

Zöld hidrogén földgázba keverése

Gazdasági modell

Gazdasági modell kiinduló adatai, kulcs feltételezései és forgatókönyvek leírása

Tartalomjegyzék

Modellezési célok	3
Modellezési alapelvek	4
A modell felépítése	8
Elemzési lehetőségek és vizsgált forgatókönyvek	10
Modellezési premisszák	12
Műszaki premisszák	12
Pénzügyi premisszák	14
Ár premisszák	16

Modellezési célok

A „Zöld hidrogén földgázba keverése” üzleti modell célja a hidrogén földgázba keverésének műszaki és gazdasági elemzése, a bekeverés megtérülésének számítása különböző földgáz és hidrogén árkörnyezetekben.

A modell input paraméterek mentén vezérelhető:

- **Bekeverési arány:** A hidrogén földgázhoz keverését meghatározó arány, a létrejövő gázelegy hidrogén tartalma térfogat alapon.
- **Éves gázforgalom:** A bekeverés során kiváltandó éves földgáz forgalom, földgázforrások szerinti bontásban.

A modellezés és elemzés **fő vizsgálati kérdései:**

- Milyen árkörnyezetben lehet megtérülő a hidrogén földgázba keverése?
- Hogyan hat a bekeverési arány változása a megtérülésre?
- Hogyan hat a gázforgalom megváltozása a megtérülésre?
- Hogyan hat a földgáz források megváltozása a megtérülésre?

A modell lehetővé teszi a hazai körülmények közötti hidrogén bekeverés vizsgálatát, több bekeverési és gázellátási forgatókönyv mentén, számos piaci földgáz és hidrogén árkörnyezet esetén.

A gazdasági modell Excelben készül.

Modellezési alapelvek

A modell kialakítását a modellezési célok 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 felépítésére vonatkozó alapelvek:

- A modell műszaki és gazdasági modellrészekből épül fel, melyek egymásnak inputokat szolgáltatnak.
- A műszaki modellrész egyetlen évre vonatkozik, havi bontással és a vizsgálandó eredmények éves összesítésével rendelkezik, célja a beállított bekeverési arány eléréséhez szükséges hidrogén mennyiség és a keletkező gázelegy paramétereinek számítása.

- A gazdasági modellrészek egyetlen évre vonatkoznak, céljuk a bekeverés egyenlegeinek – gázcsere egyenlege, bekeverés egyenlege, rendszerszintű egyenleg – meghatározása.

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 egészén 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 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 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 – 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.

A modell felépítése

A modell három modulból épül fel.

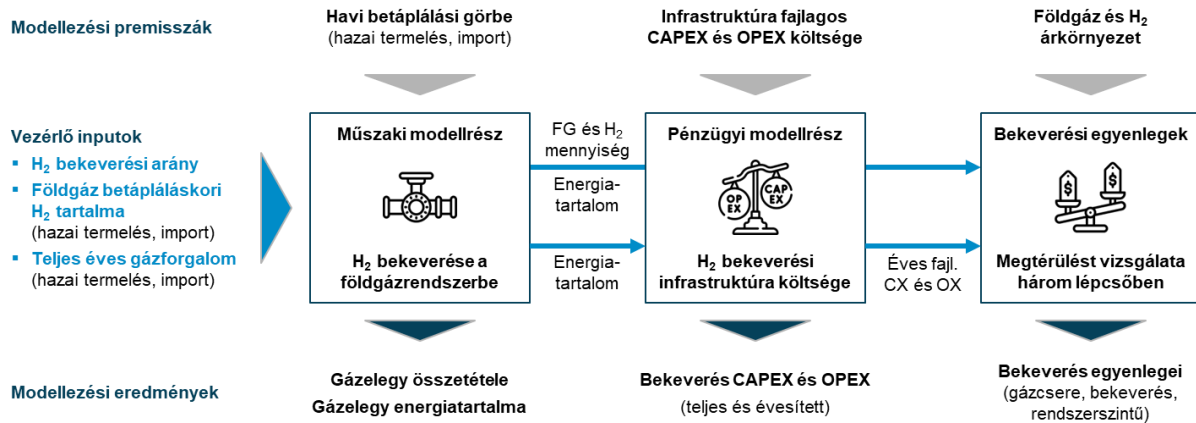
A **műszaki modellrész** célja a hidrogén földgázrendszerbe keverése során előálló gázelegy összetételének és energiatartalmának meghatározása. A modul a hidrogén bekeverési arányára, a teljes éves gázforgalomra és a földgáz betápláláskori hidrogén tartalmára vonatkozó vezérlő inputok szerint számítja ki a gázelegyben a földgáz és a hidrogén mennyiségét, valamint a gázelegy energiatartalmát. A kalkulációk során megkülönböztetésre kerülnek az egyes földgáz források (import és hazai termelés), és ezeken túl a hidrogén tartalom forrása is (import vagy hazai hozzáadott). A modell felépítése havi bontást követ, ezzel bemutatva a vezérlő inputként megadott bekeverési arány fenntartásához szükséges hidrogén igény éven belüli változását. A havi bontás alapját az elmúlt öt év hazai betáplálási görbéiből képzett átlagos betáplálási görbe adja. A modellrészben kerül számításra a gázcsere egyenleg meghatározásához szükséges, mennyiség megtartása (állandó térfogat) melletti bekeverés gázelegy összetételének meghatározása, valamint az energiatartalom visszaállításával az fűtőérték megtartása melletti gázelegy összetételének meghatározása. A kalkulációk éves összesített eredményei átadásra kerülnek a pénzügyi modellrésznek és a bekeverési egyenlegeket számító modellrésznek.

A **pénzügyi modellrész** célja a hidrogén bekeverési infrastruktúra beruházási és működési költségének meghatározása. A modul az egyes technológiai komponensek fajlagos CAPEX és OPEX költség premisszái, valamint az infrastruktúra méretezési premisszák és a műszaki modellrésztől kapott eredmények alapján számítja a hidrogén bekeverés teljes és éves fajlagos CAPEX és OPEX költségét. Ezen kívül a hazai bekeveréssel elérhető, rendszerszintű szén-dioxid kvóta megtakarítás és zöld hidrogén származási garancia értéke is kiszámításra kerül. A kalkulációk eredményei átadásra kerülnek a bekeverési egyenlegeket számító modellrésznek.

A **bekeverési egyenlegek** modul célja meghatározni a hidrogén földgázba keverésének megtérülését különböző hidrogén és földgáz árkörnyezetekben, a hazai földgázszállító-rendszer egészén, éves szinten. A modellrész a három bekeverési egyenleget – gázcsere egyenlege, bekeverés egyenlege, rendszerszintű egyenleg –

egyszerre számítja ki számos különböző hidrogén- és földgázár premissza mentén, alapul véve a műszaki és a beruházási modellrészekről kapott eredményeket. A modul kalkulációk során állnak elő a gazdasági modell elsődleges modellezési eredményei.

A modell koncepcionális felépítése látható a 1. ábrán.



1. ábra: A hidrogén bekeverési modell koncepcionális felépítése

Elemzési lehetőségek és 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 mértéke hazai bekeverési forgatókönyv célja a hazai földgázszállító-rendszerben 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 2. 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?

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

Modellezési premisszák

A modell fő műszaki premisszái a konverziós premisszák, az éves földgáz betáplálási görbék és a bekeverési infrastruktúra méretezésére vonatkozó premisszák.

Műszaki premisszák

Konverziós premisszák

A konverziós premisszák határozzák meg a földgáz és hidrogén anyagi jellemzői közötti átváltási arányokat.

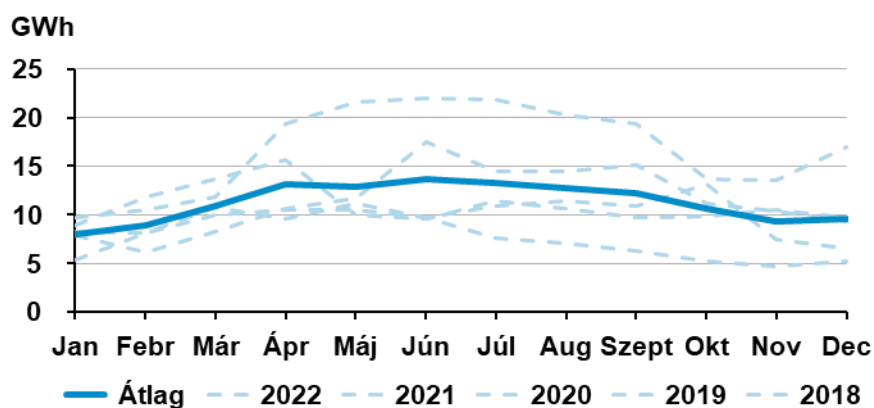
1. táblázat: Konverziós premisszák értéke

Anyag	Mennyiség	ME		Mennyiség	ME	Átváltási alap
Hidrogén	1	kg	=	11,126	m ³	Sűrűség
Hidrogén	1	kg	=	39,4	kWh	Égéshő
Földgáz	1	kg	=	11,27	kWh	Égéshő (GCV)

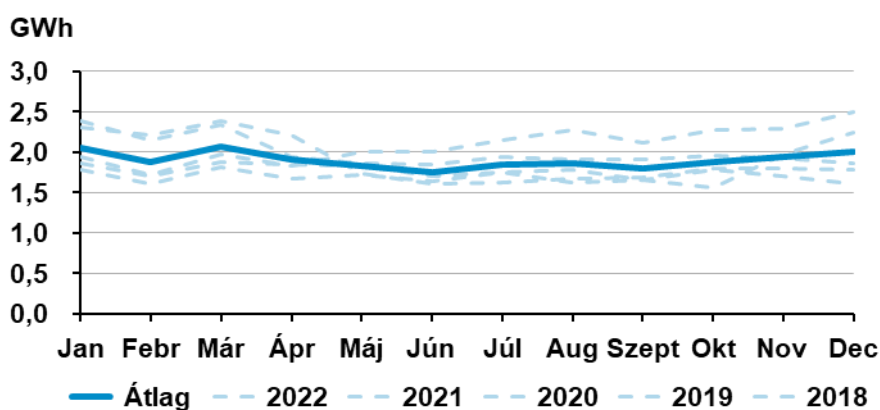
Éves földgáz betáplálási görbék

Az éves földgáz betáplálás premisszái az **import betáplálási görbéje** és a **hazai termelés betáplálási görbéje**, melyek meghatározzák az inputként megadott éves földgáz mennyiségek havi felosztását. Értékük a hazai földgázszállító-rendszer elmúlt öt évre vonatkozó havi betáplálási adatainak átlagából származik. Az adatok forrása a MEKH által kiadott „A magyar földgázrendszer éves adatai 2022.” kiadvány.

A premisszák értékét meghatározó import betáplálási görbék a 3. ábrán, a hazai termelés betáplálási görbék a 4. ábrán láthatók.



4. ábra: A földgázszállító-rendszer éves import betáplálási görbéi havi bontásban



3. ábra: A földgázszállító-rendszer éves hazai termelésű betáplálási görbéi havi bontásban

Bekeverési infrastruktúra premisszái

A bekeverési infrastruktúra premisszái határozzák meg az infrastruktúra elemek méretezését, melyek a CAPEX és OPEX számításához szükségesek.

2. táblázat: Bekeverési infrastruktúra premisszák értéke

Premissza	Érték	ME	Leírás
Betáplálási pontok száma	4	darab	A szállítórendszer egészén a gázelegy egyenletes elkeveredéséhez szükséges hidrogén betáplálási pontok száma.
Helyi hidrogén puffer igénye	3	óra	Pufferidő, a szállítórendszerben az állandó bekeverési arány fenntartásához szükséges puffer hidrogén mennyiség meghatározásához. Minden betáplálási ponton a pufferidőnek megfelelő átlagos órás hidrogén bekeverési mennyiség helyi tárolása szükséges.
Hidrogén átfertési kapacitás igény	2	óra	Hidrogén helyi átfertéséhez szükséges kapacitás igény, az átlagos órás hidrogén bekeverési mennyiség alapján megadva. Minden betáplálási ponton szükséges.

Pénzügyi premisszák

A modell fő pénzügyi premisszái a bekeverési infrastruktúra fajlagos CAPEX és OPEX premisszái, az évesített CAPEX meghatározásához szükséges finanszírozási premisszák, valamint a megtakarított szén-dioxid kvóta és a zöld hidrogén származási garancia számításához szükséges premisszák.

Fajlagos CAPEX és OPEX

A fajlagos CAPEX és OPEX premisszák határozzák meg a bekeverési infrastruktúra egyes technológiai elemeinek és egészének beruházási költségét és éves üzemeltetési költségét. Alapjukat hazai benchmark képezi.

3. táblázat: Fajlagos CAPEX és OPEX premisszák értéke

Technológia	Fajlagos CAPEX	ME	OPEX	ME
Keverőkör és betáplálás	250.000	EUR/db	2%	CX%
Helyi hidrogén tárolás (kiegyenlítés)	1.000	EUR/kg	2%	CX%
Hidrogén átfertés (állomás)	100	EUR/kg	3%	CX%
Nyomásszabályozás (állomás)	250	EUR/kg	2%	CX%
Irányítástechnika (monitoring, biztonság)	200.000	EUR	5%	CX%

Évesített CAPEX meghatározása

Az évesített CAPEX értéke megegyezik annak az annuitásnak az éves pénzáramával, melynek időszaka az infrastruktúra átlagos súlyozott élettartama, jelenértéke pedig az elvart tőkehozammal megnövelt CAPEX értéke.

4. táblázat: Premisszák az évesített CAPEX meghatározásához

Premissza	Érték	ME	Leírás
Elvart tőkehozam	4%	%	A befektetésre (CAPEX) vonatkozó elvart tőkehozam.
Diszkontráta	6%	%	Az annuitás számításához használt diszkontráta.
Átlagos súlyozott élettartam	30	év	A bekeverési infrastruktúra egészének átlagos, súlyozott élettartama.

EU ETS premisszák

Az EU ETS premisszák szükségesek a rendszerszintű szén-dioxid kvóta megtakarítás értékének meghatározásához.

5. táblázat: Premisszák az éves rendszerszintű szén-dioxid kvóta megtakarítás értékének meghatározásához

Premissza	Érték	ME	Leírás
EU ETS érintett gázfogyasztás aránya	33%	%	A hazai teljes földgázigényből az ETS érintett fogyasztás aránya
Földgáz égetés fajlagos CO₂ kibocsátása	0,35	tonna/MWh	A hazai földgáz égetés fajlagos CO ₂ kibocsátása, a különböző felhasználási módok becsült átlagában.
CO₂ kvótaár	90	EUR/tonna	A CO ₂ kvóta ára.

Zöld H₂ származási garancia premisszák

A zöld H₂ származási garancia premisszák szükségesek a rendszerszintű szén-dioxid kvóta megtakarítás értékének meghatározásához.

6. táblázat: Premisszák az éves rendszerszintű zöld hidrogén származási garancia értékének meghatározásához

Premissza	Érték	ME	Leírás
GO vásárlásban érintett hazai H ₂ hozzáadás aránya	33%	%	A hazai bekeverés teljes hidrogén hozzáadásából a származási garancia vásárlásban érintett hidrogén aránya.
GO ár	30	EUR/MWh	A zöld hidrogén származási garancia ára.

Ár premisszák

A földgáz és hidrogén árára vonatkozó premisszák mentén kerül meghatározásra a hidrogén hazai földgázszállító-rendszerbe keverésének megtérülése. A modell a megtérülés számítás elemeit jelentő bekeverési egyenlegeket egyszerre számítja ki számos különböző hidrogén- és földgázár premissza mentén.

7. táblázat: A vizsgált hidrogén és földgáz árkörnyezetek leírása

	Ártartomány	Felbontás	Mértékegység
Hidrogén	2-20 EUR	1 EUR	EUR/kg
Földgáz	20-300 EUR	20 EUR	EUR/MWh

A bekeverési egyenlegek számítására használt árkörnyezet mátrix látható a X. ábrán.

		H ₂ ár →											EUR / kg
FG ár ↓		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
20													
40													
60													
80													
100													
120													
140													
160													
180													
200													
220													
240													
260													
280													
300													

EUR / MWh

5. ábra: A bekeverési egyenlegek számítására használt árkörnyezet mátrix