



ÉPÜLETEK ENERGETIKAI TELJESÍTMÉNYE ÉS A HELYI TÜZELŐANYAG-ELLÁTÁS INTEGRÁLT ÉRTÉKELÉSE A HÁTRÁNYOS HELYZETŰ TELEPÜLÉSEK FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSÉBEN

INTEGRATED ASSESSMENT OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE AND LOCAL FUEL SUPPLY IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF DEPRIVED RURAL SETTLEMENTS

Varjú Kata,¹ Zilahi Péter²

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Breuer Marcell Doktori Iskola/ EnergiaDesign Épülettechnológiák Kutatócsoport. Pécs, Magyarország, varju.kata@mik.pte.hu

² Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Szolidáris Építézet Kutatócsoport. Pécs, Magyarország, zilahi.peter@mik.pte.hu

Abstract

The energy transition of disadvantaged rural settlements requires cost-effective development approaches based on local resources. This study examines the combined role of energy self-sufficiency and cost-optimal building energy retrofits in sustainable development in 24 settlements in Southern Transdanubia, Hungary. The analysis evaluates a development model that considers the energy performance of the building stock, the fuel demand of households dependent on solid fuels, and the energy supply potential of municipal land across three development scenarios. Results show that local biomass production can supply about 14% of heating demand, while integrating heating system upgrades and building retrofits can increase average self-sufficiency to 73%. Potential municipal CO₂ emission reductions are estimated at 56–81 percentage points.

Keywords: *rural energy transition, energy self-sufficiency, building energy efficiency, biomass energy, short rotation coppice, rural energy poverty, sustainable rural development, building retrofit*.

Összefoglalás

A hátrányos helyzetű vidéki települések energiaátmenete helyi erőforrásokra épülő, költséghatékony fejlesztési megközelítéseket igényel. Jelen tanulmány 24 dél-dunántúli település példáján vizsgálja az energia-önellátás és a költségoptimalizált épületenergetikai korszerűsítés kombinált alkalmazásának potenciálját a fenntartható fejlődésben. A kutatás a települési ingatlanállomány energetikai paramétereire, a fával fűtő háztartások tüzelőanyag-igényére, valamint az önkormányzati zöldfelületek energetikai hasznosítására épülő modellt értékelte három fejlesztési szcenárió mentén. Az eredmények szerint a zöldfelületek energetikai hasznosítása önmagában átlagosan 14%-os energiaellátást biztosít, míg a fűtési rendszerek és épületenergetikai fejlesztések integrálása esetén a települések energia-önellátási potenciálja 73%-ra növelhető. A fejlesztések vonatkozásában a települési CO₂-megtakarítás 56–81 százalékpontban realizálható.

Kulcsszavak: *vidéki energetikai átállás, energia-önellátás, épületek energiahatékonysága, vidéki energiaszegénység, fenntartható vidékfejlesztés, épületállomány-felújítás.*

1. Bevezetés

Az Európai Zöld Megállapodás célkitűzése az európai kontinens klímasemlegességének elérése 2050-ig, mely valamennyi szektorra és ágazatra kiterjedő stratégiai intézkedéseket követel meg. Az Európai Unióban (EU) a lakossági szektor a teljes energiafogyasztás 40%-áért, az üvegházhatású gázok kibocsátásának 36%-áért felelős, melyek mértéke elsősorban a korszerűtlen és energetikailag nem hatékony ingatlanállományhoz vezethető vissza [1]. Az épületállomány energiahatékonyságáról szóló 2024/1275/EU-direktíva [2] előírja a tagállamok számára, hogy nemzeti épületfelújítási stratégiát hozzon létre, melyben definiálja a szükséges intézkedéseket a lakossági dekarbonizáció 2050-ig történő elérése érdekében. A jogszabályi környezet integritása céljából a 2018/1999 kormányzati EU-rendelet [3] előírta, hogy a tagállamok a felújítási stratégiák tartalmát integrálják a Nemzeti Energia- és Klímatervkükbe, definiálják azokat a veszélyeztetett csoportokat, akik leginkább kitéttek a klímaváltozás hatásainak, és dolgozzanak ki dedikált intézkedéseket az energiakitettség csökkentésére és az ingatlanok energetikai teljesítményének növelésére. Nemrégiben elvégzett tanulmányok megerősítették, hogy ezen kitettség nemzetben belül egyenlőtlenül oszlik el, és jellemzően a vidéki területeken koncentrálódik [4], mely felhívja a figyelmet a nemzetben belüli diverzifikált szakpolitikai döntéshozatal szükségességére. Ezzel szemben egy másik tanulmány rávilágított arra, hogy a marginalizált vidéki régiók – azon belül is a fával fűtő háztartások – a jelenlegi szakpolitikai környezetben erősen alulreprezentáltak, és a fejlesztési prioritásból kirekesztettek [5]. Ezen régiók jellemzően erősen forráshiányosak települési és háztartási szinten is, ebből adódóan a fenntarthatóság felé való elmozdulás szükségszerűen alacsony költségigényű, hosszú távú megoldást kínál, csökkenti a települési CO₂-kibocsátás mértékét, és javítja az életminőséget.

Ezek alapján jelen dolgozat egy adatvezérelt településfejlesztési modell keretében vizsgálja az energia-önellátás és a racionalizált épületenergetikai fejlesztések hatékonyságát a fenntartható fejlődés felé történő elmozdulásban, különös tekintettel a fával fűtő háztartásokra. A tanulmány egyrészt reprezentatív adathalmazok alapján definiálta az ingatlanállomány energetikai teljesítményét, annak körülményeit és éves energiaszükségletét 24 dél-dunántúli hátrányos helyzetű településre vonatkozóan. Másrészt három

fejlesztési scenárió esetében vizsgálta a települési zöldfelületek energetikai célú hasznosításával realizálható emissziócsökkenési, energiahatékonysági és gazdasági teljesítményt.

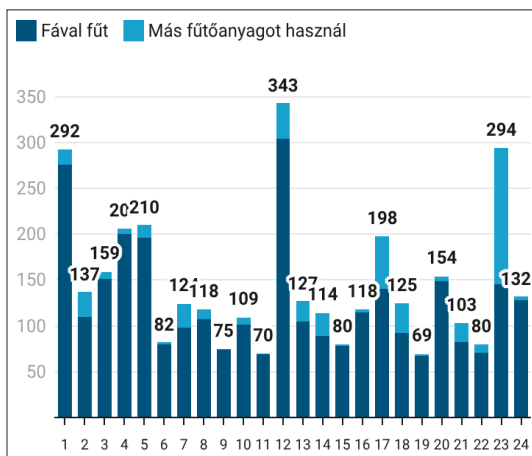
2. Eredmények

2.1. Az ingatlanállomány energetikai paraméterei és becsült éves tüzelőanyag-szükséglete

Jelen fejezet az adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell integrációjának és hatékonyságának alapvető körülményeit tárgyalja, beleértve a települési fejlesztési potenciál mértékét, az ingatlanállomány energetikai teljesítményét és energiaszükségletét. A vizsgálatban részt vevő települések teljes ingatlanállománya 3621 háztartást foglal magában. A legkisebb település 69, a legnagyobb 360 háztartással jellemezhető, átlagosan településenként 126 háztartás jellemzi a mintát. A lakott háztartások aránya a teljes ingatlanállomány vonatkozásában 89%.

A vizsgálati paraméterek szerint jelen kutatás a lakott háztartások közül a fával fűtő háztartásokat vette figyelembe, melyek aránya településtől függően 49–99%, a teljes épületállomány vonatkozásában 84%, az 1. ábrán összegezettek szerint.

A 2. ábra a vizsgált ingatlanállomány építési kor szerinti megoszlását mutatja a nemzeti ingatlanállomány vonatkozásában. Az ingatlanállomány közel 43%-a 80 évvel ezelőtt, vagy korábban épült. Az épületek átlagéletkora 65 év, mely 12 évvel haladja meg a nemzeti ingatlanállomány átlá-



1. ábra. Háztartások száma és a fával fűtő háztartások aránya településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése KSH-adatok alapján (referenciaév: 2022) [6].

életkorát. A települések hátrányos helyzete és az adatbázisok által közölt társadalmi-gazdasági adatok azt sugallják, hogy az épületek korszerűsítése nem vagy csak részlegesen valósult meg, és jellemzően a belső komfortfeltételek javítását célozta (fürdőszoba, mosdó és konyha kiépítése). Ezt alátámasztja a dél-dunántúli régióra vonatkozó energetikai tanúsítványok átlagteljesítménye, mely az észak-magyarországi régióhoz hasonlóan a legkedvezőtlenebb háztartási energetikai teljesítményt deklarálja, éves szinten 251,6 kWh/m² átlagos elsődleges energiaigénnyel [7].

A vizsgált ingatlanállomány átlagos alapterülete 84 m², mely 5 százalékponttal meghaladja a magyarországi lakóépületek átlagos alapterületét. Településtől függetlenül az ingatlanállományt elsődlegesen a 60–99 m² alapterületű ingatlanok, másodlagosan a 100 m²-t meghaladó lakóépületek dominálják a 3. ábrán összegezettek szerint. Az épületek teljes energiaszükségletét tehát egyaránt befolyásolja az ingatlanállomány elavult hőtechnikai teljesítménye és a megnövekedett alapterületből származó többletenergia-szükséglet.

A mintában vizsgált épületek tüzelőanyag-szükségletének súly szerinti becslült mennyisége az épültre vonatkozó energiaszükséglet [7] és a tűzifára vonatkozó egységnyi fűtőérték [8] hányadosával került meghatározásra az alábbi egyenlet szerint:

$$M_F = \frac{A_{AV} \times ePED}{uNCV_{wood}} \quad (1)$$

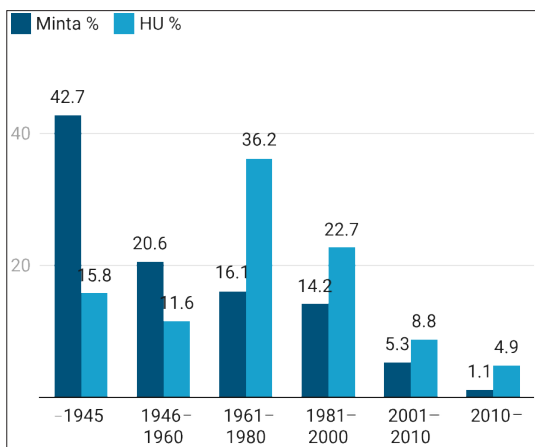
A háztartások átlagos tüzelőanyag-szükségletének térfogat szerinti becslült mennyisége a súly szerinti tüzelőanyag-szükséglet és a tűzifára vonatkozó egységnyi térfogatsűrűségi együttható [9] által került meghatározásra az alábbi egyenlet szerint:

$$V_F = \frac{M_F}{\rho b_{wood}} \quad (2)$$

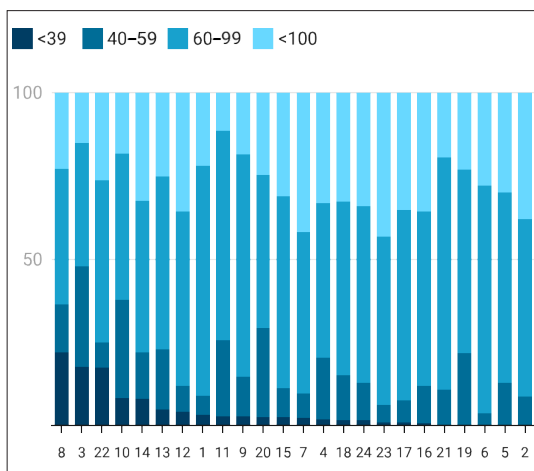
Az (1) és (2) képlet szerint a mintabéli fával fűtő háztartások egy évre vonatkozó tüzelőanyag-szükséglete 4,6 tonna, mely 9,6 m³ térfogattal számítható. Jelenleg az 57/2013 számú kormányrendelet szerint [10] a hátrányos helyzetű települések fával fűtő háztartásai évenként 1 m³ tűzifa-támogatásra jogosultak az Otthon Melege program keretében, mely eredményeink szerint a háztartások szezonális tüzelőanyag-szükségletének megközelítőleg 10%-át fedezi.

2.2. Az energetikai fejlesztés paraméterei, energetikai kapacitása és körülményei településenként

Az energetikai önellátás és annak kapacitásának vizsgálata a rövid rotációs idejű sarjerdő (RRS) (Short Rotation Coppice Plantation) koncepcióját integrálta. Az RRS jellemzője a gyorsan növekvő cserje- vagy fafajok (jellemzően nyárfa és fűzfa) sűrű telepítése, melyeket rövid betakarítási ciklusokban, talajszinten vágunk vissza 2–8 évenként [11]. A sarjzartatásos eljárásnak köszönhetően az



2. ábra. A vizsgált ingatlanállomány építési idő szerinti eloszlása a nemzeti ingatlanállomány eloszlásában. Forrás: A szerzők saját szerkesztése KSH-adatok alapján (referencia-év: 2022) [6].



3. ábra. A vizsgált ingatlanállomány alapterület szerinti eloszlása településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése a KSH Népszámlálási adatbázis alapján (referencia-év: 2022) [6].

ültetvények élettartama 25–30 év [11]. A vizsgálati kontextusban az energetikai önellátásból következő illegális tüzelőanyagok használatának potenciális visszaszorításán felül az RRS további, a települési fenntartható fejlődést támogató hozzájárulással jellemezhető: a természetes élőhelyek létrehozásán és azok heterogenitásának és biodiverzitásának növelésén [12] felül az RRS intenzív CO₂-megkötési potenciállal és kedvező energiamérleggel jellemezhető [13, 14].

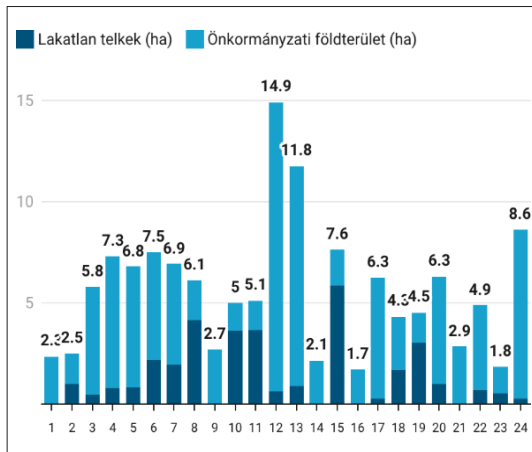
Az RRS-ültetvények fenntartható fejlődésben történő pozicionálása az alacsony mezőgazdasági kapacitású földterületek használatát irányozza elő, mely támogatja az egyensúly fenntartását a környezeti fenntarthatóság, az élelmiszer-ellátás és az energiatermelés között [15, 16, 17]. Ezekkel összhangban a koncepcióba épített önkormányzati marginális földterületek hasznosítása kielégíti a fenntartható területhasználat kritériumait. Ezen területek mértékét, típusait és megoszlásukat településenként a 4. ábra összegzi.

A vizsgálat egyaránt figyelembe vette az önkormányzati tulajdonú zöldfelületek mértékét és a lakatlan ingatlanokhoz tartozó földterületek összességét. A települések hasznosítható zöldfelületeinek mennyiségében jelentős szórás tapasztalható, az átlagos fejlesztésbe bevonható infrastruktúra mértéke 5,7 hektár településenként.

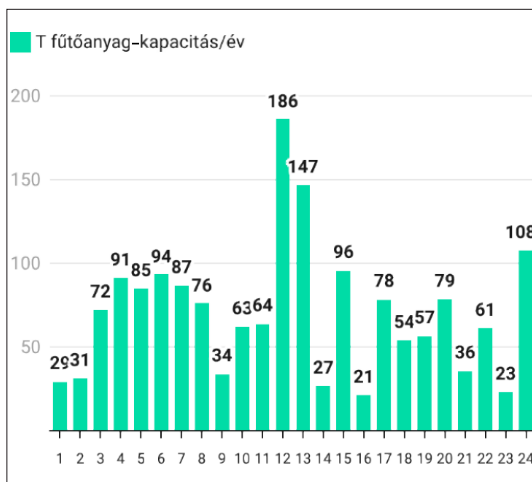
Az RRS-ültetvények hozamát – a többéves rotációs betakarítás ellenére – tonna/ha/év mértékegységgel határozzák meg. A hozam mértékét egyaránt befolyásolják a klimatikus körülmények, a talaj minősége, a csapadékmennyiség és a szakszerű ültetvénygondozás [19]. Körülményektől függően a várható hozam 5–27 tonna/ha/év intervallumban becsülhető 12,5 t/ha/év átlagértékkel. Ezek alapján a települési zöld-infrastruktúra tüzelőanyag-ellátási kapacitása a 5. ábrán összegzettek szerint becsülhető, átlagosan 70,7 tonna évenkénti települési tüzelőanyag-mennyiséggel.

2.3. Vizsgált fejlesztési scénáriók és hatékonyságuk az energiaönellátásban

Az energia-önellátási potenciál vizsgálata 3 fejlesztési scénáriómodell alapján valósult meg. A modellek különböző, az épületállomány energetikai teljesítményére és a használt épületgépészeti rendszerre vonatkozó fejlesztéseket foglaltak magukban az 1. táblázatban összegzettek szerint. Az S1 scenárió az alulhasznosított önkormányzati területek energiakapacitását vette figyelembe. Az S2 scenárió a lokális energia-termelés mellett integrálta a fával fűtő háztartások tüzelőberendezéseinek korszerűsítését a tü-



4. ábra. A fejlesztésbe integrált települési zöldfelületek típusai településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése a KSH Népszámlálási adatbázis alapján (2022) [6] és az Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TEIR) adatbázis szerint (2021) [18].



5. ábra. A fejlesztésbe integrált zöldfelületek energetikai kapacitása településenként tonna mértékegységben kifejezve

1. táblázat. A vizsgált scenáriók integrált fejlesztési paraméterei

Integrált fejlesztési komponens	S1	S2	S3
Energia-önellátás	x	x	x
Tüzelőberendezés korszerűsítése (modern kályha)	n.a.	x	x
Költségoptimalizált épület-energetikai fejlesztés	n.a.	n.a.	x

zelőanyagmennyiség-felhasználás optimalizálása érdekében. Egy korábbi hatástanulmány szerint [20] a korszerűtlen háztartási fűtőberendezések 36%-os hatásfokával szemben a modern technológiai háttérű vagy eco-design kályhaberendezések 82%-os hatásfokkal írhatóak le, mely 56%-os relatív tüzelőanyag-megtakarításban számszerűsíthető.

Az S3 scenárió az előző esetekhez képest kiegészül az épületenergetikai teljesítmény költségoptimalizált fejlesztésével. A jelenlegi épületállomány megközelítőleg 251 kWh/m²/év regionális energetikai átlagteljesítménye „G” kategóriába sorolt energetikai tanúsítványnak feleltethető meg [21]. Az S3 scenárió esetében 110 kWh/m²/év mértékű épületenergetikai teljesítmény figyelembevétele valósult meg, mely egy közepes teljesítményű, „C” besorolású épületenergetikai teljesítményt foglal magában. A gyakorlatban egy ilyen teljesítményű épület korszerűsített nyílászárókkal és közepesen korszerű hőszigeteléssel jellemezhető [2].

Figyelembe véve az épületek energiaszükségletéből következő tüzelőanyag-szükséglet változó mértékét és a települési energia-önellátási potenciál konstans értékét, meghatározásra került a tüzelőanyag-önellátás részaránya a teljes tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában az alábbi egyenlet szerint:

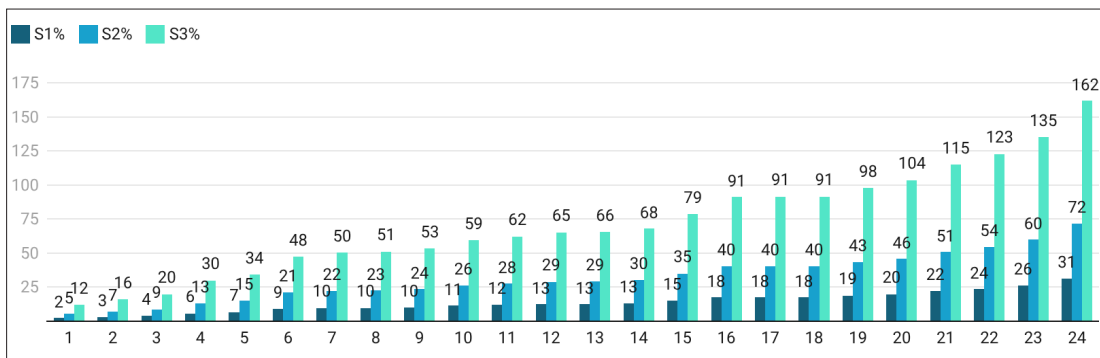
$$\sum_{S1}^{S3} SS e\% = \frac{M_F \times \Sigma_n H}{FC_{LAND}} \quad (3),$$

ahol M_F jelöli a tüzelőanyag-szükséglet súly szerinti egységnyi mennyiségét, $\Sigma_n H$ a háztartások számát, FC_{LAND} pedig a földterületek súly szerinti tüzelőanyag-kapacitását.

A 6. ábra összegzi az S1–S3 scenáriókra vonatkozó tüzelőanyag-önellátás teljesülésének rész-

arányát településenként. Eredményeink szerint az önkormányzati alulhasznosított zöldfelületek és lakatlan települési ingatlanok energetikai célú hasznosítása önmagában a települési energiaszükséglet töredékét képes fedezni. Annak ellenére, hogy a hasznosításra alkalmas földterületek léptékében jelentős eltérés tapasztalható, ezek energetikai kapacitása a teljes tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában kisebb szórást mutatott. Ezen hasznosítási modell vizsgált településtől függően az energiaszükséglet 2–31%-át képes fedezni, átlagosan a települések energiaszükségletének 14%-át.

Az S2 scenárió esetében a korszerű tüzelőberendezésből következő tüzelőanyag-szükséglet-csökkenés közel 45 százalékponttal növelte a települések energia-önellátási kapacitását az S1 opcióhoz viszonyítva. Az S3 scenárió esetében vizsgált hőtechnikai és épületenergetikai kombinált fejlesztés 9 település esetében 60% feletti önellátási arányt eredményezett, 1 település esetében pedig meghaladta a település teljes energiaszükségletének kielégítését. Az ezen településekhez tartozó 5–11 hektáros földterületek átlagosan 1,5 hektárral haladják meg a települések átlagos zöld-infrastruktúrájának mértékét. A jól teljesítő települések további sajátossága az ingatlanok alacsony száma, mely településtől függően 69–105 háztartásban mérhető. Ezekkel ellentétben a magas ingatlanszámmal és/vagy alacsony hasznosítható zöldfelülettel rendelkező települések energia-önellátása egyik scenárió esetében sem biztosítható jelentős mértékben, a vizsgálatba integrált feltételek mentén. Mindazonáltal a legjobb esetű scenáriómodell szerint a települések átlagosan 73%-os energia-önellátási potenciállal jellemezhetők.



6. ábra. Az adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell teljesítményének részaránya a teljes települési tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában az S1–S3 scenáriókra vonatkozóan

2.4. Finanszírozási sémák, gazdasági megtérülés és a regionális fejlesztési modell teljesítése a fenntartható településfejlesztésben

A vizsgált integrált településfejlesztési modell gazdasági életképességének és a fenntartható településfejlesztéshez való hozzájárulásának vizsgálata a meglévő finanszírozási séma és az energetikai önellátást célzó településfejlesztési modell költségeinek összehasonlításával valósult meg. A gazdasági megtérülés becslése a 25 évre vonatkozó összköltség összehasonlítását foglalta magában. A meglévő séma esetében a fával fűtő háztartások 1 m³ tűzifasegély ekvivalens költségét, az adaptív modell esetében pedig az RRS telepítési, fenntartási, betakarítási és infrastrukturális költségeit vettük figyelembe a 2. táblázat szerint. Az RRS létesítési és fenntartási költségei a helyi termelésből és területhasználati sajátosságokból adódóan nem vették figyelembe a fejlesztés földbérleti díját és a tüzelőanyag szállítási költségét. A betakarítás utáni szárításra és feldolgozásra vonatkozó munkafolyamatok infrastrukturális háttereként a meglévő lakatlan ingatlanállomány részleges hasznosítását feltételeztük.

A meglévő szociális finanszírozási séma esetében a teljes költségbecslés az 1 m³ tüzelőanyag-költség és a támogatott háztartások számának szorzatát alkalmaztuk 25 évre vonatkozóan, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{1}^n \bar{C}_{EFS} = uC_{FUEL} \times \Sigma_n H \quad (4)$$

ahol uC_{FUEL} jelöli az egységnyi tüzelőanyag-költséget, $\Sigma_n H$ pedig a támogatott háztartások számát.

A vizsgált adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell esetében a 2. táblázatban rögzített költségkomponensek szerint valósult meg, figyelembe véve azok gyakoriságát a vizsgálati időhorizont vonatkozásában, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{1}^n \bar{C}_{AEM} = \bar{C}_{ES} + \bar{C}_R + \bar{C}_Y \quad (5)$$

ahol $\bar{C}_{ES}$ jelzi a létesítés egyszeri költségét, $\bar{C}_R$ jelöli a rotációnként figyelembe vett költségeket (2 évente), $\bar{C}_Y$ pedig az évenkénti költségeket.

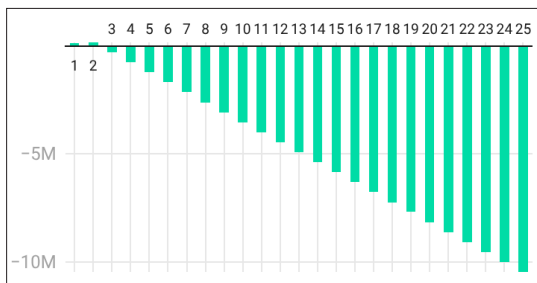
A megtérülési időszak meghatározása a meglévő finanszírozási séma és az adaptív energiamodell különbsége alapján történt. Az eredmények

2. táblázat. A vizsgált finanszírozási sémák egységnyi költségei. Forrás: A szerzők saját szerkesztése referenciák alapján [11, 22].

Típus	Egység	Gyakoriság	Költség
Rövid rotációs idejű sarjerdő (RRS) – vizsgált séma			
Teljes létesítési költség			
Helyszíni ellenőrzés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	42,9
Tervezés		létesítéskor (1 alk.)	42,9
Talaj-előkészítés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	128,6
Szaporítóanyag	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	256
Ültetés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	256
Teljes fenntartási költség			
Gyomirtás	euró/ha	évente	100
Növényvédelem	euró/ha	évente	28,6
Tápanyagellátás	euró/ha	évente	114,3
Teljes betakarítási költség			
Vágás	euró/tonna (száraz)	rotációnként	5,7
Szállítás	euró/tonna (száraz)	n.a.	n.a.
Likvidációs költség	euró/ha	rotációnként	257,1
Teljes általános költségek			
Földbérleti díj	euró/ha	n.a.	n.a.
Technikai tanácsadás	euró/ha	évente	28,6
Szociális tűzifa-támogatás – jelenlegi séma			
Teljes beszerzési költség			
Tűzifa	euró/ház-tartás	évente	168

25 éves időhorizont vonatkozásában, évenkénti bontásban vették figyelembe a teljes bekerülési költséget. A költségbecslés különbözeti eredményeit a (4) és (5) képletek figyelembevételével a 7. ábra összegzi.

Mivel az adaptív modell a telepítést követően a 3. évben biztosít először tüzelőanyagot, az első két évben a létesítési költségeken felül a meglévő séma folytatolagosságát is figyelembe vettük. Ezek alapján a költségmegtérülés a meglévő sémahoz viszonyítva a 3. évben teljesül. A rövid



7. ábra. Az adaptív energia-önellátást célzó települési fejlesztési modell relatív költségmegtérülése a 25 éves vizsgálati ciklusban. Az X tengely jelöli az éves ciklusokat, a – tengely az adaptív modell relatív költségét a meglévő finanszírozási sémához viszonyítva

távú költségmegtérülés azt is sugallja, hogy a költségkeret optimalizált átcsoportosításával az épületenergetikai fejlesztések egy meghatározó hányada is többletforrás nélkül integrálható a fejlesztési koncepcióba. A 25 éves időintervallumra vonatkozóan a költségmegtakarítás mértéke jelen számítási komponensek szerint meghaladja a 10 millió eurót. Fontos azonban megjegyezni, hogy a számítások nem vették figyelembe az egyes finanszírozási sémákhoz köthető adminisztrációs és munkadíjakat, valamint a tűzifa szállításának és elosztásának költségeit.

A fenntarthatóság kontextusában a hatástanulmány a gazdasági életképesség elemzésén túl megvizsgálta az S1–S3 fejlesztési scenáriók CO₂-emisszióra vonatkozó környezeti teljesít-

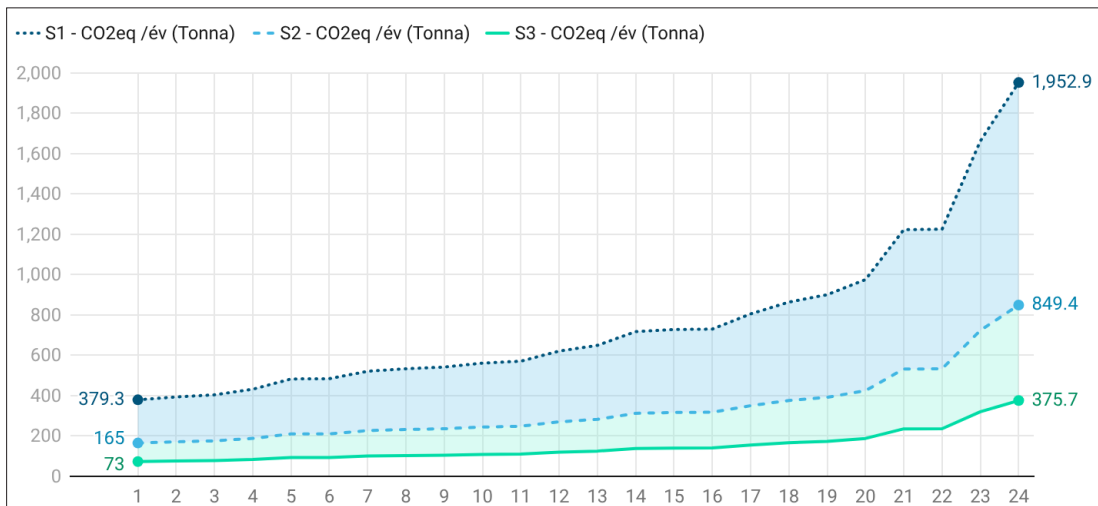
ményét. A számítás az egyes scenárióesetekre jellemző települési tüzelőanyag-szükséglet és a tűzifára vonatkozó, égésből származó egységnyi CO₂-kibocsátási együttható [23, 24] szorzatával került meghatározásra, településenként, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{S1}^{S3} Em = M_F \times U_{EM_{wood}}, \quad (6)$$

ahol M_F (kg) jelöli a tüzelőanyag-szükséglet tömegmennyiségét, $U_{EM_{wood}}$ pedig a tűzifa égetéséből származó egységnyi kibocsátási értéket (kg/kg).

A településekre vonatkozó éves CO₂-kibocsátás becsült mértékét a (4) egyenlet szerint a 8. ábra összegzi.

A becsült fűtésből származó éves háztartási CO₂-kibocsátás eredményeiben nagyságrendi eltérések mutatkoztak a scenárióesetek függvényében. Az S1 scenárió kizárólag a tüzelőanyag-önellátást vizsgálta, a tüzelőanyag-szükséglet csökkentése nélkül, ezáltal a becsült kibocsátási érték és a jelenlegi fűtési gyakorlatokból származó emisszió mértéke megegyezik. Az S2-es scenárió esetében a tüzelőberendezés korszerűsítéséből következő tüzelőanyag-szükséglet-csökkenés az éves becsült háztartási kibocsátás átlagosan 56%-os csökkenését eredményezte. Az S3 esetében a racionalizált és optimalizált épületenergetikai korszerűsítésből további 44%-os emissziós csökkenés feltételezhető az S2 scenárióhoz viszonyítva, 81%-os az S1 scenárió vonatkozásában.



8. ábra. Az S1–S3 scenárióra vonatkozó éves CO₂-kibocsátás becsült mértéke tonna mértékegységben kifejezve, településenként

3. Következtetések

A 9. ábrán összegzetek szerint a jelenlegi szociális tüzelőanyag-hozzájárulás sémája elsősorban a háztartások fűtőanyagköltségeinek csökkentését támogatja, ezért alacsony hozzájárulással bír a széles körűbb települési fenntartható fejlődési folyamatokra. Habár a dolgozatban vizsgált fejlesztési modell alapvető célkitűzése a lokális energiaszükségletek kielégítése és a települések energiaszektortól való függőségi helyzetének feloldása, a koncepció több dimenzióban is hatékony eszköze a fenntartható fejlődés felé történő elmozdulásnak. Ezen dimenziók egyaránt érintik a háztartások szocioökonómiai státuszának javítását és a települési energiahasználatból következő környezeti következmények csökkentését.

A szocioökonómiai dimenziók magukban foglalják a háztartási energiaköltségek csökkentését, új munkahelyek létrehozását és az igazodást az igazságos energiaátmenet (Just Transition) szemléletéhez, a helyi erőforrásokra épülő rendszer működtetéséhez köthető 1–3 helyi munkahely létrehozásával. Ezek alapján az alacsony létesítési és fenntartási költség mellett a fejlesztési modell támogatja a háztartások gazdasági stabilitását, hozzájárul az illegális tüzelőanyag-használat visszaszorításához és a települési energiaellátás autonómiájához.

Fontos azonban megkülönböztetni a vizsgálati modell részeként integrált fejlesztési scénáriók hatékonyságát. A zöldfelületek energiacélú hasznosítása önmagában a decentralizált energiahoz való hozzáférést és a lakossági energiaköltségek csökkentését támogatja, mely ugyan teljesíti az alapvető fejlesztési célkitűzéseket, de a meglévő szociális energetikai támogatáshoz viszonyítva

kismértékben haladja meg annak hatékonyságát a háztartások energiaköltségének csökkentésében. A koncepció környezeti dimenziójának egyik kulcsfontosságú teljesítménymutatója a települési CO₂-kibocsátás csökkentése, melynek elengedhetetlen feltétele az épületállomány energetikai teljesítményének fokozása. Ezen költségoptimalizált fejlesztési komponenseket az S2 és S3 scénáriók foglalták magukban, melyek által átlagosan 56–81%-os CO₂-emissziócsökkenés becsülhető. Ezen fejlesztések finanszírozása a háztartási és települési szinten is forráshiányos térségekben erősen megkérdőjelezhető. Mindazonáltal, a fejlesztési modell gazdasági életképességre vonatkozó vizsgálatai alátámasztották, hogy a meglévő szociális energiaellátási sémához viszonyítva a 3. évben várható a befektetési megtérülés, ami előírányozza, hogy a jelenlegi költségkeret forrásainak átcsoportosításával az épületenergetikai fejlesztések is többletköltség nélkül integrálhatók a fejlesztési stratégiába. Azonban ennek költsége és a költségek részaránya a rendelkezésre álló teljes forráskapacitás vonatkozásában további vizsgálatokat igényelnek, melyek túlmutatnak jelen vizsgálat keretrendszerén.

Eredményeink lehetséges szakpolitikai implikációi azt sugallják, hogy a hátrányos helyzetű vidéki térségek energiaátmenetére vonatkozó intézkedések szükségszerűen integrált, települési megközelítést alkalmaznak, és előnyben részesítik a helyi erőforrásokra épülő energiatermelés beágyazását, és egyaránt magukban foglalják a célzott épületenergetikai korszerűsítést és a közösségi finanszírozási mechanizmusokat. Az ilyen, relatív alacsony költségigényű komplex modellek különböző empirikus kontextusokban

	Meglévő finanszírozási séma (10% teljesítés)	Adaptív energetikai önellátás fejlesztési séma (14–32–73% teljesítés)
Illegális tüzelőanyag -használat visszaszorítása	● ● ○ ○ ○	● ● ● ● ○
Energetikai támogatás	● ● ○ ○ ○	● ● ● ● ○
Biodiverzitás növelése	● ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●
Munkahelyteremtés	● ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ○
Gazdasági életképesség	● ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●
Háztartási kibocsátás-csökkentés	● ● ○ ○ ○	● ● ● ● ○

9. ábra. A vizsgált modellek teljesítményértékelése gazdaságosság, környezeti és társadalmi hozzájárulás figyelembevételével

történő hatékonysága további vizsgálatokat igényel, melyek figyelembe veszik a bontandó és új építésű ingatlanok, valamint a felújítható és felújítandó épületállomány költségigényének települési sajátosságait.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] European Parliament: Energy Efficiency of Buildings: MEPs Adopt Plans to Decarbonise the Sector. 2024. (letöltve: 2025. március 10.)
<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240308IPR19003/energy-efficiency-of-buildings-meps-adopt-plans-to-decarbonise-the-sector>
- [2] European Parliament, Council of the European Union: Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the Energy Performance of Buildings. 2024.
- [3] European Parliament: Regulation on Governance of the Energy Union and Climate Action. 2018.
- [4] Bouzarovski S., Tirado Herrero S.: *Geographies of Injustice: the Socio-Spatial Determinants of Energy Poverty in Poland, the Czech Republic and Hungary*. Post-Communist Economies, 29/1. (2017) 27–50.
<https://doi.org/10.1080/14631377.2016.1242257>
- [5] Bajomi A. Z., Feldmár N., Tirado-Herrero S.: *Will Plans to Ease Energy Poverty Go up in Smoke? Assessing the Hungarian NECP through the Lens of Solid Fuel Users' Vulnerabilities*. Sustainability, 13/23. (2021) 13047.
<https://doi.org/10.3390/su132313047>
- [6] Hungarian Central Statistical Office (HCSO): Census database. 2022.
<https://nepszamlalas2022.ksh.hu/adatbazis/> (letöltve: 2023. szeptember 15.).
- [7] Bene M., Ertl A., Horváth Á., Mónus G., Székely J.: *Estimating the Energy Demand of the Residential Real Estate Stock in Hungary Based on Energy Performance Certificate Data*. Financial and Economic Review, 22/3. (2023) 123–151.
<https://doi.org/10.33893/FER.22.3.123>
- [8] Holubčík M., Jandačka J.: *The Effect of Moisture Content of Firewood on the Energy Efficiency of Fireplace Insert and Emission Production in the Combustion Process*. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, 60/2. (2018) 188–196.
<https://doi.org/10.17423/afx.2018.60.2.18>
- [9] Cesprini E., Resente G., Causin V., Urso T., Cavalli R., Zanetti M.: *Energy Recovery of Glued Wood Waste – A Review*. Fuel, 262. (2020) 116520.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116520>
- [10] Decree No. 57/2013 (X. 4.) BM: On Supplementary Support for Local Governments for the Purchase of Fuelwood for Social Purposes. 2013.
- [11] Schiberna E., Borovics A., Benke A.: *Economic Modelling of Poplar Short Rotation Coppice Plantations in Hungary*. Forests, 12/5. (2021) 623.
<https://doi.org/10.3390/f12050623>
- [12] Riffell S., Verschuyt J., Miller D., Wigley T. B.: *Biofuel Harvests, Coarse Woody Debris, and Biodiversity – A Meta-Analysis*. Forest Ecology and Management, 261/4. (2011) 878–887.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.021>
- [13] Baum S., Bolte A., Weih M.: *Short Rotation Coppice (SRC) Plantations Provide Additional Habitats for Vascular Plant Species in Agricultural Mosaic Landscapes*. BioEnergy Research, 5/3. (2012) 573–583.
<https://doi.org/10.1007/s12155-012-9195-1>
- [14] Zitzmann F., Rode M.: *Short-Rotation Coppice Managed According to Ecological Guidelines—What Are the Benefits for Phytodiversity?* Forests, 12/5. (2021) 646.
<https://doi.org/10.3390/f12050646>
- [15] Pulighe G. et al.: *Ongoing and Emerging Issues for Sustainable Bioenergy Production on Marginal Lands in the Mediterranean Regions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103. (2019) 58–70.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.043>
- [16] Mehmood M. A. et al.: *Biomass Production for Bioenergy Using Marginal Lands*. Sustainable Production and Consumption, 9. (2017) 3–21.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>
- [17] Fernández M. J., Barro R., Pérez J., Ciria P.: *Production and Composition of Biomass from Short Rotation Coppice in Marginal Land: A 9-Year Study*. Biomass and Bioenergy, 134. (2020) 105478.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105478>
- [18] National Regional Development and Spatial Planning Information System (TEIR): Settlement Planning tables. 2021.
<https://www.oeny.hu/oeny/teir/#/tablo/5> (letöltve: 2022. augusztus 7.).
- [19] Alaejos J., Tapias R., López F., Romero D., Ruiz F., Fernández M.: *Biomass Production and Quality of Twelve Fast-Growing Tree Taxa in Short Rotation under Mediterranean Climate*. Forests, 14/6. (2023) 1156.
<https://doi.org/10.3390/f14061156>
- [20] Warren M., Jack S.: *Potential Impacts of Bioenergy Policy*. IEA Bioenergy Task 39 Report T39-P3. (2008)
- [21] Gali A.: *Energetikai tudástár*. Országos Tanúsító Központ. 2026.
<https://otk.hu/blog/energetikai-osztaly-g> (letöltve: 2026. január 10.).
- [22] Mecsekerdő Zrt.: *Faanyag, tűzifa*.
<https://mecsekerdo.hu/fenntarthato-gazdalkod-as/tuzifa/> (letöltve: 2025. november 12.).
- [23] Evtyugina M. et al.: *VOC Emissions from Residential Combustion of Southern and Mid-European Woods*. Atmospheric Environment, 83. (2014) 90–98.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.050>
- [24] Żukowski W., Jankowski D., Wrona J., Berkowicz-Platek G.: *Combustion Behavior and Pollutant Emission Characteristics of Polymers and Biomass in a Bubbling Fluidized Bed Reactor*. Energy, 263. (2023) 125953.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125953>