

A meghatározott értékek alapján azt lehet mondani, hogy ilyen mértékű rebound hatás gyakorlatilag ellensúlyozza az EU-27 országainak együttes energiahatékonysági intézkedéseitől várt energiamegtakarítási elvárásokat. Másképpen fogalmazva, az előírások szerinti beruházások ellenére a magas eredő rebound következtében az uniós szintű energiamegtakarítás nem valósul meg.

A 14. ábra tartalmaz két piros vonalat a 100% mérték jelzésére, ezzel alapvetően két csoportra oszthatók az országok, ezek pedig a direkt és indirekt rebound együttes hatás 100%-os értékét meghaladó és nem meghaladó országok csoportja. A 100%-os értéket meghaladó országok: Ciprus, Lengyelország, Belgium, Bulgária, Litvánia, Svédország, Dánia és Finnország. A 100%-nál alacsonyabb direkt és indirekt rebound hatású országok pedig: *Magyarország*, Csehország, Észtország, Olaszország, Németország, Spanyolország, Görögország, Szlovákia, Lettország, Hollandia, Ausztria, Románia, Luxembourg, Egyesült Királyság, valamint az 50%-os érték alattiak: Portugália, Szlovénia, Írország, Franciaország és Málta. A 100%-ot meghaladó országok esetén a feltételezett alacsonyabb (30%) direkt rebound hatás magasabb direkt és indirekt összeget mutat, míg 100% alatt ennek ellenkezője látszik. Tehát a gazdaság átcsoportosítási – újfelhasználási szokásaitól és strukturális jellemzőitől függően akár jobb és rosszabb is lehet, ha a háztartások energiahatékonyságának javulása esetén magas a direkt rebound hatás.

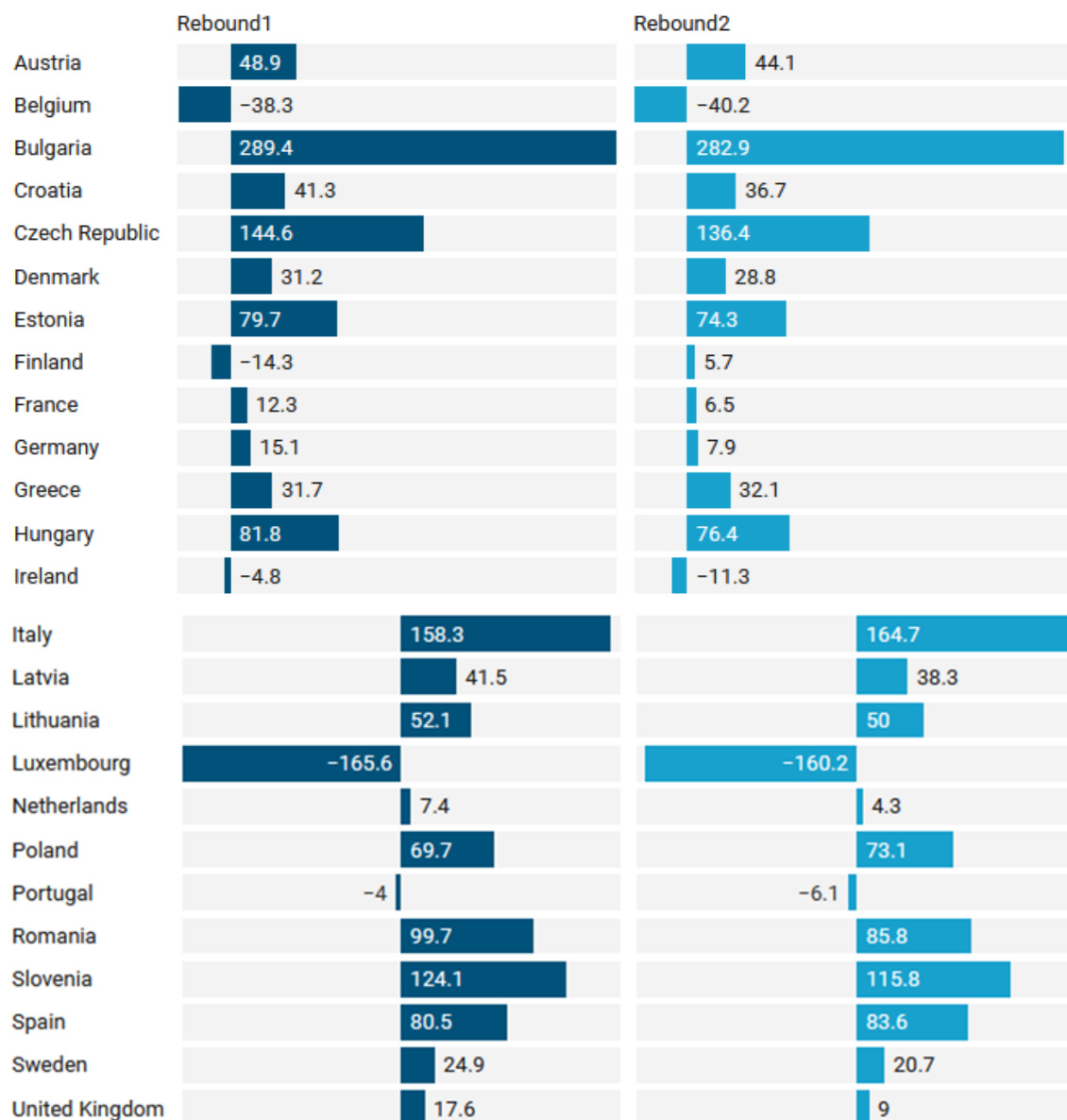
Ez összefügg azzal a ténnyel, hogy az alacsony direkt rebound hatás több monetáris megtakarítást eredményez a háztartásokban, ezért nagyobb az esély a magas indirekt rebound hatásra. Megfigyelhető azonban, hogy amikor a direkt és indirekt rebound alacsonyabb, mint 100%, a direkt hatás érvényesül az indirekt hatással szemben, és ha a direkt és indirekt rebound 100%-nál nagyobb, akkor az indirekt hatás érvényesül a direkt felett. Elemezzük mindkét esetet:

(1) 100%-nál alacsonyabb a direkt és indirekt együttes rebound hatás. Ebben az esetben a direkt hatás érvényesül az indirekt felett: például Ausztriának a DIREp értéke 52,12%, ha a direkt rebound hatás 30% ($30\% + \mathbf{22,12\%}$), és 65,80%, ha a direkt 50% ($50\% + \mathbf{15,8\%}$). Tehát ebben az esetben az indirekt rebound alacsonyabb;

(2) 100%-nál magasabb direkt és indirekt rebound hatás. Ebben az esetben, tekintettel arra, hogy a megtakarítás újra felhasználása forgatókönyv nagyon magas indirekt reboundhoz vezet, az indirekt hatás érvényesül a direkt felett: például Bulgáriának a DIREp értéke 190,09%, ha a direkt rebound hatás 30% ($30\% + \mathbf{160,09\%}$) és 164,35%, ha a direkt hatás 50% ($50\% + \mathbf{114,35\%}$).

Érdekes látni, hogy ha elemezzük a direkt és indirekt rebound hatás átlagát az EU országcsoportjaiként, figyelembe véve az EU besorolásba való belépés sorrendjét, akkor a következő átlagokat találjuk: EU-12: 73,01%; EU-15: 77,88%; EU-25: 150,46%. Tehát megkülönböztethetjük az első tizenöt országot, amelyek először léptek be az Európai Unióba (EU-12 és EU-15), alacsonyabb direkt és indirekt rebound

hatással, és azokat a csoportokat, amelyek magukba foglalják a többi országot (EU-25 és EU-27) magasabb rebound hatásokkal (Freire-González, 2017).



15. ábra. Rebound hatás európai országok esetén (Balezentis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021)

A 15. ábra Balezentis és munkatársai munkája alapján készült (Balezentis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021). Különbség a 14. ábra diagramjához képest, hogy Ciprus és Málta adatai nem szerepelnek, valamint feltűnő, hogy itt negatív értékek is megjelennek. Ebben a tanulmányban a szerzők a rebound hatáshoz, annak erősségét jellemző, szinteket rendelnek, amit a 3. Táblázat mutat. Az alkalmazott módszertanra itt nem térünk ki, mert a Magyarországra vonatkozó fejezetben azt részletesen ismertetjük, mivel a magyarországi adatokat újra számoltuk, illetve kiterjesztettük 2018-ig, a tanulmányban ugyanis csak 2012-ig terjed az időhorizont.

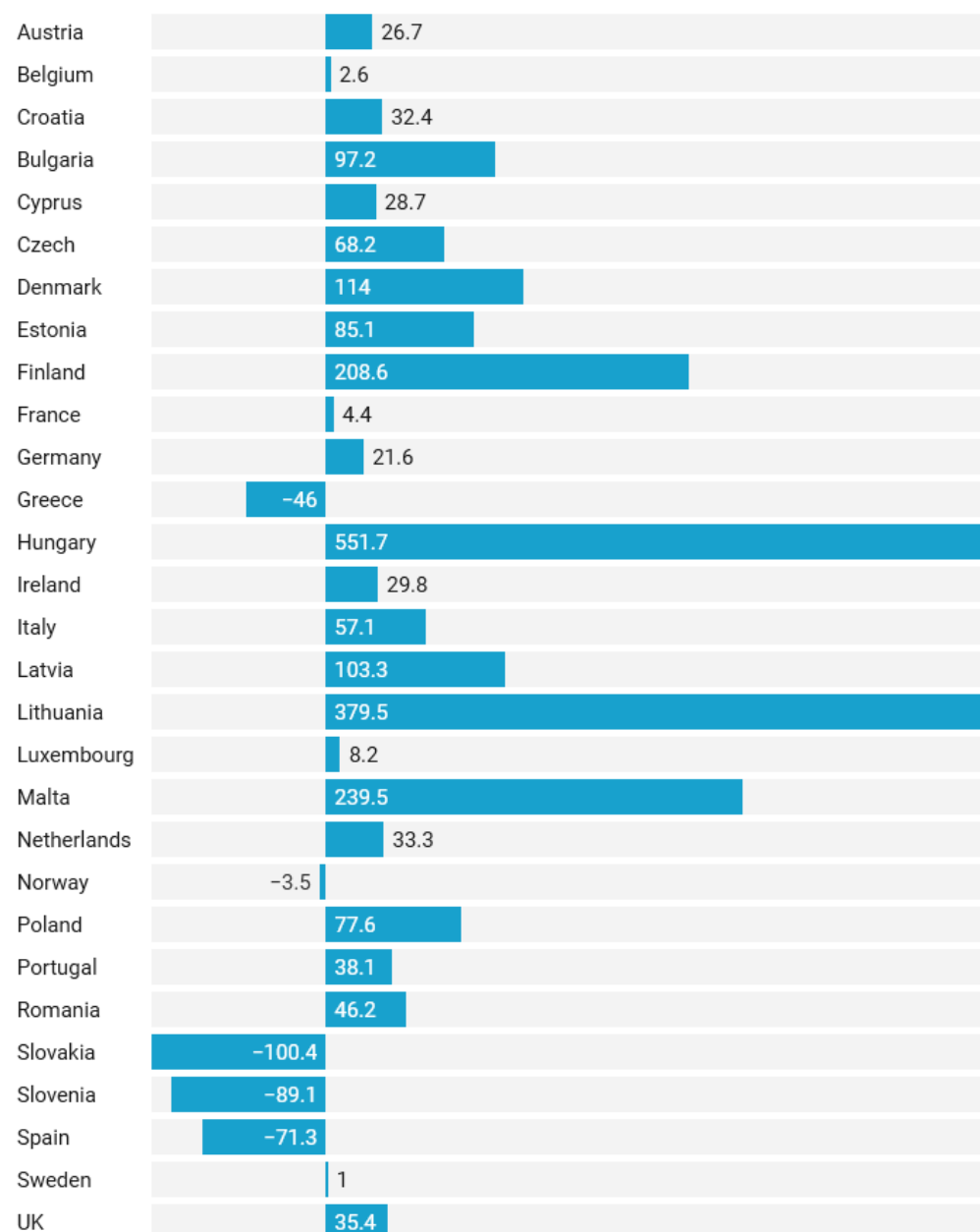
3. Táblázat. *Rebound hatás értékeinek jelentése (Balezentis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021)*

Rebound együttható	Típus
$R > 1$	„Backfire”
$R = 1$	Teljes rebound
$0 < R < 1$	Részleges rebound
$R = 0$	Zéró rebound
$R < 0$	„Super-conservation”

A 3. Táblázat bemutatott értékei esetén a rebound együttható a rebound hatás nagyságát szimbolizálja. Balezentis és munkatársai az energiahatékonyság változására vonatkozó energiaigény rugalmasságából határozták meg a rebound együtthatót ($R=1+\epsilon_E$) (Balezentis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021). Ha a rebound együttható egynél nagyobb érték, akkor az úgynevezett „backfire” jelenség következik be, amelynek során az adott ország egy energiahatékonysági intézkedés végrehajtása után növekedést tapasztal az energiafogyasztásban. A teljes rebound esetén azt mondhatjuk, hogy olyan, mintha a felújítás meg sem történt volna, hiszen ugyanannyi a fogyasztás mértéke, mint korábban. Részleges reboundnál tapasztalunk csökkenést, de nem annyit, mint amennyit elvárhatnánk. Zéró rebound akkor következik be, amikor pontosan annnyival csökken az energiamegtakarítás, mint azt terveztük. A „super-conservation” állapot esetén pedig a rebound együttható negatív, azaz nagyobb a megtakarított energiamennyiség, mint az előre jelzett érték.

A harmadik tanulmány, amelynek eredményeit áttekintjük, Galvin Ray munkája (Galvin R. , 2014). Ebben is az EU tagországokra vonatkoznak a számítások, de csak a direkt rebound kerül meghatározásra. Az energiahatékonyság és a háztartások energiafelhasználásának adatai alapján regressziós együtthatókból határozza meg egy adott időszakra vonatkozó rebound értékeket. A nyert eredményeit a 16. ábra mutatja be. Annak ellenére, hogy a szerző elismert szakember a területen, a Magyarországra vonatkozó 500%-os háztartási energiafelhasználásra vonatkozó direkt rebound értékben kételkedtünk, így azt újra számoltuk a cikkben megadott módon, de az IEA adatbázisából nyert adatokkal. Ellenőrzésként az Egyesült Királyság (UK) adatokkal is elvégeztük ugyanazokat a lépéseket, az eredményt a 17. ábra mutatja. Azt gondoljuk, hogy a mi számítási eredményünk állhat közelebb a valósághoz, mert az UK adaton kismértékű korrekció keletkezett ennek eredményeként, de Magyarország háztartási energiára vonatkozó rebound értéke ~50%-ra mérséklődött. Ezt az értéket mi összhangban lévőknek tekintjük más szerzők eredményeivel.

Tanulság, hogy mivel nincsen egy egységes számítási módszer, ezért nehéz megítélni, hogy melyik tanulmány adatai fedik legjobban a valóságot. Fontos lenne egy egységes módszertant és azonos adatbázist alkalmazni legalább az EU szintjén, hiszen ez segíthetne könnyebben beazonosítani azokat az országokat, amelyeknél nagyobb hangsúlyt kell fektetni a rebound elkerülésére, ezáltal akár az egész Európai Unió könnyebben érné el energiamegtakarítási céljait is.



16. ábra. 28 EU tagország és Norvégia direkt rebound értékei (Galvin R. , 2014)



17. ábra. Adat korrigált eredmény Magyarország és az UK esetére

Mivel számos diagramon külön-külön mutattuk az eredményeket, a jobb összehasonlítás miatt a 4. Táblázat egyben is tartalmazza a 14. ábra, a 15. ábra és a 16. ábra adatait.

4. Táblázat: Összesített adatok a korábban ismertetett tanulmányok alapján (Freire-González, 2017), (Balezantis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021), (Galvin R. , 2014)

Forrás (publ. éve)	Gonzalez (2017)				Balezantis at al. (2021)		Galvin (2014)
	Ind+Dir_Rebound		Indirect		Ind+Dir_Rebound		Direct
Ország	Direp30	Direp50	Direp30	Direp50	R1	R2	
Austria	52,12	65,8	22,12	15,8	48,89	44,06	26,7
Belgium	191,29	165,21	161,29	115,21	-38,29	-40,23	2,6
Bulgaria	190,09	164,35	160,09	114,35	289,39	282,86	97,2
Cyprus	170,389	124,564	140,389	74,564			
Czech Republic	85,11	89,37	55,11	39,37	144,58	136,37	68,2
Germany	72,29	80,21	42,29	30,21	15,07	7,9	21,6
Denmark	126,56	118,97	96,56	68,97	31,21	28,775	114
Estonia	74,43	81,74	44,43	31,74	79,65	74,28	85,1
Spain	64,6	74,71	34,6	24,71	80,46	83,58	-71,3
Finland	103,3	102,35	73,3	52,35	-14,27	5,69	208,6
France	40,69	57,64	10,69	7,64	12,31	6,5	4,4
Greece	61,29	72,35	31,29	22,35	31,73	32,13	-46
Hungary	87,77	91,27	57,77	41,27	81,829	76,38	551,7 / 49,7
Ireland	43,17	59,41	13,17	9,41	-4,8	-11,3	29,8
Italy	74,15	81,54	44,15	31,54	158,29	164,68	57,1
Lithuania	142,33	130,24	112,33	80,24	52,099	50,03	379,5
Luxembourg	50,36	64,55	20,36	14,55	-165,61	-160,24	8,2
Latvia	60,06	71,47	30,06	21,47	41,54	38,27	103,3
Malta	32,33	51,67	2,33	1,67			239,5
Netherlands	53,37	66,69	23,37	16,69	7,41	4,27	33,3
Poland	300,2	243	270,2	193	69,72	73,05	77,6
Portugal	48,95	63,53	18,95	13,53	-4,02	-6,12	38,1
Romania	51,98	65,7	21,98	15,7	99,69	85,75	46,2
Sweden	136,68	126,2	106,68	76,2	24,85	20,74	1
Slovenia	46,46	61,75	16,46	11,75	124,08	115,84	-89,1
Slovak Republic	60,68	71,91	30,68	21,91			-100,4
United Kingdom	49,43	63,88	19,43	13,88	17,63	8,95	35,4 / 48

Magyarország és UK esetében a második érték a jelen kutatás során meghatározott adat.

Az irodalom kutatásunk és az EU országokra vonatkozó eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a rebound hatás számítására/beclsésére nincsen egy egységes, mindenki által követett módszer. Továbbá azt is megállapítottuk, hogy a jelentőségének megítélése is különböző, míg az egyik tanulmány nagyon kis jelentőséget tulajdonít a rebound hatásnak, addig egy másik nagyon komoly tényezőként számol vele. Minden tanulmányban különböző módszerrel nyerik a számítási eredményeket, annak ellenére, hogy az alapkiindulás azonos. Ennek oka, ahogyan már szerepelt, a többkomponensű hatás esetén az alapszámítási összefüggések elbonyolódása, de inkább a hatványozott adatigény miatt előtérbe kerülnek a helyettesítő számítási eljárások és beclsési módszerek. Azt, hogy melyik eljárással nyert eredmények a leginkább valóságot mutatók, nehéz eldönteni, amit a 4. Táblázat is jól bemutat.

10. A rebound hatás Magyarországon

A nagyszámú általános tartalmú és az EU adatokra fókuszáló irodalmi forrás mellett a nemzetközi folyóiratokban kifejezetten magyarországi háztartási energiafelhasználással kapcsolatos rebound hatásról szóló forrást nem találtunk. A magyarországi publikációk között referenciának tekinthetjük Sebestyén Szép Tekla munkáit, számításainak eredményét az 5. Táblázat mutatja.

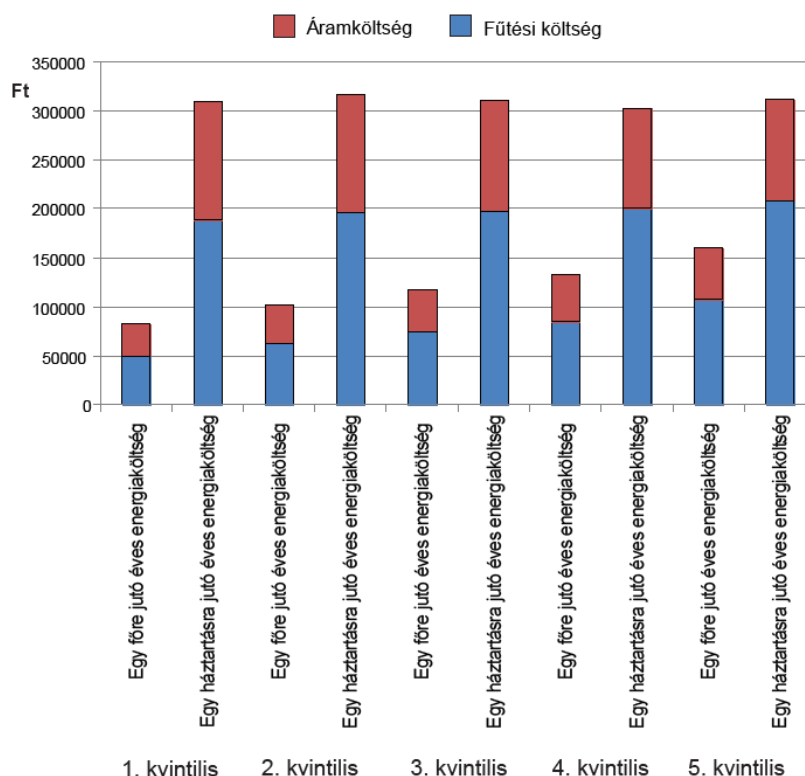
5. Táblázat: A visszapattanó hatás nagysága Magyarországon (Szép, 2013)

A visszapattanó hatás mértéke Magyarországon 2008-ban			
	Teljes minta	Legalsó jövedelemcsoport (1. kvintilis)	Legfelső jövedelemcsoport (5. kvintilis)
Fűtés	2,6%	7,9%	0%
Villamosenergia-felhasználás	32,6%	29,8%	34,9%
A visszapattanó hatás mértéke Magyarországon 1990 és 2009 között			
	Fűtés	Vízfelmelegítés	Teljes energiafelhasználás
Magyarország	4%	2,2%	11,1%

(Szép, 2013) és (Sebestyén Szép, 2013) munkák annyiban bővebb adatokat tartalmaznak a magyarországi rebound hatásról, hogy nem csupán egy összevont energiafelhasználási rebound értéket ad meg a háztartásokra, hanem a háztartási energiafelhasználás fő céljai (villany, HMV és fűtés) szerint elkülönített rebound hatást is bemutatnak. Szép Tekla azt találta, hogy eredményeit tekintve a fűtési célú földgázfelhasználás esetében azok elmaradnak a témakörben végzett más kutatók által közölt eredményektől (ezek 10 és 30% közé teszik a rebound hatás mértékét), ugyanakkor a háztartások villamosenergia-felhasználása esetében meghaladják a várt értéket. A szakirodalomban leírt empirikus eredmények szerint a villanyra vonatkozó rebound értéke általában nem haladja meg a 20%-ot, Magyarországon 2008-ban ezzel szemben több mint 30%.

A különböző jövedelmi kvintiliszek esetében szintén jelentős eltérések tapasztalhatók. A földgázfelhasználást tekintve a legalsó jövedelemcsoportnál jelentősebb a rebound hatás, vagyis az elérhető (potenciális) energiamegtakarítás 7,9%-a elvész. Ez abból adódik, hogy az ehhez a kvintilishoz tartozó háztartások – komfortérzetük növelése érdekében – növelik a fűtési hőmérsékletet, vagy a fűtött alapterületet. A legmagasabb jövedelemmel rendelkező háztartásoknak nincsen erre szükségük, az energiahatékonysági intézkedést megelőzően is annyi energiát használnak fel, amennyire szükségük van. A villamosenergia-felhasználásnál ezzel éppen ellentétes jelenség figyelhető meg: az ötödik kvintilisben nagyobb a hatás mértéke, mint az első kvintilisben, ami azzal magyarázható, hogy a felső jövedelmi csoporthoz tartozó háztartások jelentős mennyiségű elektronikai készüléket vásárolnak (többnyire törekedve az A, illetve A+-os kategóriájú termékekre). A vizsgálatot megelőző években

számos olyan termék került a piacra (mint például elektromos kés, tojásfőző, robotporszívó, elektromos faragó stb.), melyek célközönsége a magasabb jövedelmű háztartások, és amelyek manuálisan is elvégezhető tevékenységeket váltanak ki, a vásárlók pedig remélve, hogy ezzel időt takarítanak meg, megveszik ezeket. Tehát a gazdagabb háztartások energiahatékony termékeket vásárolnak (illetve cserélik le a magasabb energiafogyasztású háztartási eszközöket), de olyan mértékben megnőtt a keresletük, hogy az elérhető energiamegtakarítás jelentős része így már elvesz. Sebestyén Szép Tekla ezért kutatásának egyik legfontosabb eredményének tartja azt a megfigyelést, hogy a különböző jövedelmi csoportok eltérő módon, eltérő mértékben reagálnak az energiafelhasználással összefüggő hatékonyságjavulásra.



18. ábra: Az egy főre, illetve egy háztartásra jutó éves energiaköltség megoszlása Magyarországon 2008-ban a különböző jövedelmi kvintilisekben (Szép, 2013)

A kvintilisek közötti különbségek a 18. ábrán is láthatók. Minél magasabb a jövedelmi szint, annál több az egy főre jutó éves energiaköltség. Ez is alátámasztja a rebound hatás különböző kvintilisekben mutató különbségét. (Vegyük észre ugyanakkor, hogy az egy háztartásra jutó éves költségben lényegesen kisebbek a különbségek.)

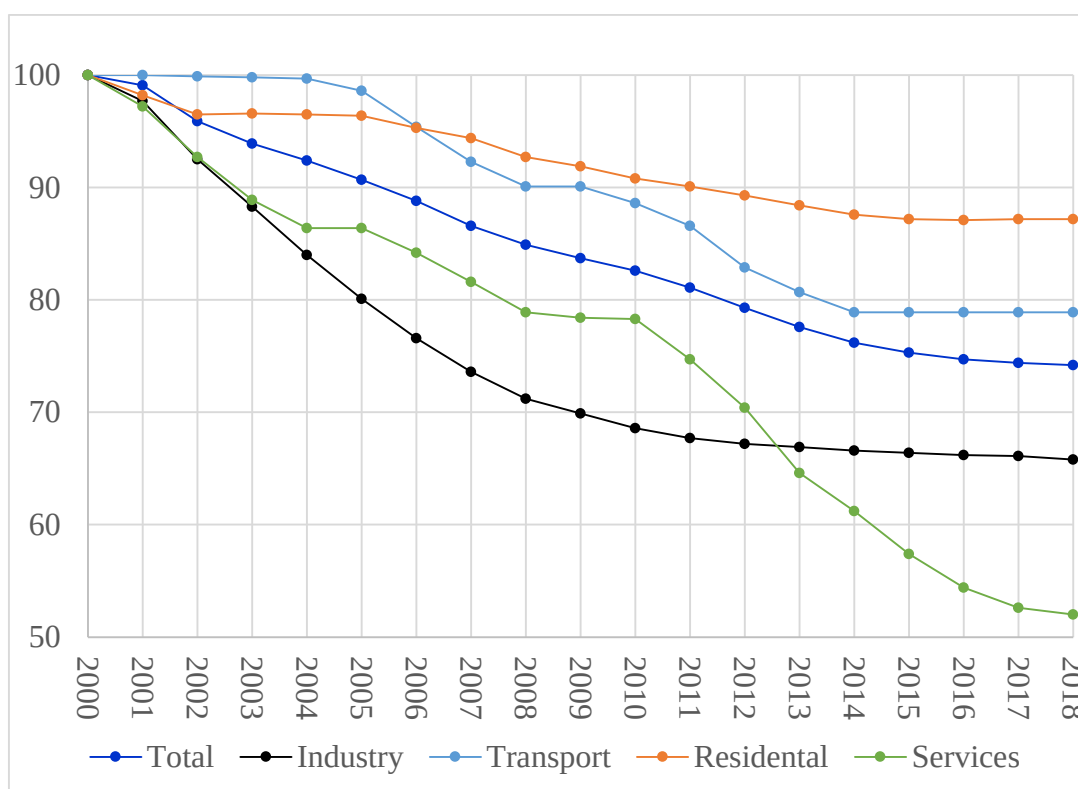
Sebestyén Szép Tekla által levont következtetések: „Az energiahatékonysági intézkedéseknek eddig csak pozitív hatásai voltak ismertek, így az ilyen jellegű beruházások által generált adóbevételek, a külkereskedelmi mérlegre, illetve a foglalkoztatásra gyakorolt pozitív hatás, az importfüggőség és az energiaszegénység csökkenése. Ugyanakkor számításaimmal bizonyítást nyert, hogy a rebound hatás Magyarországon is megfigyelhető, létező jelenség. Tehát kimondható, hogy az energiahatékonyság

növelése (illetve az ehhez kapcsolódó technológiai újítások) önmagában nem képes megoldást kínálni az energiafogyasztás visszafogására. Természetesen nem igaz az, hogy minden energiahatékonyság javítására irányuló fejlesztés szükségszerűen megnövelné az energiafelhasználást, hiszen az több tényező együttes fennállásának következménye. A rebound hatás mérése, illetve figyelembevétele nélkülözhetetlen a konzekvens energetikai döntések meghozatalához.” (Szép, 2013)

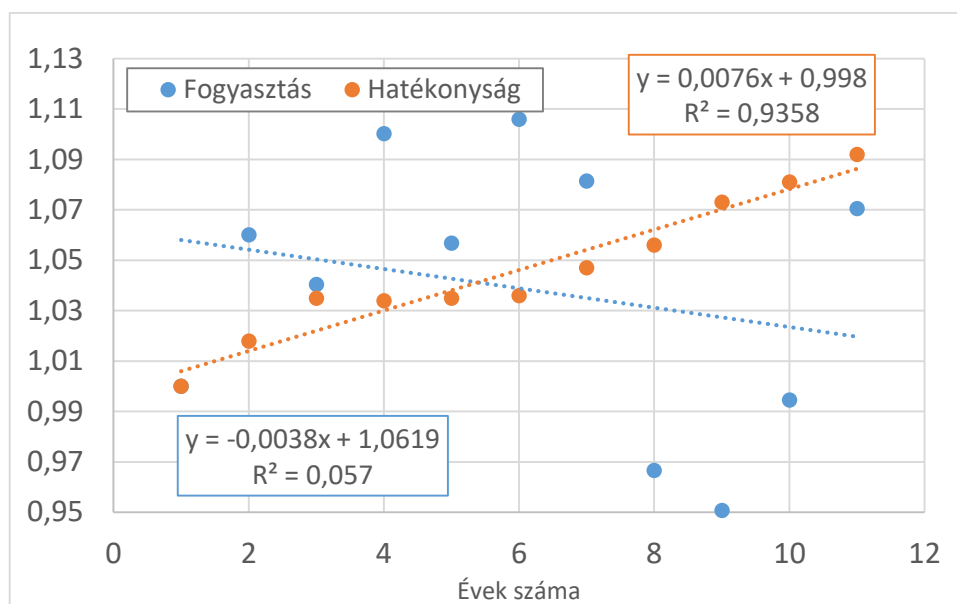
A Szép Tekla tanulmánya alapos, de már elég régi adatok elemzésének eredményeiről szól. Időben közelebbi adatokon alapuló rebound értékeket a nemzetközi szakirodalomból megismerhető számítási eljárásoknak magyarországi adatokon való alkalmazásával nyerhetünk.

10.1. A hazai háztartási energiafogyasztás közvetlen rebound mértéke

Galvin (Galvin R. , 2014) számítási módszerének lényege, hogy az adott szektor (pl. háztartás) időszori energiahatékonysági és energiafelhasználási adatainak lineáris regressziós együtthatóiból ad becslést a szektort jellemző direkt reboundra. A módszer hazai adatokon való alkalmazásához szükséges adatokat az Odyssee adatbázisból (Odyssee, 2021) és az „IEA country profile Hungary” adatbázisból nyertük ki (IEA, 2021) manuálisan, az eredményt az 19. ábra és a 20. ábra mutatja.



19. ábra. Technikai energia hatékonysági index változása 2000-től (Odyssee, 2021)



20. ábra. A 2000-2010 évek normalizált hatékonyság, fogyasztás és regressziók

Az energiafogyasztási adatokat a téli középhőmérséklet értékek figyelembevételével módosítottuk, ahogy ilyen korrekciót a (Galvin R. , 2014)-ben is végeztek.

A számítási összefüggés a direkt rebound számítására:

$$RBD_d = \left[1 + \frac{\ln(1+Rcon)}{\ln(1+Reff)} \right] \cdot 100\% \quad (10.1)$$

ahol Rcon a fogyasztás regressziós egyenes együtthatója, az Reff pedig a hatékonyságra vonatkozó.

A diagram számaival az eredmény:

$$RBD_d = 49,7 \%$$

6. Táblázat: Háztartási energia rebound hatása

év	Direkt rebound, %
2010	49,7
2012	93,9
2014	49,7
2016	48,5
2018	57,7

A 6. Táblázat eredményeit úgy kaptuk, hogy a hatékonysági és fogyasztási adatokra kettő éves lépésekben a regressziós egyenesek adatait meghatároztuk és a (10.1) képlet szerint a direkt rebound értékeket kiszámítottuk.

10.2. A hazai háztartási energiafogyasztás együttes rebound mértéke

Balezantis és társai (2021) egy több komponensű modellt javasolnak (Balezantis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021) munkájukban az együttes rebound hatás becslésére az energia elaszticitási együtthatón keresztül. A modell leíró egyenlete a következő:

(10.2)

$$\ln(Q_{i,t}) = \beta_0 + \beta_Y \ln(Y_{i,t}) + \beta_P \ln(P_{i,t}) + \beta_{POP} \ln(POP_{i,t}) + \beta_{AHS} \ln(AHS_{i,t}) + \beta_{HDD} \ln(HDD_{i,t}) + \beta_{CDD} \ln(CDD_{i,t}) + \beta_{SDH} \ln(SDH_{i,t}) + \varepsilon_E \ln(E_{i,t}) + \mu_i + \theta_t + u_{i,t}$$

ahol

Y a rendelkezésre álló reáljövedelem,

P az energia valós ára,

POP az átlagos népesség (fő),

AHS a háztartások átlagos mérete (fő),

HDD a fűtési napfok szám,

CDD a hűtési napfok szám,

SDH a családi házakban lakók aránya (%)

E az energiahatékonysági index=100 az értéke 2000-ben

ε_E az elaszticitás, ahonnan $RBD=1+\varepsilon_E$

A (10.2) egyenlet az alapmodell, ez országspecifikus lesz abban az esetben, ha az adott ország elaszticitását az adott ország E hatékonysági indexe és a többi országra jellemző adat helyettesítésével számítjuk. Az elaszticitást kifejezve a (10.2) egyenletből és jelölve, hogy Magyarországról van szó a nyert összefüggés:

$$\varepsilon_{Ehu} = \frac{\ln(Q) - \sum_i^n \beta_i \ln(X_i) - \mu - \theta - u}{\ln(E_{HU}) * cd_{HU}} \quad (10.3)$$

ahol az X_i és β_i a (10.2) alatt felsorolt tagok röviden írva.

A számításokhoz szükséges adatokról (7. Táblázat):

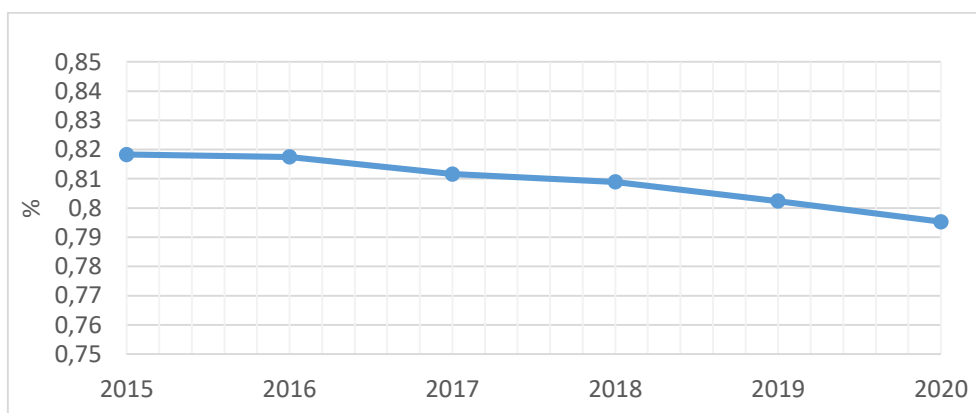
1. Vannak egyértelműen meghatározott forrású adatok (EUstat, KSH).
2. Az energia valós ára problémás. Vagy a fogyasztási mix alapján átlagolunk (gáz+villany+távhő+tűzifa) vagy egyszerűen az összes háztartási energiára fordított kiadás és a háztartások energiafelhasználás hányadosát vesszük. (Ezt a módszert alkalmaztuk.) További probléma, milyen árfolyamon számoljunk (Ft -> EUR ?).
3. „Családi házban lakók számát” a modellhez az un. „Urbanizációs fokból” számították, 100-U%. (Ezt vettük át).

4. Az μ idő-invariáns ország jellemző, qt időfüggő egységes jellemző és a pd ország jellemző „dummy” változókat összevontuk és az ismert, 2015-re vonatkozó Magyarországra vonatkozó, (Balezantis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021)-ban számított rebound számadatból identifikáltuk az értékeket és a továbbiakban állandónak vettük. Így csak a többi adat évről-évre változásának hatása jelenik meg a számításainkban. Minden egyéb olyan hatás, amit a modell létrehozói ezekbe a változókkal írtak le, így vettük figyelembe, azaz a szerzők idősor hatástól független eredményeivel hasonlítható össze a mi számításunk eredménye. Meglátásunk szerint a „dummy” változók egyik fontos szerepe, hogy az országok közötti adat különbségeket kompenzálják. (Pl. átlagos népesség, jövedelmek nagyságrendi különbségei.)

7. Táblázat: Magyarországra vonatkozó adatok a Balezantis és társai modell számításához

Változók megnevezése	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Háztartások végső energia-felhasználása, GWh, Q	69305,6	71582,47	73192,93	67639,6	66027,8	66027,8 (*)
B6N Net disposable income, Y, millió EUR	17,84	18,74	20,18	22,28	24,45	25,67
Energia ára EUR/MWh, P	59,6	56,9	56,1	60,5	61	61,5
Vilány EUR/MWh	112,70	111,40	112,50	112,30	112,00	103,10
Gáz EUR/MWh	2,72	2,66	2,72	2,76	2,67	2,46
Népesség, millió fő, POP	9,84	9,81	9,79	9,78	9,77	9,76
Háztartás átlagos méret (fő), AHS	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Fűtési napfok szám, HDD	2598,04	2707,02	2742,93	2468,7	2381,22	2546,56
Hűtési napfokszám, CDD	199,47	63,55	143,47	125,31	149,79	70,48
Urbanizálódási fok %	31	30,9	31,8	32,8	32,8	32
Családi házban lakók %, SDH=100-Urb.fok	69	69,1	68,2	67,2	67,2	68
Energia hatékonysági index 2000 = 100, E	124,7	125,3	125,6	125,8	126	126 (*)

(*) a vonatkozó 2020-as adatokat a 2019-es adattal azonosnak vettük.



21. ábra. Háztartási energiafogyasztás összesített rebound hatása (Balezantis, Butkus, Streimikiene, & Shen, 2021) alapján

A 21. ábra adatait az időintervallumra vonatkozó korrekciós tényező figyelmen kívül hagyásával nyertük. Ezt a hosszabb időszak egybeszámolása esetén használták a modell alkotói. Azzal indokoljuk az elhagyását, hogy minden évre vonatkoznak a számítások és nem vettünk figyelembe több évre elhúzódó trendeket. Megjegyezzük, hogy a háztartási energia árváltozását pusztán a Ft-EUR árfolyam változás okozza az adott időszakban. A nyert eredmények meglátásunk szerint megfelelően tükrözik a Magyarországi háztartási energiára vonatkozó rebound hatást. A korábbi eredmények (Szép, 2013) ugyan kisebb értékekről szólnak, de az azóta eltelt időszakban bekövetkezett változások, elsősorban a háztartási energiaárak rögzítése alapvetőváltozásokat hozott a háztartások elkölthető jövedelmének alakulásában (Szép S. & Weiner, 2020) és 2013 – 2017 között elméletileg 598,5 milliárd Ft megtakarítás keletkezhetett, ami véleményünk szerint a hazai rebound növekedéséhez is hozzájárult.

11. Összefoglalás, következtetések

Az energiahatékonysági fejlesztéseknél tapasztalt eredmény elmaradások egyik fő okozója lehet a különböző mértékű direkt és indirekt rebound hatás. A jelenség régóta ismert, azonban a tömeges energiahatékonysági projekteknek az előzetes tervekhez képest tapasztalt mérsékelt eredményei számos kutatás fókuszába állították az olyan területeken, mint a közlekedési vagy lakóépületi energiafelhasználás.

A több évtizede tartó (ugyan változó intenzitású) vizsgálatok és kutatások ellenére a rebound mértékének meghatározására nem alakult ki egységes, mindenki által követett módszertan. A probléma oka, hogy míg mikrószinten a számítás és a számításokhoz szükséges adatok megállapítása viszonylag egyszerűen elvégezhető, addig a makrószintű folyamatok komplexitása miatt a rebound mértékének megállapítása ezzel arányosan válik bonyolulttá és kevésbé egyértelművé a megfelelő módszer kiválasztása és alkalmazása.

A jelenség komplexitásának fő oka, hogy az emberek helyzetektől függő viselkedésének meghatározására van alapvetően szükség. Tehát nem csak a viselkedési séma, de az energiafelhasználás műszaki és gazdasági körülményei, illetve valamennyi komponens kölcsönhatása hozza létre a rebound jelenséget.

A rebound jelenség következtében elmaradó energiamegtakarítás jelentősége az egyre ambiciózusabb nemzeti és EU programokkal együtt megnövekedett és az energiahatékonyságot javító programokkal foglalkozóknak, függetlenül attól, hogy a döntéshozatali folyamat mely részében érintettek, foglalkozniuk kell a rebound hatással, hogy az elvárt eredmények megvalósuljanak.

A rebound hatást tárgyaló tanulmányunk nyolc érdemi fejezetben tárgyalja a 2020/21 tanévben végzett kutatások eredményét. Szakirodalmi források alapján mutatja be egy-egy fejezet a direkt, indirekt és az ún. pre-bound hatásokat. Külön fejezetben tárgyaljuk a direkt és indirekt hatások egymásra hatását és kapcsolatát. Részletesen ismertettük az ún. energiamegtakarítási rés megjelenésében betöltött szerepüket. Bemutattuk ausztriai példán keresztül, hogy milyenek lehetnek a rebound hatás érvényesülését fékező társadalmi erőfeszítések. Véleményünk szerint bár az osztrák társadalmi szerkezet lényeges eltéréseket is mutat Magyarországhoz képest, a különbség nem olyan nagy, hogy a megállapított tanulságok ne lennének hasznosíthatók. Nyilvánvaló, hogy a teoretikus megállapításokon túl a rebound hatások mértékének ismerete a legfontosabb, így a rebound hatások mértékét külön fejezetben mutattuk be Európai Unió szinten és külön Magyarországra vonatkozóan.

Fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy minden számítási módszer Achilles pontja a konzisztens adatok gyűjtése és a kutatások során való hozzáférés. Jelen tanulmányban elsősorban nemzetközi

adatbázisokban található adatokra támaszkodtunk, elsősorban azért, mert az irodalmi források szerzői is ezekből az adatbázisokból dolgoznak, így biztosított az összehasonlíthatóság.

Magyarországra vonatkozó rebound adatok, néhány kivételtől eltekintve, harmonizálnak az EU országok rebound mértékére vonatkozó adatokkal. A lakásszektorral kapcsolatos energiahatékonysági programoknál ~70-80% összesített rebound hatás megjelenésére lehet számítani. Ezen belül a direkt rebound enyhe emelkedése és az együttes rebound enyhe csökkenésére vonatkozó eredményeket kaptunk.

A pre-bound hatás jelentőségét célszerű ehelyütt kiemelni, mert a nem elfogyasztott energiát lehetetlen megspórolni. A becült és mért értékek közötti különbség okainak vizsgálatakor mutatkozik meg, hogy milyen nagy jelentősége van annak, hogy az energiahatékonysági beruházások vállalásakor valós, mért adatokra alapozzák a programot, hiszen így kisebb az esélye, hogy a célok nem valósulnak meg.

12. Irodalomjegyzék

- Adan, H., & Fuerst, F. (2016). Do energy efficiency measures really reduce household energy consumption? A difference-in-difference analysis. *Energy Efficiency*, 9(5), 1207-1219. doi:10.1007/s12053-015-9418-3
- Alcott, B. (2005). Jevons' paradox. *Ecological Economics* 54, 9-21.
- Amado, N. B., & Sauer, I. L. (2012). An ecological economic interpretation of the Jevons effect. *Ecological Complexity* 9, 2-9.
- Ashford, P. (1999). *The Cost Implications of Energy Efficiency Measures in the Reduction of Carbon Dioxide Emissions from European Building Stock*. Brüssel: Euro ACE.
- Awano, H. (2005). *Towards Sustainable Use of Buildings Stock: Final Synthesis Report*. Párizs: OECD.
- Badescu, V., & Sicre, B. (2003). Renewable energy for passive house heating, Part I Building description. *Energy and Buildings*, 35, 1077-1084. doi:10.1016/j.enbuild.2003.10.001
- Balezentis, T., Butkus, M., Streimikiene, D., & Shen, Z. (2021). Exploring the limits for increasing energy efficiency in the residential sector of the European Union: Insights from the rebound effect. *Energy Policy*, 149. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112063
- Bergera, T., & Höltl, A. (2019). Thermal insulation of rental residential housing: Do energy poor households benefit? A case study in Krems, Austria. *Energy Policy*, 127, 341-349. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.018
- Berkhout, P. H., Muskens, J. C., & Velthuisen, J. W. (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 425-432.
- Brom, P. v., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings—longitudinal data analysis including building and occupant characteristics. *Energy and Buildings*, 182, 251-263. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.025
- Brookes, L. G. (1978). Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK. *Energy Policy Vol. 6, Issue 2*, 94-106. doi:https://doi.org/10.1016/0301-4215(78)90031-9
- Brookes, L. G. (2000). Energy efficiency fallacies revisited. *Energy policy* 28, 355-366.
- Calì, D., Osterhage, T., Streblow, R., & Müller, D. (2016). Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test. *Energy and buildings*, 127, 1146-1158. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.020

- Commission, E. (2005). *Green Paper on Energy Efficiency, Doing More With Less*. Brüsszel: European Commission.
- Freire-González, J. (2017). Evidence of direct and indirect rebound effect in households in EU-27 countries. *Energy Policy*, 102, 270-276. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.002>
- Galvin, R. (2013). Making the 'rebound effect' more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: Defining the 'energy savings deficit' and the 'energy performance gap'. *Energy and Buildings*, 515-524. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.004>
- Galvin, R. (2014). Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU28 countries and Norway. *Energy Policy*, 73, 323-332.
- Gróf, G., Csoknyai, T., Bethlendi, A., Janky, B., Györke, G., & Laza, T. (2020). *Energiahatékonyság hitelkockázatsökkentő hatásának vizsgálata*. Budapest: BME.
- Hastings, S. R. (2004). Breaking the 'heating barrier'. Learning from the first houses without conventional heating. *Energy and Buildings*, 36, 373-380. doi:10.1016/j.enbuild.2004.01.027
- Hekkanen, M., Kauppinen, T., & Santalo, M. (1999). *Warm Suburban Housing, Metamorphosis of Pre-fabricated Housing for the Future*. Helsinki: Kiinteistö alan kustannus.
- IEA. (2018). *Europe data*. Letöltés dátuma: 2021.. 05. 06., forrás: <https://www.iea.org/regions/europe>
- IEA. (2021). <https://www.iea.org/countries/hungary>. Forrás: IEA-country-profile-Hungary.
- Khazzoom, D. J. (1980). Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances. *The Energy Journal Vol. 1, No. 4*, 21-40.
- Kohler, N., & Hassler, U. (2002). The building stock as a research object. *Building Research & Information*, 30(4), 226-236. doi:10.1080/09613210110102238
- Loga, T., Diefenbach, N., & Born, R. (2011). *Deutsche Gebaudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Institute Wohnen und Umwelt, Darmstadt. Forrás: http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf
- Lowe, R. (2000). Defining and meeting the carbon constraints of the 21st century. *Building Research & Information*, 28(3), 159-175. doi: 10.1080/096132100368939
- M, J. F., & Waals, v. d. (2003). CO2 Reduction in Housing. Experiences in Building and Urban Renewal Projects in the Netherlands. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 21, 411-427. doi:10.1068/c0037j

- Odyssee. (2021). <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html>. Forrás: <https://www.odyssee.enerdata.net/dabase/>.
- Sandberga, N. H., Sartori, I., Vestrum, M. I., & Brattebø, H. (2017). Using a segmented dynamic dwelling stock model for scenario analysis of future energy demand: The dwelling stock of Norway 2016–2050. *Energy and Buildings*, 146, 220-232. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.016>
- Saunders, H. D. (1992). The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal* 13 (4), 131-148.
- Saunders, H. D. (2000). A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes. *Energy Policy* 28, 439-449.
- Sebestyén Szép, T. (2013). Energiahatékonyság: áldás vagy átok? *Terület Statisztika* 53(1), 54-68.
- Seebauer, S., Kulmer, V., & Fruhmann, C. (2019). Promoting adoption while avoiding rebound: integrating disciplinary perspectives on market diffusion and carbon impacts of electric cars and building renovations in Austria. *Energy, Sustainability and Society*, 9(1), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1186/s13705-019-0212-5>
- Sorrell, S. (2007). *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. London: UK Energy Research Centre. Forrás: https://ukerc.rl.ac.uk/UCAT/PUBLICATIONS/The_Rebound_Effect_An_Assessment_of_the_Evidence_for_Economy-wide_Energy_Savings_from_Improved_Energy_Efficiency.pdf
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J., & Sommerville, M. (2009). Empirical estimates of the direct rebound effect: a review. *Energy Policy*, 37(4), 1356-1371.
- Sunikka, M. (2006). Energy efficiency and low-carbon technologies in urban renewal. *Building Research & Information*, 34(6), 521-533. doi:10.1080/09613210600660976
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information*, 40(3), 260-273. doi:10.1080/09613218.2012.690952
- Szép S., T., & Weiner, C. (2020). *The Hungarian utility cost reduction programme*. Budapest: Centre for Economic and Regional Studies - Institute of World Economics.
- Szép, T. (2013). Energiafelhasználás és energiahatékonyság. *Energiagazdálkodás*, 54(4), 2-5.
- Terés-Zubiaga, J., Campos-Celador, A., González-Pino, I., & Diarce, G. (2016). The role of the design and operation of individual heating systems for the energy retrofits of residential buildings. *Energy*

Conversion and Management, 126, 736-747.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.042>

Umbach, F. (2010). Global energy security and the implications for the EU. *Energy Policy*, 38(3), 1229-1240. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.010>

van den Brom, P., Meijer, A., & Visscher, H. (2019). Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings—longitudinal data analysis including building and occupant characteristics. *Energy & Buildings*, 251-263.

A szerzőkről



Gróf Gyula

matematikusmérnök, PhD, címzetes egyetemi tanár

BME, Energetikai Gépek és Rendszerek tanszék, tanszékvezető 2008-2019. FIEK Energetikai és IKT kutatóközpont igazgató 2017-19. BME kutatóegyetemi program energetikai alprojekt vezető 2010-12. Fő szakterületei a transzport folyamatok és az energetikai rendszerek modellezése, a megújuló energiaforrások alkalmazása. A BME -MNB kutatásokban azok elindulásától meghatározó szerepet vállalt.



Tihanyi Kata

Negyedéves energetikus mérnök hallgató

BME, Energetikai Gépek és Rendszerek tanszék

A kiskunhalasi Bibó István Gimnázium matematika-fizika fakultáción érettségizett. Az energetika – környezetvédelem összefüggései foglalkoztatják. Az energiahatékonysági fejlesztések hatékonyság korlátozódását választva tervezési feladatnak, kapcsolódott be a kutatási programba.

