

A FENNTARTHATÓSÁG KONCEPCIÓJA ENERGETIKAI SZEMLÉLETBEN – FÓKUSZBAN AZ ENERGIATRILEMMA ÉS -ÁTMENET, VALAMINT A KAPCSOLÓDÓ INNOVÁCIÓS POTENCIÁL

SUSTAINABILITY IN ENERGY – FOCUS ON THE ENERGY TRILEMMA, TRANSITION AND THE RELATED INNOVATION POTENTIAL

A fenntartható energiagazdálkodás egyik legnagyobb kihívása, hogy kielégítse a növekvő energiakeresletet, miközben minimalizálja a környezeti hatásokat és elősegíti a gazdasági és társadalmi fejlődést. Ennek a folyamatnak a központi eleme az energiatrilemma – az energia biztonságának, egyenlőségének és környezeti fenntarthatóságának – egyensúlyozása, valamint korunk energiaátmenetének támogatása. Mindezek megvalósítása azonban számos kihívást állít a társadalmak és politikai döntéshozók elé, melyek leküzdésében a fenntartható innováció kulcsfontosságú szereplővé válik. Ez a tanulmány a fenntartható energiagazdálkodás összetett dinamikáját hivatott megvizsgálni. A kutatás során a szerzők feltárták az energiatrilemma és az energiaátmenet közötti összefüggéseket, az előrehaladás mérőszámait, valamint az innovációk szerepét a fenntartható energiagazdálkodásban. A feltérképezett kapcsolati rendszerek és dimenziók új kontextusba helyezik a témakört, alátámasztva annak fontosságát a jövőnkre nézve.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, fenntartható energiagazdálkodás, energiatrilemma, energiaátmenet, innováció

One of the greatest challenges of sustainable energy management is to meet the growing demand for energy while minimizing environmental impacts and promoting economic and social development. The central element in this progress is to balance the energy trilemma – energy security, energy equity, and environmental sustainability – and to support the ongoing energy transition. Achieving these objectives, however, presents numerous challenges for societies and policymakers, in which sustainable innovation plays a pivotal role. This study aims to examine the complex dynamics of sustainable energy management. The research explores the interconnections between the energy trilemma and the energy transition, the metrics of progress, and the role of innovations in sustainable energy management. The mapped relationships and dimensions provide a novel context for the topic, underscoring its importance for our future.

Keywords: sustainability, sustainable energy management, energy trilemma, energy transition, innovation

Finanszírozás/Funding:

A szerzők a tanulmány elkészítésével összefüggésben nem részesültek pályázati vagy intézményi támogatásban. The authors did not receive any grant or institutional support in relation with the preparation of the study

Szerzők/Authors:

Herczeg Balázs^a (HEBUABK.PTE@pte.hu) PhD-hallgató; Dr. Pintér Éva^b (eva.pinter@uni-corvinus.hu) egyetemi docens

^aPécsi Tudományegyetem (University of Pécs) Magyarország (Hungary), ^bBudapesti Corvinus Egyetem (Corvinus University of Budapest) Magyarország (Hungary)

A cikk beérkezett: 2024. 07. 17-én, javítva: 2024. 08. 09-én, elfogadva: 2024. 08. 12-én.

The article was received: 17. 07. 2024, revised: 09. 08. 2024, accepted: 12. 08. 2024.

A fenntarthatóság fogalma egyre fontosabb szerepet játszik világunkban, hiszen korunk társadalmi olyan kihívások elé lettek állítva, mint a növekvő környezeti aggályok, a gazdasági egyenlőtlenségek vagy a társadalmi igazságtalanságok. A témakörrel már az 1970-es évektől kezdve foglalkoznak kutatók és szervezetek, leg-

főképpen az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) – elegendő csak az 1972-es stockholmi ENSZ-konferenciára, az 1987-es Brundtland-féle jelentésre, az 1992-es riói Föld Csúcstalálkozóra, a 2002-es johannesburgi Fenntartható Fejlődési Világcsúcstalálkozóra, vagy a 2012-es riói Fenntartható Fejlődési Konferenciára gondolni. Ezekon

a jelentős mérföldkönek számító eseményeken épült fel a fenntarthatóság ma is használatos koncepciója. Ugyanakkor, de facto a fenntarthatóságot a Világ Tudományos Akadémia (*Inter Academy Partnership, IAP*) 2000-ben megtartott tokiói konferenciáján fogalmazták meg, miszerint „*A fenntarthatóság az emberiség jelen szükségleteinek kielégítése, a környezet és a természeti erőforrások jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg*” (Gyulai, 2012; World Conference of Scientific Academies, 2000).

A fenntarthatóság fogalmához szorosan kapcsolódik a fenntartható fejlődés és növekedés is, melyek elengedhetetlenek az emberi jólét szempontjából. Előbbit már a Brundtland-féle jelentésben definiálták, hogy „*A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek esélyét arra, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket*” (EUR-Lex, n.d.; World Commission on Environment and Development, 1987), valamint azt, hogy a fenntartható fejlődés környezeti, gazdasági és társadalmi pillérekben nyugszik. A fenntartható fejlődés tehát nem csupán a környezet megővését jelenti, hanem azt is, hogy az emberek hozzáférjenek – mind gazdasági, mind technikai értelemben – az alapvető erőforrásokhoz és szolgáltatásokhoz, mint például az egészségügy, az oktatás és a tiszta víz és levegő. Mindezen célkitűzéseket testesíti meg az ENSZ által 2015-ben elfogadott Fenntartható Fejlődési Célok (*Sustainable Development Goals, SDG*), melyek mintegy keretet és mérhető célt adnak a világ közösségei számára, hogy 2030-ig elérjék tágabb értelemben véve az emberi jólét biztosítását. Az SDG-k 17 célja és 169 specifikus célpontja egy átfogó tervet kínál a fenntartható jövő érdekében, amely egyaránt figyelembe vesz gazdasági, társadalmi és környezeti szempontokat (Bukovics et al., 2014).

Az emberi jólét és a fenntarthatóság közötti kapcsolat egyértelmű: csak egy egészséges, stabil és jól működő környezetben lehet biztosítani az emberek boldogulását. A fenntartható fejlődés tehát nem egy választható opció, hanem egy szükségszerűség a jövő generációk számára, melynek határait a fenntarthatóság jelöli ki.

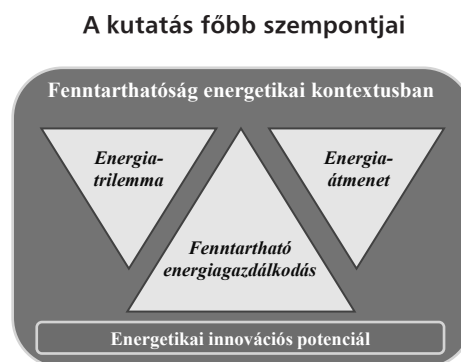
E célok elérésében pedig központi szerepet játszik az energiagazdálkodásunk, ugyanis az energiaforrások felhasználásának módja és azok hatékonysága közvetlen hatással van a környezetre, a gazdaságra és a társadalomra egyaránt. A fenntarthatóság szempontjából az energetikai szektor nagy kihívásokkal néz szembe, hiszen a hagyományos fosszilis tüzelőanyagok égetése jelentős mértékben hozzájárul az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásához, amelyek súlyosbítják a globális felmelegedést és a klímaváltozást. A fenntartható energetikai megoldások, mint a megújuló energiaforrások alkalmazása csökkenthetik az ökológiai lábnyomot és elősegíthetik a környezet védelmét (Molnár, 2021).

Tehát a fenntartható fejlődés szempontjából az energetikai ágazat átalakítása elengedhetetlen, az energetikai infrastruktúra fejlesztése alapvető fontosságú a jövőre nézve. Ez azt is jelenti, hogy az energetikai szektor innovációs potenciálja meghatározza a következő évtizedek fenntarthatóságai törekvéseinknek az alakulását.

A fenntarthatóság és fenntartható fejlődés általános koncepciójára építkezve és e kereten belül a kutatásunk során két célt tűztünk ki magunk elé (1. ábra):

1. áttekinteni a fenntarthatóság koncepcióját energetikai kontextusban, ideértve az innovációs potenciál jelentőségét, illetve
2. feltárni a fenntartható energia, energiatrilemma és energiaátmenet fogalmait, valamint a fenntartható energiafejlődéshez kapcsolódó indikátorok és mérőszámok körét.

1. ábra



Forrás: saját szerkesztés

Módszertan

A fenntartható energiagazdálkodás és a kapcsolódó innovációs potenciálok vizsgálata többdimenziós és interdiszciplináris megközelítést igényel. Emiatt szisztematikus irodalomkutatás módszerét alkalmaztuk, melynek előnye, hogy az átlátható és strukturált megközelítés során objektíven, széles körű keresés és a több adatbázisból származó információk bevonásával átfogóbb eredményre juthatunk az adott kutatási kérdésekhez kapcsolódóan. A rendszerezett tanulmányok minőségi értékelése pedig biztosítja, hogy a következtetések megbízhatók legyenek és segít azonosítani a meglévő kutatások hiányosságait és javaslatokat tehet a jövőbeni kutatások irányára. A kutatási téma és célkitűzések előzőleges meghatározása után, e módszertan implementálása során az alábbi lépéseket követtük:

- első körben kidolgoztuk a keresési stratégiát, azaz a kulcsszavak és szinonimák körét magyar és angol nyelven (többek között „fenntarthatóság”, „fenntartható energiagazdálkodás”, „fenntartható energiainnováció”, „innovációs potenciál”, „energiaátmenet”, „energiatrilemma”),
- ezt követően kiválasztottuk az adatbázisokat és forrásokat (Scopus, Web of Science, EBSCO, ScienceDirect, Google Scholar),
- a keresést követően a találatok szűrése következett inklúziós és exklúziós kritériumok alapján, végezetül
- a releváns tanulmányok kiválasztása és rendszerezése, a konklúziók levonása és szintetizálása következett.

A diszkussziót a fenntarthatóságelmélet energetikai vonatkozásának áttekintésével kezdjük, melyet e témakörhöz

szorosan kapcsolódó energiaátmenet és energiatrilemma témakörök bemutatása követ. Ezt követően megvizsgáljuk az innovációk szerepét a fenntartható energiagazdálkodásban, melyet következtetéseinkkel zárunk.

A fenntarthatóság energetikai kontextusban

Az 1970-es évektől kezdődően a környezetvédelmi és fenntarthatósági vitákban rendre előkerült az energia témakörének szerepe, már az 1973-as olajválság is felhívta a figyelmet az energiaellátás biztonságának fontosságára, valamint az energiaforrások diverzifikálásának szükségességére. Mindazonáltal kifejezett, önálló célkitűzést az energia egészen a 2015-ös riói konferenciáig nem kapott, azaz amíg az ENSZ az SDG-k 7. pontján (megfizethető és tiszta energia) belül explicit módon meg nem fogalmazta volna. Ugyanakkor közvetetten az SDG-9 (ipar, innováció és infrastruktúra), az SDG-11 (fenntartható városok és közösségek), az SDG-12 (felelős fogyasztás és termelés), az SDG-13 (fellépés az éghajlatváltozás ellen), valamint az SDG-15 (szárazföldi ökoszisztémák védelme) célkitűzéseknél is megjelenik e témakör. Az SDG-7 bővebben a „mindenkinek hozzáférést biztosítunk a megfizethető, megbízható, fenntartható és modern energiához” célkitűzést képviseli (United Nations Statistical Commission, 2017; Zlinszky & Balogh, 2016).

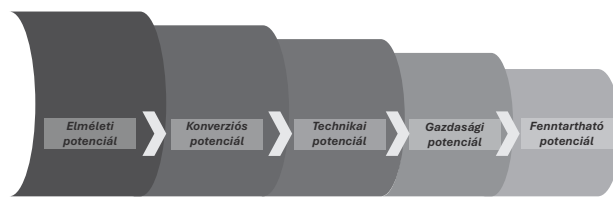
Az ENSZ Fejlesztési Programja (UN Development Programme, UNDP) 2000-ben kiadta a World Energy Outlook (WAE) jelentését, melyben az energiatermelés és -felhasználás, valamint a fenntartható fejlődés kapcsolatának viszonyáról két lényeges megállapítást tesz. Egyrészt az energia egyben a társadalmi jólét és a gazdasági fejlődés forrása, tehát az emberiség szükségleteit képes kielégíteni. Másrészt pedig felhívja a figyelmet arra, hogy az energiatermelés és -fogyasztás nem veszélyeztetheti a jelen és jövő generációinak életminőségét, valamint nem léphet át az erőforrások kapacitásának korlátját (United Nations Development Programme, 2000). Tehát a WAE-kiadvány megfogalmazza a fenntartható energiafejlesztés és -gazdálkodás (Sustainable Energy Development, SED) lényegét, kiemelve az energiához kapcsolódó társadalmi, gazdasági és környezeti elemeket, és áttekintést nyújt, hogy az energia hogyan lehet a fenntartható fejlődés eszköze.

Az energiagazdálkodás első megközelítésben a gazdaság és az energia kapcsolatát fejezi ki. Ugyanakkor, mint minden ilyen jellegű tevékenységnek, ennek is a végső célja valamilyen emberi igény vagy szükséglet kielégítése. Tehát voltaképp nemcsak gazdasági, hanem gazdasági és társadalmi dimenziókat is érint, ugyanakkor gyakran nem fenntartható módon. Ha e tevékenységvégzés során környezeti szempontok is érvényesülnek, akkor beszélhetünk általánosságban fenntartható energiagazdálkodásról (Munkácsy, 2018). Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy a fenntarthatóság koncepciója rendszerszemléletű, tehát nemcsak a környezeti, hanem a társadalmi és gazdasági fenntarthatósági kritériumoknak való megfelelés is vizsgálendő. Ezt megerősíti Dinya

(2010, p. 315) is, aki szerint a fenntartható energiagazdálkodás nem más, mint „a klasszikus értelemben vett energiagazdálkodás fenntartható fejlődésbe illeszkedő átalakítása”. Tehát a Brundtland-féle és az IAP-jelentés fenntarthatósági fejlődés megfogalmazásából kiindulva azt is mondhatjuk, hogy a fenntartható energiagazdálkodás olyan energiastratégiák és -rendszerek kialakítását és alkalmazását jelenti, amely az emberiség jelenlegi energiaszükségleteinek kielégítését szolgálja az energetikai szempontú természeti erőforrások jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg.

Egy energiarendszernek a központi eleme értelemszerűen maga az energia, amely többféle forrásból származhat. Az elsődleges energiaforrásokat és -hordozókat aszerint kategorizáltuk, hogy mozgási vagy tárolt energiából származnak, megújulóak-e vagy sem, vagy a kibocsátás vonatkozásában tisztának minősülnek-e. Ezek a csoportosítások azonban mind a környezeti-természeti aspektust jellemzik, ám azt sem teljeskörűen. Emellett a természetben előforduló energiaforrások és -hordozók kategorizálhatók aszerint is, hogy tényleges felhasználásukat illetően mekkora potenciál van bennük. Ahogy Brown et al. (2016) és Dinya (2010) is megfogalmazták, az elméleti potenciál a fizikailag rendelkező energiamentységet takarja, tehát a természeti előfordulásra utal. Ebből az elméleti potenciálból az adott konverziós és technikai adottságok mellett, lehetőség szerint minél kisebb energiavesztéssel, elsődleges energiáink hasznos energiákká alakulhatnak. Ez azonban csak akkor következik be, ha nemcsak technikailag, hanem gazdaságilag is jövedelmező a folyamat. A sorban az utolsó lépcsőfok a fenntartható potenciál, azaz a gazdaságin felül a társadalmi és környezeti tényezőket is figyelembe véve kiaknázzható energiapotenciál (2. ábra).

2. ábra



Az energiapotenciálok típusai

Forrás: Dinya (2010) alapján saját szerkesztés

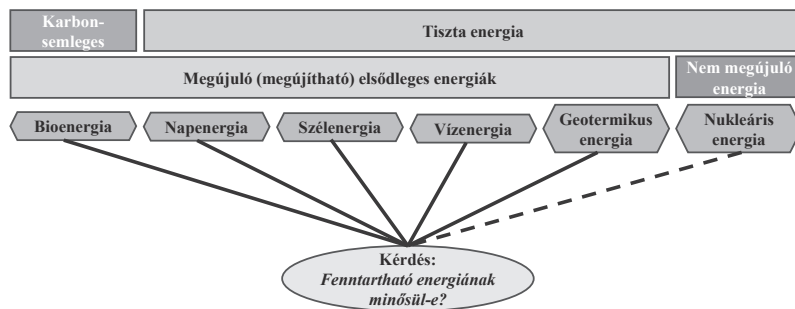
Tehát ahogy az energetika és a fenntartható (energetikai) fejlődés, úgy maga az energia is megkövetel egy holisztikus, rendszerszemléletű megközelítést. Ebben a szemléletben a fenntartható energia egy tágabb fogalom, mint az eddig ismertetett megújuló vagy tiszta minőségi jelzők, hiszen az adott energiaforrás és -hordozó környezeti, gazdasági és társadalmi hatásait is értékeli. A fenntartható energiaforrásoknak környezetbarátoknak, gazdaságilag jövedelmezőnek és társadalmilag méltányosnak kell lenniük, tehát ne okozzanak hosszú távon károkat a jövő generációi számára, azaz a fenntartható fejlődés fenntartható energián kell, hogy nyugodjon (Molnár, 2021; Prandecki, 2014).

A természeti megközelítésből adódóan alapvetően minden fenntartható energiaforrás megújuló, ugyanakkor nem minden megújuló energiaforrás minősül fenntarthatónak, mely nagyrészt az adott erőforrás előállításának, elosztásának és felhasználásának a függvénye. Itt előkerül a teljes életciklus-elemzés fontossága, és a negatív externáliák felmérése. A kivételekre jó példa a nagyméretű vízerőművek kiépítésének potenciális negatív ökológiai (folyami ökoszisztémák befolyásolása, bioszféra megzavarása, árterek kialakítása) és társadalmi (kitelepítések, termőföld-elöntések) hatása. De ide tartozhatnak a nap- és szélerőművek telepítésével járó potenciális hátrányok is (előbbi esetében a termőtalajok elvesztése és a gyártáshoz nélkülözhetetlen veszélyes anyagok felhasználása, míg a szélerőművek megzavarhatják a madárvonulásokat, a szélturbinák jelentős zajhatással bírnak). Továbbá, a biomassa termelése is csak akkor minősülhet fenntarthatónak, ha nem veszélyezteti az élelmiszer-ellátást, a biodiverzitást, és nem vezet erdőirtáshoz, vagy más negatív környezeti hatásokhoz (Goswami & Kreith, 2017; United Nations Development Programme, 2000). Természetesen fontos kiemelni, hogy a felsorolt lehetséges negatív hatások gondos tervezéssel és fenntartható működtetéssel mérsékelhetők. A 3. ábrán az elsődleges megújuló, tiszta és fenntartható energiák közötti összefüggés látható.

- **Környezeti fenntarthatóság:** Ebben a dimenzióban az energiatermelésnek és -felhasználásnak környezeti tényezőit vizsgáljuk, a cél az, hogy minél kisebb legyen a negatív hatás. Olyan szempontok kerülnek előtérbe, mint az ÜHG-k és egyéb szennyező anyagok kibocsátásának csökkentése, a megújuló energiaforrások előnyben részesítése a fosszilis tüzelőanyagokkal szemben, és a biodiverzitás védelme az energia-infrastruktúrák kiépítése során, a vízhasználat optimalizálása.
- **Gazdasági fenntarthatóság:** A gazdasági fenntarthatóság energetikai kontextusban azt jelenti, hogy az energiarendszer hosszú távon stabil és jövedelmező a termelőknek, míg megfizethető marad a fogyasztók számára. Ez magába foglalja azon gyakorlatok körét, amelyek az energiaárak stabilitásának biztosítását, a beruházási és üzemeltetési költségek racionalizálását és csökkentését, az energiapiacok megfelelő szabályozását vagy például az energiahatékonyság növelését célozzák.
- **Társadalmi fenntarthatóság:** A társadalmi fenntarthatóság a fenntartható energiagazdálkodásnak azt a vetületét jelenti, amely az energiarendszerek társadalmi igazságosságát és egyetemleges hozzáférhetőségét helyezi előtérbe, hozzájárulva ezzel az emberek jólétéhez. Ebbe a körbe tartoznak az energiaszegénység csökkentése, az energiaellátás biztosítása, a helyi közösségek bevonása az energiatermelési és -felhasználási döntésekbe, valamint az energiaprojektek társadalmi elfogadottságának biztosítását célzó intézkedések.

3. ábra

Az elsődleges megújuló, fenntartható és tiszta energiák közötti átfedések energiatermelés szempontjából



Forrás: saját szerkesztés

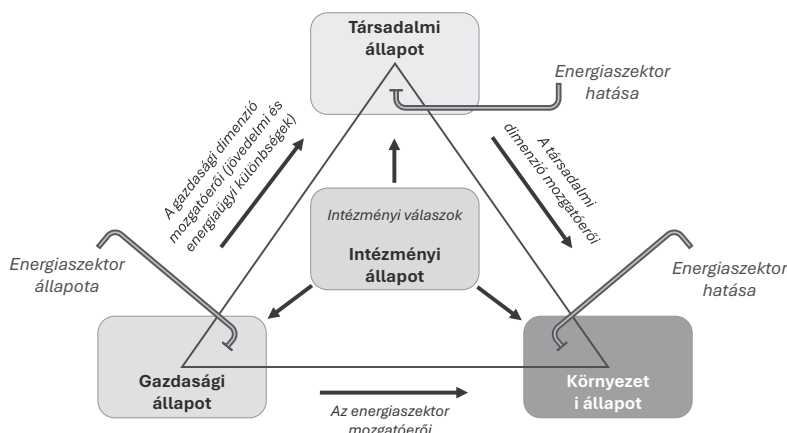
A fenntartható jelzöt nemcsak a primer energiákra használhatjuk, hanem a másodlagos energiahordozókra is. Ebben az esetben alapvetően akkor teljesülhet a fenntarthatóság kritériuma, ha az előállítás során már teljesülnek a gazdasági, társadalmi és környezeti fenntarthatósági szempontok. Tehát például a villamos energia vagy a hidrogén, mint másodlagos energiahordozók lehetnek fenntarthatóak is megfelelő körülmények között.

A cél mindenképpen az lenne, hogy az energetikai projekteket úgy tervezzék és kivitelessék, hogy annak környezeti, gazdasági és társadalmi fenntarthatósági szempontjai is figyelembe legyenek véve. Ezek összefoglalva a következők (Bukovics et al., 2014; Gunnarsdottir et al., 2021; International Atomic Energy Agency, 2005; Munasinghe, 2004; Tester, 2012; United Nations Development Programme, 2000):

A kérdés megától értetődően adódik: hogyan lehet ezeket mérni, a fejlődést kiértékelni? Milyen mérhető, mennyiségi indikátorokat lehet párosítani az egyes tényezők minőségi jellemvonásaihoz?

A fenntartható energia és -gazdálkodás mérési kritériumainak meghatározására az SDG-k előtt is voltak már kezdeményezések. A WEA-jelentéssel nagyjából egyidőben, a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (International Atomic Energy Agency, IAEA) 1999-es évről szóló jelentésében megjegyzi, hogy annak ellenére, hogy az energia alapvető tényező a szocio-ökonómiai fejlődéshez, még nem készült külön erre fókuszáló indikátorlista, amely kiegészítené az ISD általános pontjait (International Atomic Energy Agency, 2000). Ezért a Nemzetközi Energiaügynökséggel (International Energy Agency, IEA), valamint az ENSZ Gazdasági és Szociális Ügyek Főosztályával (UN Department of Economic and Social Affairs, UNDESA) karöltve nekiálltak kidolgozni egy, csak az energetikára fókuszáló indikátor eszközt (Indicators for Sustainable Energy Development, ISED). Első körben 41 db indikátort határoztak meg négy dimenziót érintve: a fenntartható fejlődés gazdasági, társadalmi, környezeti és intézményi vetületeit (4. ábra) (International Atomic Energy Agency, 2002).

Az IAEA illusztrációja az energiarendszer fenntarthatósági dimenziói közötti összefüggésekről



Forrás: International Atomic Energy Agency (2002) alapján saját szerkesztés

Kezdetben az intézményi keretek rendelkezésre állását, valamint azoknak a megfelelő és hatékony támogatását külön dimenzióban vizsgálták. Ezen keresztül a politikai döntéshozók jogalkotási és végrehajtási tevékenységeik energetikai vonatkozású fenntartható fejlődésének értékelése volt a cél (International Atomic Energy Agency, 2007).

Néhány évvel később, 2005-ben kiadták a felülvizsgált indikátorlistát, amely immáron 30 db-ra szűkült le, illetve

4. ábra az ISED-et is EISD-re cserélték (*Energy Indicators for Sustainable Development*). A hármas vetületben az alábbi vizsgálati szempontokat határozták meg, melyekhez egy vagy több indikátort is hozzárendeltek (International Atomic Energy Agency, 2005):

- **Társadalmi dimenzió:** méltányosság (hozzáférhetőség, megfizethetőség, egyenlőség) és egészség (biztonság),
- **Gazdasági dimenzió:** termelési és fogyasztási minták (összefogyasztás, ösztönözhetőség, ellátás hatékonysága, előállítás, végfelhasználás, diverzifikáció, energiaárak) és biztonság (importfüggőség, stratégiai energiakészletek),
- **Környezeti dimenzió:** légkör (éghajlatváltozás, levegőtisztaság), vízminőség és föld (talajminőség, erdő, hulladéktermelés és -kezelés).

Összességében az EISD-k olyan keretrendszert biztosítanak, amely segít az országoknak a fenntartható energiapolitikák és -stratégiák kidolgozásában és az implementáció ellenőrzésében. Ezek az indikátorok ma is használatban vannak, sőt az SDG-7 mérhetőségéhez nagyban hozzájárulnak. Mindazonáltal, az 1. táblázatban az látható, hogy nem mind a 30 indikátort rendelték hozzá az SDG-7 méréséhez.

1. táblázat

A 7. fenntartható fejlődési célkitűzés (SDG-7) tartalma és indikátorai

#	Elhatározás	Központi elem	Indikátorok
7.1	2030-ra biztosítjuk a teljes körű hozzáférést a megfizethető, megbízható és modern energiaszolgáltatásokhoz	Egyetemleges hozzáférhetőség; Megfizethetőség; Megbízhatóság	7.1.1 Az villamos energiához való hozzáférhetőség népességen belüli aránya
			7.1.2 A tiszta tüzelőanyagokra és technológiákra elsődlegesen támaszkodók népességen belüli aránya
7.2	2030-ra jelentősen megnöveljük a megújuló energiák részarányát a világ energiaellátásában	Megújuló energia	7.2.1 A megújuló energiaforrások részaránya a teljes végső energiafogyasztásban
7.3	2030-ra világviszonylatban megduplázzuk az energiahatékonyság fejlesztésének ütemét	Energiahatékonyság	7.3.1 Energiaintenzitás az elsődleges energiaforrások és a GDP arányában mérve
7.a	2030-ra megerősítjük a nemzetközi együttműködést, hogy megkönnyítsük a hozzáférést a tiszta energia kutatásához és technológiáihoz, beleértve a megújuló energiát, az energia hatékonyságot, a fejlettebb és tisztább fosszilis tüzelőanyag-technológiát, továbbá támogatjuk a befektetéseket az energetikai infrastruktúrába és a tiszta energia technológiákba	Nemzetközi együttműködés; K+F támogatás; Technológia hozzáférhetőség	7.a.1 A fejlődő országokba irányuló nemzetközi pénzmozgás a tiszta energiával kapcsolatos K+F, valamint a megújuló energiatermelés támogatására, beleértve a hibrid rendszereket is
7.b	2030-ra bővítjük az infrastruktúrát és fejlesztjük a technológiákat, hogy a fejlődő országokban mindenki számára biztosítsuk a modern és fenntartható energiaszolgáltatást, különösen a legkevésbé fejlett országokban, a kis, fejlődő szigetállamokban és a tengerrel nem rendelkező fejlődő országokban, azok támogatási programjaival összhangban	Infrastruktúra fejlesztés; Technológia korszerűsítés; Fejlődő országok támogatása	7.b.1 Telepített megújuló energiatermelő kapacitás a fejlődő országokban (egy főre jutó wattban kifejezve)

Forrás: United Nations Statistical Commission (2017) és Zlinszky & Balogh (2016) alapján saját szerkesztés

Az SDG-7 céljainak elősegítését igyekeznek támogatni a Fenntartható Energia Mindenkinek (*Sustainable Energy for All, SE4ALL*) című kezdeményezés is, mely szintén platformot nyújt a kormányok, a magánszektor, a civil társadalom, az akadémiai világ és más érdekelt felek számára, hogy tudást, legjobb gyakorlatokat és erőforrást megosztva segítse a fenntarthatóbb energiához való hozzáférést világszerte (SE4ALL, é.n.).

Ugyanakkor, hasonlóan az SDG-k összesített globális index 2021-es értékeléséhez, a legfrissebb adatok azt mutatják, hogy a világ nem jó úton halad az SDG-7 célkitűzéseinek teljesítése terén sem. Ahogy az az 5. ábrán is látható, bár jelentősen csökkent azon emberek száma, akik nem férnek hozzá áramhoz, még mindig kb. 675 millióan vannak, akiknek ezt nélkülözniük kell. Szintén jelentősen csökkent bő 10 év alatt a tiszta főzési lehetőséggel nem rendelkezők száma, de volumenét tekintve még mindig 2,3 milliárd fő van hátrányos helyzetben ebből a szempontból. Említendő, hogy a népesség ezen része javarészt Afrikában és kisebb részben Ázsiában él. Pozitív, hogy a megújuló energia részaránya a végső energiafelhasználásban mintegy 3 százalékponttal nőtt 10 év alatt, így átlagosan majdnem a teljes fogyasztás ötöde megújulókból származott 2021-ben világviszonylatban. Az energiahatékonysági intézkedések terén 2010 és 2020 között átlagosan évente mintegy 1,8%-os javulás volt tapasztalható szemben a várt 2,6%-os aránytól, így a következő 10 évben évente átlagosan az energiaintenzitásnak legalább 3,4 százalékkal kellene javulnia, hogy behozza a lemaradást. Végezetül, a fejlődő országokba irányuló, a tiszta energia támogatására irányuló nemzetközi pénzáramok 2021-ben 10,8 milliárd USD-ra csökkentek, míg 2010-ben ez az

összeg megközelítőleg 12 milliárd dollár volt. A visszaesés nem tűnik ugyan soknak, de ha hozzátesszük, hogy például 2017-ben több mint 26,4 milliárd dollár pénzáramlás történt a fejlődő országok irányába, ahhoz képest már egy közel 40%-os csökkenésről van szó (IEA et al., 2023).

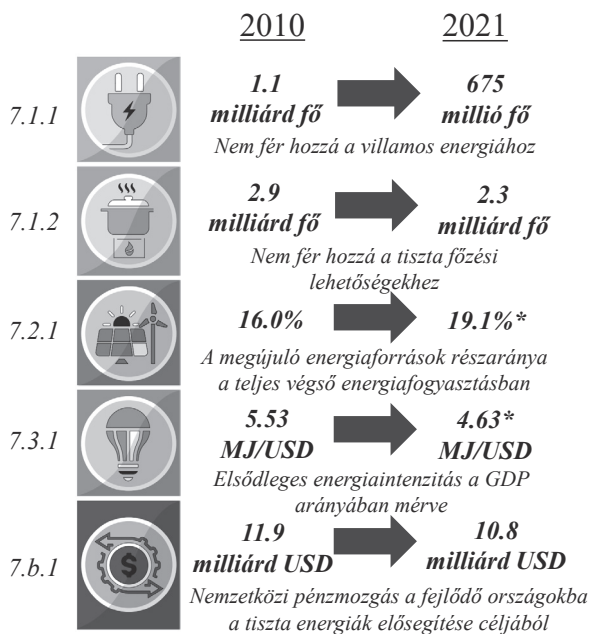
Az energiatrilemma szempontrendszere és indikátorai

A fenntartható energiagazdálkodás dimenzióihhoz, valamint az SDG-7 célkitűzéseihöz, illetve indikátorkészletéhez szorosán kapcsolódik az energiatrilemma koncepciója. Első körben azt szükséges tisztázni, hogy miben tér el ezektől. Az okok térben, időben és megközelítésben keresendők. Először a térbeli és időbeli perspektívát tekintjük át.

Az 1900-as években az ENSZ kulcsfontosságú szereplő volt a természeti erőforrások védelmének és a fenntartható fejlődés és a később megfogalmazódott fenntartható energiafejlesztés útjának kitaposásában. Az ENSZ munkásságával párhuzamosan világszerte voltak kisebb-nagyobb kezdeményezések, melyek közül kiemelkedik az 1923-ban megalakult Világ Energia Tanácsa (*World Energy Council, WEC*), illetve az akkoriban még World Power Conference néven létrejövő kezdemény. Az energetika széles körével foglalkozó londoni szervezet tevékenységében a Brundtland-féle jelentést követően kezdett egyre nagyobb teret nyerni a környezetvédelmi politika és a környezeti fenntarthatóság kérdésköre. A 2000-es évek elején kiadott az *Energy for tomorrow's world: acting now!* című jelentés, amely többek között három fontos energiafejlesztési célkitűzést fogalmazott meg: az energia hozzáférhetősége (*accessibility*), rendelkezésre állása (*availability*) és társadalmi elfogadhatósága (*acceptability*), amelyet a WEC három „A”-jának is szoktak rövidíteni (World Energy Council, n.d.). Emellett megfogalmazódott az igény egy fenntartható energia-keretrendszer felépítésére, amely segítene irányt mutatni és visszacsatolást adni a fenntarthatóbb energiarendszerek felé történő előrehaladást illetően. Az igény projektté fejlődött, és a WEC 2008-ban kiadta az *Energy Policy and Practices Index* (EPPI) háttérrel szolgáló módszertant és útmutatót. Ennek az volt a célja, hogy az egyes energiarendszerek teljesítményét fenntarthatósági és országspecifikus viszonylatban értékelje, így első körben klaszterezve, majd rangsorolva az országok fenntarthatósági szempontú energiagazdálkodását (World Energy Council, 2008). A megközelítés hasonló volt az ISED koncepciójához, főleg miután 2010-11-ben felülvizsgálták és átalakították a kalkuláció módszertanát. Az indexben – melyet immáron *Energy Sustainability (Country) Index*-nek (ES(C)I) neveztek át – struktúráját tekintve a korábbi négy általános szempont konkretizálódott két vetületre: energetikai és ún. kontextuális teljesítménnyé. Előbbi az energiabiztonság (*energy security*), társadalmi méltányosság/igazságosság (*social equity*), valamint környezetihatás-csökkentés (*environmental impact mitigation*) dimenziókat jelentette rendre 25-25%-os súllyal, míg a lokális tényezőknél a politikai, társadalmi és gazdasági erőt vették figyelembe egyenlő (8,3%-os) arányban. Így az új index az energiaterjesztés

5. ábra

Az SDG-7 teljesítése felé tett globális szintű előrehaladás helyzete



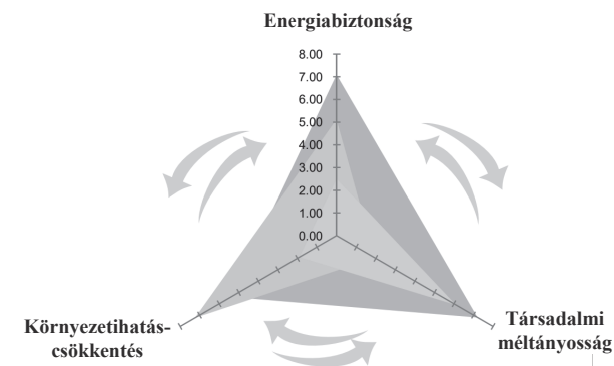
*Csak 2020-as adat állt rendelkezésre.

Forrás: IEA et al. (2023) alapján saját szerkesztés

javára van súlyozva 3:1 arányban, és összesen 22 indikátort határoztak meg az összteljesítmény mérésére. Ez az új módszertan alapján történő értékelés pedig elvezetett ahhoz a 2011-es jelentésben szereplő megállapításhoz, hogy ez az indexelés feltárta az „energia fenntarthatósági trilemmáját”, ugyanis e három energiaterjesztésményt leíró dimenzióban (6. ábra) egyszerre semelyik ország nem volt képes vezetni a listát (World Energy Council, 2011).

6. ábra

A WEC 2011-es jelentése szerinti energiafenntarthatósági trilemma



Forrás: World Energy Council (2011) alapján saját szerkesztés

A WEC 2011-es jelentésnek három fontos gondolata volt ezzel kapcsolatban. Egyrészt megállapítja, hogy az akkori állás szerint rengeteg tennivalója van még a világ minden országának az energia fenntarthatóságának hármas problémáját illetően. Másrészt az indexelés eredménye alapján azt figyelték meg, hogy mivel valamennyi ország egyensúlytalanságban van a dimenziókat illetően, így valamiféle kompromisszum – idegen szóval elve *trade-off* – van az egyes dimenziók között. E gondolatmenet szerint a politikai döntéshozóknak olyan döntéseket kell hozniuk adott országspecifikus kontextusban, amelyek egy vagy két dimenziót erősítenek a harmadikkal szemben. Ezért úgy fogalmaztak, hogy az energia fenntarthatósága magába foglalja a dimenziók közötti folyamatos kompromisszumkeresést, amelyet minden országnak a saját rendszerét és egyedi faktorait figyelembe véve kell folytatnia. A jelentés a végén felteszi a nagy kérdést: lehetséges-e egyszerre mind a három területen elérni a céljainkat, azaz megvalósulhat-e az energia fenntarthatósági trilemmájának kompromisszummentes kiegyensúlyozása? A kérdés után rögtön a választ is megadják, mégpedig azt, hogy a jelenlegi ismeretek tükrében tökéletes egyensúly egyszerre mindhárom dimenzió között nem lehetséges. A hangsúly azonban a „jelenlegi” jelzőn van, hiszen magát a keretrendszert is azért hozták létre, hogy segítsék az országokat és a döntéshozókat abban, hogy jobban megértsék az energiaellátás biztonsága, az energiához való hozzáférés és a környezetvédelem közötti összetett kapcsolatokat, és ezeket az összetett kihívásokat a lehető legjobban kezeljék (World Energy Council, 2011).

A 2011-es WEC-jelentés tehát mérőföldkőnek számított az energiatrilemma koncepciójának kialakulásában.

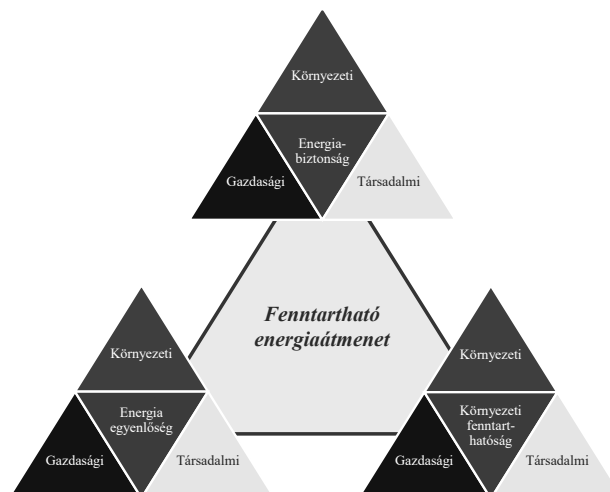
Az ezt követő években még voltak további finomhangolások, míg végül 2016-ban a ma is használatban lévő *World Energy Trilemma Index* (WETI) elnevezést kapta az index (World Energy Council, 2016).

Az energiatrilemma-koncepció és -módszertan kialakulásának térbeli és időbeli elhelyezése után érdemes még szót ejteni a fenntartható energiagazdálkodás és az energiatrilemma megközelítésbeli hasonlóságáról és különbségéről. Mindkettő rendszerszemléletben gondolkozik, ezáltal több szempontot, kapcsolatot és kölcsönhatást vesz figyelembe az adott rendszeren belül. Ezen integrált megközelítésen belül azonban a hangsúlyok eltérnek. A fenntartható energiagazdálkodás az erős fenntarthatóság elvét követve elsősorban a hosszú távú környezeti fenntarthatóságra összpontosít, amely szerint a természeti erőforrásokat és az ökoszisztémákat nem szabad maradéktalanul kizsákmányolni vagy helyettesíteni. Ez azt jelenti, hogy a környezeti célokat, mint például a globális éghajlatváltozás elleni küzdelmet és a megújuló energiaforrások használatának növelését prioritásként kezeli még akkor is, ha ez rövid távon gazdasági vagy társadalmi kompromisszumokat igényelhet. Ez a beágyazottság oda vezet, hogy a társadalmi, majd a gazdasági fenntarthatóság akkor jöhet létre, ha a környezeti megvalósul. Ezzel szemben az energiatrilemma egyrészt szűkebb, azaz megfoghatóbb megközelítést alkalmaz, hiszen az átfogó gazdasági-társadalmi-környezeti nézőpontok helyett konkrétan az energiaellátás biztonságára, megfizethetőségére és egyenlőségére, valamint a környezeti fenntarthatóságra összpontosít. Másrészt pedig egy dinamikusan változó, ugyanakkor egy kiegyensúlyozott megközelítést keres e három szempont között, melyek kritikusak az energiarendszerek hosszú távú fenntarthatósága szempontjából. A kompromisszumkészség tehát itt is megjelenik, de alapvetően nem helyezi az egyik szempontot a többi fölé, szemben a fenntartható energiafejlődés koncepciójával.

Kísérletet tehetünk arra vonatkozólag is, hogy az energiatrilemma egyes vetületeit megfeleltethessük a fenntartható energiagazdálkodás minden egyes dimenziójának, hiszen szoros a kapcsolat, nagy az átfedés. E kapcsolat multidimenzionális és egymásba fonódó jellege miatt nem lehetséges az egy-az-egyben megfeleltetés, hanem épp ellenkezőleg, külön vetületenként lehet vizsgálni a gazdasági-társadalmi-környezeti hatásokat, hiszen ezek közvetlenül és közvetetten megjelennek mindegyik kiemelt nézőpontban (7. ábra):

- *Energiabiztonság: Társadalmi aspektusban az energiaellátás biztonsága, tehát a hozzáférhetőség és folyamatos elérhetőség alapvető fontosságú a társadalmi stabilitás és az általános jólét szempontjából, hiszen hozzáférést biztosít a világunk alapvető szolgáltatásaihoz, mint például a fűtés, világítás, kommunikáció, közlekedés, amelyek elengedhetetlenek a modern társadalom működéséhez. Gazdasági értelemben közvetlen hatással van a gazdasági stabilitásra és növekedésre, a jelen és jövő társadalmak szükségleteinek kielégítésére, az infrastruktúrák megítélésére és az importfüggőség mértékére, és vice versa. A kínálati zavarok gazdasági károkat okozhat-*

A fenntartható energiagazdálkodás három dimenziójának kapcsolódási pontjai az energiatrilemma vetületeivel



Forrás: saját szerkesztés

A fenntartható energiaátmenet az energiatrilemma egyensúlyában

Az energiaátmenet fogalmának nincs a tudományos szakirodalomban egységesen elfogadott, standard definíciója, azonban minden egyes változat mögött ugyanaz a nézőpont húzódik meg (Sovacool, 2016). Smil (2017) úgy definiálta, mint az elsődleges energiaellátás összetételének (szerkezetének) megváltozása, azaz az energiaellátás adott mintázatából történő fokozatos áttérés egy új energiarendszerbe. Egy másik megfogalmazás szerint az energiaátmenet az energiatermeléshez használt tüzelőanyag-forrás és a kapcsolódó technológiák időbeli változása (Miller et al., 2015). Hasonlóképpen fogalmazott Fouquet & Pearson (2012) is, akik szerint az energiaátmenet folyamata voltaképp egy vagy több energiaforrástól és technológiától függő gazdasági rendszerről történő átállás egy másikra. Látható, hogy ezek a megközelítések elég általánosnak minősülnek és nem korlátozódnak az energiaforrások egy bizonyos körére. Ugyanakkor sokszor e koncepció arra helyezi a hangsúlyt, hogy a fosszilis tüzelőanyagok helyett tiszta energiafelhasználás felé történjen az elmozdulás. Ez igaz napjainkra, a jelenleg is zajló energiaátmeneti törekvésekre, ugyanakkor a történelem során nem ez az első energiaátmenet, amely lezajlott.

Az emberi történelem során több jelentős energiaátmenet is történt, amelyek alapvetően átforgalmazták a társadalmakat és gazdaságokat, és hatással voltak az emberi környezetre. Smil átfogó műveiben az emberiiség eddigi időszakát négy részre kategorizálta az energiaátmenetek tekintetében. A legelső a tűz kontrollált használatának elsajátításához köti, amely lehetővé tette az alapvető főzést, fűtést és a ragadozók elleni védelmet. Ez tehát a hagyományos biomassza-tüzelést jelentette, azaz közvetetten a napenergia hasznosítást. Majd a földművelés megjelenésével a napenergiát gyakorlatilag közvetlenül élelmiszer-termelésre fordítottuk, amelyhez

nak, negatívan befolyásolva valamennyi szektor tevékenységét. Ugyanakkor megjelenik az energiaellátás biztonságának *környezeti vetülete* is, hiszen nagyban támaszkodunk a fosszilis tüzelőanyagokra, amelyek jelentős negatív hatással vannak a környezetünkre, az egyes erőművek építésének körülményei szorosan kapcsolódnak az ökoszisztéma-rendszerekhez.

- **Energia egyenlőség:** Az energia megfizethetősége alapvető a *társadalmi egyenlőség* és a szegénység csökkentésének szempontjából. A magas energiaárak akadályozzák az alacsony jövedelmű háztartásokat az alapvető szolgáltatásokhoz való hozzáférésben. A megfizethetőség, amely tehát szorosan kapcsolódik a társadalmi jóléthez, tágabb értelemben véve a lakosságon felül a *gazdasági* élet szereplői számára is kritikus fontosságú tényező. Emellett a termelői oldalról nézve az erőművek kapacitási faktora, az előállítási és működési folyamatok hatékonysága, valamint fogyasztói szempontból az energia hatékonyabb, a tényleges szükségleteknek megfelelő felhasználása meghatározó mind a termelői és fogyasztói költségek, a gazdasági versenyképesség és az importfüggőség szempontjából, mind pedig a *környezeti* hatások tekintetében. Hiszen az energiahatékonyság növelésén keresztül a teljes végső energiafelhasználás csökkenése közvetlenül hozzájárul a környezeti terhelés redukálásához, kevesebb károsanyag-kibocsátást eredményezve.
- **Környezeti fenntarthatóság:** Talán itt lehet a legkönnyebben megfeleltetni egymással a két megközelítést, hiszen a környezeti dimenzió az energiatrilemmben közvetlenül is megjelenik a három vetületben. A környezeti szempontok ebben a vetületben elsősorban a tiszta és egészséges környezet megőrzését jelentik, amelyet a környezetvédelmi intézkedések, valamint a tiszta és megújuló energiaforrásokhoz való hozzáférhetőség tesz lehetővé, amely lényeges a *társadalom* jólétének perspektívájából. A zöld gazdaság ösztönzése új *gazdasági* lehetőségeket és piacokat (körkörös gazdaság, zöld kötvények és ESG-szemponjú befektetések, azaz zöld pénzügyek, zöld adózás és karbonsemlegesség kompenzációja stb.), valamint technológiai-infrastrukturabeli változásokat generálhat (pl. megújuló folyamatos integrációja, decentralizált rendszerek kialakulása, GreenTech és különféle okos megoldások elterjedése). Mindezek *környezeti* szempontból együttesen hozzájárulnak a természetes ökoszisztémák védelméhez, a szennyezés csökkentéséhez, a biodiverzitás megőrzéséhez és a természeti erőforrások fenntartható használatához.

Ebből az összekapcsoltsági vizsgálatból is jól látszik, hogy nem lehet ceteris paribus vizsgálni egy-egy vetületet, mivel a mögöttes gazdasági-társadalmi-környezeti megfontolások mély átfedésben vannak egymással.

Az ábránkon megjelenik még egy fontos pont az energiatrilemma középpontjában (egyensúlyában?), amely eddig nem került szóba: a fenntartható energiaátmenet.

állati és emberi izomerő (élőmunka) mellett pl. szél- és vízenergiát is hasznosítottunk (malmok), azaz új technológiákat vezettünk be. Ezt az első kettőt az iparosodás előtti energiaátmeneteknek tekinti, hiszen a harmadik energiaátmenet motorját az ipari forradalom jelentette. A két ipari forradalom nem egy éles, mindenhol egyszerre bekövetkező esemény volt, hanem különböző régiókban különböző módon zajlott le. Ez volt az egyik legjelentősebb energiaátmenet, amikor a világ a fa(biomassza) tüzelésről a fosszilis tüzelőanyagokra – elsősorban szén, később pedig kőolaj és földgáz – tért át. Ez hatalmas gazdasági növekedést és társadalmi változásokat hozott, forradalmasítva ezzel a lakossági és ipari szektort egyaránt. Másik oldalról viszont ez az energiaátmenet járult hozzá a globális felmelegedés jelenségéhez is. Végezetül, a XXI. században korunk energiaátmenetét a megújuló és tiszta energiaforrásokra való átállás jelenti, amely szorosan kapcsolódik az éghajlatváltozásra és a környezeti fenntarthatóságra vonatkozó aggodalmakhoz (Smil, 2017, 2018).

Ezek az energetikai átállások tehát sokkal többről szóltak, mint csak az egyik energiaforrásról a másikra való áttérés, hiszen alapvetően befolyásolták a gazdasági-társadalmi-környezeti aspektusokat (pl. globális népességszám, GDP és ÜHG-k kibocsátásának növekedése), messze legjelentősebben a harmadik energiaátmenet során. Emellett a korábbi energiaátmenetek lassú folyamatok voltak. A gőzgépet ugyan már XVIII. században kifejlesztették, de a szén csak az 1900-as évek elején váltotta fel a korábbi domináns energiaforrást, a hagyományos biomasszát. Továbbá a szénfelhasználás a globális elsődleges energiafogyasztásban a csúcst a első világháborút követően érte el (1920: 54,4%), köszönhetően a szénpiac méretgazdaságosságának, amely helyezés egészen az 1960-as évek elejéig tartott, amikortól is a kőolaj megelőzte. A kőolaj aránya az energiamixben 1978-ban tetőzött (42,6%) és dominál a mai napig, habár a földgázhasználat széles körű elterjedése ártrendezte az arányokat a fosszilis tüzelőanyagokon belül (2022: szén – 25,1%, kőolaj – 29,6%, földgáz – 22%) (Energy Institute, 2023).

Ahogy arra Smil (2018) is rámutat, a történelem arra is rávilágít, hogy nem is hagyjuk abba egy meglévő energiaforrás kiaknázását. A tradicionális biomassza-tüzelés, azaz az emberiség első energiaforrásának felhasználása például csak a második évezredforduló körül érte el a csúcspontját. Ez éppen az ellenkezője annak, mint amire most szükségünk van. Továbbá, a korábbi energiaátmenetek mindig az olcsóbb, elérhetőbb és nagyobb energiasűrűségű energiaforrásokra való átállást jelentettek. Korunk energiaátmenete ebben is eltér: azonnali, a nemzetközi szervezetek és a nemzeti kormányok energiapolitikái által irányított folyamatra van szükség, amelynek ráadásul olyan erkölcsi vonatkozása van, amely inkább hasonlít egy egzisztenciális küzdelemre, mint a korábbi energiaátmenetek gazdasági mozgatórugóira. Hiszen a sorban negyedik energiaátmenet fő célja egy olyan energiarendszer-változás, amellyel megvalósulhat globálisan a nettó nulla kibocsátás elérése, a tiszta, megbízható, elérhető és megfizethető energiaforrások alkalmazása.

Ez más megközelítésben azt is jelenti, hogy a jelenlegi

energiaátmenetnek elsődlegesen környezeti fenntarthatósági célkitűzései vannak, de ugyanúgy megjelenik benne a fenntarthatósági keretrendszer másik két aspektusa is. Ez tehát egy hármas célkitűzés, hiszen kizárólag a megújuló energiaforrásokra történő átállás (1.) még nem feltétlenül garantálná a karbonsemlegességet (gondoljunk itt a biomassza-tüzelés karbonlábnomára), de a tiszta energia használata már igen (2.), míg a gazdasági-társadalmi szempontok (3.) együttes figyelembevételével már tiszta helyett fenntartható energiáról beszélhetünk. Ez a gondolatmenetet pedig elvezet arra a következtetésre, hogy a fenntartható energia eléréséhez önmagában nem elégséges a fosszilis tüzelőanyagok megújuló energiákra történő cserélését sürgető energiaátmenetre törekedni; annak egyben fenntarthatónak is kell lennie elsősorban környezeti, de összességében gazdasági-társadalmi-környezeti vonatkozásban is. Tehát fenntartható energiaátmenetnek kell teljesülnie a cél elérésének az érdekében.

Ennek a fenntartható energiaátmenetnek gyakorlatilag megegyeznek a mérési kritériumai az energiatrilemmánál részletezett indikátorkészlettel, a különbség a hangsúly elhelyezésén van, amit jól mutat az International Energy Agency (2019) energiaátmenet fókuszú vizsgálódása. Ez ugyan kiemeli, hogy egyetlen mutató sem képes teljes mértékben megragadni a tiszta energiára való átállás összetettségét, de a legátfogóbb mutató erre a célra a vizsgált ország vagy régió energiarendszeréhez kapcsolatos karbonkibocsátása, hiszen ahogy korábban a globális éghajlatváltozás témakörénél is kiemeltük, a világ szén-dioxid-kibocsátásának (CO₂) közel 90%-ért az energiaszektor a felelős.

A fenntarthatóság témakörének összefoglalásához Caradonna (2022) gondolataival összhangban arra a következtetésre juthatunk, hogy maga a kifejezés a gyakorlatban mindenekelőtt az éghajlatváltozáshoz kapcsolódik, afféle korrekciós tónusban. Ahogy a szerző is megjegyzi, a fenntarthatóság nem csupán egy szinonima a környezetvédelemre. A fenntarthatóság elemzése komplex rendszerek vizsgálatát jelenti, ahol a cél az összefüggések keresése a társadalom, a gazdaság és a természeti világ között. A fenntarthatóság és a környezetvédelem története bizonyos mértékig összefonódott, közös bölcsőből ered, de a fenntarthatóság koncepciójának kiteljesedése túlmutat a környezetvédelmi megmozdulásokat alakító gondolkodók kánonján. A fenntarthatóság története éppúgy minősül társadalom-, politika- és gazdaságtörténetnek, mint környezettörténetnek.

Következésképpen, a fenntarthatóság energetikai kontextusa, a fenntartható energiagazdálkodás és a fenntartható energia koncepciók röviden azon az alapelven nyugodnak, hogy a természeti erőforrásokat energetikai célokra úgy kell felhasználni, hogy az ne ártson a környezetnek, fenntartható legyen a gazdaság számára, és támogassa a társadalmi jólétet. Előbbi a keretet és módszertant biztosítja, míg az utóbbi azon energiaforrások és -hordozók körét jelenti, amelyek megfelelnek ennek a keretrendszernek. A fenntartható fejlődés különféle energia szempontú indikátorai pedig lehetővé teszik az előrehaladás mérését is az energiasztratégiát megalkotó szervezeteknek.

Ezeknek az indikátoroknak intézményesített rendszerése mentén alakult ki az energiatrilemma koncepciója, amely nagyon hasonlít a fenntartható energiagazdálkodás három dimenziójának megközelítéséhez. Habár előbbinek vetületei bizonyos mértékig azonosíthatók a fenntartható energiagazdálkodásával, a kapcsolatok összetettebbek, mint egy egyszerű egy-az-egyhez megfeleltetés. A fenntartható energiagazdálkodás három dimenziója többnyire a szigorú fenntarthatóság alapelveire és céljaira összpontosít az energiarendszerek átfogó hatásait vizsgálva, ahol a környezeti fenntarthatóság fontossága előtérbe kerül. Ehhez képest az energiatrilemma egy specifikus keret, amely az energetikai kihívások és következmények, valamint az energiapolitikai döntéshozatal összefüggéseit helyezi előtérbe azáltal, hogy három kulcsfontosságú és megfogható nézőpont közötti egyensúly jelentőségét hirdeti.

Tehát az energiatrilemma konkrét szempontrendszerként használható a fenntarthatóság energetikai célkitűzéseiben, ahol akárcsak általánosságban a fenntartható élet, úgy energetikai szemszögből a fenntartható energia elméletileg az elérendő idilli állapot, a végső cél. Ebből explicite az következik, hogy még nem értük el. Ezzel azonban van egy probléma. Ahogy Tester (2012) is rámutat, a legszigorúbb értelemben véve a fenntartható energia az, amelyet anélkül lehet kiaknázni, hogy végső soron kedvezőtlen hatást gyakorolnánk a Föld bioszférájára. Azonban a tudomány és a technológia jelenlegi ismeretei szerint nem létezik egyelőre ilyen formája az energiaszolgáltatásnak. Valamennyi primer energiaforrás és -hordozó felhasználása feltételez valamekkora földhasználatot vagy kitermelést, ami negatív hatással lehet az ökoszisztémákra, illetve végül mindezen kitermelt anyagok és felhasznált technológiák visszakerülnek a bioszférába, mint szerves hulladékok és emissziók, ahol a mérgező és károsanyag-kezelési gyakorlatok legalább olyan fontosak, mint az előállítási folyamat minősége, így összességében kell vizsgálni az ökológiai hatásokat. Az energiarendszer komplexitása és interakciója a gazdasági, társadalmi és környezeti szférával nehezen felfogható és felmérhető. Másrészről viszont Tester konzervatívan úgy vélekedik, hogy általánosságban az lehet fenntartható (vagy legalábbis fenntarthatóbb) energia, amelyek nettó hatása nem befolyásolja szignifikánsan a bioszféra működését.

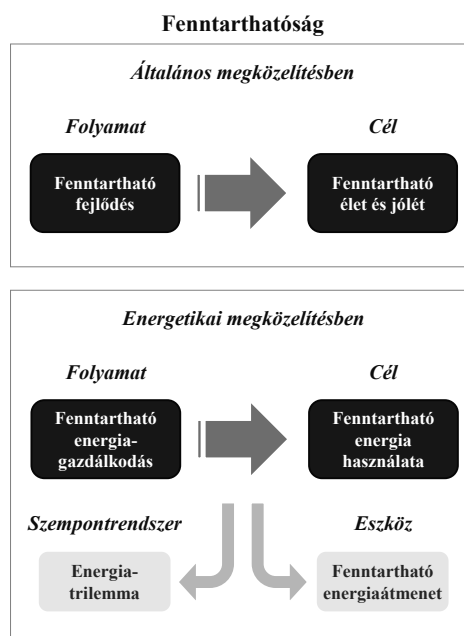
A nettó zéró kibocsátási cél a jelenlegi energiaátmenettel szemben – amely általánosságban az energiaforrásaink és kapcsolódó rendszereink használatának gyökeres megváltoztatását jelenti – olyan elvárást támaszt, ahol a fenntarthatósági, kiváltképp a környezeti fenntarthatóság kerül fókuszba a tiszta energiaforrásokra való áttérés sürgetésével. Ez – akárcsak a fenntartható energia – a jelenlegi tendenciák és technológiák mellett ma még elérhetetlennek tűnik, de a trendek hamar változhatnak a technológiai innovációk és a gazdasági-társadalmi együttműködések tekintetében, különösen, ha közben a bolygónk élhetősége a tét.

Következésképpen a fenntartható energiaátmenet is csak egy „fenntarthatóbb” energiarendszer felé vezethet, amelynek fenntarthatósági jellege időben dinamiku-

san változik, és melynek egyszerre kell ezekre választ adnia energiabiztonság (pl. jelenlegi és jövőbeli energiaigények, fizikai rendszerek megbízhatósága, megújuló időjárásfüggő jellege, importfüggőség kérdése, geopolitikai feszültségek hatásai), egyenlőség (tehát megfizethetőség, energiaszegénység, hozzáférhetőség, erőművek beruházási és üzemeltetési költségei, támogatások) és környezeti fenntarthatóság (éghajlatváltozás, ÜHG- és CO₂-kibocsátás növekedése, levegőtisztaság és földhasználat állapota, természeti ökoszisztémák védelme) vonatkozásában. Ám ha ez sikerül, akkor teljesül a három dimenzió fenntarthatósága, így megvalósulhat az energiatrilemma elméleti egyensúlya is. Ezt a gondolatmenetet szemlélteti a 8. ábra.

8. ábra

A fenntarthatóság általános és energetikai megközelítése



Forrás: saját szerkesztés

Innovációs potenciál a fenntartható energiagazdálkodásban

A 8. ábrán a fenntartható energiagazdálkodás fő eszközének korunk energiaátmenetét határoztuk meg, amelynek gazdasági-társadalmi-környezeti aspektusban fenntarthatónak szükséges lennie. Habár közvetetten mindhárom dimenzióban megjelennek, de külön is említésre méltóak a jelenlegi energiaátmenetet lehetővé tevő, egyben felgyorsító technológiai innovációk jelentőségei.

Nem véletlen, hogy az innovációs potenciál a fenntartható energiagazdálkodás terén kiemelt fontosságú téma napjainkban. Az innovációk gyakran új technológiák fejlesztésében teljednek ki, melyek lehetővé teszik az energiatermelés hatékonyságának növelését és a káros környezeti hatások minimalizálását. Így fontos szerepet játszanak ebben az iparágban a kutatás-fejlesztési tevé-

kenységek, melyek célja az új fenntartható energiagazdálkodási megoldások létrehozása (Schiederig et al., 2012). Ide tartozik többek között az energiahatékonysági növelési módszerek fejlesztése, például az intelligens hálózatok, amelyek lehetővé teszik az energia felhasználásának optimalizálását és a szükségtelen energiafogyasztás csökkentését. Emellett fontos szerepet játszanak az energiátárolási technológiák, amelyek biztosítják, hogy a megújuló energiaforrások által termelt energia folyamatosan rendelkezésre álljon.

Az innováció továbbá ösztönzi a gazdasági növekedést és új munkahelyeket teremt. Az új technológiák fejlesztése és alkalmazása új iparágakat hoz létre, és lehetőséget biztosít a vállalkozások számára, hogy versenyképesebbé váljanak a globális piacon. Ugyanakkor nem csak kínálati oldalon jelennek meg változások. A rendszerszintű változásokat előidéző innovációs elméletek szerint a felhasználói oldalon is történnek strukturális változások, új társadalmi magatartásokat és akkulturációt előidézve (Deutsch, 2013).

Mindemellett az innovációs potenciál növekedését elősegítik a kormányzati támogatások és ösztönzők, amelyek lehetővé teszik a vállalatok számára, hogy kockázatos, hosszú távú projekteket indítsanak, míg különféle egyetemi kutatócsoportok által végzett alap kutatások is elemi fontosságúak az új technológiák létrehozásában.

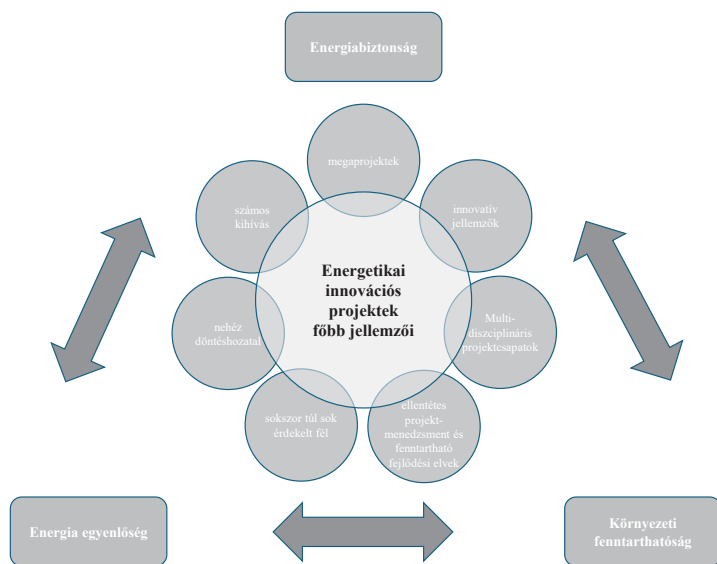
Mindazonáltal, ahogy Mihić et al. (2018) is összefoglalja, ezen energetikai innovációs projektek sajátos jellemzőkkel bírnak (9. ábra). Ezek legtöbbször megaprojekteknek minősülnek – pl. terjedelmes naperőműparkok Kínában vagy offshore szélőrműparkok Dánia partjainál –, melyek megvalósítása hatalmas pénzügyi befektetéseket, valamint különféle szakmai csapatok összehangolt munkáját igénylik. Nem beszélve azokról a projektekről,

melyek pusztán kutatás-fejlesztésnek minősülnek, ahol a folyamatok általában kísérleti és feltáró jellegűek, a kockázatok, így a kudarcarány pedig magas. Ezekre a K+F projektekre azonban minden esetben szükség van, hiszen ezek a technológiai és szolgáltatási innovációk motorjai, melyek a XXI. században egyaránt jelen vannak a fizikális szféra mellett a digitális világunkban.

A fenntarthatósági innováció és a zöld digitális technológiák összefonódása a modern világ egyik legígéretesebb irányzata, hiszen a digitalizáció kulcsfontosságú az energiaátmenethez vezető úton. Ezek a technológiák – melyeket szokás GreenTech-nek vagy CleanTech-nek is nevezni – és innovációk nemcsak környezetbarát megoldásokat kínálnak, hanem gazdasági és társadalmi előnyöket is nyújtanak. Ezekre jó példák az okosvárosok koncepciói, a blockchain-ben rejlő lehetőségek, avagy a zöld felhőszolgáltatások (Herczeg et al., 2023). Márpedig ahogy Aranyossy (2011) is felhívja rá a figyelmet, az IT-beruházások általánosságban növelik a vállalati teljesítményt és az üzleti értéket. Ez pedig kritikus fontosságú ahhoz, hogy a GreenTech eszközökbe történő befektetés nemcsak környezetileg, de gazdaságilag is megérje a vállalkozások számára.

A szabályozás nagyban befolyásolja az országokat és a vállalatokat a fenntarthatósággal kapcsolatos folyamataikban és fejlesztéseikben. A 2015-ben bevezetett fenntartható fejlődési célok, különösen a 7. cél – megfizethető és tiszta energia az EU-ban – tekintetében elért előrehaladás szintén jó indikátorként szolgálhat az országok és vállalatok értékeléséhez az energiaágazatban. Az elvégzett kutatások és a Rybak, Rybak és Kolev (2021) által publikált tanulmány alapján ezen a területen a legfontosabb mutatók közé tartozik többek között az energiahatékonyság, az importfüggőség és a megújuló energiaforrások aránya a végső energiafogyasztásban.

Az energetikai innovációs projektek karakterisztikái az energiatrilemma vonatkozásában



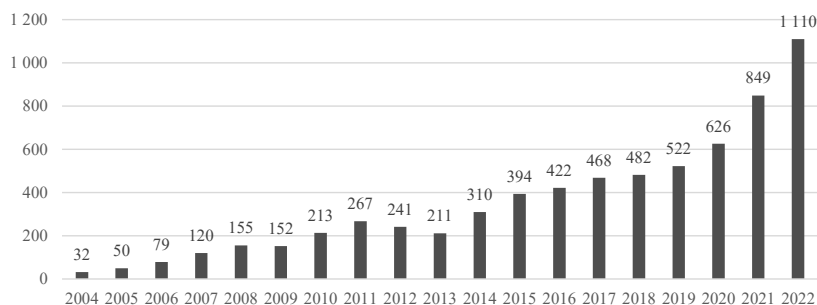
Forrás: Mihić et al. (2018) alapján saját szerkesztés

Az ENSZ Környezetvédelmi Programja (2023) szerint „a 2030-as évek elejére a tiszta energiába történő éves beruházások (...) akár 2,8 ezermilliárd USD éves befektetési lehetőséget is jelenthetnek”. A Statista (2023) által közzétett adatai – a 10. ábrán – alapján látható, hogy az elmúlt két évtizedben az összes értékpapírtípust is magában foglaló energiaátalakítási technológiákba irányuló befektetések gyorsan növekedtek.

A régióban a megújuló energiaforrások jelentős mértékben nőttek, sőt, 2020-ban az EU elérte azt a célt, hogy az összes felhasznált energia 20%-a megújuló energia legyen. Az európai megújulóenergia-ágazatban jelentős jelenléttel rendelkező legnagyobb és legfontosabb vállalatok közé tartozik a spanyol Iberdrola, az olasz Enel Group, a lengyel Orsted és a dán Vestas (Azfal, M. 2023).

Végeztünk egy felmérést 10 vállalat vizsgálatával, a kutatásban szereplő valamennyi vállalat jelentős szereplője az

10. ábra
Az energiaátalakítási technológiákba történő beruházások világszerte, 2004-2022



Forrás: Statista (2023) alapján készített saját grafikon

európai energiaágazatnak, jelen vannak a hagyományos energiatermelés, a megújuló energiaforrások fejlesztése, az energiaelosztás és az egyéb szolgáltatások nyújtása terén. A vállalatok a következők: Iberdrola SA, Vattenfall, Orsted, E.ON, Engie, Vestas, Orlen, Latvenergo, Enel Group és Shell plc, a vizsgált adatok pedig 2013-2022 közötti időtartamot ölelik fel. Megvizsgáltuk, hogy összefügg-e az energiaszektorban működő vállalatok zöld kötvénykibocsátása az adott vállalatok néhány kulcsfontosságú mutatójával. E mérőszámok közül néhány a vállalatok jövedelmezőségéhez, innovatív kompetenciáihoz, valamint CSR- és ESG-mérőszámaihoz és pontszámaihoz, valamint az e területeken végrehajtott beruházási volumenükhöz kapcsolódik. A zöld kötvények kibocsátása ugyanis nemcsak egy finanszírozási forrás, hanem a jobb környezetvédelmi teljesítmény kimutatására szolgáló eszköz is. Az energiaszolgáltatók zöld kötvény kibocsátása az egyik fontos mutatója annak, hogy mennyire elkötelezettek a fenntarthatóság iránt és mennyire vesznek részt aktívan a megújuló energiaforrások fejlesztésében. Az előzetes adatfelmérésünk szerint jelentős részarányban bocsátanak ki zöld kötvényeket, és így aktívan hozzájárulnak a fenntartható energiaforrások fejlesztéséhez és támogatásához a következő cégek: Orsted, Iberdrola (nagy arányú zöld kötvény a többi céghez képest), E.ON, Engie.

A fent említett vállalatokra vonatkozó adatokat hivatalos kiadványaikból gyűjtöttük össze; éves jelentések, pénzügyi kimutatások és nem pénzügyi kimutatások,

egy 10 éves időszakból, 2013-tól 2022-ig. A beszámoló adatok mellett ESG-kockázati pontszámot és zöld kötvény kibocsátási arányt vizsgáltunk. Az SPSS statisztikai szoftverben klaszteranalízissel képzett csoportok részben alátámasztották a feltételezéseinket. Mivel a statisztikai elemzés jelen cikk szempontjából kiegészítő információt szolgáltat, mintegy példaként a fogalmi feltáró kutatási területhez, ezért – valamint terjedelmi korlátok miatt – most csak az eredmények átfogó interpretálására kerül sor.

Az SPSS-elemzés kimeneti táblázataiból látható, hogy a tíz vállalatot három végső klaszterre osztották, azonban a Shell egyedül egy teljes klaszter képvisel. A modell célja, hogy olyan klasztereket hozzon létre, amelyek a hasonlóság tekintetében a lehető legtávolabb vannak egymástól, miközben a klasztereken belül megmarad a homogenitás. A klaszterek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat

Klasztertagság

Eset ssz.	Cégnév	Klaszter	Távolság
10	Iberdrola	1	76 244,346
20	Vattenfall	3	35 023,491
30	Orsted	3	15 986,425
40	E.on	1	67 187,396
50	Engie	1	71 311,979
60	Vestas	3	28 232,115
70	Orlen	3	49 008,320
80	Latvenergo	3	43 570,507
90	Enel Group	1	59 946,893
100	Shell	2	,000

Forrás: saját szerkesztés SPSS kimeneti táblák alapján (2024)

A klaszterek meghatározásában a legjelentősebb tényezők az üvegházhatású gázok kibocsátása, a nettó nyereség, a

3. táblázat

Magyarázott teljes variancia

Komponens	Kezdeti érték			Faktoranalízis utáni érték	
	Sajátérték	Faktor varianciarányad %	Összesített varianciarányad %	Sajátérték	Faktor varianciarányad %
1	13,155	41,111	41,111	13,155	41,111
2	5,359	16,746	57,857	5,359	16,746
3	4,838	15,118	72,975	4,838	15,118
4	3,220	10,061	83,036	3,220	10,061
5	2,037	6,365	89,401	2,037	6,365
6	1,772	5,538	94,939	1,772	5,538
7	,958	2,993	97,932		
8	,662	2,068	100,000		

Forrás: saját szerkesztés SPSS alapján (2024)

bevételek, az EBITDA, az EBIT, a működésből származó CF, a beruházási tevékenységből származó CF, a finanszírozási tevékenységből származó CF, az eszközök, a kötelezettségek és a saját tőke voltak. A klaszterek elemzésekor fontos, hogy mélyebben megvizsgáljuk ezeket a jellemzőket és azt, hogy hogyan befolyásolták a különböző klasztereket.

A 3. táblázatban (Total Variance Explained (magyarított teljes variancia)) látható, hogy hány főkomponensre lenne szükség ahhoz, hogy az attribútumokat olyan csoportokba lehessen sorolni, amelyek meg tudják magyarázni a klaszterek közötti varianciákat. Ebből a táblázatból kiderül, hogy mindössze 6 komponens elegendő lenne a klaszterek kiválasztásához, és ez a 6 komponens elegendő lenne a varianciák magyarázatához.

A Shell külön klasztert alkot, melyet részben az magyaráz, hogy ő rendelkezik a legnagyobb értékekkel a pénzügyi teljesítményt, a bevételeket, a pénzforgalmat és a nettó nyereséget, valamint a mérlegtételeket, például az eszközöket illetően, a legtöbb működési szegmenst és érintett országot is magáénak tudhatja. Nála a legmagasabb az üvegházhatású gázok kibocsátása, a vállalat által termelt hulladék mennyisége is jelentősen magasabb volt, mint a 8 másik vállalat esetében (az Enel kivételével). Pénzügyi kimutatásaiban közlést tesz, hogy zöld projekteket finanszíroz és fenntartható befektetésekkel rendelkezik, az elmúlt 10 évben kibocsátott zöld kötvények pontos értéke azonban nem áll rendelkezésre. Továbbá, ha a Shell ESG-rangsorát nézzük, egyértelmű, hogy az jelentősen rosszabb volt, mint bármely más vállalat rangsora: a Shell volt az egyetlen vállalat, amely a CDP klímaváltozási rangsorában „B” minősítést kapott, és az egyetlen, amely az ISS ESG vállalati minősítésében „C+” minősítést kapott. Emellett a vállalat ESG-kockázati besorolása is a legmagasabb az összes vállalat közül, 34-es értékkel. Ez arra enged következtetni, hogy a vállalat nehezen tud lépést tartani az ágazat fenntarthatósági trendjeivel és követelményeivel. Mindezek alapján külön klaszterbe került. Finanszírozási szempontból nincs szüksége a zöld kötvény finanszírozásra, azonban a Shell az elmúlt években számos zöld startupot vásárolt, ami szintén tényező lehet a jobb környezetvédelmi teljesítmény elérésében.

Az 1. klaszter a következő vállalatokat foglalja magában: Iberdrola, E.on, Engie és Enel Group. Összességében ezek a vállalatok jelentős pénzügyi teljesítménnyel, számos működési területtel és profillal rendelkeznek, és meglehetősen sok országban tevékenykednek. A likviditásuk alacsonyabb, EBITDA és nyereség szintjük is kisebb a Shell-hez képest, zöld kötvény kibocsátás nélkül is fenntartható lenne a működésük. Az 1. klaszterbe tartozó vállalatok ESG és fenntarthatósággal kapcsolatos pontszámait tekintve valamennyi vállalat legalább A- minősítéssel rendelkezik a CDP klímaváltozásra vonatkozó minősítésében, legalább B minősítéssel az ISS ESG vállalati minősítésében, és AA vagy AAA minősítéssel az MSCI-től. Tehát az 1. klaszterre vonatkozó következtetésként elmondható, hogy a klaszterbe tartozó vállalatok szilárd pénzügyi háttérrel rendelkeznek, a legtöbb esetben pozitív és elegendő mennyiségű nyereséggel működnek,

és rövid távon többé-kevésbé likvidek. Az is egyértelmű, hogy e vállalatok fenntarthatósági és ESG-vel kapcsolatos adatai jobbak, mint a Shellé. Ezek a vállalatok azonban a zöld kötvények kibocsátását eszközként is felhasználhatják arra, hogy javítsák a fenntarthatósággal kapcsolatos hírnevüket és pontszámaikat.

A 3. klaszterbe a Vattenfall, az Orsted, a Vestas, az Orlen és a Latvenergo tartozik. Elmondható, hogy e klaszter vállalatai lényegesen kisebbek, mint az 1. és 2. klaszter vállalatai, és ez pénzügyi teljesítményükben is tükröződik. Az Orlen egyfajta kivételnek tűnik a csoportban, mivel ez az egyetlen olyan vállalat, amely hagyományosan olajfinomító vállalat, és még mindig rendelkezik ezzel a profillal. A többi vállalat mind más területekre specializálódott, némelyikük elsősorban a fenntartható energiaforrásokra. Néhány vállalat csak nagyon kevés profillal rendelkezik, például a Vestas a szélturbinák gyártására és telepítésére specializálódott, és bár van néhány más tevékenysége is, ez a fő fókusz. Az országok átlagos száma, amelyekben a vállalatok tevékenykednek, 37, ami meglehetősen magasnak tűnik, de ez a szám a vállalatok között változik, az Orlen és a Vestas esetében nagyon magas, a Vestas és a Latvenergo esetében pedig például 10 alatti, alacsony számok vannak. Közös jellemzőjük azonban, hogy a nettó nyereség ebben a klaszterben a legalacsonyabb. Ez a tendencia az EBITDA, az EBIT, a mérlegtételek és a pénzforgalom kapcsán is megfigyelhető. A fenntarthatósági intézkedések tekintetében a 3. klaszter rendelkezik a legjobb értékekkel. A klaszter átlagos üvegházhatásúgáz-kibocsátása mindössze 36,6 millió tonna volt, szemben a többi klaszter 113 és 1240 tonnájával. A másik fontos fenntarthatósági intézkedés, a hulladéktermelés tekintetében a 3. klaszter jóval az 1. és 2. klaszter alatt van. A vállalatok által a 10 év alatt termelt átlagos hulladék mennyisége 0,17 millió tonna volt. Ezek a számok abból is adódhatnak, hogy kisebb vállalatokról van szó, de azt is figyelembe kell venni, hogy a 3. klaszterbe olyan vállalatok is tartoznak, amelyek 70-90 országban vannak jelen. Úgy tűnik tehát, hogy a 3. klaszterbe tartozó vállalatok jobb eredményeket érnek el a fenntarthatósággal kapcsolatos területeken, mint az 1. és 2. klaszterbe tartozó vállalatok.

A 3. klaszterbe tartozó vállalatok minősítései is meglehetősen pozitívak, de nem különböznek annyira az 1. klaszterbe tartozó vállalatokétól. Legtöbbjük A- és A pontszámot kapott a CDP éghajlat-változási pontszámára, A és B+ pontszámot az ISS ESG vállalati pontszámára, és A-tól AAA-ig terjedő pontszámot az MSCI ESG minősítésére. Az ESG kockázati minősítést illetően a pontszámuk 17 és 26 között van, ami mind az alacsony és közepes kategóriába tartozik. A 3. klaszterbe tartozó vállalatoknál voltak tehát a legalacsonyabbak a pénzügyi mutatók, mint például a nettó nyereség, amely néhány esetben valóban azt jelenti, hogy kiegészítő finanszírozásra szorulnak, és a zöld kötvény kibocsátása ennek a problémának a megoldása lehet. Annál is inkább, mivel úgy tűnik, hogy ezek a vállalatok jobban kezelik az ESG-vel és a fenntarthatósággal kapcsolatos kihívásokat, mint az 1. és 2. klaszterbe tartozó vállalatok. Emellett e vállalatok számos olyan zöld projektet valósítottak meg, amelyek finanszírozásra szo-

ultak, és ehhez a zöld kötvényekből származó forrás minden szempontból megfelelő és indokolt.

A fenti elemzésből látható, hogy a jó pénzügyi teljesítményt jelző klaszterek rosszabb környezetvédelmi teljesítményt nyújtottak, mint azok, amelyeknek alacsonyabb pénzügyi mutatókkal rendelkeztek. Továbbá úgy tűnik, hogy a nagyobb volumenű zöld kötvények nem feltétlenül jelentik azt, hogy a vállalat jobb környezetvédelmi teljesítményt nyújt, mint az alacsonyabb volumenű vállalatok. Idővel azonban ez segíthet abban, hogy a vállalatok jobb környezetvédelmi teljesítményt érjenek el a zöld kötvények kibocsátásával, mivel ez megfelelően támogatja a környezetvédelmi projektekre való befektetéseket.

Összességében – az elvárásokat és vállalati teljesítményeket is tekintve – az innovációs potenciál a fenntartható energiagazdálkodásban alapvető fontosságú az emberiség számára, ahogy a globális energiaigények növekednek és a klímaváltozás kihívásai egyre sürgetőbbé válnak. Az új technológiák és megoldások folyamatos fejlesztése és elterjesztése lehetővé teszi, hogy fenntarthatóbb és tisztább jövőt építsünk fel, ahol az energiaforrásokat takarékosabban és környezetbarátabban használjuk.

Összefoglalás

A fenntarthatóság témaköre mára megkerülhetetlen fogalomként vált. Ahhoz, hogy a végcélhoz eljuthassunk, abban nagy szerepet játszanak a politikai döntéshozók és az általuk kialakított energiastratégiák és jogszabályok. Hiszen minden döntés következménnyel jár, melynek előzetes felmérése az energetikai rendszerek komplexitása miatt rendszerszemléletet és holisztikus megközelítést igényel, hogy azoknak a gazdasági, társadalmi, környezeti és természeti rendszerekkel való kölcsönhatásait megfelelően értékelhessük és átfogó képet kaphassunk arról, vajon döntéseinkkel végső soron min javítottunk és min rontottunk. Mivel szigorúan véve teljesen fenntartható energiagazdálkodás csak elméletben létezik, döntéseinknek mindig lesz negatív következménye, a kérdés már csak az, hogy adott esetben melyik oldal (dimenzió) szempontjait helyezük előtérbe. Összetett kérdés összetett megoldásért kiált. Ez a dilemma – pontosabban trilemma – pedig a fenntartható energiagazdálkodás legnagyobb kihívása. Az energiapolitika így ebben a szempontrendszerben keresi az egyensúlyt a felállított megfogható és mérhető részcélokon keresztül a három lehetőség közötti gyakori választás kényszerűsége miatt.

Míg a korábbi energiaátmenetek főként technológiai és gazdasági fókuszúak voltak, addig korunk fenntartható energiaátmenete a hosszú távú fenntarthatóságot célozza meg, azaz olyan rendszerek kialakítását, amelyek a jelenlegi és a jövőbeli várható szükségletek kielégítését is lehetővé teszik.

E jövőkép szempontjából az innováció az egyik kulcsszereplője a fenntartható energiagazdálkodás fejlesztésének. Az innovációs potenciál ebben a kontextusban azt jelenti, hogy mennyire képes az energiagazdálkodási szektor új, fenntartható technológiák, megoldások és eljárások kidolgozására és bevezetésére, mely új lehetőségeket

teremthetnek a hatékonyabb és tisztább energiatermelésre és felhasználásra. Tehát a fenntartható energiagazdálkodásban való előrehaladás érdekében elengedhetetlen, hogy folyamatosan fejlesszük és alkalmazzuk az innovatív megoldásokat és technológiákat.

Felhasznált irodalom

- Aranyossy, M. (2011). Az információtechnológia üzleti értékének nyomában. *Hitelintézeti Szemle*, 10(6), 554–574. https://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1218/1/HSZ_0611_554_574_Aranyossy.pdf
- Azfal, M. (2023). 15 Biggest Renewable Energy Companies in Europe. *Yahoo Finance* [Online.] <https://finance.yahoo.com/news/15-biggest-renewable-energy-companies-230346306.html>
- Brown, A., Beiter, P., Heimiller, D., Davidson, C., Denholm, P., Melius, J., Lopez, A., Hetteringer, D., Mulcahy, D., & Porro, G. (2016). *Estimating Renewable Energy Economic Potential in the United States. Methodology and Initial Results*. <https://doi.org/10.2172/1215323>
- Bukovics, I., Besenyey, M., Földi, L., & Rakonczai, É. (2014). *Felelős gazdálkodás: A fenntarthatóság gazdálkodási vonatkozásai*. Nemzeti Közzolgálati Egyetem. <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/100372/46.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caradonna, J.L. (2022). *Sustainability: A history*. Oxford University Press.
- Deutsch, N. (2013). Fenntartható innovációk rendszerinnovációs potenciáljának vizsgálati keretrendszerei. In Inzelt A. & Bajmócy Z. (szerk.), *Innovációs rendszerek: Szereplők, kapcsolatok és intézmények* (pp. 196–215). JATEPress.
- Dinya, L. (2010). Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. *Magyar Tudomány*, 171(8), 912–925. https://www.epa.hu/00600/00691/00080/pdf/mtud_2010_08_912-925.pdf
- Energy Institute. (2023). *Statistical Review of World Energy 2023*. Energy Institute. https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf
- ENSZ Környezetvédelmi Programja (2023). *Green Finance Case Study in Energy and Industry*. <https://www.unepfi.org/industries/banking/energy-and-industry-green-finance-case-studies/>
- EUR-Lex. (n.d.). *Az EU jogszabályainak összefoglalása. Fenntartható fejlődés*. Publication Office of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/HU/legal-content/glossary/sustainable-development.html>
- Fouquet, R., & Pearson, P. J. G. (2012). Past and prospective energy transitions: Insights from history. *Energy Policy*, 50, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.014>
- Goswami, D. Y., & Kreith, F. (2017). *Energy Conversion* (2nd ed.). CRC Press.
- Gunnarsdottir, I., Davidsdottir, B., Worrell, E., & Sigurgeirsdottir, S. (2021). Sustainable energy development:

- History of the concept and emerging themes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110770. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110770>
- Gyulai, I. (2012). *A fenntartható fejlődés*. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány.
- Herczeg, B., Pintér, É., & Bagó, P. (2023). How green and digital transformation shapes industries. *Veze-téstudomány/Budapest Management Review*, 54(5), 51–63. <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2023.05.05>
- IEA, IRENA, UNSD, Bank, W., & WHO. (2023). *Tracking SDG7. The Energy Progress Report 2023*. International Energy Agency. https://reliefweb.int/report/world/2023-tracking-sdg7-report-enarruzh?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwrKu2BhDkARIsAD7GBoudR-TMVCCO-Uyntzo4QxAFtrA9P-1WN1WjJnIGvcvLSLurTW2QhemkaAvljEALw_wcB
- International Atomic Energy Agency. (2000). *The Annual Report for 1999* (Vol. GC(44)/4). <http://www.iaea.org/worldatom>
- International Atomic Energy Agency. (2002). *Indicators for sustainable energy development* (Vols. 02-01570/). <https://www.iaea.org/sites/default/files/indicators.pdf>
- International Atomic Energy Agency. (2005). *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. International Atomic Energy Agency. <http://www.iaea.org/Publications/index.html>
- International Atomic Energy Agency. (2007). *Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania Mexico, Russian Federation, Slovakia and Thailand*. https://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy_indicators/full_report.pdf
- International Energy Agency. (2019). *Energy Transitions Indicators*. <https://www.iea.org/articles/energy-transitions-indicators>
- Mihíć, M.M., Dodevska, Z.A., Todorović, M.L., Obradović, V.L., & Petrović, D.Č. (2018). Reducing Risks in Energy Innovation Projects: Complexity Theory Perspective. *Sustainability*, 10(9), 2968. <https://doi.org/10.3390/su10092968>
- Miller, C.A., Richter, J., & O’Leary, J. (2015). Socio-energy systems design: A policy framework for energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 6, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.11.004>
- Molnár, S. (2021). *Energetikai alapismeretek*. Magyar Mérnöki Kamara.
- Munasinghe, M. (2004). Sustainable Development: Basic Concepts and Application to Energy. In *Encyclopedia of Energy* (pp. 789–808). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00441-1>
- Munkácsy, B. (2018). *Energiaföldrajz és energiatervezés*. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajztudományi Központ.
- Prandecki, K. (2014). Theoretical Aspects of Sustainable Energy. *Energy and Environmental Engineering*, 2(4), 83–90. <https://doi.org/10.13189/eee.2014.020401>
- Rybak, A., Rybak, A., & Kolev, S.D. (2021). Analysis of the EU-27 Countries Energy Markets Integration in Terms of the Sustainable Development SDG7 Implementation. *Energies*, 14, 7079. <https://doi.org/10.3390/en14217079>
- Schiederig, T., Tietze, F., & Herstatt, C. (2012). Green innovation in technology and innovation management – an exploratory literature review. *R&D Management*, 42(2), 180–192. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00672.x>
- SE4ALL. (n.d.). *Our work*. <https://www.seforall.org/our-work>
- Smil, V. (2017). *Energy Transitions: Global and National Perspectives* (2nd ed.). Praeger.
- Smil, V. (2018). *Energy and Civilization*. MIT Press.
- Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>
- Statista (2023). *Global Investment in Energy Transition 2004-2022* [Online]. <https://www.statista.com/statistics/1201435/global-investment-in-energy-transition/>
- Tester, J. W. (2012). *Sustainable energy: Choosing among options* (2nd ed.). MIT Press.
- United Nations Development Programme. (2000). *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*. United Nations. <https://www.undp.org/publications/world-energy-assessment-energy-and-challenge-sustainability>
- United Nations Statistical Commission. (2017). *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development Goals and targets* (Issue A/RES/71/313).
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- World Conference of Scientific Academies. (2000). *IAP Statement on Transition to Sustainability*. <https://www.interacademies.org/statement/iap-statement-transition-sustainability>
- World Energy Council. (n.d.). *Our History*. <https://www.worldenergy.org/centenary/our-history>
- World Energy Council. (2008). *Assessment of Energy Policy and Practices*. World Energy Council. https://www.worldenergy.ch/file/Publikationen/Aktuell/Assessment_Energy_Policy_Practices.pdf
- World Energy Council. (2011). *Policies for the future. 2011 Assessment of country energy and climate policies*. World Energy Council. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/PUB_wec_2011_assessment_of_energy_and_climate_policies_2011_WEC.pdf
- World Energy Council. (2016). *World Energy Trilemma Index 2016. Benchmarking the Sustainability of National Energy System*. World Energy Council. <https://www.worldenergy.org/publications/entry/2016-energy-trilemma-index-benchmarking-the-sustainability-of-national-energy-systems>
- Zlinszky, J., & Balogh, D. (2016). *Világunk átalakítása. A fenntartható fejlődés 2030-ig megvalósítandó programja*. Pázmány Press.