

Modellezési eredmények

Zöld hidrogén földgázba keverése

Gyurity Erik
Parragh Viktor
Sorossy Sándor

Budapest, 2023.12.15.

Vezetői összefoglaló



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, így 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

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

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

Az a bekeverési forgatókönyv javasolt, 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.

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.

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

Gázcsere esetén megtérülő árkörnyezetek
Forgalmi (m³) alapú elszámolás

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									

Gázcsere esetén a földgáz mennyiségi alapon kerül kiváltásra hidrogénnel. Az egyenleg alacsonyabb árkörnyezetben is pozitív, viszont a teljes energiatartalom lecsökken a H₂ alacsonyabb fűtőértéke miatt.

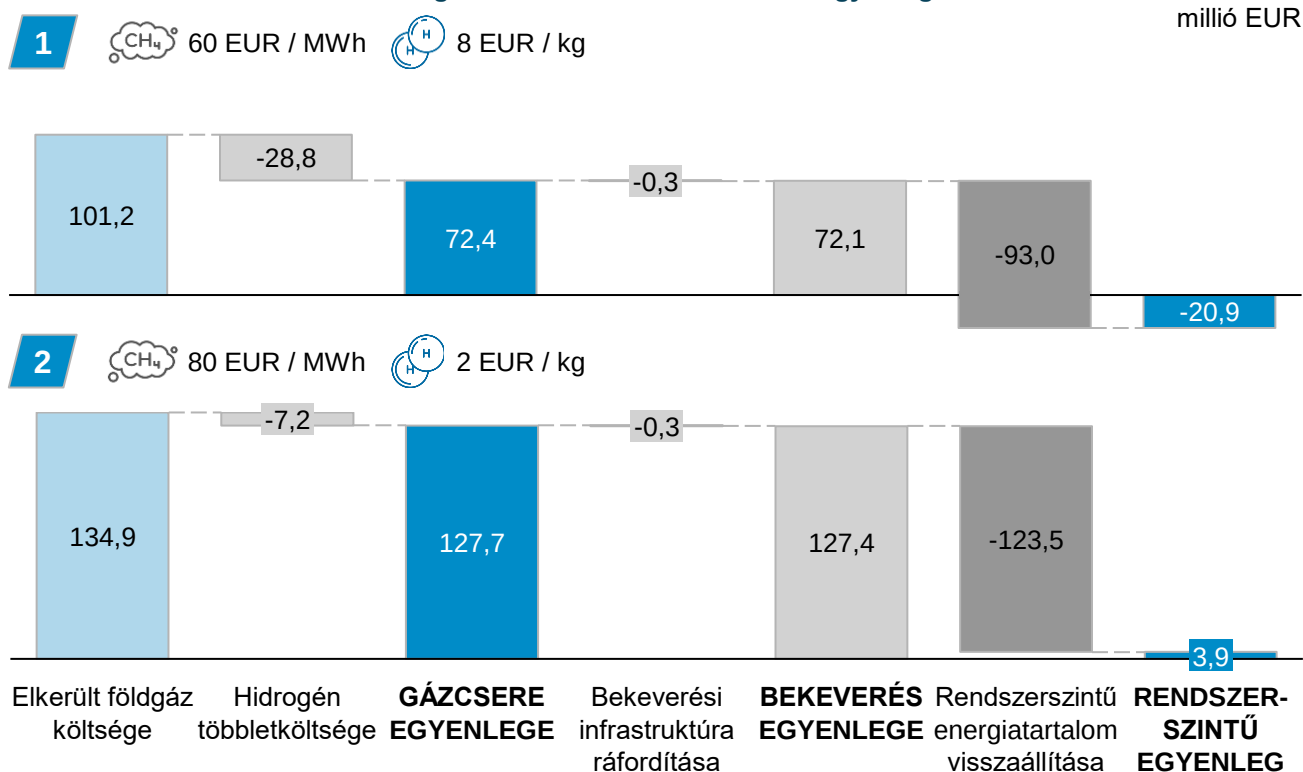
Energiatartalom megtartás esetén megtérülő árkörnyezetek
Fűtőérték (MWh) alapú elszámolás

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									

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

A hidrogén bekeverésének rendszerszintű egyenlegét legnagyobb mértékben meghatározó tényező az energiatartalom visszaállítása

Hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlege



Következtetések

- A hidrogén bekeverés rendszerszintű egyenlegét elsősorban az **energiatartalom visszaállításának költsége** határozza meg.
- A bekeverési infrastruktúra ráfordítása nagyon alacsony hatást gyakorol a rendszerszintű egyenlegre.
- A hazai bekeveréssel keletkező CO₂ kvóta megtakarítás értéke közel megegyezik a hazai előállítású zöld H₂ GO értékével.

Egyéb hatások



CO₂ kvóta megtakarítás
1.493 eEUR / év



Zöld H₂ GO értéke
1.422 eEUR / év

A hazai földgázigény csökkenése mérsékli a rendszerszintű egyenleget, ha a csökkenés a hazai termelésben és importban egyaránt jelentkezik

Földgázigény csökkenésének (20%) hatása a rsz. szintű egyenlegre

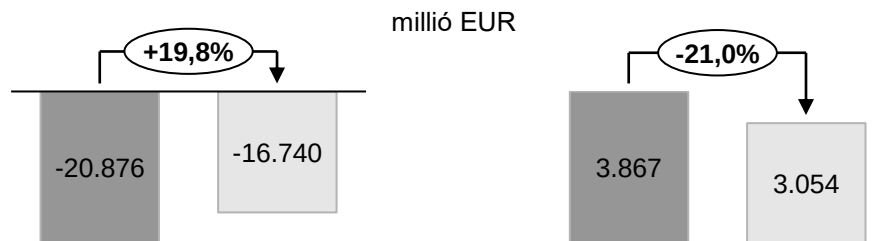
1 CH₄ 60 EUR / MWh
H₂ 8 EUR / kg

2 CH₄ 80 EUR / MWh
H₂ 2 EUR / kg

Kizárólag import mennyiség csökkenésének hatása



Forrásszerkezetet (importarányt) tartó* csökkenés hatása



Rendszerszintű egyenleg: ■ Jelenlegi FG-igény ■ Csökkenő FG-igény

Hatás megtérülő árkörnyezetben

**Megtérülő
árkörnyezetben a
földgázigény csökkenése
kisebb, de pozitív
megtérüléshez vezet.**

Hatás nem megtérülő árkörnyezetben

**Nem megtérülő
árkörnyezetben a
földgázigény csökkenése
kevésbé negatív
rendszerszintű
egyenleget eredményez,
tehát a támogatási igény
csökken.**

Következtetések

- A magas energiaárak és az energiahatékonyság növekedése miatt a hazai földgázfogyasztás csökkenése várható.
- A földgázigény csökkenése importhoz igazodó szállító-vezetési bekeverés esetén
 - nem változtat a rendszer-szintű egyenlegen, amennyiben a mennyiség csökkenése kizárólag az importban jelentkezik;
 - mérsékli a rendszerszintű egyenleget, amennyiben a mennyiség csökkenése a forrásszerkezet megtartásával, az importban és a hazai termelésben egyaránt jelentkezik*.
- Megtérülő árkörnyezetben a földgázmennyiség csökkenése kisebb, de pozitív megtérüléshez vezet.

A bekeverési arány növelése a megtérülő árkörnyezeten nem változtat, csak a megtérülés mértékén

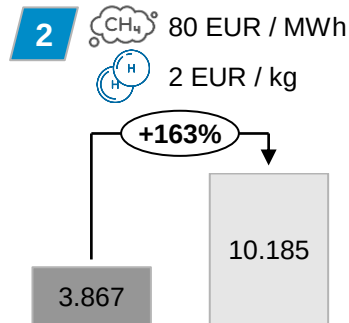
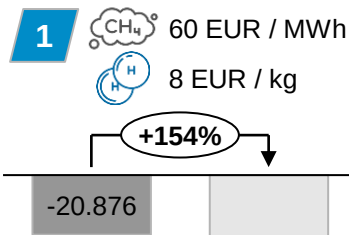
Rendszerszintű egyenleg

Bekeverés egyenlege és az éves szállított energiatartalom visszaállítása.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / kedvezőtlen

Rendszerszintű egyenleg változás



Bekeverés: 2% 5%

Következtetések

- 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 kétszeresítő hatással van az egyenlegre).
 - Ennek oka, hogy elsősorban a gázok ára határozza meg a megtérülést, és az infrastruktúra méretének és költségének hatása jóval kisebb.

Forgatókönyvek elemzése

1

Modellezési alapelvek és forgatókönyvek összefoglalója

2

Teljes mértékű hazai bekeverés forgatókönyve

3

Importhoz igazodó hazai bekeverés forgatókönyve

4

Importot meghaladó hazai bekeverés forgatókönyve



Modellezési alapelvek

A **hidrogén bekeverés elemzése során vizsgált gázelegy energiatartalma megegyezik az eredeti földgázéval**. A bekeverés vizsgálat elemei: gázcsere, bekeverési infrastruktúra, energiatartalom visszaállítás.

A bekeverés megtérülésének meghatározása három lépcsőben történik:

- 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.
- A **bekeverés egyenlegét** a gázcsere egyenlege és a szállítórendszeri bekeveréshez szükséges infrastruktúra éves ráfordítása határozza meg.
- A **rendszerszintű egyenleget** a bekeverés egyenlege és a gázelegy energiatartalmának visszaállítási költsége (gázelegy mennyiségének növelése) határozza meg.

A **hidrogén bekeverése a földgázszállító-rendszerben történik**, összesen négy betáplálási ponton. **Megkülönböztetésre kerülnek az eltérő földgáz források** (import, hazai termelés).

A **hidrogén betáplálási pontokon kiépítendő infrastruktúra kialakítása a modell részét képezi**. A földgáz-rendszer egészen létesítendő hidrogén monitoring infrastruktúra kialakítása nem képezi a modell részét.

A földgázszállítással és –elosztással foglalkozó társaságok elszámolási és további adminisztratív, irányítási rendszereinek felkészítése a hidrogénnel kevert földgáz elszámolására nem képezi a modell részét.

Feltételezések

Az éves gázforgalom havi megoszlása követi az elmúlt öt év forgalmának átlagos havi lefutását. A beállított éves gázmennyiség 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 betápláláskori H_2 aránya paramétereként állítható.
- A szezonális tárolás kezelése nem képezi a modell részét. A tároláshoz a gázelegy a szállítóvezetékbe a kívánt bekeverési aránynak megfelelő összetételben érkezik és a tárolás során a hidrogén aránya nem változik.
- A tranzit forgalom kezelése nem képezi a modell részét. Nincs szállítóvezeteki tranzit forgalom.

Az importból származó gázelegy az elszámolás során nem kerül megbontásra földgázra és hidrogénre, költsége az energiatartalma alapján földgáz áron történik, 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 kerül megtérítésre.

Az elemzés során három különböző bekeverési forgatókönyv vizsgálatára került sor

	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: Többség 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?

Forgatókönyvek elemzése

1 Forgatókönyvek elemzési összefoglalója

2 Teljes mértékű hazai bekeverés
forgatókönyve

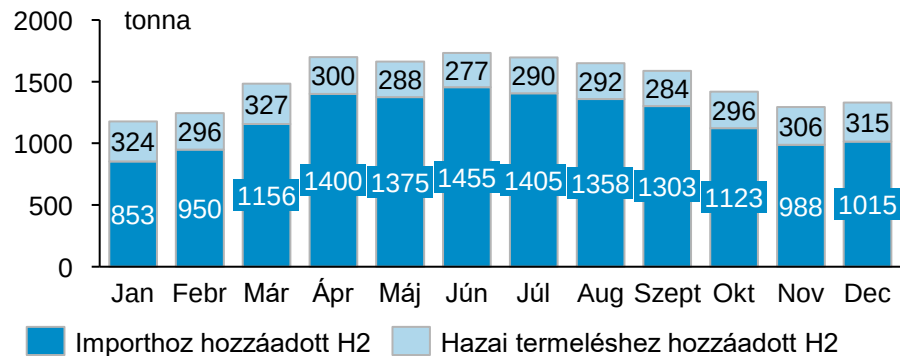
3 Importhoz igazodó hazai bekeverés
forgatókönyve

4 Importot meghaladó hazai bekeverés
forgatókönyve



Gázcsere esetén a szállítóvezetéki 2%-os bekeverés teljesen hazai megvalósítása évi 18 ezer tonna zöld hidrogén előállítását igényli

Havi hidrogén igény



Éves hazai H₂ igény

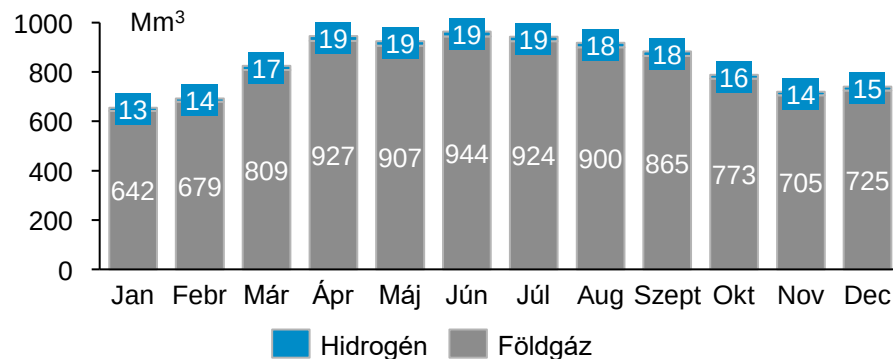
17.976
tonna



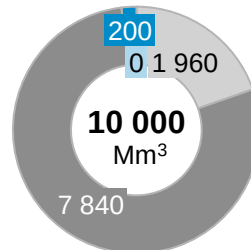
Következtetések

- Szállítóvezetéki állandó 2%-os bekeverés esetén az **éves zöld hidrogén igény 17.976 tonna**.
- 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 csúsigényű hónapokban a betáplálandó és a kiegyensúlyozási célú hidrogén rendelkezésre állása, a stabil logisztikai háttér kritikus.
- A hidrogén igény szezonális hasonlósága a naperőművi energia-termelés szezonálisához, így kedvező a zöld hidrogén előállítás szempontjából, azonban a nyári időszakon kívüli H₂ igény fedezéséhez más zöld energiaforrásra is szükség van.

Gázelegy havi összetétele



Éves mennyiség



■ Hazai H₂
■ Hazai FG
 ■ Import H₂
■ Import FG

A gázcserre egyenlege a 2.253 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 17.976 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik

Gázcserre egyenlege

Elkerült FG költség és hozzáadott H₂ beszerzési költség egyenlege.

Gázcserre egyenlege millió EUR		Hidrogén ár EUR / kg								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
CH₄ 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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / kedvezőtlen

Kiváltott földgáz

2.253
GWh



Hazai H₂ hozzáadás

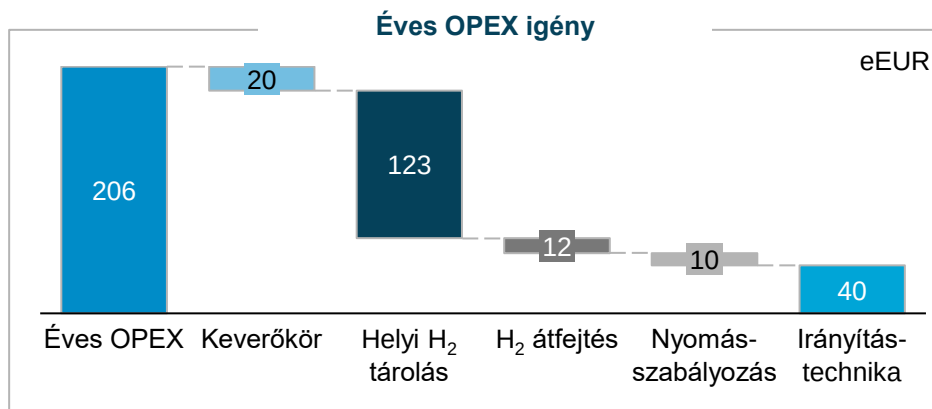
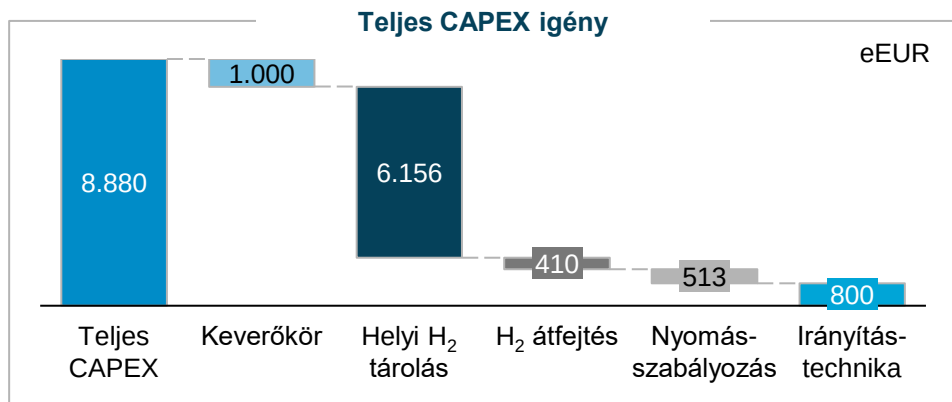
17.976
tonna



Következtetések

- A gázcserre során **kiváltott földgáz éves mennyisége 2.253 GWh, mely megtakarított költségként jelentkezik.**
- A **hazai hidrogén hozzáadási igény beszerzése jelenti a gázcserre költségét**, melynek éves mennyisége 17.976 tonna.
- A szállítóvezetési hidrogén bekeverés **gázcserre 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.

A szállítórendszeri bekeverési infrastruktúra létesítés és fenntartás évesített ráfordítása 877 eEUR, legnagyobb eleme a helyi H₂ tárolás



Évesített CAPEX*

671
eEUR / év



Éves OPEX

206
eEUR / év



Következtetések

- A földgázszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes ráfordítása 877 eEUR, melyből az évesített CAPEX 671 eEUR, az OPEX 206 eEUR.
- A teljes CAPEX 8.880 eEUR.
- A CAPEX meghatározó eleme a helyi H₂ tárolás (puffer-tartályok), melyek méretét és költségét az átlagos bekeverési mennyiség határozza meg.
- A második legnagyobb CAPEX elem a keverőkör.
- A H₂ átféjtése a helyi tárolókba és a nyomásszabályozás csak alacsony részét teszi ki a teljes CAPEX igénynek.
- Az OPEX legnagyobb eleme a helyi H₂ tárolás, ezt követi a keverőkör és az irányítás-technika (monitoring, biztonság).

A bekeverés egyenlege az infrastruktúra 877 eEUR éves ráfordításából és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenlegből adódik

Bekeverés egyenlege

Gázcsere egyenleg és a bekeverési infrastruktúra költsége.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Infrastruktúra költsége

877
eEUR / év



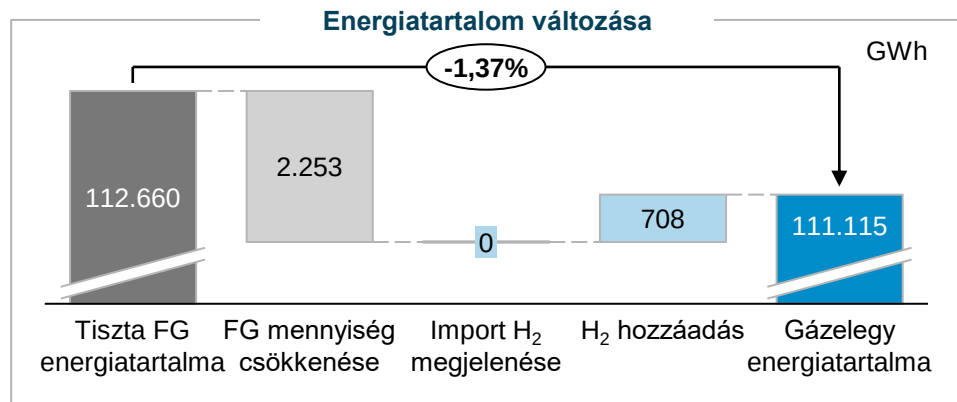
671
eEUR / év CAPEX

206
eEUR / év OPEX

Következtetések

- 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 877 eEUR.
- 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 alatti hidrogénár szükséges**, ez azonban nem veszi számításba a lecsökkent energiatartalom visszaállításának költségét.

Az energiatartalom csökkenés ellensúlyozásához 250 tonna pótlólagos hidrogén és 136 millió m³ pótlólagos földgáz szükséges

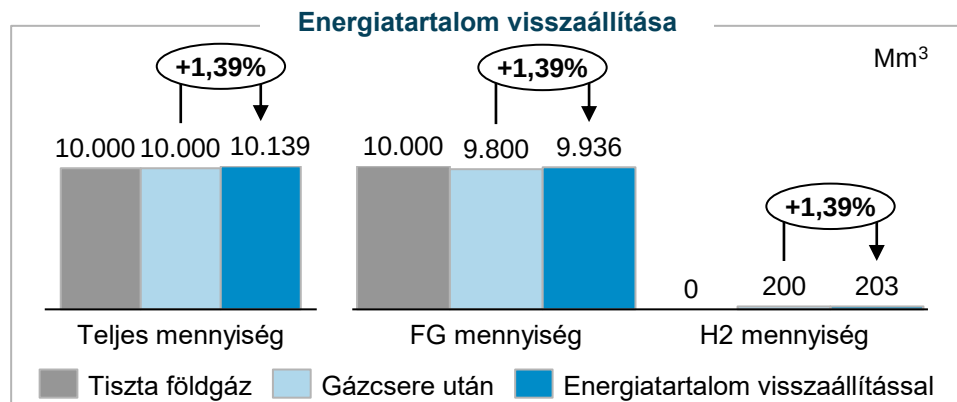


Energiatartalom csökkenés

1.545
GWh
1,37%

Következtetések

- 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.
- 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.



Többlet mennyiség

250
tonna H₂
136
millió m³ FG

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

Rendszerszintű egyenleg

Bekeverés egyenlege és az éves szállított energiatartalom visszaállítása.

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

Következtetések

- 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 megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, ily módon a földgáz- és hidrogénigényére.
- A hazai H₂ bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás 7,5 millió EUR, a hazai zöld H₂ előállítóknál keletkező származási garancia értéke 7,1 millió EUR.

Egyéb rendszerszintű hatások*

CO₂ kvóta megtakarítás értéke



7,5 millió EUR / év

Zöld H₂ GO értéke



7,1 millió EUR / év

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Forgatókönyvek elemzése

1 Forgatókönyvek elemzési összefoglalója

2 Teljes mértékű hazai bekeverés
forgatókönyve

3 Importhoz igazodó hazai bekeverés
forgatókönyve

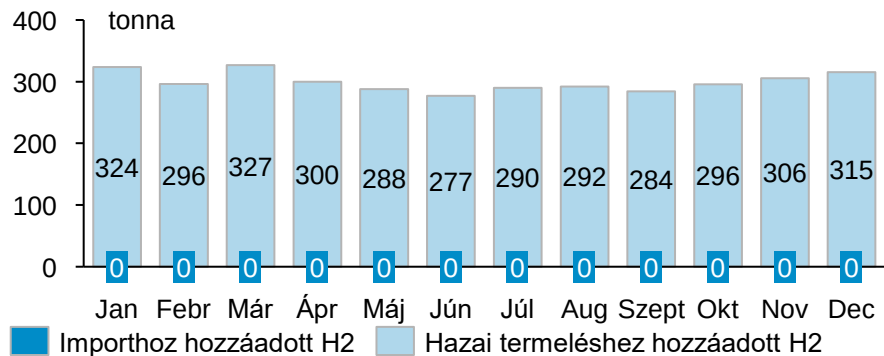
4 Importot meghaladó hazai bekeverés
forgatókönyve





Gázcsere esetén az importhoz igazodó szállítóvezetéki 2%-os bekeverés megvalósítása évi 3,5 ezer tonna zöld hidrogén előállítását igényli

Havi hidrogén igény

Éves hazai H₂ igény

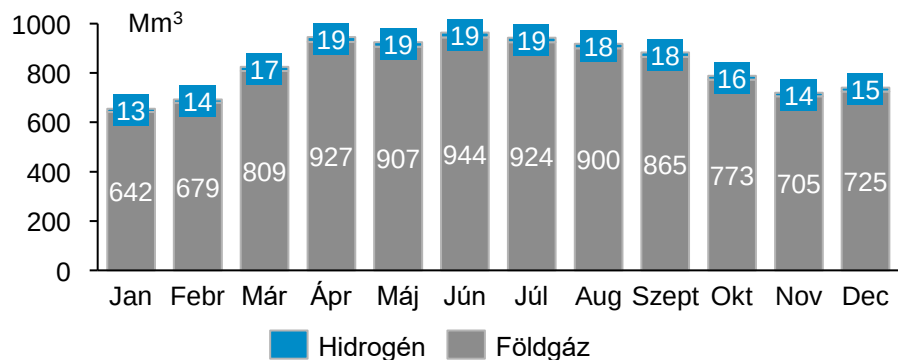
3.595
tonna



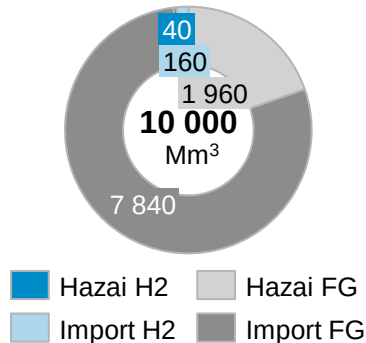
Következtetések

- Importhoz igazodó állandó 2%-os szállítóvezetéki bekeverés esetén az **éves hazai zöld hidrogén igény 3.595 tonna**.
- 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.
- A havi hidrogén igény egyenletes lefutása miatt a szükséges zöld H₂ előállításához a naperőművi energiatermelésen túl más zöld energiaforrásra is szükség van.

Gázegy havi összetétele



Éves mennyiség





A gázcserre egyenlege az 1.687 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 3.595 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik

Gázcserre egyenlege

Elkerült FG költség és hozzáadott H₂ beszerzési költség egyenlege.

Gázcserre 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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Kiváltott FG

1.687
GWh



Hazai H₂ hozzáadás

3.595
tonna

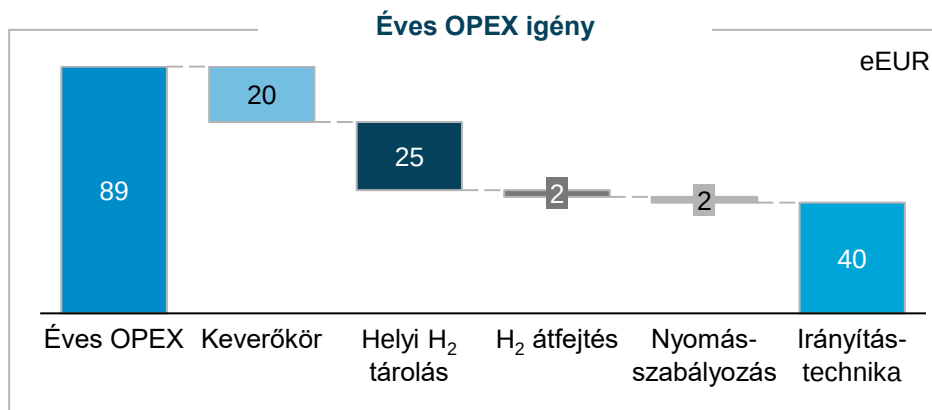
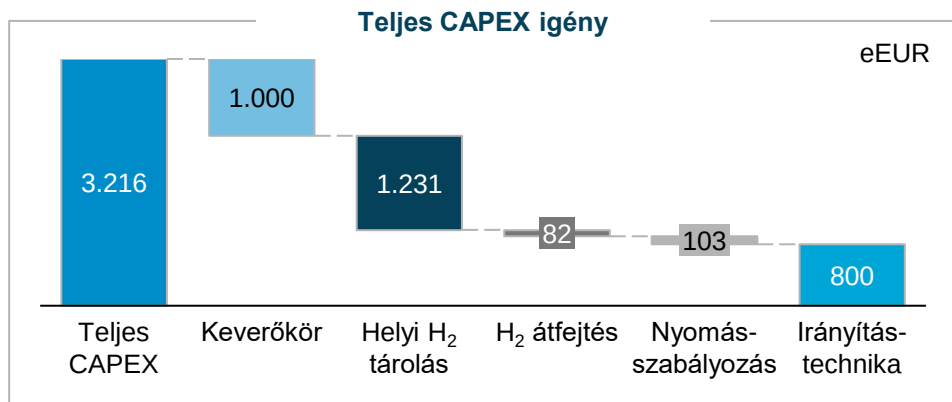


Következtetések

- A gázcserre során **kiváltott földgáz éves mennyisége 1.687 GWh**, mely megtakarított költségként jelentkezik.
- A hazai hidrogén hozzáadási igény **beszerzése jelenti a gázcserre költségét**, melynek éves mennyisége 3.595 tonna.
- A szállítóvezetési hidrogén bekeverés **gázcserre 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.



A szállítórendszeri bekeverési infrastruktúra létesítés és fenntartás évesített ráfordítása 332 eEUR, legnagyobb eleme a helyi H₂ tárolás



Évesített CAPEX*

243
eEUR / év



Éves OPEX

89
eEUR / év



Következtetések

- A földgázzszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes költsége 332 eEUR, melyből az évesített CAPEX 243 eEUR, az OPEX 89 eEUR.
- A teljes CAPEX 3.216 eEUR.
- A CAPEX legnagyobb eleme a helyi H₂ tárolás (puffertartályok), melyek méretét és költségét az átlagos bekeverési mennyiség határozza meg.
- A második legnagyobb CAPEX elem a keverőkör.
- A H₂ átféjtése a helyi tárolókba és a nyomásszabályozás csak alacsony részét teszi ki a teljes CAPEX igénynek.
- Az OPEX legnagyobb eleme az irányítástechnika (monitoring, biztonság, stb.), ezt követi a keverőkör és a helyi H₂ tárolás.



A bekeverés egyenlege az infrastruktúra 332 eEUR éves ráfordításából és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenlegből adódik

Bekeverés egyenlege

Gázcsere egyenleg és a bekeverési infrastruktúra költsége.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Infrastruktúra költsége

332
eEUR / év



243
eEUR / év CAPEX

89
eEUR / év OPEX

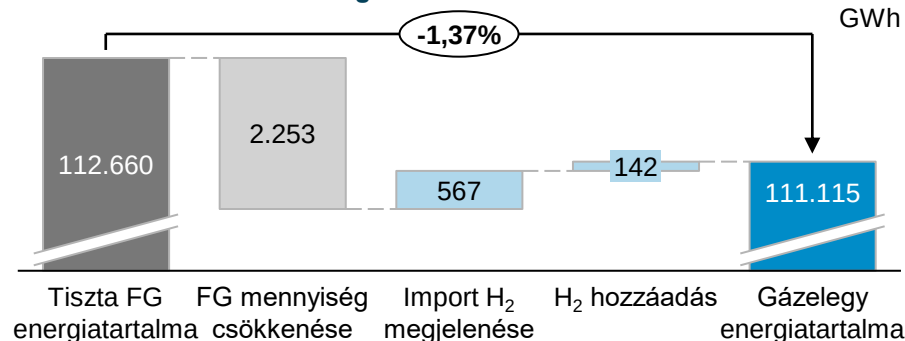
Következtetések

- 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 eEUR.
- 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.



Az energiatartalom csökkenés ellensúlyozásához pótlólagosan 50 tonna hazai, 200 tonna import hidrogén és 136 millió m³ földgáz szükséges

Energiatartalom változása



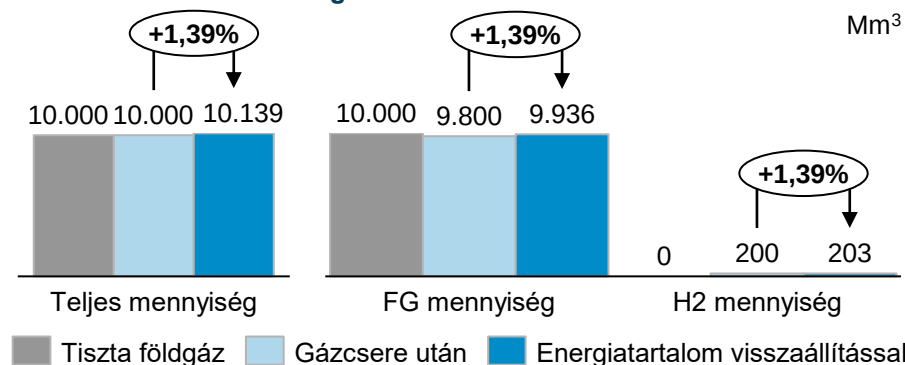
Energiatartalom csökkenés

1.545
GWh
1,37%

Következtetések

- A gázcsera során a gázelegy energiatartalma a tiszta földgázhoz képest 1.545 GWh (1,37%) mértékben csökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt, 111.115 GWh értékre.
- 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.

Energiatartalom visszaállítása



Többslet mennyiség

250
tonna H₂
136
millió m³ FG



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

Rendszerszintű egyenleg

Bekeverés egyenlege és az éves szállított energiatartalom visszaállítása.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Következtetések

- 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 emelkedésével érhetőek el.
- A hazai viszonyok között elérhető zöld hidrogén előállítási költség 9-10 EUR/kg, amely mellett a bekeverés megtérülése támogatás esetén lehet megtérülő a reális földgázár-tartományban.
- A technológiai fejlődés hatására itthon elérhető 4-5 EUR/kg hidrogénár esetén a megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, ily módon a földgáz- és hidrogénigényére.
- A hazai H₂ bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás 1,5 millió EUR, a hazai zöld H₂ előállítóknál keletkező származási garancia értéke 1,4 millió EUR.

Egyéb rendszerszintű hatások*

CO₂ kvóta megtakarítás értéke



1,5 millió EUR / év

Zöld H₂ GO értéke



1,4 millió EUR / év

Forgatókönyvek elemzése

1 Forgatókönyvek elemzési összefoglalója

2 Teljes mértékű hazai bekeverés
forgatókönyve

3 Importhoz igazodó hazai bekeverés
forgatókönyve

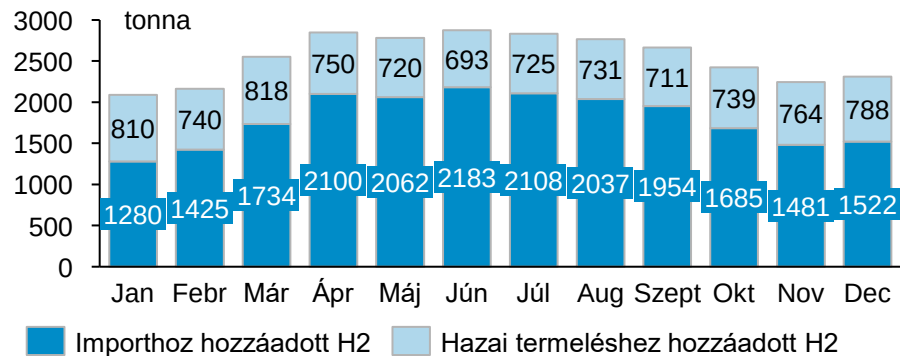
4 Importot meghaladó hazai bekeverés
forgatókönyve





Gázcsere esetén a szállítóvezetéki 5%-os bekeverés évi hazai zöld hidrogén igénye 2%-os hidrogéntartalmú import mellett 30,6 ezer tonna

Havi hidrogén igény

Éves hazai H₂ igény

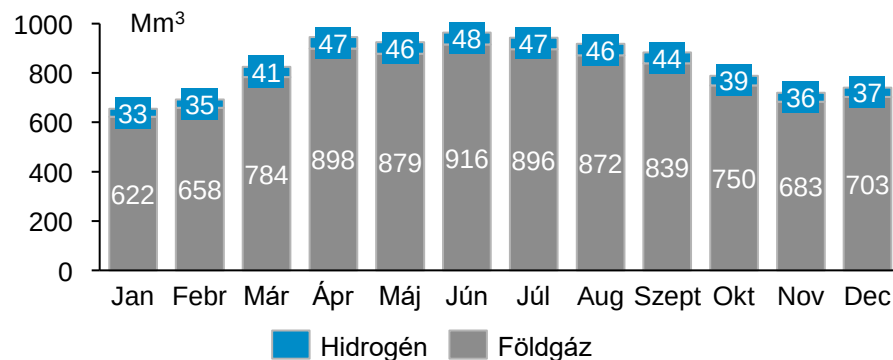
30.559
tonna



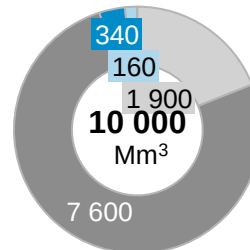
Következtetések

- Szállítóvezetéki állandó 5%-os bekeverés és 2% hidrogéntartalmú import mellett az **éves zöld H₂ igény 30.559 tonna**.
- 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.
- A hidrogén igény szezonálisága hasonló a naperőművi energia-termelés szezonálisához, így kedvező a zöld hidrogén előállítás szempontjából, azonban a nyári időszakon kívüli H₂ igény fedezéséhez más zöld energiaforrásra is szükség van.

Gázelegy havi összetétele



Éves mennyiség



Hazai H₂ Hazai FG
Import H₂ Import FG



A gázcsere egyenlege az 5.066 GWh kiváltott földgáz elkerült költségéből és a 30.559 tonna hidrogén beszerzési költségéből adódik

Gázcsere egyenlege

Elkerült FG költség és hozzáadott H₂ beszerzési költség egyenlege.

	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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Kiváltott földgáz

5.066
GWh



Hazai H₂ hozzáadás

30.559
tonna

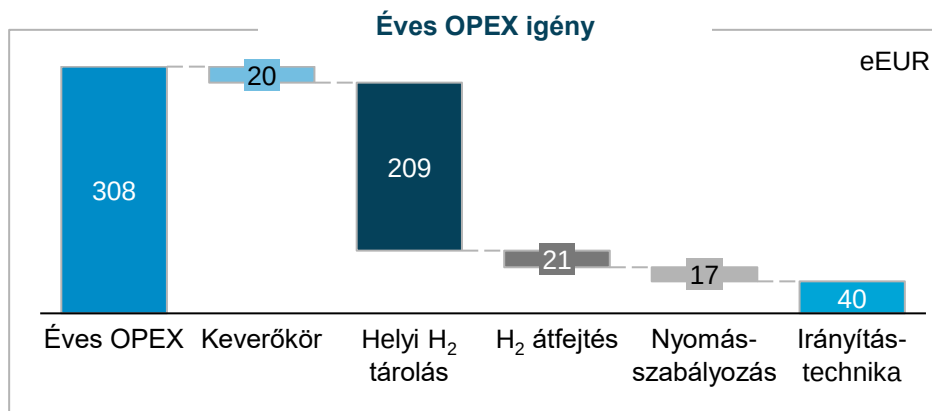
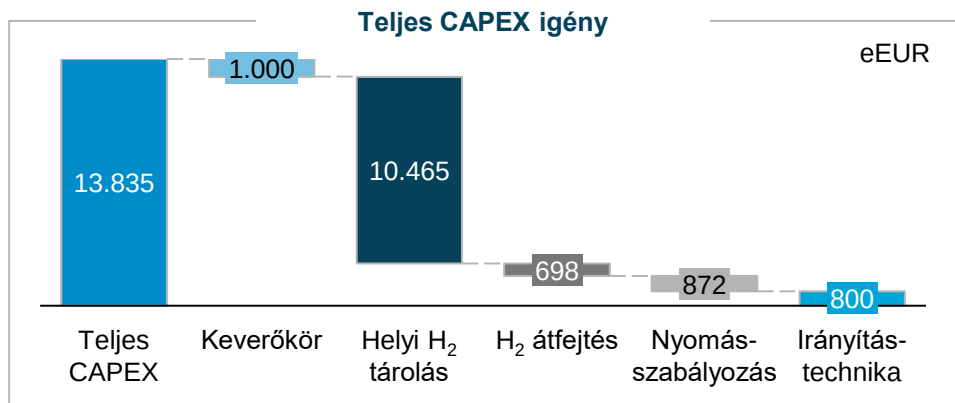


Következtetések

- A gázcsere során **kiváltott földgáz éves mennyisége 5.066 GWh**, mely megtakarított költségként jelentkezik.
- A **hazai hidrogén hozzáadási igény beszerzése jelenti a gázcsere költségét**, melynek éves mennyisége 30.559 tonna.
- A szállítóvezetési 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.



A szállítórendszeri bekeverési infrastruktúra létesítés és fenntartás évesített ráfordítása 1.353 eEUR, meghatározó eleme a helyi H₂ tárolás



Évesített CAPEX*

1.045
eEUR / év



Éves OPEX

308
eEUR / év



Következtetések

- A földgázszállító-rendszeren létesítendő bekeverési infrastruktúra éves teljes költsége 1.353 eEUR, melyből az évesített CAPEX 1.045 eEUR, az OPEX 308 eEUR.
- A teljes CAPEX 13.835 eEUR.
- A CAPEX meghatározó eleme a helyi H₂ tárolás (puffer-tartályok), 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 legkisebb elem a H₂ átféjtése a helyi tárolókba.
- Az OPEX legnagyobb eleme a helyi H₂ tárolás. A további elemek csak alacsony részét teszi ki a teljes OPEX igénynek.



A bekeverés egyenlege az infrastruktúra 1.353 eEUR éves ráfordításából és az árkörnyezettől függő gázcsere egyenlegből adódik

Bekeverés egyenlege

Gázcsere egyenleg és a bekeverési infrastruktúra költsége.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Infrastruktúra költsége

1.353
eEUR / év



1.045
eEUR / év CAPEX

308
eEUR / év OPEX

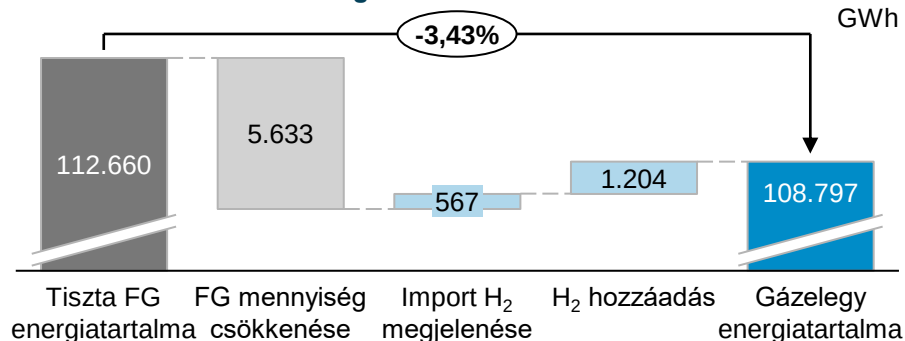
Következtetések

- 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 1.353 eEUR.
- 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.



Az energiatartalom csökkenés ellensúlyozásához pótlólagosan 1.085 tonna hazai, 510 tonna import H₂ és 337 millió m³ földgáz szükséges

Energiatartalom változása



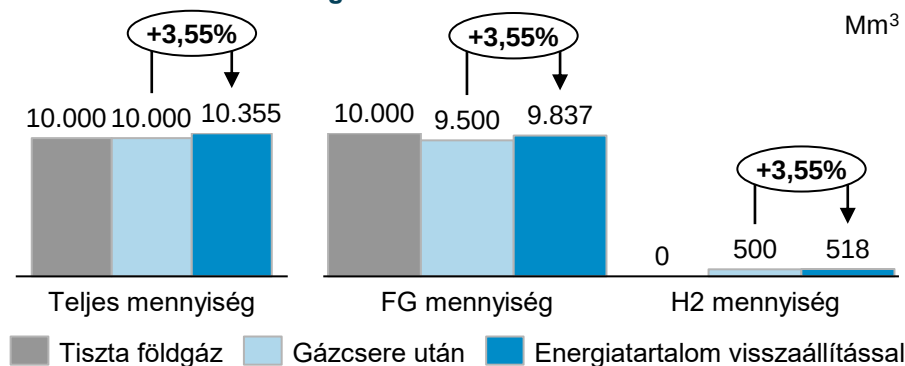
Energiatartalom csökkenés

3.862
GWh
3,43%

Következtetések

- A gázcsera során a gázelegy energiatartalma a tiszta földgázhoz képest 3.862 GWh (3,43%) mértékben csökken a hidrogén alacsonyabb fűtőértéke miatt, 108.797 GWh értékre.
- 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.

Energiatartalom visszaállítása



Többség mennyiség

1.595
tonna H₂
337
millió m³ FG



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

Rendszerszintű egyenleg

Bekeverés egyenlege és az éves szállított energiatartalom visszaállítása.

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

Jelmagyarázat: Egyenleg **kedvező** / **kedvezőtlen**

Következtetések

- 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 emelkedésével 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 megtérüléshez szükséges 120-140 EUR/MWh földgázár olyan magas, hogy jelentős hatást gyakorol a gazdaság egészére, a nagy felhasználók tevékenységére, ily módon a földgáz- és hidrogénigényére.
- A hazai H₂ bekeveréssel az ETS érintett fogyasztóknál keletkező éves CO₂ kvóta megtakarítás 13 millió EUR, a hazai zöld H₂ előállítóknál keletkező származási garancia értéke 12,3 millió EUR.

Egyéb rendszerszintű hatások*

CO₂ kvóta megtakarítás értéke



13 millió EUR / év

Zöld H₂ GO értéke



12,3 millió EUR / év

