

Zöld hidrogén földgázba keverése

Gazdasági modell

Modellezési eredmények

Tartalomjegyzék

Vezetői összefoglaló	4
Fő modellezési eredmények összefoglalása.....	4
Bekeverés megtérülését eredményező árkörnyezetek	6
Bekeverés rendszerszintű egyenlegét meghatározó tényezők	7
Hazai földgázigény csökkenésének hatása a bekeverés megtérülésére	9
Bekeverési arány változásának hatása a bekeverés megtérülésére	11
Modellezési alapelvek és vizsgált forgatókönyvek összefoglalója.....	13
Modellezési alapelvek	13
Vizsgált forgatókönyvek	16
Elemzési eredmények	19
Teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve	22
Hidrogén igény gázcsere esetén.....	22
Gázcsere egyenlege	24
Bekeverési infrastruktúra ráfordítása	25
Bekeverés egyenlege.....	26
Energiatartalom visszaállítása	27
Rendszerszintű egyenleg	29
Egyéb rendszerszintű hatások	31
Importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve	32
Hidrogén igény gázcsere esetén.....	32
Gázcsere egyenlege	34
Bekeverési infrastruktúra ráfordítása	35
Bekeverés egyenlege.....	37
Energiatartalom visszaállítása	38
Rendszerszintű egyenleg	40

Egyéb rendszerszintű hatások	42
Importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve.....	43
Hidrogén igény gázcsere esetén.....	43
Gázcsere egyenlege	45
Bekeverési infrastruktúra ráfordítása	46
Bekeverés egyenlege.....	48
Energiatartalom visszaállítása	49
Rendszerszintű egyenleg.....	51
Egyéb rendszerszintű hatások	53

Vezetői összefoglaló

A „Hidrogén földgázba keverése” üzleti modellezés során a hidrogén hazai földgázszállító-rendszerbe keverésének vizsgálatára került sor, különböző földgáz és hidrogén árak, bekeverési forgatókönyvek és bekeverési arányok mentén. Az elemzés középpontjában a bekeverés műszaki és gazdasági aspektusainak vizsgálata, illetve a bekeverés megtérülésének számítása áll.

Fő modellezési eredmények összefoglalása

A hidrogén földgázszállító-rendszerbe keverése a reális földgázár-tartományban csak támogatás mellett lehet megtérülő

- A hidrogén földgázrendszerbe keverésének megtérülését (rendszerszintű egyenlegét) elsődlegesen **meghatározó tényező az eredeti energiatartalom visszaállítása** a gázcserét követően, mely a gázelegy mennyiségének növelését igényli.
- A **bekeverés csak támogatás mellett lehet megtérülő** az itthon elérhető **9-10 EUR/kg zöld hidrogén előállítási költség** mellett, a reális földgázár-tartományban.
- **Hosszabb távon** az itthon elérhető **4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a megtérüléshez 120-140 EUR/MWh földgázár szükséges**, amely olyan magas, hogy **jelentős negatív hatást gyakorol a gazdaság egészére**, a nagy fogyasztók tevékenységére, ily módon a földgáz- és hidrogénigényére.
- A hidrogén földgázrendszerbe keverésének megtérülését (rendszerszintű egyenlegét) csak nagyon kis mértékben befolyásolja a bekeverési infrastruktúra ráfordítása, így a **beruházási és működési támogatás nem alkalmas ösztönzőnek**.
- A **leginkább kedvező hazai bekeverési forgatókönyv az, ha a hazai bekeverés aránya alkalmazkodik az import földgázba határon túl bekevert hidrogén arányához**, mivel ez esetben jelentkezik a legkisebb támogatási igény.

- A bekeverés támogatási igénye csökken, amennyiben a földgázigény a forrásszerkezet (importarány) megtartása mellett csökken vagy a bekeverési arány alacsonyabb.

A hazai bekeverés megvalósítása esetén az importhoz igazodó forgatókönyv alkalmazása javasolt, vagyis a hazai bekeverés arányát igazítani célszerű az import földgázhoz határon túl hozzáadott hidrogén arányához. A forgatókönyvek elemzésének főbb következtetései a következők.

Nem javasolt az a bekeverési forgatókönyv, melyben a teljes hidrogén mennyiség hazai hozzáadásból kerül fedezésre, hidrogénmentes import mellett.

- A jelenlegi földgázárak mellett a bekeverés támogatási igénye jelentős.
- A hazai zöld hidrogén igény magas, előállítása jelentős mértékű és többféle megújulóenergia-termelő kapacitást igényel.
- A jelenlegi földgázárak mellett a megtérüléshez szükséges zöld hidrogén árak csak jelentős támogatás mellett érhetők el.

Javasolt az importhoz igazodó bekeverési forgatókönyv, melyben a hazai bekeverési aránya alkalmazkodik az import földgázba határon túl hozzáadott hidrogén arányához.

- A földgázba kevert hidrogén várhatóan megjelenik az importban az európai szabályozások hatására.
- A jelenlegi földgázárak mellett a bekeverés támogatási igénye alacsonyabb a többi forgatókönyvhöz képest.
- A hazai zöld hidrogén igény alacsony.

Nem javasolt az a bekeverési forgatókönyv, melyben hazai bekeverési arány meghaladja az import földgázba határon túl hozzáadott hidrogén arányát.

- A forgatókönyv hatásai hasonlóak a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyvéhez, azonban mértékük jelentősebb

Bekeverés megtérülését eredményező árkörnyezetek

A bekeverés szempontjából megtérülő árkörnyezetek eltérnek, attól függően, hogy a bekeverés során csak a földgáz és hidrogén gázok cseréje zajlik, vagy az eredeti energiatartalom visszaállítása is megtörténik (gázelegy mennyiségének növelése, hogy energiatartalma megegyezzen a gázcsere előtti, tiszta földgáz energiatartalmával).

Gázcsere esetén a földgáz mennyiségi alapon kerül kiváltásra hidrogénnel. Az egyenleg alacsonyabb árkörnyezetben is pozitív, viszont a teljes energiatartalom lecsökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt.

Költség- előny		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20									
	40									
	60									
	80									
	100									
	120									
	140									
	160									
	180									

1. ábra: Gázcsere esetén megtérülő árkörnyezetek
Egységnyi földgáz kiváltása hidrogénnel **alacsonyabb** / **magasabb** költséggel jár

Az energiatartalom megtartása melletti bekeveréshez a gázelegy mennyiségének növelése szükséges. A megtérülés magasabb árkörnyezetben reális a pótlólagos mennyiség fedezése miatt.

Az energiatartalom megtartása mellett legalább 60 EUR / MWh földgázár esetén váltható ki a földgáz gazdaságosan hidrogénnel.

Költség- előny		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20									
	40									
	60									
	80									
	100									
	120									
	140									
	160									
	180									

2. ábra: Energiatartalom megtartás esetén megtérülő árkörnyezetek
Egységnyi földgáz kiváltása hidrogénnel **alacsonyabb** / **magasabb** költséggel jár

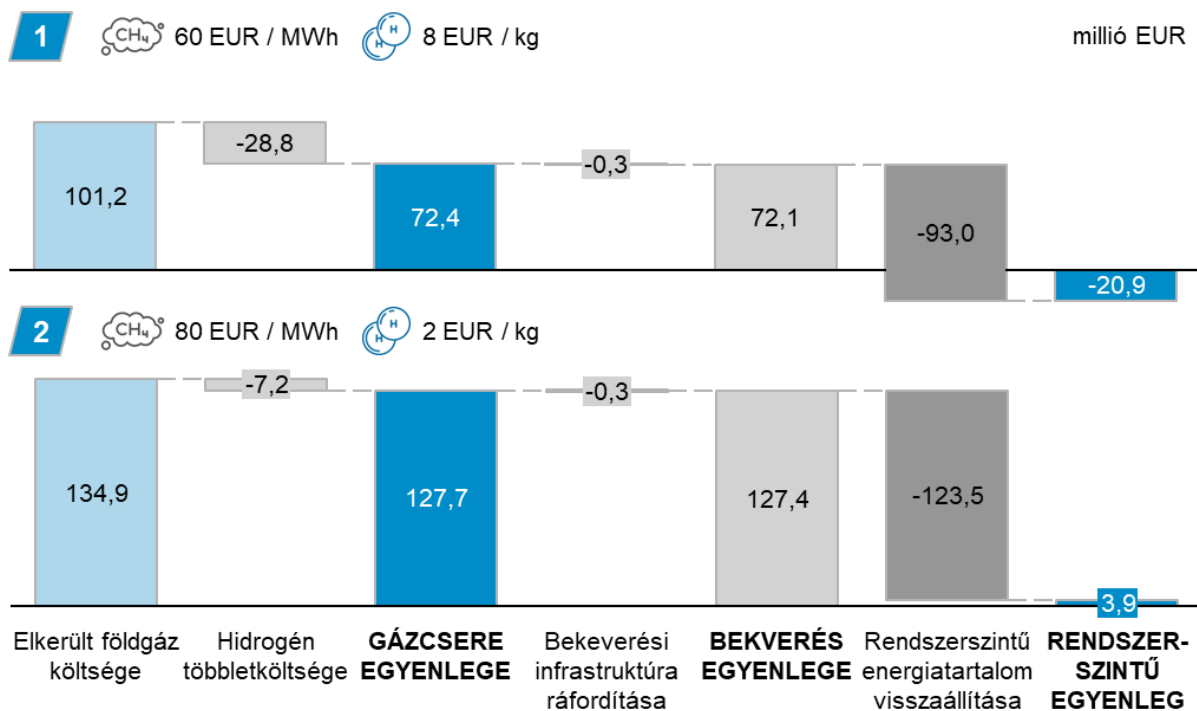
Bekeverés rendszerszintű egyenlegét meghatározó tényezők

Az alfejezetben közölt számítási eredmények a következő paraméterek mentén álltak elő: 2% bekeverési arány, 10 milliárd m³ földgázfelhasználás, 80% importarány a földgázellátásban, 2% hidrogén tartalom az import földgázban.

A bekeverés rendszerszintű egyenlege figyelembe veszi a gázcsere egyenlegét (a kiváltott földgáz elkerült költségét és a hozzáadott hidrogén beszerzési költségét), a bekeverési infrastruktúra ráfordítását, valamint a gázelegy energiatartalmának visszaállítási költségét (a gázelegy mennyiségének növeléséhez kapcsolódó pótlólagos hidrogén és földgáz költségét). A rendszerszintű egyenleg fedi le a hidrogén bekeverésének – modell keretei között értelmezett – összes gazdasági hatását. **A rendszerszintű egyenleg mutatja meg, hogy különböző földgáz és hidrogén árak mellett a hazai szállítórendszer egészére kiterjedő bekeveréssel**

éves szinten mekkora megtérülés érhető el. A negatív rendszerszintű egyenleg jelentése, hogy a hidrogén bekeverés csak veszteség mellett valósítható meg, tehát támogatási igény jelentkezik. A pozitív rendszerszintű egyenleg jelentése, hogy a bekeverés nyereség mellett valósítható meg, tehát megtérül.

A hidrogén bekeverés megtérülésének vizsgálata során elemzett három egyenleg és az őket meghatározó tényezők láthatók a 3. ábrán, két különböző árkörnyezetben.



3. ábra: A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege (millió EUR)
(felül: 60 EUR/MWh földgázár, 8 EUR/kg hidrogénár;
alul: 80 EUR/MWh földgázár, 2 EUR/kg hidrogénár)

A bekeverés megtérülésének fő vizsgálati eredményei a következők:

- **A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlegét elsősorban az energiatartalom visszaállításának költsége határozza meg.**
- **A bekeverési infrastruktúra ráfordítása nagyon alacsony hatást gyakorol a rendszerszintű egyenlegre.**

A modellezés során a rendszerszintű CO₂ kvóta megtakarítás (mely az ETS érintett földgáz felhasználóknál jelentkezik) és zöld hidrogén származási garancia értéke

(mely a hazai zöld hidrogén termelőknél jelentkezik) is meghatározásra került. A hazai bekeveréssel keletkező rendszerszintű CO₂ kvóta megtakarítás értéke közel megegyezik a hazai előállítású zöld hidrogén GO értékével.

Hazai földgázigény csökkenésének hatása a bekeverés megtérülésére

Az alfejezetben közölt számítási eredmények a következő paraméterek mentén álltak elő: 2% bekeverési arány, 8 milliárd m³ földgázfelhasználás, változó importarány a földgázellátásban, 2% hidrogén tartalom az import földgázban.

A magas energiaárak és az energiahatékonyság növekedése miatt a hazai földgázfogyasztás csökkenése várható. A hazai földgázfelhasználás változása, valamint a földgázellátás szerkezetének megváltozása (hazai termelés és import arányának eltolódása) hatással van a hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlegére, azaz a megtérülésre.

A földgázigény csökkenése importhoz igazodó szállítóvezetéki bekeverés esetén:

- **nem változtat a rendszerszintű egyenlegen, amennyiben a mennyiség csökkenése kizárólag az importban jelentkezik;**
- **mérsékli a rendszerszintű egyenleget, amennyiben a mennyiség csökkenése a forrásszerkezete megtartásával, az importban és a hazai termelésben egyaránt jelentkezik.** (A felülvizsgált Nemzeti Energia- és Klímaterv az importarány megtartásával számol.)

A földgázigény csökkenésének hatása a hidrogén bekeverés megtérülésére az eredeti árkörnyezettől függ.

- Megtérülő árkörnyezetben a földgázigény csökkenése kisebb, de pozitív megtérüléshez vezet.
- Nem megtérülő árkörnyezetben a földgázigény csökkenése kevésbé negatív rendszerszintű egyenleget eredményez, tehát csökkenti a támogatási igényt.

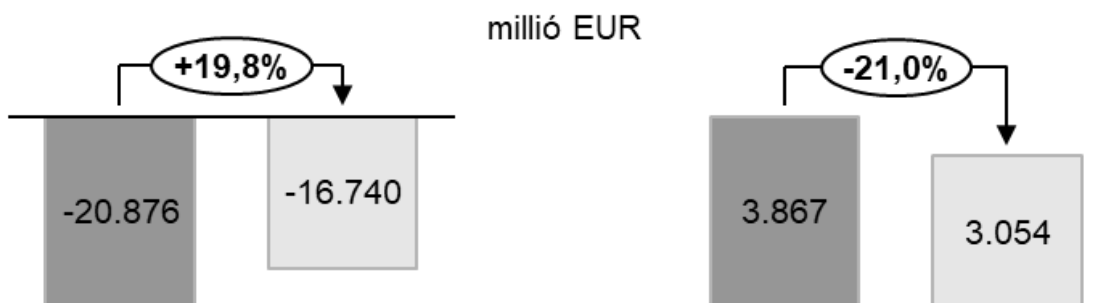
A hazai földgázfelhasználás és földgázellátás szerkezet változásának hatása a bekeverés rendszerszintű egyenlegére látható a 4. ábrán, két különböző árkörnyezetben.



Kizárólag import mennyiség csökkenésének hatása



Forrásszerkezetet (importarányt) tartó csökkenés hatása



Rendszerszintű egyenleg:  Jelenlegi FG-igény  Csökkenő FG-igény

4. ábra: A hazai földgázfelhasználás és földgázellátás szerkezetének változásának hatása a hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlegére (millió EUR)
(balra: 60 EUR/MWh földgázár, 8 EUR/kg hidrogénár;
jobbra: 80 EUR/MWh földgázár, 2 EUR/kg hidrogénár)

Bekeverési arány változásának hatása a bekeverés megtérülésére

Az alfejezetben közölt számítási eredmények a következő paraméterek mentén álltak elő: 5% bekeverési arány, 10 milliárd m³ földgázfelhasználás, 80% importarány a földgázellátásban, 5% hidrogén tartalom az import földgázban.

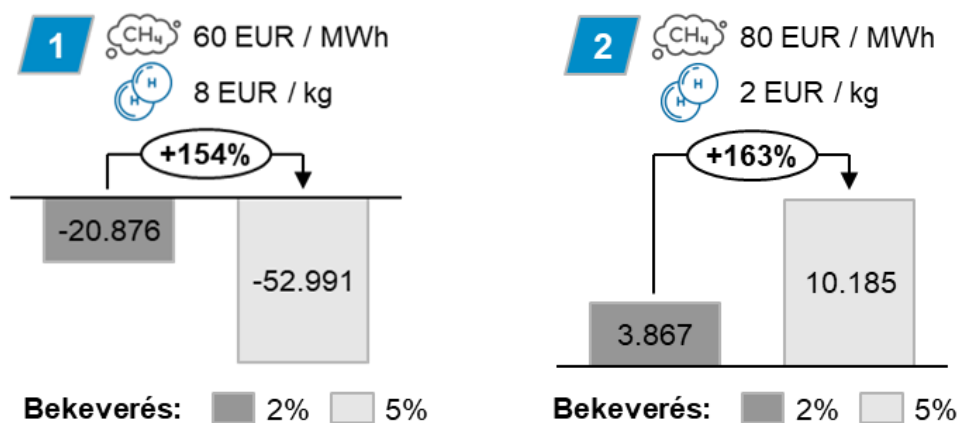
A bekeverés rendszerszintű egyenlege jelentősen függ a hidrogén bekeverési arányától. A megtérülésre gyakorolt hatás fő vizsgálati eredményei a következők:

- **A bekeverési arány növelése nem változtatja meg a megtérülő árkörnyezetet.**
- **A bekeverési arány növelése esetén a rendszerszintű egyenleg abszolút értéke növekszik, tehát a negatív egyenlegek kedvezőtlenebb, a pozitív egyenlegek kedvezőbb értéket vesznek fel.**
- A rendszerszintű egyenleg változása arányos a bekeverési arány változásával, annak megfelelően skálázódik (pl. kétszeres bekeverési arány hozzávetőleg kétszerező hatással van az egyenlegre).
 - Ennek oka, hogy elsősorban a gázok ára határozza meg a megtérülést, és az infrastruktúra méretének és költségének hatása jóval kisebb.

Rendszer- szintű egyenleg millió EUR		Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Földgáz ár EUR / MWh	20	-11,8	-21,1	-30,4	-39,7	-49,0	-58,4	-67,7	-77,0	-86,3
	40	-4,5	-13,8	-23,1	-32,4	-41,7	-51,0	-60,3	-69,6	-78,9
	60	2,9	-6,5	-15,8	-25,1	-34,4	-43,7	-53,0	-62,3	-71,6
	80	10,2	0,9	-8,4	-17,7	-27,0	-36,3	-45,7	-55,0	-64,3
	100	17,5	8,2	-1,1	-10,4	-19,7	-29,0	-38,3	-47,6	-56,9
	120	24,9	15,5	6,2	-3,1	-12,4	-21,7	-31,0	-40,3	-49,6
	140	32,2	22,9	13,6	4,3	-5,0	-14,3	-23,7	-33,0	-42,3
	160	39,5	30,2	20,9	11,6	2,3	-7,0	-16,3	-25,6	-34,9
	180	46,9	37,5	28,2	18,9	9,6	0,3	-9,0	-18,3	-27,6

5. ábra: A bekeverés rendszerszintű egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén (millió EUR)

Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**



6. ábra: A bekeverési arány növekedésének hatása a rendszerszintű egyenlegre (millió EUR)

(balra: 60 EUR/MWh földgázár, 8 EUR/kg hidrogénár;
jobbra: 80 EUR/MWh földgázár, 2 EUR/kg hidrogénár)

Modellezési alapelvek és vizsgált forgatókönyvek összefoglalója

Modellezési alapelvek

A modell kialakítását a modellezési célokra túl a modell felépítésére, kereteire vonatkozó alapelvek határozzák meg.

A modellezési koncepcióra vonatkozó alapelvek:

- **A hidrogén földgázba keverésének vizsgálata a hazai földgázszállító-rendszer szintjén történik.**
- A hidrogén bekeverése a földgázszállító-rendszer meghatározott pontján történik, a betáplálási pontok száma adott.
- A modellben **megkülönböztetésre kerülnek az eltérő földgáz források** (import, tranzit, hazai termelés, tárolói vételezés).
- A hidrogén bekeverés **elemzése során a végeredményben vizsgált gázelegy energiatartalma megegyezik az eredeti földgáz energiatartalmával.**
- A bekeverés **vizsgálatának elemei:**
 - **Gázcsere:** A szállítórendszer földgáz forgalmának cseréje mennyiségi alapon, állandó térfogat és az energiatartalom csökkenése mellett, adott hidrogén bekeverési arányú gázelegyre.
 - **Bekeverési infrastruktúra:** A szállítórendszeri bekeveréshez szükséges infrastrukturális háttér létesítése és üzemeltetése.
 - **Energiatartalom visszaállítás:** A szállítórendszer szintű eredeti energiatartalom visszaállítása a gázelegy mennyiségének növelésével, a bekeverési arány megtartása mellett.

A modell tartalmi kereteire vonatkozó alapelvek:

- A hazai bekeveréshez szükséges hidrogén előállítása és szállítása nem képezi a modell részét, a hidrogén a betáplálási helyek bemeneti pontján rendelkezésre áll.

- A hidrogén betáplálási pontokon kiépítendő bekeverési infrastruktúra kialakítása (keverőkör, nyomásszabályozás, helyi tárolás, monitoring) a modell részét képezi.
- A földgázrendszer egészen létesítendő hidrogén monitoring infrastruktúra (összetétel és mennyiség mérés, biztonsági rendszerek) kialakítása nem képezi a modell részét, ezek kiépítése az előkészítés alatt álló szabályozások, valamint a határkeresztező pontokon érkező földgáz várható hidrogén tartalma miatt mindenképpen, hazai bekeverés nélkül is szükséges.
- A földgázszállítással és –elosztással foglalkozó társaságok elszámolási és további adminisztratív, irányítási rendszereinek felkészítése a hidrogénnel kevert földgáz elszámolására nem képezi a modell részét.

A modell a működése során a következő alapvető feltételezésekre épít:

- Az éves gázforgalom havi megoszlása követi az elmúlt öt év forgalmának átlagos havi lefutását. A beállított éves gáz mennyiség ez alapján kerül felosztásra a hónapok között.
- A különböző földgáz források eltérően kezelendők hidrogén bekeverés szempontjából.
 - A hazai termelésből származó földgáz nem tartalmaz hidrogént.
 - Az importból származó földgáz tartalmazhat hidrogént, a szállítórendszerbe érkező import földgáz hidrogén tartalma paramétereként állítható.
 - A szezonális tárolás kezelése nem képezi a modell részét. A tároláshoz a gázelegy a szállítórendszerből a kívánt bekeverési aránynak megfelelő összetételben érkezik, és a hidrogén aránya a tárolás során nem változik.
 - A tranzit forgalom kezelése nem képezi a modell részét. Nincs szállítóvezetéki tranzit forgalom.
- Az importból származó gázelegy az elszámolás során nem kerül megbontásra földgázra és hidrogénre, költsége az energiatartalma alapján a földgáz ára szerint alakul, az összetételétől függetlenül.

- A hidrogén bekeverése összesen négy betáplálási ponton történik, mely a magas nyomásból és jelentős forgalomból kifolyólag elegendő a beállított arány eléréséhez a teljes szállítórendszerben.
- A rendszerüzemeltető számára a bekeveréshez szükséges infrastruktúra létesítési és működtetési költsége tarifában kerülhet megtérítésre.

A bekeverés megtérülésének meghatározása

A modell a hidrogén hazai földgázszállító-rendszerbe keverésének megtérülését három lépcsőben vizsgálja.

1. Gázcsere egyenlege

A gázcsere egyenlegét a földgáz és hidrogén gázok kizárólag mennyiséget figyelembe vevő cseréje során, éves szinten kiváltott földgáz elkerült költsége és a hozzáadott hidrogén beszerzési költsége adja. Az egyenleg nem tartalmazza a bekeverési infrastruktúra ráfordítását, valamint a gázcsere eredményeként előálló gázelegy lecsökkent energiatartalmának visszaállítását. Az egyenleg a földgáz és a hidrogén árkörnyezettől függ.

2. Bekeverés egyenlege

A bekeverés egyenlegét a gázcsere egyenlege és a szállítórendszeri bekeveréshez szükséges infrastruktúra éves ráfordítása határozza meg. Az egyenleg nem tartalmazza a gázcsere eredményeként előálló gázelegy lecsökkent energiatartalmának visszaállítását. Az infrastruktúra ráfordítás mértékét a hidrogén hozzáadás műszaki jellemzői alapján szükséges méretezés határozza meg, a földgáz és hidrogén árkörnyezettől független. A bekeverési egyenleg azonban a magában foglalt gázcsere egyenleg miatt függ a gázok árától.

3. Rendszerszintű egyenleg

A rendszerszintű egyenleget a bekeverés egyenlege és a gázelegy energiatartalmának visszaállítási költsége határozza meg, tehát tartalmazza a bekeverés megtérülését meghatározó összes elemet. Az energiatartalom visszaállítása a gázelegy mennyiségének növelésével – a bekeverési arány

megtartása mellett – a történik, ebből kifolyólag függ a földgáz és hidrogén árkörnyezettől.

A rendszerszintű egyenleg mutatja meg, hogy különböző földgáz és hidrogén árak mellett a hazai szállítórendszer egészére kiterjedő bekeveréssel éves szinten mekkora megtérülés érhető el.

A negatív rendszerszintű egyenleg jelentése, hogy a hidrogén bekeverés csak veszteség mellett valósítható meg, tehát támogatási igény jelentkezik. A pozitív rendszerszintű egyenleg jelentése, hogy a bekeverés nyereség mellett valósítható meg, tehát megtérül.

Vizsgált forgatókönyvek

Az elemzés során három bekeverési forgatókönyv vizsgálatára kerül sor. Ezek elsősorban a hazai bekeverési célérték és a határon beérkező import földgázba kevert hidrogén arányában térnek el.

1. Teljes mértékű hazai bekeverés

A teljes mértékű hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállítórendszerben a meghatározott hidrogén bekeverési arány fenntartása, teljes mértékben saját hidrogén hozzáadással, hidrogént nem tartalmazó földgázimport mellett.

A forgatókönyv elsődleges elemzési kérdései:

- Milyen költségek mellett valósítható meg a teljes mértékű hazai hidrogén bekeverés?
- Milyen hidrogén és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?

A forgatókönyvben a meghatározott bekeverési arány 2%, melyet az import és a hazai termelésű földgázhoz is hozzá szükséges adni. A gázeleggyel kiváltandó földgáz mennyiség 10.000 milliárd m³, melynek 80%-a származik import forrásból.

2. Importhoz igazodó hazai bekeverés

Az importhoz igazodó hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben az import földgázra jellemző hidrogén bekeverési arány fenntartása saját hidrogén hozzáadással.

A forgatókönyv elsődleges elemzési kérdései:

- Előnyösebb az importhoz igazodó hidrogén bekeverés a teljes mértékű hazai bekeveréshez képest?
- Milyen hidrogén és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?

A forgatókönyvben a meghatározott bekeverési arány 2%, melyet kizárólag a hazai termelésű földgázhoz szükséges hozzáadni. A gázeleggyel kiváltandó földgáz mennyiség 10.000 milliárd m³, melynek 80%-a származik import forrásból.

3. Importot meghaladó hazai bekeverés

Az importot meghaladó hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben az import földgázra jellemző hidrogén bekeverési arány növelése saját hidrogén hozzáadással.

A forgatókönyv elsődleges elemzési kérdései:

- Előnyös lehet az importot meghaladó hidrogén bekeverési arány fenntartása?
- Milyen hidrogén és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?

A forgatókönyvben a meghatározott bekeverési arány 5%, az import földgáz hidrogén tartalma 2%. Így a hazai termelésű földgázhoz a teljes mennyiség, az importhoz többlet mennyiség hozzáadása szükséges. A gázeleggyel kiváltandó földgáz mennyiség 10.000 milliárd m³, melynek 80%-a származik import forrásból.

A vizsgált forgatókönyvek összefoglalása látható a 7. ábrán.

	1. Teljes mértékű hazai bekeverés	2. Importhoz igazodó hazai bekeverés	3. Importot meghaladó hazai bekeverés
Cél	Adott H ₂ bekeverési arány fenntartása a hazai földgázszállító-rendszerben, teljes mértékben saját hidrogén hozzáadással, hidrogént nem tartalmazó földgáz import mellett.	Az import földgázra jellemző H ₂ bekeverési arány fenntartása a hazai földgázszállító-rendszerben, saját hidrogén hozzáadással.	Az import földgázra jellemző H ₂ bekeverési arány növelése adott értékre a hazai földgázszállító-rendszerben, saját hidrogén hozzáadással.
Hidrogén bekeverés	Bekeverési arány: 2% - Import földgáz: Teljes H₂ mennyiség hozzáadása szükséges. - Hazai termelés: Teljes H₂ mennyiség hozzáadása szükséges.	Bekeverési arány: 2% - Import földgáz: Nem szükséges H₂ hozzáadás. - Hazai termelés: Teljes H₂ mennyiség hozzáadása szükséges.	Bekeverési arány: 5% - Import földgáz: Többlet H₂ hozzáadása szükséges. - Hazai termelés: Teljes H₂ mennyiség hozzáadása szükséges.
Kiváltandó mennyiség	- Import forrásból: 8.000 Mm³ - Hazai termelésből: 2.000 Mm³	- Import forrásból: 8.000 Mm³ - Hazai termelésből: 2.000 Mm³	- Import forrásból: 8.000 Mm³ - Hazai termelésből: 2.000 Mm³
Vizsgálati kérdések	- Milyen költségek mellett valósítható meg a teljes mértékű hazai H₂ bekeverés? - Milyen H₂ és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?	- Előnyösebb az importhoz igazodó H₂ bekeverés a teljes mértékű hazai bekeveréshez képest? - Milyen H₂ és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?	- Előnyös lehet az importot meghaladó H₂ bekeverési arány fenntartása? - Milyen H₂ és földgáz árkörnyezetben lehet megtérülő a bekeverés?

7. ábra: A modellezési eredmények elemzése során vizsgált forgatókönyvek összefoglalása

Elemzési eredmények

Forgatókönyvek elemzési eredményeinek összefoglalása

A hazai szállítóvezetési bekeverés modellezése során meghatározott fő műszaki és pénzügyi mutatók láthatók az 1. táblázatban, a három vizsgált forgatókönyv esetén.

1. táblázat: Az egyes vizsgált forgatókönyvek esetén a hazai bekeverés megvalósításának fő műszaki és gazdasági mutatószámai

Fő eredmények	Forgatókönyv		
	Teljes mértékű hazai	Importhoz igazodó	Importot meghaladó
Gázcsere			
Éves hazai zöld hidrogén igény	17.976 tonna	3.595 tonna	30.559 tonna
Kiváltott földgáz mennyisége	2.253 GWh	1.687 GWh	5.066 GWh
Bekeverési infrastruktúra			
Bekeverés teljes CAPEX igénye	8.880 ezer EUR	3.216 ezer EUR	13.835 ezer EUR
Évesített CAPEX	671 ezer EUR	243 ezer EUR	1.045 ezer EUR
Bekeverés éves OPEX igénye	206 ezer EUR	89 ezer EUR	308 ezer EUR
Teljes éves ráfordítás	877 ezer EUR	332 ezer EUR	1.353 ezer EUR
Energiatartalom visszaállítás			
Energiatartalom csökkenése	1.545 GWh	1.545 GWh	3.862 GWh

Pótlólagos hazai hidrogén igény	250 tonna	50 tonna	1.085 tonna
Pótlólagos földgáz igény	136 millió m ³	136 millió m ³	337 millió m ³
Egyéb rendszerszintű hatások			
CO₂ kvóta megtakarítás	7,5 millió EUR	1,5 millió EUR	13 millió EUR
Zöld H₂ GO értéke	7,1 millió EUR	1,4 millió EUR	12,3 millió EUR

Az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyvének megvalósítása jár a legalacsonyabb hazai zöld hidrogén szükséglettel, valamint a legalacsonyabb CAPEX és OPEX igénnyel.

A hazai szállítóvezetési bekeverés, egyes kiemelt földgáz és hidrogén árkörnyezetek melletti rendszerszintű egyenlege látható a 2. táblázatban, a három vizsgált forgatókönyv mentén. A pozitív rendszerszintű egyenleg megtérülő beruházást jelent, a bekeverés megvalósítása kedvező. A negatív rendszerszintű egyenleg veszteséges beruházást jelent, a bekeverés megvalósítása támogatási igénnyel jár.

2. táblázat: Az egyes vizsgált forgatókönyvek esetén a hazai bekeverés megvalósításának megtérülése (pozitív érték) vagy támogatási igénye (negatív érték) egyes kiemelt földgáz és hidrogén árkörnyezetek esetén

Rendszerszintű egyenleg	Forgatókönyv		
	Teljes mértékű hazai	Importhoz igazodó	Importot meghaladó
Jelenlegi földgáz- és hidrogénár mellett			
FG: 40 €/MWh	-154,4	-31	-267,9
H₂: 10 €/kg	millió EUR	millió EUR	millió EUR

FG: 60 €/MWh H₂: 10 €/kg	-140 millió EUR	-28,2 millió EUR	-243 millió EUR
Jelenlegi földgázár és jövőben elérhető hidrogénár mellett			
FG: 40 €/MWh H₂: 5 EUR / kg	-63,3 millió EUR	-12,8 millió EUR	-109,7 millió EUR
FG: 60 €/MWh H₂: 5 EUR / kg	-48,9 millió EUR	-9,9 millió EUR	-84,8 millió EUR
Magas földgázár és változó hidrogénár mellett			
FG: 140 €/MWh H₂: 10 €/kg	-82,6 millió EUR	-16,7 millió EUR	-143,2 millió EUR
FG: 140 €/MWh H₂: 5 €/kg	8,5 millió EUR	1,5 millió EUR	15 millió EUR

Az itthon elérhető 9-10 EUR/kg zöld hidrogén előállítási költség mellett, a reális földgázár-tartományban a bekeverés csak támogatás mellett lehet megtérülő. Hosszabb távon az itthon elérhető 4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a megtérüléshez 120-140 EUR/MWh földgázár szükséges, amely olyan magas, hogy jelentős negatív hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy fogyasztók tevékenységére, így módon a földgáz- és hidrogénigényére.

A leginkább kedvező hazai bekeverési forgatókönyv az, ha a hazai bekeverés aránya alkalmazkodik az import földgázba határon túl bekevert hidrogén arányához, mivel ez esetben jelentkezik a legkisebb támogatási igény.

Teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve

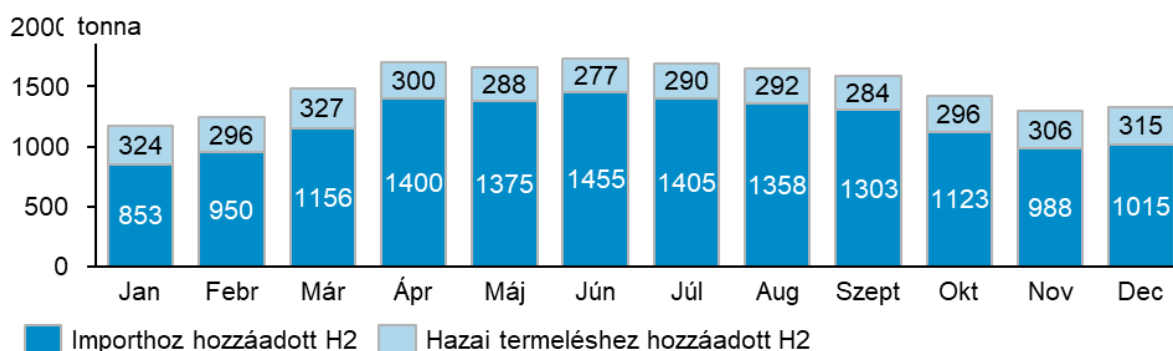
A forgatókönyv modellezési paramétereit: 2% bekeverési arány, 10 milliárd m³ földgázfelhasználás, 80% importarány a földgázellátásban, 0% hidrogén tartalom az import földgázban.

A teljes mértékű hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben a meghatározott hidrogén bekeverési arány fenntartása, teljes mértékben saját hidrogén hozzáadással, hidrogént nem tartalmazó földgázimport mellett.

Hidrogén igény gázcsere esetén

Teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén a gázcsere során a szállítóvezetési bekeverés évi 17.976 tonna zöld hidrogént igényel.

Az éves hidrogén igény havi lefutása látható a 8. ábrán. **A legnagyobb hidrogén igény az áprilistól szeptemberig tartó időszakban jelentkezik, átlagosan 1.671 tonna havonta.** A maximális havi hidrogén igény közel másfélszere a minimális havi igénynek, így a **csúcsigényű hónapokban a betáplálendő és a kiegyensúlyozási célú hidrogén rendelkezésre állása, a stabil logisztikai háttér kritikus.**

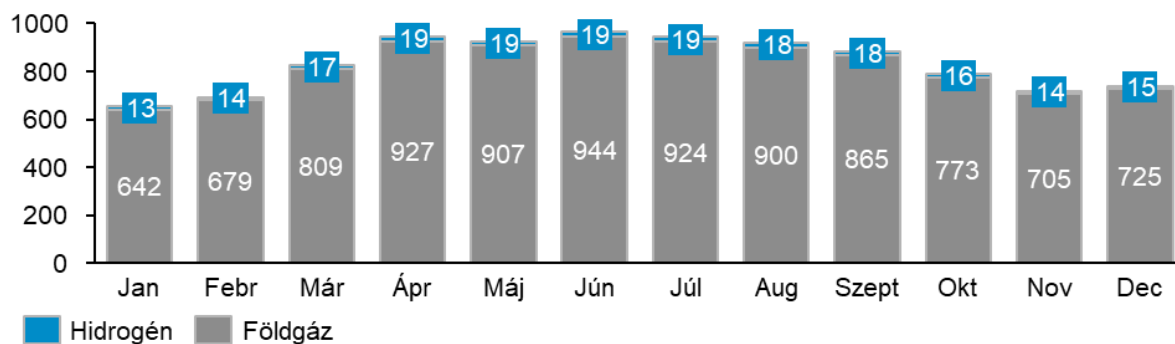


8. ábra: Az éves hidrogén igény havi lefutása a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (tonna)

A hidrogén igény szezonálisága hasonló a naperőművi energiatermelés szezonáliságához, így kedvező a zöld hidrogén előállítás szempontjából, azonban a

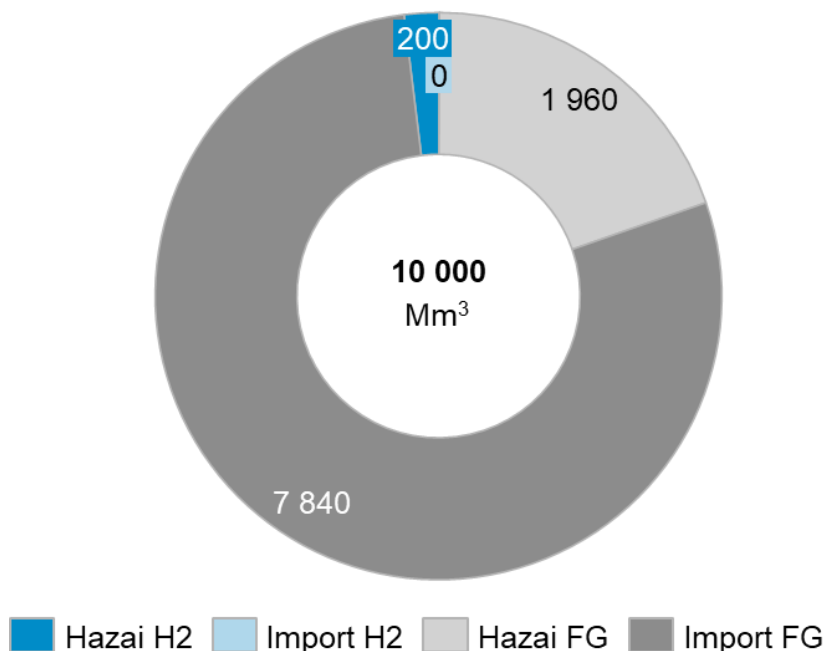
nyári időszakon kívüli hidrogén igény fedezéséhez más zöld energiaforrásra is szükség van.

A szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele látható a 9. ábrán.



9. ábra: Szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Az éves szállítóvezetéki gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele látható a 10. ábrán.



10. ábra: Szállítóvezetéki gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Gázcsere egyenlege

A gázcsere során a kiváltott földgáz éves mennyisége 2.253 GWh, mely megtakarított költségként jelentkezik, a hazai hidrogén hozzáadási igény éves mennyisége 17.976 tonna, melynek beszerzése költségként jelentkezik. **A gázcsere egyenlege a 2.253 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 17.976 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik.**

A gázcsere egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 11. ábrán.

Gázcsere egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	9,1	-8,9	-26,8	-44,8	-62,8	-80,8	-98,7	-116,7	-134,7
	40	54,2	36,2	18,2	0,2	-17,7	-35,7	-53,7	-71,7	-89,6
	60	99,2	81,3	63,3	45,3	27,3	9,4	-8,6	-26,6	-44,6
	80	144,3	126,3	108,4	90,4	72,4	54,4	36,4	18,5	0,5
	100	189,4	171,4	153,4	135,4	117,5	99,5	81,5	63,5	45,6
	120	234,4	216,5	198,5	180,5	162,5	144,6	126,6	108,6	90,6
	140	279,5	261,5	243,5	225,6	207,6	189,6	171,6	153,7	135,7
	160	324,6	306,6	288,6	270,6	252,7	234,7	216,7	198,7	180,8
	180	369,6	351,6	333,7	315,7	297,7	279,7	261,8	243,8	225,8

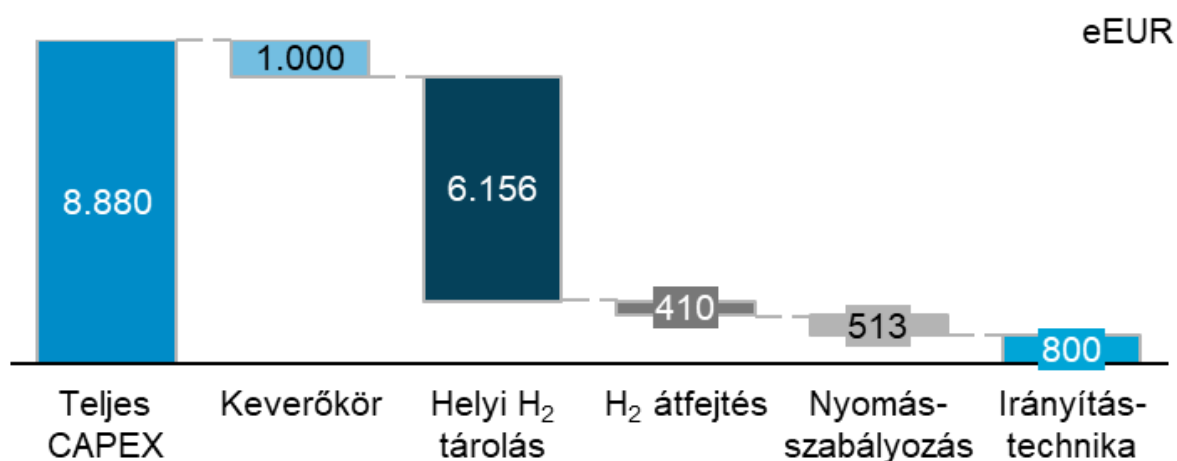
11. ábra: A bekeverés gázcsere egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**

Teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén a szállítóvezetési hidrogén bekeverés gázcsere egyenlege 40 EUR/MWh földgázár mellett már 5 EUR/kg hidrogénár körül pozitív, ez azonban nem veszi számításba az infrastruktúra és a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Bekeverési infrastruktúra ráfordítása

A teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén a földgázszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes ráfordítása 877 ezer EUR, melyből az évesített CAPEX 671 ezer EUR, az OPEX 206 ezer EUR.

A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele látható a 12. ábrán.



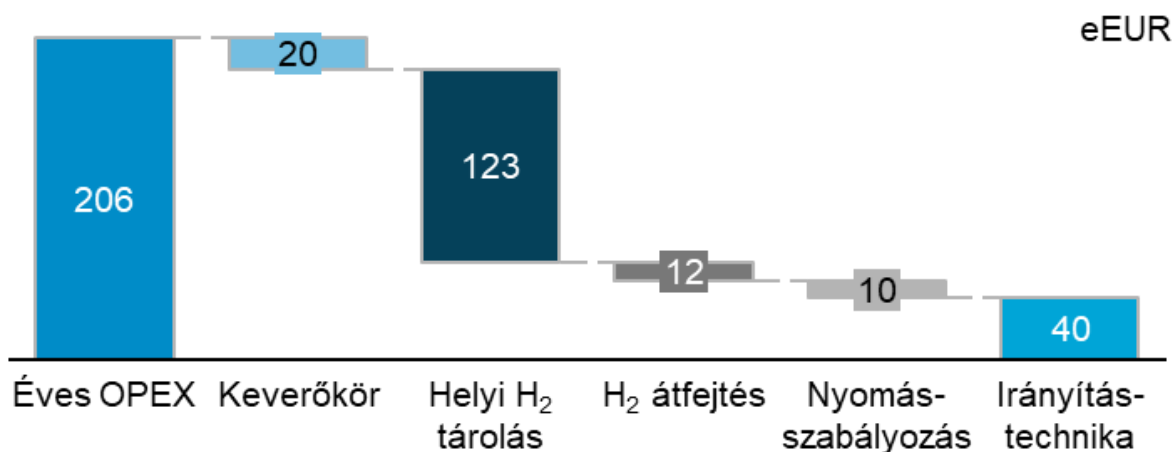
12. ábra: A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

A CAPEX vizsgálatának fő következtetései:

- A teljes CAPEX 8.880 ezer EUR.
- A CAPEX meghatározó eleme a helyi hidrogén tárolás (puffertartályok), melyek méretét és költségét az átlagos bekeverési mennyiség határozza meg.
- A második legnagyobb CAPEX elem a keverőkör, valamint az irányítástechnika (monitoring, biztonság).
- A hidrogén átféjtése a helyi tárolókba és a nyomásszabályozás csak alacsony részét teszi ki a teljes CAPEX igénynek.

Az évesített CAPEX 671 ezer EUR, mely 4% elvárt tőkehozam, 30 éves súlyozott élettartam, 6% diszkontráta mellett áll elő.

A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele látható a 13. ábrán.



13. ábra: A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

Az OPEX vizsgálatának fő következtetései:

- Az éves OPEX 206 ezer EUR.
- Az OPEX legnagyobb eleme a helyi hidrogén tárolás, az infrastruktúra további elemei az OPEX kisebb részét teszik ki.
- Az OPEX második legnagyobb elemei az irányítástechnika (monitoring, biztonság) és a keverőkör.

Bekeverés egyenlege

A bekeverés egyenlege a gázcseré egyenlegén túl figyelembe veszi a bekeverési infrastruktúra éves ráfordítását, mely az árkörnyezettől független. A szállítóvezetési bekeveréshez szükséges infrastruktúra telepítés és üzemeltetés éves ráfordítása 877 ezer EUR.

A bekeverés egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 14. ábrán, figyelembe véve az infrastruktúra 877 ezer EUR éves ráfordítását és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenleget.

Bekeverés egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	8,2	-9,7	-27,7	-45,7	-63,7	-81,6	-99,6	-117,6	-135,6
	40	53,3	35,3	17,3	-0,6	-18,6	-36,6	-54,6	-72,5	-90,5
	60	98,4	80,4	62,4	44,4	26,5	8,5	-9,5	-27,5	-45,4
	80	143,4	125,5	107,5	89,5	71,5	53,5	35,6	17,6	-0,4
	100	188,5	170,5	152,5	134,6	116,6	98,6	80,6	62,7	44,7
	120	233,6	215,6	197,6	179,6	161,7	143,7	125,7	107,7	89,7
	140	278,6	260,6	242,7	224,7	206,7	188,7	170,8	152,8	134,8
	160	323,7	305,7	287,7	269,8	251,8	233,8	215,8	197,9	179,9
	180	368,7	350,8	332,8	314,8	296,8	278,9	260,9	242,9	224,9

14. ábra: A bekeverés egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**

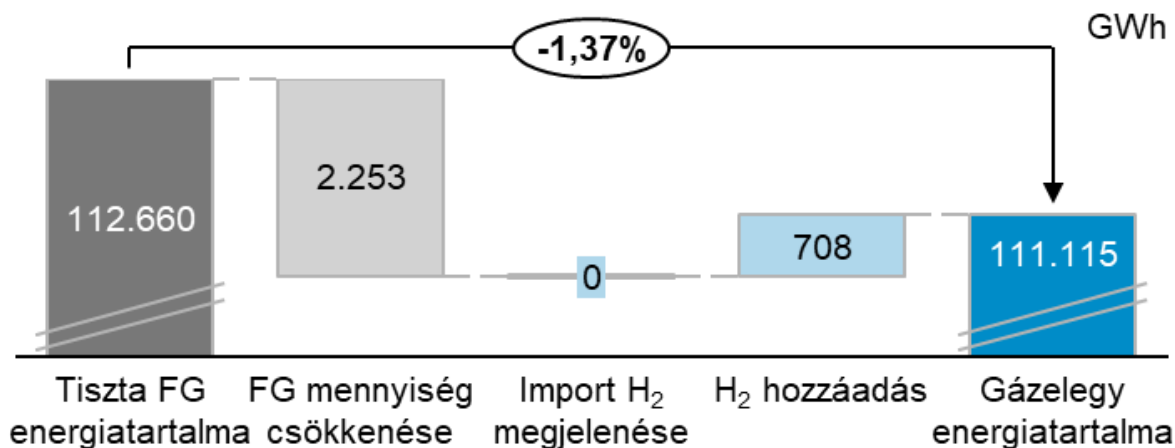
Az infrastruktúra ráfordítás mértéke alacsony a gázcsere egyenlegéhez képest a legtöbb árkörnyezetben, így az egyenlegre gyakorolt hatása is korlátozott.

A pozitív bekeverési egyenleghez 40 EUR/MWh földgázár mellett már 5 EUR/kg feletti hidrogénár szükséges, ez azonban nem veszi számításba a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Energiatartalom visszaállítása

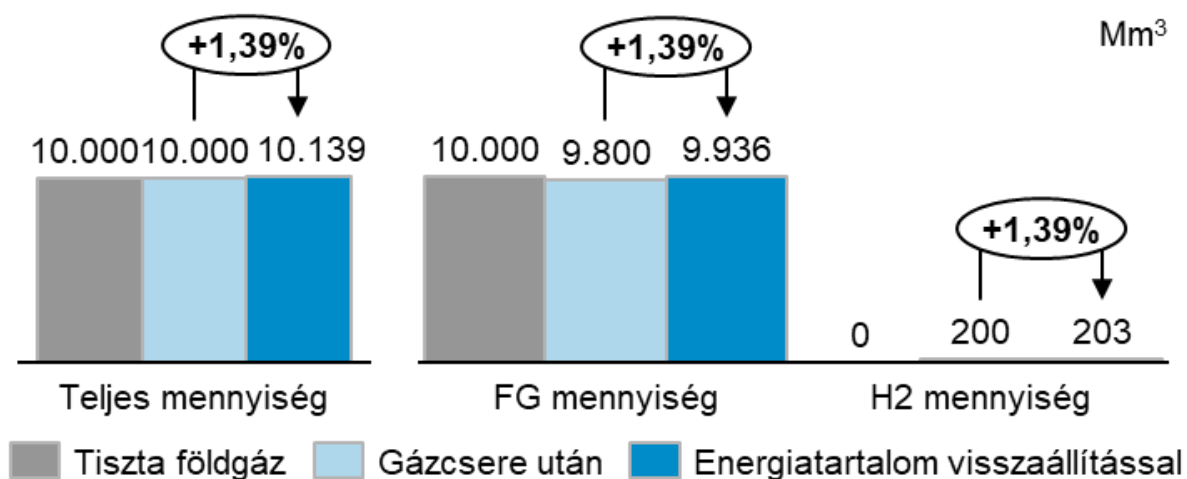
A teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén az energiatartalom csökkenésének ellensúlyozása 250 tonna pótlólagos hidrogént és 136 millió m³ pótlólagos földgázt igényel.

A gázcsere során a gázelegy energiatartalma a tiszta földgázhoz képest 1.545 GWh (1,37%) mértékben csökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt, 111.115 GWh értékre. A gázcsere során bekövetkező energiatartalom-változás látható a 15. ábrán.



15. ábra: Az energiatartalom változása a gázcsere hatására a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (GWh)

Az energiatartalom visszaállításához a gázelegy mennyiségének növelése szükséges, az arányos összetétel megtartása mellett. Az **eredeti energiatartalom eléréséhez 250 tonna pótlólagos hidrogén és 136 millió m³ pótlólagos földgáz szükséges, mely 1,39%-os mennyiségi növekedést jelent.** Az energiatartalom visszaállítása miatti pótlólagos gázmennyiség látható a 16. ábrán.



16. ábra: Az energiatartalom visszaállítása miatt szükséges pótlólagos gázmennyiség a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Rendszerszintű egyenleg

A rendszerszintű egyenleg figyelembe veszi a bekeverés egyenlegét és a rendszerszintű energiatartalom visszaállításának költségét, melyet a gázelegy mennyiségének– bekeverési arány megtartása melletti – növelése okoz.

A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 17. ábrán.

Rendszer- szintű egyenleg millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	-23,0	-41,2	-59,4	-77,6	-95,9	-114,1	-132,3	-150,5	-168,8
	40	-8,6	-26,8	-45,1	-63,3	-81,5	-99,7	-118,0	-136,2	-154,4
	60	5,8	-12,5	-30,7	-48,9	-67,1	-85,4	-103,6	-121,8	-140,0
	80	20,1	1,9	-16,3	-34,6	-52,8	-71,0	-89,2	-107,5	-125,7
	100	34,5	16,3	-2,0	-20,2	-38,4	-56,6	-74,9	-93,1	-111,3
	120	48,8	30,6	12,4	-5,8	-24,1	-42,3	-60,5	-78,7	-97,0
	140	63,2	45,0	26,8	8,5	-9,7	-27,9	-46,1	-64,4	-82,6
	160	77,6	59,3	41,1	22,9	4,7	-13,6	-31,8	-50,0	-68,2
	180	91,9	73,7	55,5	37,3	19,0	0,8	-17,4	-35,7	-53,9

17. ábra: A bekeverés rendszerszintű egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén a teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)

Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / kedvezőtlen (veszteséges)

A teljesen mértékben hazai hidrogén bekeverés a szállítóvezetékbe csak megfelelő támogatás mellett lehet megtérülő a reális ártartományokban.

A rendszerszintű egyenleg vizsgálatának fő következtetései:

- A szállítóvezeteki hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege 50 EUR/MWh földgázár és 2 EUR/kg hidrogénár körül válik pozitívvá, azaz megtérülővé.
- A további megtérülő árkörnyezetek a földgáz árának emelkedése mellett érhetők el.
- A hazai viszonyok között elérhető zöld hidrogén előállítási költség 9-10 EUR/kg, amely mellett a bekeverés csak támogatás esetén lehet megtérülő a reális földgázár-tartományban.
- A technológiai fejlődés hatására itthon elérhető 4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a támogatás nélküli megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh

földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, így módon a földgáz- és hidrogénigényére.

Egyéb rendszerszintű hatások

A hazai hidrogén bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás és a hazai zöld hidrogén előállítóknál keletkező származási garancia értéke hasonló.

- A CO₂ kvóta megtakarítás értéke évi 7,5 millió EUR.
- A zöld hidrogén származási garancia értéke évi 7,1 millió EUR.

A CO₂ kvóta és zöld hidrogén GO értékének számításához használt paraméterek: 33% ETS érintett fogyasztás, 90 EUR/tonna kvótaár, 30 EUR/MWh GO ár.

Importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve

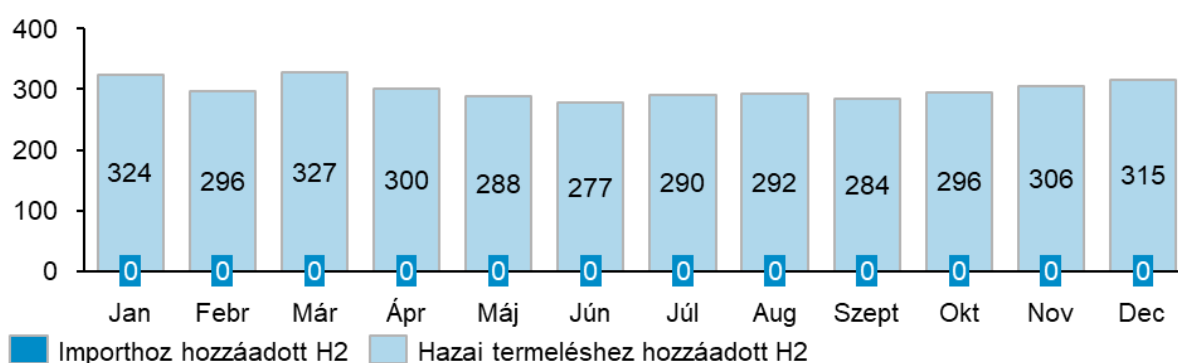
A forgatókönyv modellezési paraméterei: 2% bekeverési arány, 10 milliárd m³ földgázfelhasználás, 80% importarány a földgázellátásban, 2% hidrogén tartalom az import földgázban.

Az importhoz igazodó hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben az import földgázra jellemző hidrogén bekeverési arány fenntartása saját hidrogén hozzáadással.

Hidrogén igény gázcsere esetén

Az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén a gázcsere során a szállítóvezetéki bekeverés megvalósítása évi 3.595 tonna zöld hidrogén előállítását igényli.

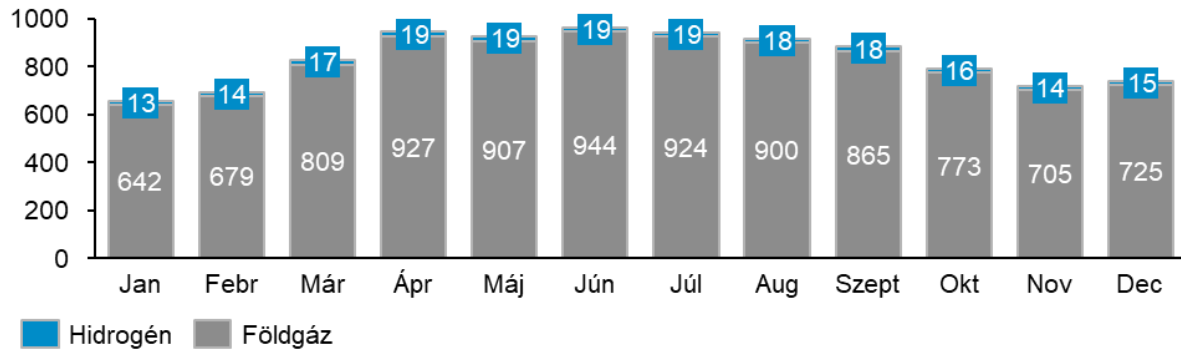
Az éves hidrogén igény havi lefutása látható a 18. ábrán. A hazai hidrogén igény kizárólag a hazai földgáz kitermelési mennyiségtől függ. **A havi hidrogén igény átlagosan 300 tonna és az év során kevésbé ingadozik (10%-on belül). A maximális havi hidrogén igény mindössze 18%-kal magasabb a minimális havi igénynél, így a hidrogén ellátáshoz szükséges logisztikai igény viszonylag stabil az év folyamán.**



18. ábra: Az éves hidrogén igény havi lefutása az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (tonna)

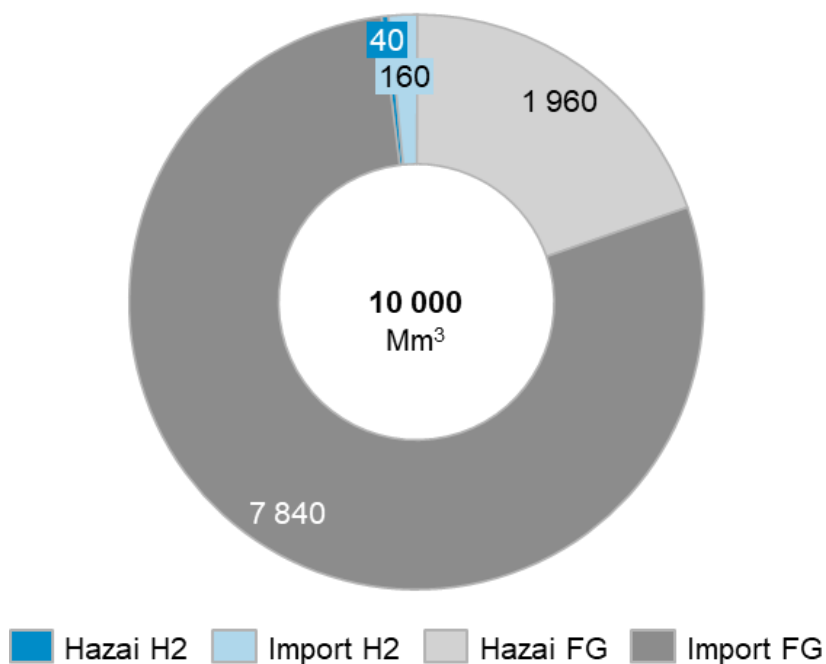
Mivel a havi hidrogén igény lefutása közel egyenletes, a szükséges zöld hidrogén előállítás energiaszükségletét nem célszerű kizárólag naperőművi energiatermeléssel fedezni, ezen túl további más zöld energiaforrásra is szükség van.

A szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele látható a 19. ábrán.



19. ábra: Szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Az éves szállítóvezetéki gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele látható a 20. ábrán.



20. ábra: Szállítóvezetési gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Gázcsere egyenlege

A gázcsere során a kiváltott földgáz éves mennyisége 1.687 GWh, mely megtakarított költségként jelentkezik, a hazai hidrogén hozzáadási igény éves mennyisége 3.595 tonna, melynek beszerzése költségként jelentkezik. **A gázcsere egyenlege az 1.687 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 3.595 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik.**

A gázcsere egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 21. ábrán.

Gázcsere egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	26,5	22,9	19,4	15,8	12,2	8,6	5,0	1,4	-2,2
	40	60,3	56,7	53,1	49,5	45,9	42,3	38,7	35,1	31,5
	60	94,0	90,4	86,8	83,2	79,6	76,0	72,4	68,8	65,2
	80	127,7	124,1	120,5	117,0	113,4	109,8	106,2	102,6	99,0
	100	161,5	157,9	154,3	150,7	147,1	143,5	139,9	136,3	132,7
	120	195,2	191,6	188,0	184,4	180,8	177,2	173,6	170,0	166,4
	140	228,9	225,3	221,7	218,1	214,6	211,0	207,4	203,8	200,2
	160	262,7	259,1	255,5	251,9	248,3	244,7	241,1	237,5	233,9
	180	296,4	292,8	289,2	285,6	282,0	278,4	274,8	271,2	267,6

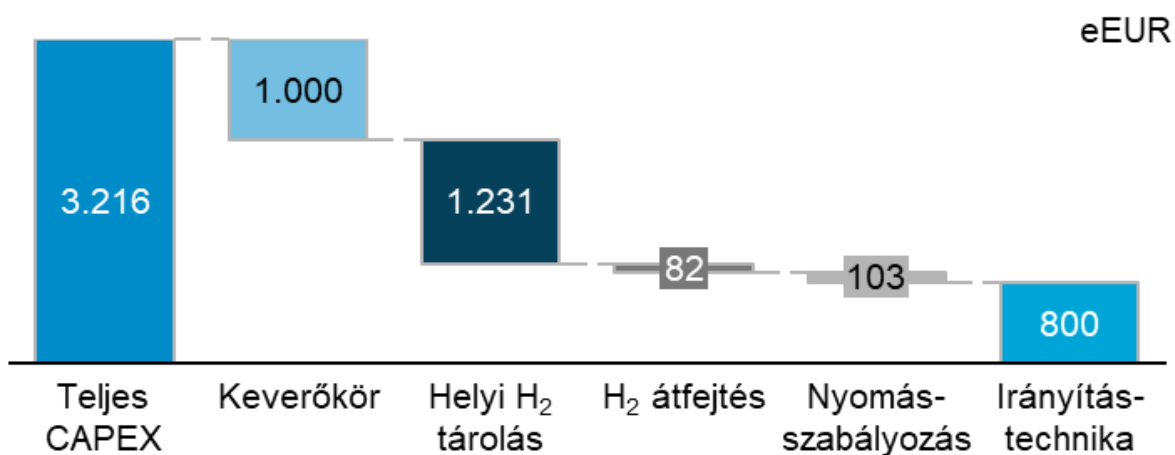
21. ábra: A bekeverés gázcsere egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / kedvezőtlen (veszteséges)

A szállítóvezetéki hidrogén bekeverés gázcsere egyenlege 40 EUR/MWh földgázár mellett már 10 EUR/kg hidrogénár esetén is pozitív, ez azonban nem veszi számításba az infrastruktúra és a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Bekeverési infrastruktúra ráfordítása

Az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén a földgázszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes ráfordítása 332 ezer EUR, melyből az évesített CAPEX 243 ezer EUR, az OPEX 89 ezer EUR.

A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele látható a 22. ábrán.



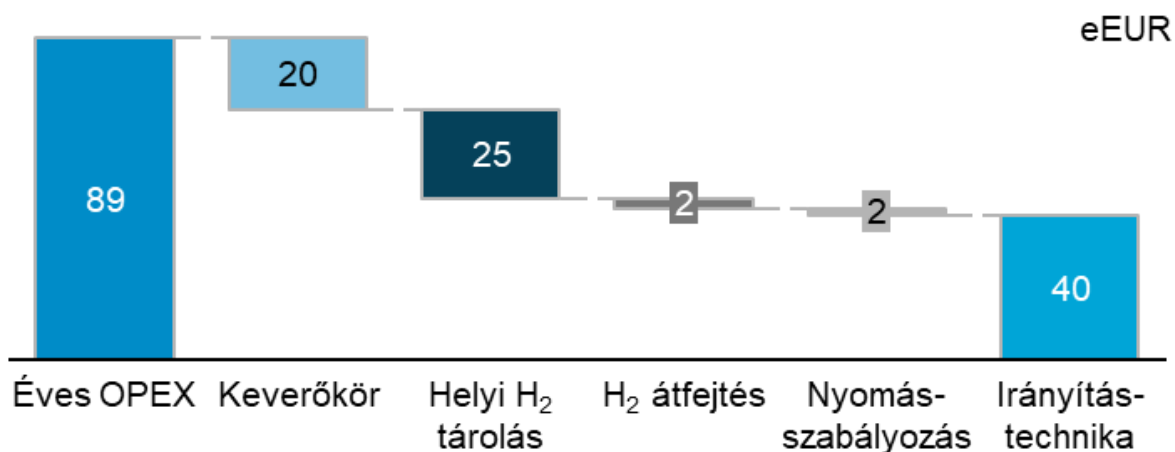
22. ábra: A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

A CAPEX vizsgálatának fő következtetései:

- A teljes CAPEX 3.216 ezer EUR.
- A CAPEX meghatározó eleme a helyi hidrogén tárolás (puffertartályok), melyek méretét és költségét az átlagos bekeverési mennyiség határozza meg.
- A második legnagyobb CAPEX elem a keverőkör, valamint az irányítástechnika (monitoring, biztonság).
- A hidrogén átféjtése a helyi tárolókba és a nyomásszabályozás csak alacsony részét teszi ki a teljes CAPEX igénynek.

Az évesített CAPEX 243 ezer EUR, mely 4% elvárt tőkehozam, 30 éves súlyozott élettartam, 6% diszkontráta mellett áll elő.

A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele látható a 23. ábrán.



23. ábra: A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

Az OPEX vizsgálatának fő következtetései:

- Az éves OPEX 89 ezer EUR.
- Az OPEX legnagyobb eleme az irányítástechnika (monitoring, biztonság, stb.), az infrastruktúra további elemei az OPEX kis részét teszik ki.
- Az OPEX második legnagyobb elemei keverőkör és a helyi hidrogén tárolás.

Bekeverés egyenlege

A bekeverés egyenlege a gázcsere egyenlegén túl figyelembe veszi a bekeverési infrastruktúra éves ráfordítását, mely az árkörnyezettől független. A szállítóvezetési bekeveréshez szükséges infrastruktúra telepítés és üzemeltetés éves ráfordítása 332 ezer EUR.

A bekeverés egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 24. ábrán, figyelembe véve az infrastruktúra 332 ezer EUR éves ráfordítását és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenleget.

Bekeverés egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	26,2	22,6	19,0	15,4	11,8	8,2	4,6	1,0	-2,6
	40	59,9	56,3	52,8	49,2	45,6	42,0	38,4	34,8	31,2
	60	93,7	90,1	86,5	82,9	79,3	75,7	72,1	68,5	64,9
	80	127,4	123,8	120,2	116,6	113,0	109,4	105,8	102,2	98,6
	100	161,1	157,5	153,9	150,4	146,8	143,2	139,6	136,0	132,4
	120	194,9	191,3	187,7	184,1	180,5	176,9	173,3	169,7	166,1
	140	228,6	225,0	221,4	217,8	214,2	210,6	207,0	203,4	199,8
	160	262,3	258,7	255,1	251,5	248,0	244,4	240,8	237,2	233,6
	180	296,1	292,5	288,9	285,3	281,7	278,1	274,5	270,9	267,3

24. ábra: A bekeverés egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**

Az infrastruktúra ráfordítás mértéke alacsony a gázcsere egyenlegéhez képest a legtöbb árkörnyezetben, így az egyenlegre gyakorolt hatása is korlátozott.

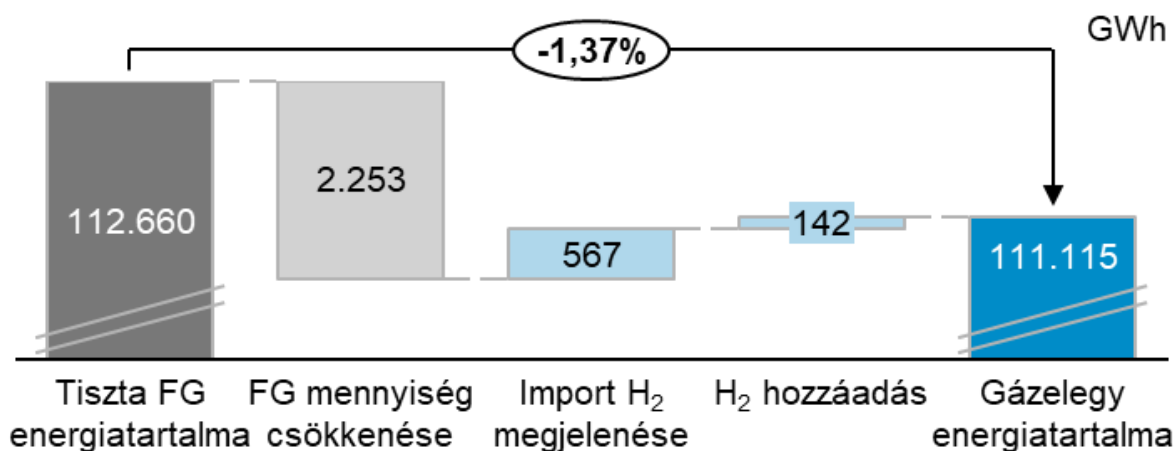
A bekeverési egyenleg 40 EUR/MWh földgázár mellett már 10 EUR/kg hidrogénár esetén is pozitív, ez azonban nem veszi számításba a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Energiatartalom visszaállítása

Az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén az energiatartalom csökkenésének ellensúlyozása pótlólagosan 50 tonna hazai és 200 tonna import hidrogént, valamint 136 millió m³ földgázt igényel.

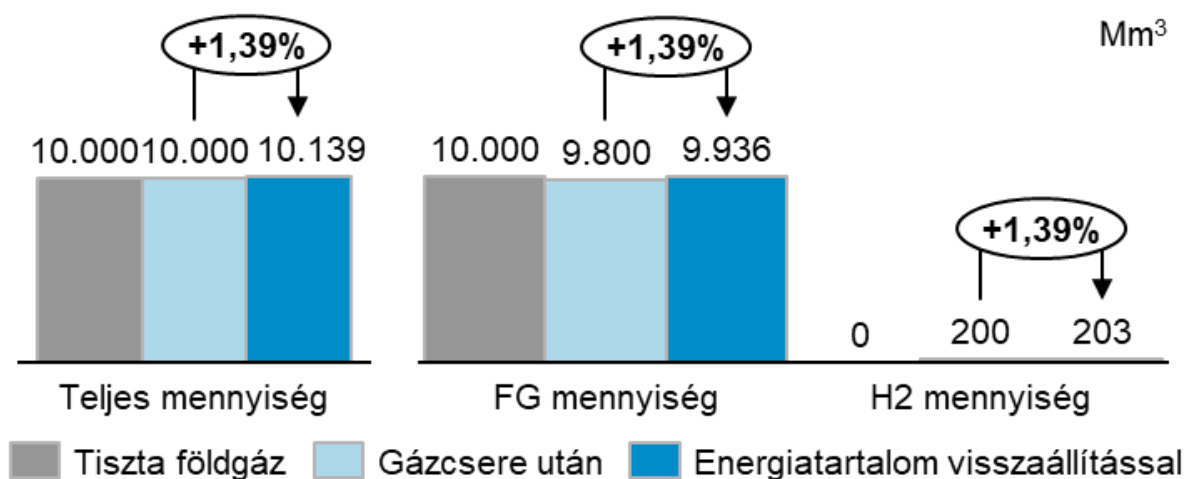
A gázcsere során a gázelegy energiatartalma a tiszta földgázhoz képest 1.545 GWh (1,37%) mértékben csökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt,

111.115 GWh értékre. A gázcsere során bekövetkező energiatartalom-változás látható a 25. ábrán.



25. ábra: Az energiatartalom változása a gázcsere hatására az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (GWh)

Az energiatartalom visszaállításához a gázelegy mennyiségének növelése szükséges, az arányos összetétel megtartása mellett. Az **eredeti energiatartalom eléréséhez 250 tonna pótlólagos hidrogén és 136 millió m³ pótlólagos földgáz szükséges, mely 1,39%-os mennyiségi növekedést jelent.** A hazai pótlólagos hidrogén hozzáadás mértéke 50 tonna, a fennmaradó mennyiség az import gázelegy részeként érkezik. Az energiatartalom visszaállítása miatti pótlólagos gázmennyiség látható a 26. ábrán.



26. ábra: Az energiatartalom visszaállítása miatt szükséges pótlólagos gázmennyiség az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Rendszerszintű egyenleg

A rendszerszintű egyenleg figyelembe veszi a bekeverés egyenlegét és a rendszerszintű energiatartalom visszaállításának költségét, melyet a gázelegy mennyiségének– bekeverési arány megtartása melletti – növelése okoz.

A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 27. ábrán.

Rendszer- szintű egyenleg millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	-4,8	-8,4	-12,0	-15,7	-19,3	-23,0	-26,6	-30,3	-33,9
	40	-1,9	-5,5	-9,2	-12,8	-16,5	-20,1	-23,7	-27,4	-31,0
	60	1,0	-2,7	-6,3	-9,9	-13,6	-17,2	-20,9	-24,5	-28,2
	80	3,9	0,2	-3,4	-7,1	-10,7	-14,4	-18,0	-21,6	-25,3
	100	6,7	3,1	-0,6	-4,2	-7,8	-11,5	-15,1	-18,8	-22,4
	120	9,6	6,0	2,3	-1,3	-5,0	-8,6	-12,3	-15,9	-19,5
	140	12,5	8,8	5,2	1,5	-2,1	-5,7	-9,4	-13,0	-16,7
	160	15,4	11,7	8,1	4,4	0,8	-2,9	-6,5	-10,2	-13,8
	180	18,2	14,6	10,9	7,3	3,6	0,0	-3,6	-7,3	-10,9

27. ábra: A bekeverés rendszerszintű egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve esetén
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (vesztéséges)**

Az importhoz igazodó szállítóvezetéki hidrogén bekeverés megfelelő támogatás mellett lehet megtérülő a hazai reális ártartományokban.

A rendszerszintű egyenleg vizsgálatának fő következtetései:

- A szállítóvezetéki hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege 50 EUR/MWh földgázár és 2 EUR/kg hidrogénár körül válik pozitívvá, azaz megtérülővé.
- A további megtérülő árkörnyezetek a földgáz árának emelkedése mellett érhetők el.
- A hazai viszonyok között elérhető zöld hidrogén előállítási költség 9-10 EUR/kg, amely mellett a bekeverés csak támogatás esetén lehet megtérülő a reális földgázár-tartományban.
- A technológiai fejlődés hatására itthon elérhető 4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a támogatás nélküli megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh

földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, így módon a földgáz- és hidrogénigényére.

Egyéb rendszerszintű hatások

A hazai hidrogén bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás és a hazai zöld hidrogén előállítóknál keletkező származási garancia értéke hasonló.

- A CO₂ kvóta megtakarítás értéke évi 1,5 millió EUR.
- A zöld hidrogén származási garancia értéke évi 1,4 millió EUR.

A CO₂ kvóta és zöld hidrogén GO értékének számításához használt paraméterek: 33% ETS érintett fogyasztás, 90 EUR/tonna kvótaár, 30 EUR/MWh GO ár.

Importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve

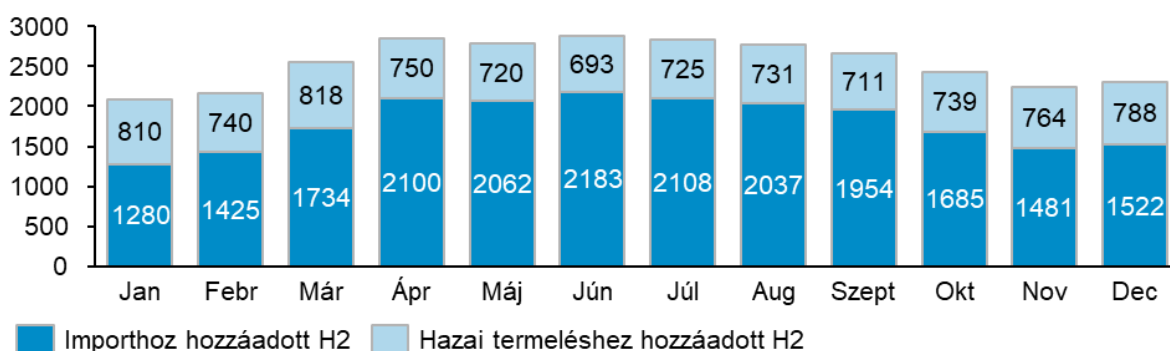
A forgatókönyv modellezési paraméterei: 5% bekeverési arány, 10 milliárd m³ földgázfelhasználás, 80% importarány a földgázellátásban, 2% hidrogén tartalom az import földgázban.

Az importot meghaladó hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben az import földgázra jellemző hidrogén bekeverési arány növelése saját hidrogén hozzáadással.

Hidrogén igény gázcsere esetén

Az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén a gázcsere során a szállítóvezetéki bekeverés megvalósítása évi 30.559 tonna zöld hidrogén előállítását igényli.

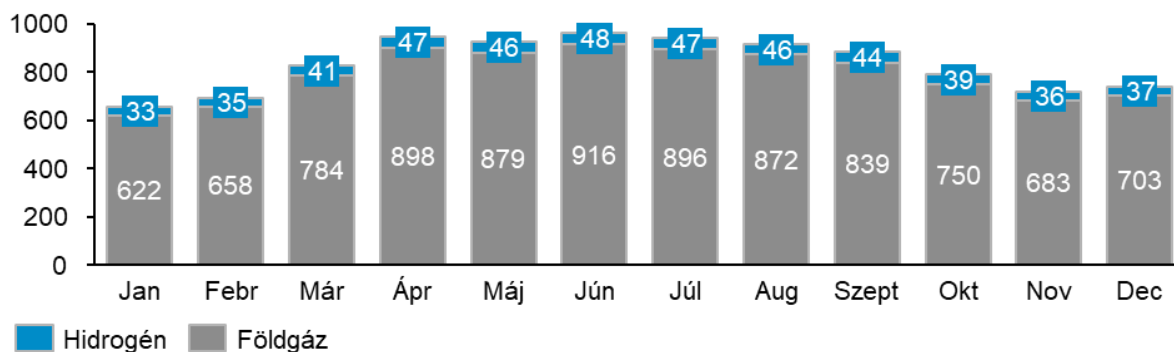
Az éves hidrogén igény havi lefutása látható a 28. ábrán. **A legnagyobb hidrogén igény az áprilistól szeptemberig tartó időszakban jelentkezik, átlagosan 2.796 tonna havonta.** A havi hidrogén igény maximuma 38%-kal magasabb a minimális havi igénynél, így a csúcsigényű hónapokban a betáplálandó és a kiegyensúlyozási célú hidrogén rendelkezésre állása, a stabil logisztikai háttér kritikus.



28. ábra: Az éves hidrogén igény havi lefutása az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (tonna)

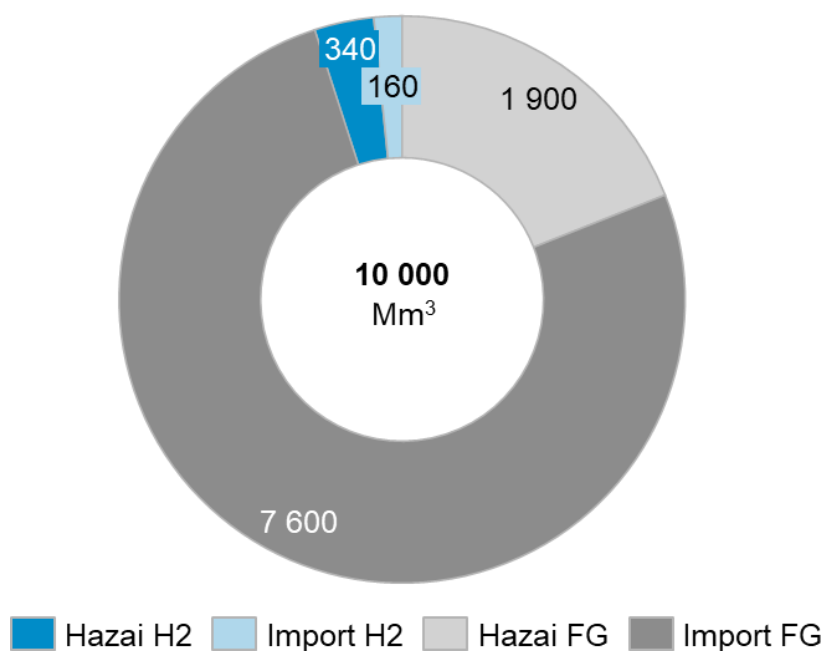
A hidrogén igény szezonálisága hasonló a naperőművi energiatermelés szezonáliságához, így kedvező a zöld hidrogén előállítás szempontjából, azonban a nyári időszakon kívüli hidrogén igény fedezéséhez más zöld energiaforrásra is szükség van.

A szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele látható a 29. ábrán.



29. ábra: Szállítóvezetéki gázforgalom havi összetétele az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Az éves szállítóvezetéki gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele látható a 30. ábrán.



30. ábra: Szállítóvezetéki gázforgalom gázok és forrásaik szerinti összetétele az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió m³)

Gázcsere egyenlege

A gázcsere során a kiváltott földgáz éves mennyisége 5.066 GWh, mely megtakarított költségként jelentkezik, a hazai hidrogén hozzáadási igény éves mennyisége 30.559 tonna, melynek beszerzése költségként jelentkezik. **A gázcsere egyenlege az 5.066 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 30.559 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik.**

A gázcsere egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 31. ábrán.

Gázcsere egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	40,2	9,7	-20,9	-51,5	-82,0	-112,6	-143,1	-173,7	-204,3
	40	141,5	111,0	80,4	49,9	19,3	-11,3	-41,8	-72,4	-102,9
	60	242,9	212,3	181,7	151,2	120,6	90,1	59,5	29,0	-1,6
	80	344,2	313,6	283,1	252,5	222,0	191,4	160,8	130,3	99,7
	100	445,5	415,0	384,4	353,8	323,3	292,7	262,2	231,6	201,0
	120	546,8	516,3	485,7	455,2	424,6	394,1	363,5	332,9	302,4
	140	648,2	617,6	587,1	556,5	525,9	495,4	464,8	434,3	403,7
	160	749,5	718,9	688,4	657,8	627,3	596,7	566,1	535,6	505,0
	180	850,8	820,3	789,7	759,2	728,6	698,0	667,5	636,9	606,4

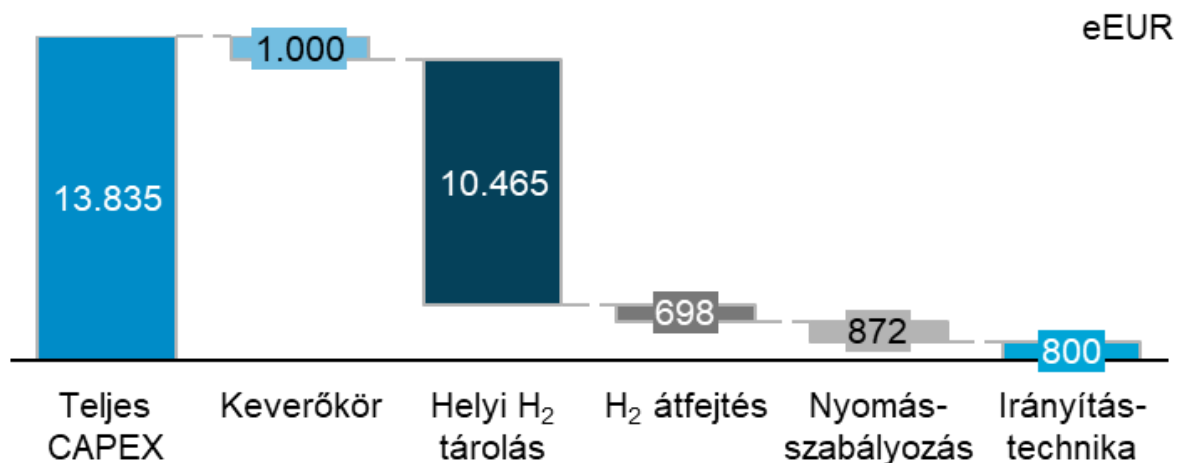
31. ábra: A bekeverés gázcsere egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (vesztéses)**

A szállítóvezetéki hidrogén bekeverés gázcsere egyenlege 40 EUR/MWh földgázár mellett már 6 EUR/kg hidrogénár körül pozitív, ez azonban nem veszi számításba az infrastruktúra és a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Bekeverési infrastruktúra ráfordítása

Az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén a földgázszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes ráfordítása 1.353 ezer EUR, melyből az évesített CAPEX 1.045 ezer EUR, az OPEX 308 ezer EUR.

A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele látható a 32. ábrán.



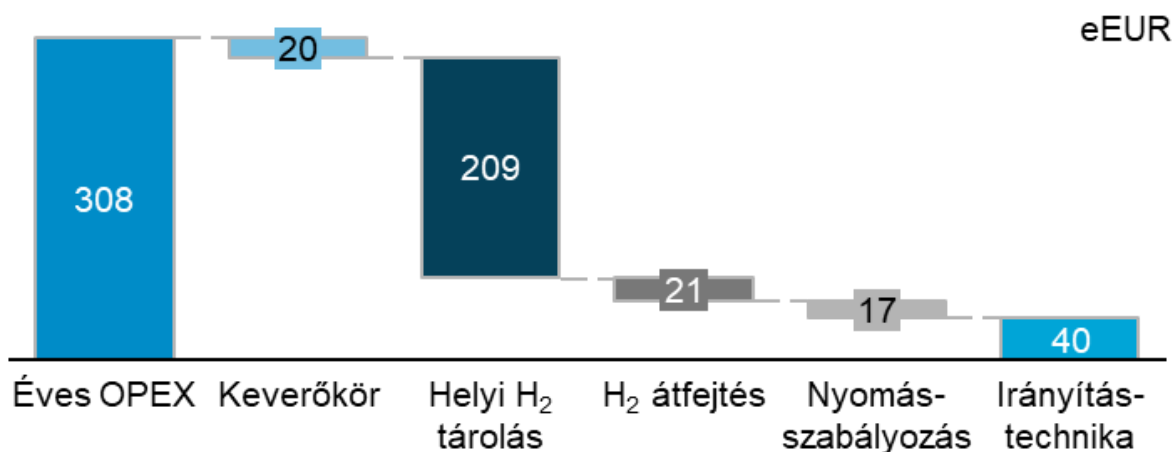
32. ábra: A bekeverési infrastruktúra teljes CAPEX igénye és annak összetétele az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

A CAPEX vizsgálatának fő következtetései:

- A teljes CAPEX 13.835 ezer EUR.
- A CAPEX meghatározó eleme a helyi hidrogén tárolás (puffertartályok), melyek méretét és költségét az átlagos bekeverési mennyiség határozza meg.
- A második legnagyobb CAPEX elem a keverőkör, ezt követi a nyomásszabályozás és az irányítástechnika.
- A teljes CAPEX igény legkisebb eleme a hidrogén átfertése a helyi tárolókba.

Az évesített CAPEX 1.045 ezer EUR, mely 4% elvart tőkehozam, 30 éves súlyozott élettartam, 6% diszkontráta mellett áll elő.

A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele látható a 33. ábrán.



33. ábra: A bekeverési infrastruktúra éves OPEX igénye és annak összetétele az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (ezer EUR)

Az OPEX vizsgálatának fő következtetései:

- Az éves OPEX 308 ezer EUR.
- Az OPEX legnagyobb eleme a helyi hidrogén tárolás, az infrastruktúra további elemei az OPEX kis részét teszik ki.
- Az OPEX második legnagyobb eleme az irányítástechnika.

Bekeverés egyenlege

A bekeverés egyenlege a gázcsere egyenlegén túl figyelembe veszi a bekeverési infrastruktúra éves ráfordítását, mely az árkörnyezettől független. A szállítóvezetéki bekeveréshez szükséges infrastruktúra telepítés és üzemeltetés éves ráfordítása 1.353 ezer EUR.

A bekeverés egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 34. ábrán, figyelembe véve az infrastruktúra 1.353 ezer EUR éves ráfordítását és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenleget.

Bekeverés egyenlege millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	38,9	8,3	-22,3	-52,8	-83,4	-113,9	-144,5	-175,1	-205,6
	40	140,2	109,6	79,1	48,5	17,9	-12,6	-43,2	-73,7	-104,3
	60	241,5	211,0	180,4	149,8	119,3	88,7	58,2	27,6	-3,0
	80	342,8	312,3	281,7	251,2	220,6	190,0	159,5	128,9	98,4
	100	444,2	413,6	383,0	352,5	321,9	291,4	260,8	230,3	199,7
	120	545,5	514,9	484,4	453,8	423,3	392,7	362,1	331,6	301,0
	140	646,8	616,3	585,7	555,1	524,6	494,0	463,5	432,9	402,3
	160	748,1	717,6	687,0	656,5	625,9	595,4	564,8	534,2	503,7
	180	849,5	818,9	788,4	757,8	727,2	696,7	666,1	635,6	605,0

34. ábra: A bekeverés egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (millió EUR)
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**

Az infrastruktúra ráfordítás mértéke alacsony a gázcsere egyenlegéhez képest a legtöbb árkörnyezetben, így az egyenlegre gyakorolt hatása is korlátozott.

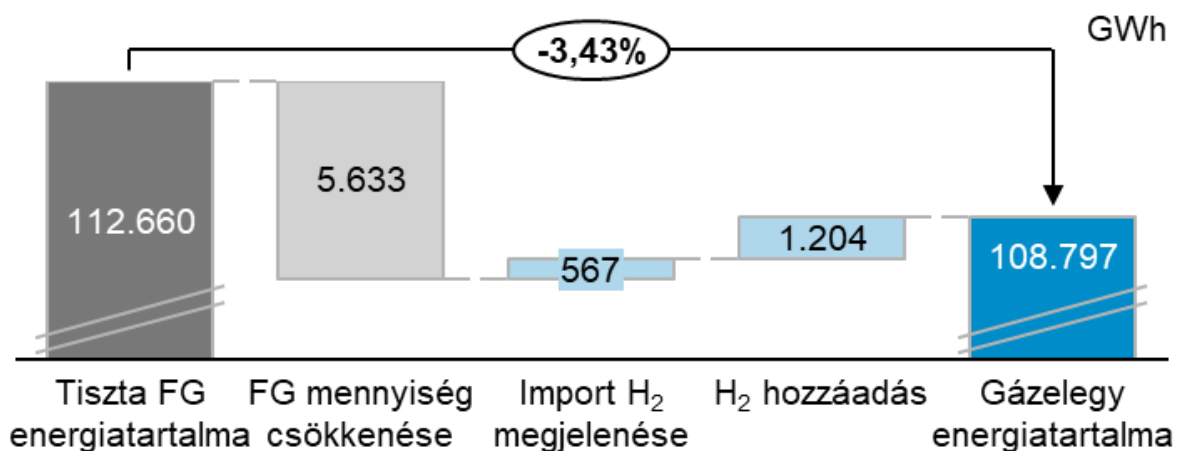
A pozitív bekeverési egyenleghez 40 EUR/MWh földgázár mellett már 6 EUR/kg feletti hidrogénár szükséges, ez azonban nem veszi számításba a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Energiatartalom visszaállítása

Az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén az energiatartalom csökkenésének ellensúlyozása pótlólagosan 1.085 tonna hazai és 510 tonna import hidrogént, valamint 337 millió m³ földgázt igényel.

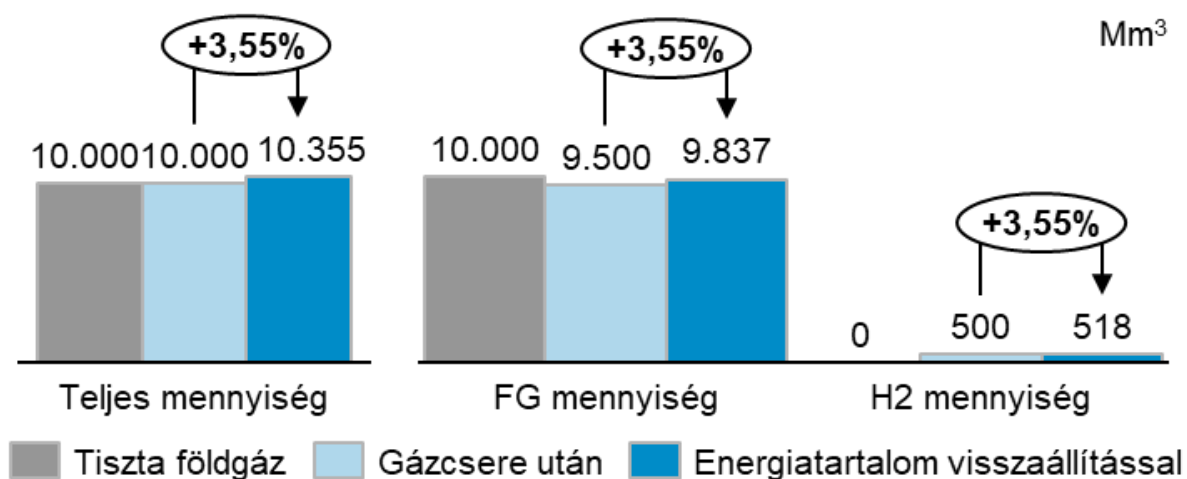
A gázcsere során a gázelegy energiatartalma a tiszta földgázhoz képest 3.862 GWh (3,43%) mértékben csökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt,

108.797 GWh értékre. A gázcsere során bekövetkező energiatartalom-változás látható a 35. ábrán.



35. ábra: Az energiatartalom változása a gázcsere hatására az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén (GWh)

Az energiatartalom visszaállításához a gázelegy mennyiségének növelése szükséges, az arányos összetétel megtartása mellett. Az **eredeti energiatartalom eléréséhez 1.595 tonna pótlólagos hidrogén és 337 millió m³ pótlólagos földgáz szükséges, mely 3,55%-os mennyiségi növekedést jelent.** A hazai pótlólagos hidrogén hozzáadás mértéke 1.085 tonna, a fennmaradó mennyiség az import gázelegy részeként érkezik. Az energiatartalom visszaállítása miatti pótlólagos gázmennyiség látható a 36. ábrán.



36. ábra: Az energiatartalom visszaállítása miatt szükséges pótlólagos gázmennyiség az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén

Rendszerszintű egyenleg

A rendszerszintű egyenleg figyelembe veszi a bekeverés egyenlegét és a rendszerszintű energiatartalom visszaállításának költségét, melyet a gázelegy mennyiségének– bekeverési arány megtartása melletti – növelése okoz.

A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege látható különböző árkörnyezetekben a 37. ábrán.

Rendszer- szintű egyenleg millió EUR		 Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
 Földgáz ár EUR / MWh	20	-39,7	-71,3	-103,0	-134,6	-166,3	-197,9	-229,6	-261,2	-292,9
	40	-14,8	-46,4	-78,1	-109,7	-141,3	-173,0	-204,6	-236,3	-267,9
	60	10,2	-21,5	-53,1	-84,8	-116,4	-148,1	-179,7	-211,3	-243,0
	80	35,1	3,5	-28,2	-59,8	-91,5	-123,1	-154,8	-186,4	-218,1
	100	60,0	28,4	-3,3	-34,9	-66,5	-98,2	-129,8	-161,5	-193,1
	120	85,0	53,3	21,7	-10,0	-41,6	-73,2	-104,9	-136,5	-168,2
	140	109,9	78,3	46,6	15,0	-16,7	-48,3	-80,0	-111,6	-143,2
	160	134,8	103,2	71,6	39,9	8,3	-23,4	-55,0	-86,7	-118,3
	180	159,8	128,1	96,5	64,8	33,2	1,6	-30,1	-61,7	-93,4

37. ábra: A bekeverés rendszerszintű egyenlege különböző földgázárak és hidrogénárak mentén az importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve esetén
Egyenleg **kedvező (megtérülő)** / **kedvezőtlen (veszteséges)**

Az importot meghaladó szállítóvezetési hidrogén bekeverés csak megfelelő támogatás mellett lehet megtérülő a reális ártartományokban.

A rendszerszintű egyenleg vizsgálatának fő következtetései:

- A szállítóvezetési hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege 50 EUR/MWh földgázár és 2 EUR/kg hidrogénár körül válik pozitívvá, azaz megtérülővé.
- A további megtérülő árkörnyezetek a földgáz árának emelkedése mellett érhetők el.
- A hazai viszonyok között elérhető zöld hidrogén előállítási költség 9-10 EUR/kg, amely mellett a bekeverés csak támogatás esetén lehet megtérülő a reális földgázár-tartományban.
- A technológiai fejlődés hatására itthon elérhető 4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a támogatás nélküli megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh

földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, így módon a földgáz- és hidrogénigényére.

Egyéb rendszerszintű hatások

A hazai hidrogén bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás és a hazai zöld hidrogén előállítóknál keletkező származási garancia értéke hasonló, utóbbi értéke valamelyest elmarad az előbbitől.

- A CO₂ kvóta megtakarítás értéke évi 13 millió EUR.
- A zöld hidrogén származási garancia értéke évi 12,3 millió EUR.

A CO₂ kvóta és zöld hidrogén GO értékének számításához használt paraméterek: 33% ETS érintett fogyasztás, 90 EUR/tonna kvótaár, 30 EUR/MWh GO ár.