



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

TDK-DOLGOZAT

*A hidrogén meghajtású tolatómozdonyok üzemeltetési
módszereinek fejlesztése*

Készítette:

Sziráki Tamás

Közlekedésmérnök BSc

Konzulens:

Dr. Csiszár Csaba

egyetemi tanár

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. Téma aktualitása, lehatárolások, helyzetfelmérés	5
3. Irodalomkutatás	11
3.1 A hidrogén előállítása	12
3.2 A töltőhálózat	13
3.3 A hidrogénes infrastruktúra megtérülés számítási módszere	15
3.3 A hidrogén ára	16
4. A kifejlesztett több lépcsős módszer	20
4.1 A kétlépcsős módszer kiválasztásos fejezete - M_k	20
4.2 A hidrogén és az állomás értékelő páros	24
4.3 Példaalkalmazás	29
5. Megtérülés számítása egyszerűsített CBA módszerrel	31
6. Konklúzió	34
7. Irodalomjegyzék	35
8. Melléklet	38

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Csiszár Csabának, aki meglátásaival, javaslataival és mérhetetlen türelmével segítette a TDK dolgozatom elkészülését. Továbbá szeretnék köszönetet mondani Dr. Farkas Bálintnak, aki szintén nagy mértékben hozzájárult a dolgozatom megszületéséhez.

1. Bevezetés

Dolgozatomban a **hidrogén** meghajtás **vasúti alkalmazására dolgozok ki egy módszert**. A hidrogén egy alternatív meghajtási forma, amelynél lehetséges a zérus károsanyag kibocsátás és nem szükséges felsővezeték, ezáltal alacsony az infrastruktúra igénye. A dolgozat legelején megvizsgálom a lehetőségeit a pontos alkalmazásnak.

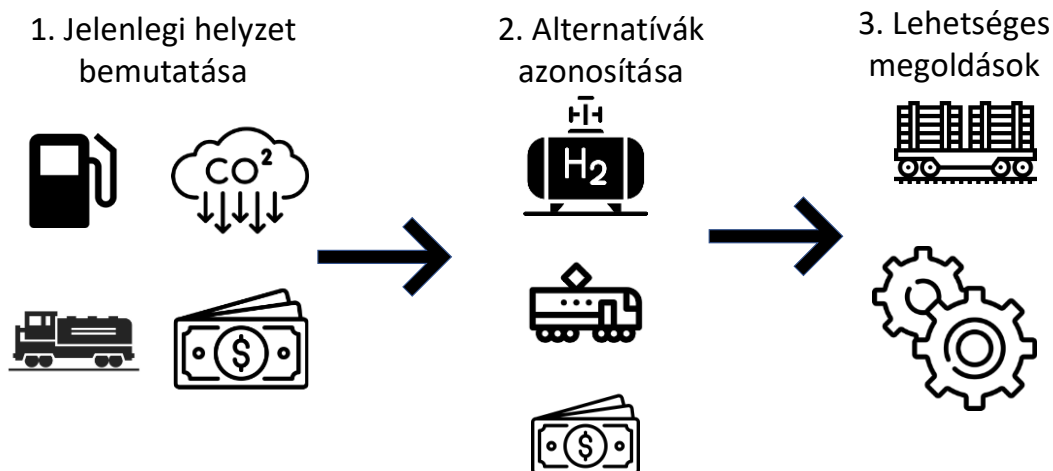
Áttekintem a legfontosabb tényadatokat a hidrogénről, a jelenlegi technológiáról és az infrastrukturális elemekről. Ezen adatok fontosak mind üzemeltetési, mind pedig károsanyag kibocsátási szempontból. Ilyen elemek az ár, károsanyag-kibocsátás, jelenlegi fejlettség és jelenlegi alkalmazás.

Emellett **adatokkal bizonyítom be**, hogy miért a **tolatómozdonyok területe** az **ideális alkalmazási terület elsőként** a meghajtás alkalmazásához. Ezt követően egy értékelő módszert dolgozok ki a meghajtás alkalmazásának elősegítéséhez. Célom ezzel az eredménnyel megmutatni, hogy a meghajtás alkalmas a használatra nem csak környezeti, hanem gazdasági szempontokból is.

Továbbá ezzel az értékelőrendszerrel egy átfogóbb értékelést kívánok a lehető legegyszerűbb és legáttekinthetőbb módon alkalmazásra bocsátani a dolgozatban.

Kutatásomban az alábbi kérdésekre keresem a válaszokat:

- Gazdaságosabb megoldás-e a jelenlegi dízelmozdonyoknál,
- A veszteségidők csökkentésével lehet spórolni az üzemanyagköltséggel, ha igen mennyit,
- Hogyan célszerű értékelni állomási és hidrogén szinten az alkalmazást,



1. ábra: A dolgozat vázlatja

2. Téma aktualitása, lehatárolások, helyzetfelmérés

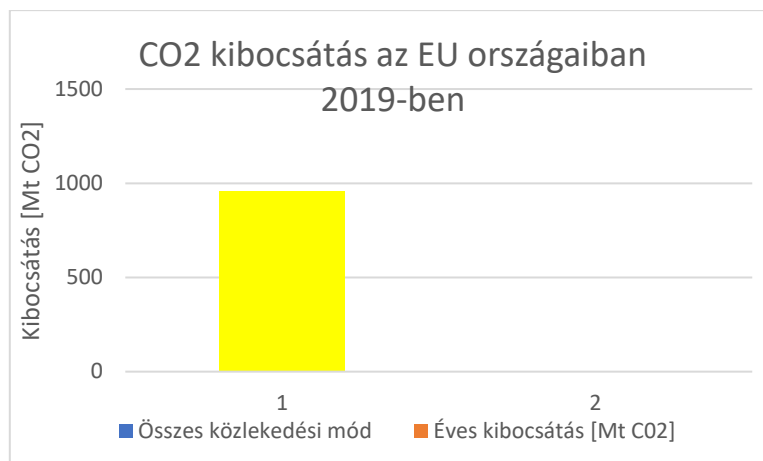
Az egyik leggyakoribb érv a vasút mellett, hogy a fajlagos kibocsátása sokkal alacsonyabb, mint a közúti járművek esetében. Amíg egy kamion vagy tehergépkocsi tonnakilométerenként 137 g CO₂ kibocsátást idéz elő, addig egy tehermozdony csupán 24 g-os értéket ér el tonnakilométerenként, amely érték kevesebb, mint az ötöde a kamion kibocsátásának [1]. Viszont jelenleg is dolgoznak dízel meghajtású mozdonyok a magyar vasúton. Ennek egyik lehetséges oka, hogy az iparvágányok nem is feltétlenül villamosíthatóak. A BILK egy megfelelő példa a potenciális fejlesztési lehetőségre. A konténerakkódó miatt a felsővezeték kihúzása problémákat jelentene a rakodási folyamatok véghezvitelében. Éppen ezért nincs is villamosítva a BILK iparvágányai. Ez nem csupán Magyarországon van így, hanem a vasúti infrastruktúrában sokkal fejlettebb Svájc esetében is. 99,8% a villamosított vágányok száma, viszont a maradék 0,2%-nyi vágányhosszon dízel meghajtású tolatómozdonyokat alkalmaznak. Az elmúlt években új személy és teherszállító mozdonyok is érkeztek hazánkba, viszont tolatómozdonyra csak magáncéges megrendelés érkezett, nem pedig a MÁV részéről, továbbá az M44-es mozdony 1954-71 közötti gyártásával és a V46-os mozdony 1983-1992 közötti gyártásával régi gépek a jelenlegi járművek átlagéletkorához viszonyítva, amennyiben figyelembe vesszük azt, hogy csupán remotorizációk történtek és új tolatómozdonyokat nem szereztek be ezen típusok helyére.

Éppen ezért egy **megfelelő** alkalmazásra sugall a **tolatómozdonyok hidrogén meghajtására történő leváltása**, amely állítást a dolgozatomban a **későbbiekben számításokkal is alátámasztok**. Emellett az állóidők mértéke is magas a mozdonyok tekintetében. Ez pedig sem az áruszállításra, sem pedig a személyszállításra nem igaz. Ez egy **másik érv** a szegmens **hidrogénessé alakítására**. Továbbá egy magyar viszonylathoz mérten koros járműparkot cserélnénk le egy dízelhajtáshoz mérten környezetbarát technológiára. Emellett ez a megoldás beilleszthető abba a célba is, miszerint a MÁV el kívánja érni 2050-re a karbonsemlegességet [2].

A vasútnak magas a károsanyag kibocsátása. Ez a lenti diagram alapján elhanyagolhatónak mennyiségnek látszik, viszont a 3,9 Mt érték korántsem elhanyagolható önmagában [3]. Ez főleg a villamosítatlan vonalakon jelentkezik kibocsátások formájában, továbbá a villamosítatlan iparvágányoknál.

Fő indokok:

- Minden országban találhatóak villamosítatlan iparvágányok, még a legfejlettebb vasúti infrastruktúrájú országokban is
- Termináloknál problémás a felsővezeték kihúzása
- Kevesebb, mint ötöde a kibocsátás közúthoz képest
- Felesleges üzemanyagégetés, azaz üzemeltetési veszteség



1. diagram: A CO2 kibocsátások mértéke összehasonlítva [3] [4]

Látható, hogy az összes közlekedési kibocsátáshoz képest a vasút kibocsátása alacsony, viszont nem elhanyagolható ez a szám sem.

Víz esetében pedig 1 kg hidrogén elégetése során 9 l víz keletkezik, amely közvetlenül a természetbe távozik. Ez a víz nem ivóvíz, így ezt a vizet nem lehet emberi fogyasztásra felhasználni. Továbbá ez a víz gőz formájában távozik a mozdonyokból ezáltal szinte észrevétlen ez a folyamat. Számítások segítségével megmutatom, hogy milyen értékeket kaphatunk távozó víz, mind pedig üzemanyagköltség esetén. Jelenleg egy hidrogén töltőállomás van az országban Budapesten közúti járműveknek és ez az állomás sem nyilvános használatra van fenntartva egyelőre, viszont a jövőben tervben van újabb állomások telepítése [5]. Ennek a bővülésnek a garanciája a 2022-ben elfogadott Afir rendelet [6].

1. táblázat: A különböző meghajtású mozdonyok tulajdonságai

Dízel meghajtás	Villamos meghajtás	Hidrogén meghajtás
Nem igényel felsővezeték	Zérus lokális károsanyag	Zérus károsanyag kibocsátás
Magas károsanyag kibocsátás	Állásidő csökken	Állásidő csökken
Körülményes karbantartás(idős)	Infrastruktúraigényes	Kevés infrastruktúrát igényel
Magas állásidők	Nem mindenhol alkalmazható	Párosítható a létező technológiákkal(hibrid)

A téma lehatárolása:

- Kutatásom során elsősorban az M44-es dízelmozdonyok leváltását vizsgálom meg hidrogén meghajtású járművekre, mivel ez a típus a legelterjedtebb Magyarországon dízel tolatómozdonyok terén. Emellett 80 km/h-s végsebessége lévén alkalmas vonali tolatások ellátására is ez a típus. Továbbá külföldre is számos darab került értékesítésre, amelyeket ma is használnak. Ez a mozdonytípus a dízel meghajtású tolatómozdonyok körülbelül 40%-át teszi ki Magyarországon az M43 és M47-es mozdonytípus mellett.
- Továbbá megvizsgáltam azt is, hogy milyen lehetőségek állnak fenn, amennyiben a V46-os mozdonyokat szeretnék átalakítani hibrid elektromos-hidrogén meghajtású példányokká, ahol kevésbé fontos egy új hajtás alkalmazása, ellenben szükséges lehet a rövid felsővezeték nélküli vágányok esetében.

M44-es mozdonyból **177 darab** van jelenleg Magyarországon [7], míg **V46-os** mozdonyból jelenleg **60 darab** szolgál az országban.[8] Mivel M44-esek esetében nem mindegyik esetben található meg a mozdony telephelye, így az M44-eseket nem lehet minden esetben bekezelni egy adott városhoz.

Az 2. táblázat alapjául is az itt megjelölt források nyújtanak alapot.

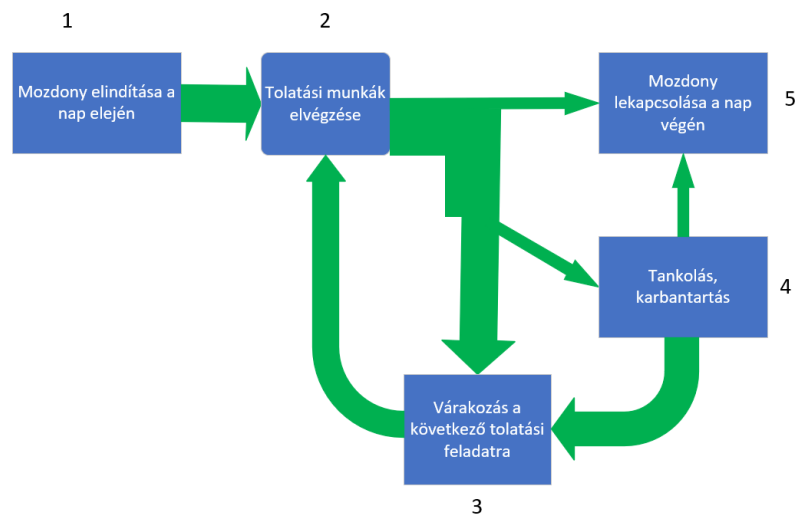
2.táblázat: A tolatómozdonyok csoportosítása helyszín szerint. [7], [8]

Flottanagyság kategória	M44	V46
Nagy flotta [10-20 db]	Budapest, Győr, Sopron, Szeged, Miskolc	Budapest
Közepes flotta [5-9 db]	Dombóvár, Szentés, Ózd, Kazincbarcika, Nyíregyháza	Miskolc, Szeged, Győr, Dombóvár
Kis flotta [1-4 db]	Nagykanizsa, Ajka, Pét, Peremarton, Balatonfüzfő, Paks, Dunaújváros, Szolnok, Szajol, Balassagyarmat, Visonta, Tiszaújváros, Nyékládháza, Füzesgyarmat	Székesfehérvár, Szolnok, Nyíregyháza, Szombathely

A 2. táblázat célja megmutatni, hogy a vizsgált típusok mely területekhez köthetőek, ezáltal megmondható, mennyire forgalmasak az állomások tolatási szempontból. A vörös szín a dízel, míg a kék a villamos meghajtást jelöli.

Sok letétben lévő és használaton kívüli V46-os van jelenleg az országban amelyeknek az átalakításával is lehetne egy költséghatékonyabb megoldást készíteni. A 3 meghajtás között csak a motor hajtásmódja a különböző, a mozdonyok maradék részeinek felépítése szinte ugyanaz mindhárom típus esetében. Egy birminghami tanulmány azt állapította meg, hogy a hibrid hidrogén-villamos mozdony megoldása egy jó alternatívát nyújthat az akkumulátorosra. Szinte hasonlóan jó megoldással tud szolgálni, amennyiben részben van csupán felsővezeték a mozdony felett [9].

A tolatómozdonyok napi tevékenységi ciklusát a 2. ábra szemlélteti.



2.ábra: A tolatómozdony napi tevékenységi ciklusa

A fenti ábrán szemléltettem egy lehetséges módját egy tolatómozdony napi ciklusának. A 2. ábra egy példaként szolgál csupán. Célom ezzel az ábrával, hogy a folyamatok jobban és mélyebben megértésre kerüljenek, hogy hol képződik a legnagyobb veszteség. A 2. ábra szakértői konzultáció és a cikk alapján készült el [10]. A 2-3 folyamatok közötti nyílak vastagsága a magas, közel 70%-os állásidővel magyarázható.

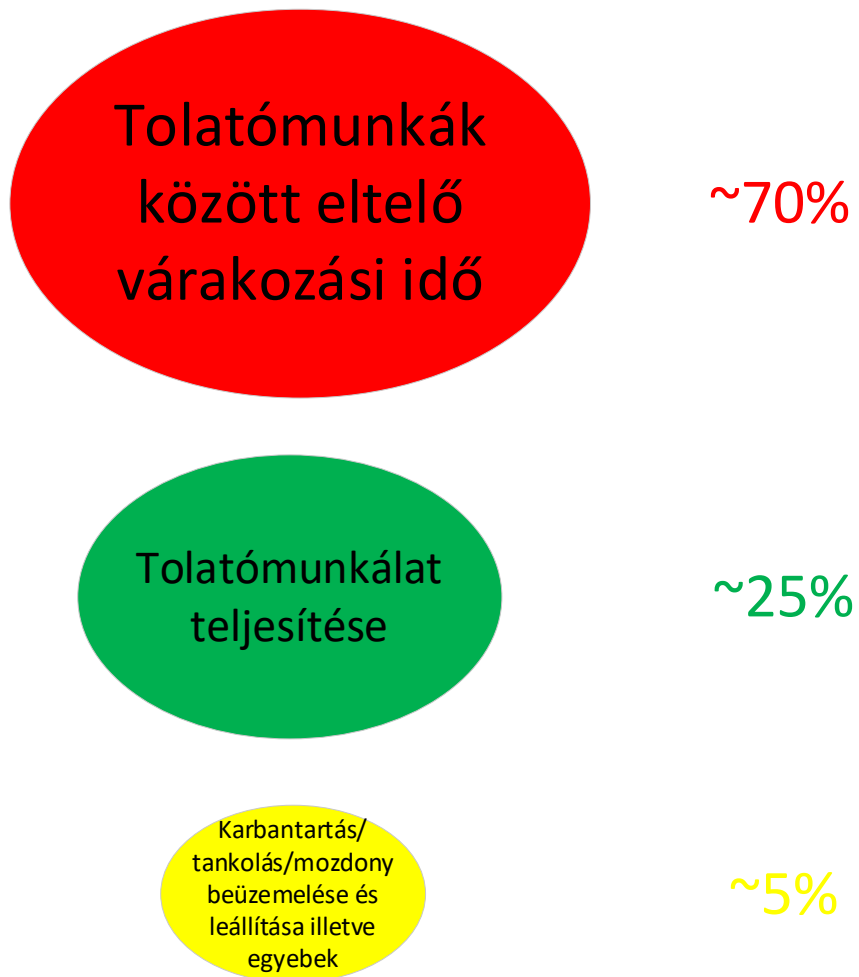
- beindítás,
- munkavégzés,
- várakozás a feladatok között,
- leállítás/ motor járattása (függ a mozdonytípustól),
- karbantartás,
- leállítás

A nyílak vastagsága azt jelzi az ábrán, hogy milyen gyakorisággal kerülnek a mozdonyok az adott állapotba. Tehát minél vastagabb nyíl szerepel az adott ábrán annál nagyobb valószínűséggel kerül az adott állapotba a mozdony a jelenlegi állapotból.

Fontos kiemelni az állásidők mértékét a napok folyamán, amelyeket egy ábrán keresztül szemléltetek, hogy mekkora részét teszi ki a napi munkaidőknek ez a tevékenység.

Ugyanis az állásidő folyamán a mozdony nem végez munkát. Ilyenkor járó motorral áll az állomáson. Magas állásidő a dízelmozdonyok esetében figyelhető meg. A villamos

meghajtás hatékonyabb. Ugyanis egy villamos mozdony viszonylag gyorsan beindítható. Tehát nem kell közel fél órával előtte beindítani a mozdonyt. Ez a dízelmozdonyok legnagyobb hátránya. Ez pedig leginkább a tolatás területén jön elő. A hidrogén motor könnyen beindítható. Ezáltal az állóidő ezen a módon is csökkenthető.



3.ábra: Egy mozdony napjának megoszlása százalékokban kifejezve [10]

A zöld azt jelenti, hogy a mozdony az adott tevékenység során dolgozik, tehát produktív idő. A sárga a kötelező állóidő, amely csak egy apró szeletét teszi ki a napi tevékenységeknek. Ez nem tartozik a hasznos időalapba, hanem leginkább a javítás, karbantartásba illik bele a legjobban.

Az alacsony részaránynak köszönhetően ez csak egy alacsony hányadát teszi ki a napi tevékenységnek. A piros pedig a veszteség időbe számít bele. Ebben az intervallumban a mozdony áll és jár a motor. Nem hatékony dízelek esetében leállítani a motort a körülbelül fél órás beüzemelési idő végett.

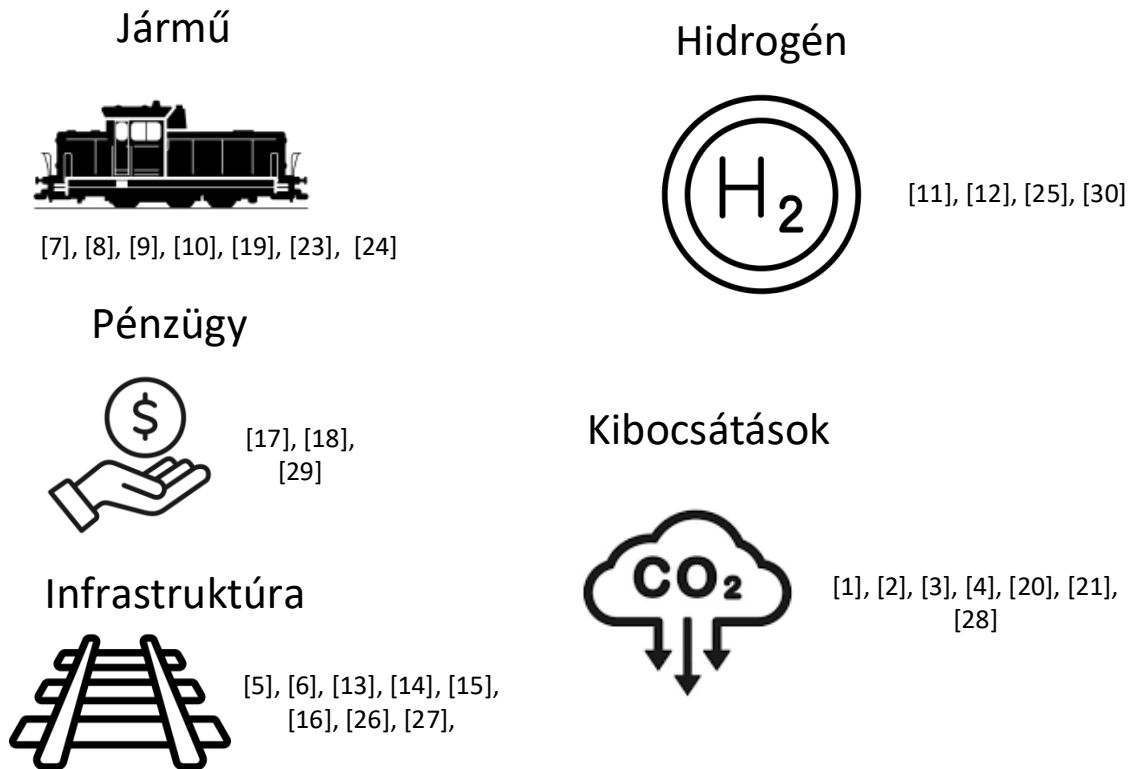
Ugyanis az állásidők között szerepel ennél rövidebb időtartam is. Éppen ezért üzemeltetési kényszerből a jármű feleslegesen égeti a dízelt. A hidrogénes motor viszont gyors beüzemeléssel rendelkezik. Éppen ezért szinte nullára lenne csökkenthető az állásidő mértéke.

Az irodalomkutatásomban sorra veszem a jelenlegi elemeket az infrastruktúrától a hidrogéneken át a jelenleg elérhető mozdonyokig. Ezek alapján pedig könnyebben eldönthetővé válik például, hogy az adott állomáson mennyi mozdonyt és töltőt lehet elhelyezni. Emellett a szám alapján azt is, hogy fix vagy csupán mobil töltőállomásra van szükség.

A fenti tények alapján kidolgozok egy értékelési rendszert, amelynek alapadatait az irodalomkutatásban gyűjtöttem össze.

3. Irodalomkutatás

Az irodalomkutatás során a téma szempontjából releváns adatokat gyűjtöttem, értékeltem, majd azokat felhasználtam a dolgozat szempontjából. Az összegyűjtött forrásokat csoportosítom kategóriák szerint, amelyeket a 4. ábrán szemléltetek részletesen.



4. ábra Forráscsoportosítás

Ezt követően pedig a lenti adatokkal arra a kérdésre keresetem a választ, hogy mit érdemes figyelembe venni egy hidrogén értékelő rendszernek az elkészítése során. Éppen ezért a lehető legtöbb adatot áttekintem.

3.1 A hidrogén előállítása

Fontos kérdés a Hidrogén szempontjából az, hogy **az adott típusnak mennyi a CO₂ kibocsátása?** Ez a hidrogén színéből állapítható meg, amely jelzi, hogy milyen alapanyagból állították elő. Ugyanis a lokális kibocsátás zérus, ellenben az előállítás során képződhet hidrogén. Jelenleg több előállítási forma használatos, ezek közül a legjelentősebbeket sorolom fel, ezáltal egyértelművé téve a kérdést.

- **szürke hidrogén:** Természetes gázokból kinyert hidrogén metán segítségével, jelentős CO₂ kibocsátással járó módszer. Ez alatt érthetjük például a lignitet, amely a barna hidrogén.

- **kék hidrogén:** A szürke hidrogén technológiával előállított hidrogén, ebben az esetben a keletkező CO₂-t eljárások során megfogják és kivonják, ezáltal jelentős mennyiségű kibocsátott CO₂ takarítható meg.

- **zöld hidrogén:** Vízből elektrolízis segítségével állítják elő a hidrogént. Csupán hidrogén és oxigén keletkezik, ezáltal itt nem keletkezik CO₂ [11]. Ide tartozik például a napenergiával előállított sárga hidrogén.

A későbbiek során egy táblázatban részletesebben rendszerezem a hidrogének típusait. Most csak a három legáltalánosabb formát mutattam be.

A három módszer közül **a zöld hidrogén alkalmazása a cél világszerte**, és jelenleg is azon folynak a kutatások, hogy hogyan lehetne minél versenyképesebbé tenni a jelenleg olcsóbb szürke és kék hidrogénnel szemben.

Jelenleg a kék hidrogén a legversenyképesebb alternatíva. Mivel becslések szerint 3-5%-kal kerül többbe a szürke hidrogénnél.

Magyarországon a hidrogén ellátásra vonatkozó kérdés rövid időn belül módosulni fog. Ugyanis a **MOL** 2022-ben jelentette be, hogy **évente 1600 tonna zöld hidrogént** fognak előállítani az új beruházásuknak köszönhetően Százhalombattán, amely mennyiséget az új vasúti járművekhez is fel lehet használni, ezáltal kiiktatva azt a visszatérő ellenérvet, hogy az üzemanyag vagy nem tiszta forrásból származik és kibocsátás szinten semmivel sem jobb, mint a dízel kibocsátása [12].

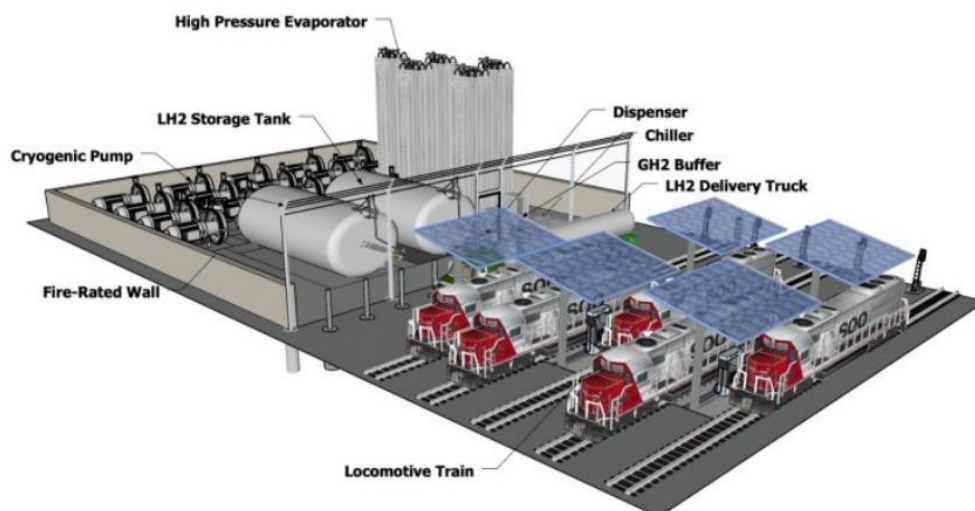
A MOL emellett pedig jelenleg is nagyobb **tolatómozdony járműparkkal rendelkezik**, amelyeket jelenleg elsősorban a finomítójuknál és a telepeiken használnak, így tovább csökkenthető lenne a cég karbonlábnyoma a közlekedés területén is.

3.2 A töltőhálózat

Mivel a fix töltők elhelyezése jelenleg nagyon magas költségekkel jár, ezért megfontolandó egy másik fajta olcsóbb és **rugalmasabb megoldás** is a töltés megoldása során. Ahol legalább 5 mozdony van jelen, oda építhető egy fix töltőállomás, amely olyan, mint egy benzinkút, amely az állomáson állandó jelleggel van elhelyezve [13]. Innen pedig a kisebb mozdonyszámú vagy a nem túl intenzív munkát végző telepekre **mobil hidrogéntöltő állomásokkal** lehetne kiküldeni és feltölteni a kisebb flottát ezzel is jelentős mértékben csökkentve az infrastruktúra kiadásokat. Egy ilyen mobil állomás költsége olcsóbb, pontosabban egy napi kapacitású fix töltő árának körülbelül 23%-a [14].

A technológiát a **Deutsche Bahn teszteli vasúton** és jelenleg is fejlesztés alatt van az eljárás [15]. Az eljárás **előnye**, hogy mivel ezek mozgó állomások, így az esetlegesen megmaradt hidrogént át lehet szállítani más állomásokra is, amelyeknek szüksége van az üzemanyagra. Viszont a hátrányai között szerepel az is, hogy az üzemeltetési kiadások növekednek a ránhordás végett. Ezzel elkerülhető a kis mozdonyszámú állomásokon az a probléma, hogy ha az állomáson nem szükséges akkora mennyiségű hidrogént alkalmazni, mint ahogyan számítottak rá a hét elején, akkor nem kell feleslegesen tárolni a helyszínen a hidrogént, ezáltal **nem használják feleslegesen az infrastruktúrát** ezáltal egy költséghatékonyabb megoldást jelentenek a fix töltős társaiknál.

Ezzel a megközelítéssel **rugalmasabban lehet elosztani a megtermelt hidrogénmennyiséget**. A mobiltöltők menedzselésére célszerű a **Steiner-fa algoritmus** elosztási módszert alapul venni módosításokkal, amely a gráfok rendszerét veszi alapul. Azért szükséges ebben az esetben a módosítás, mivel a tanulmány fix töltőkkel számol a modellel, míg a tolatómozdonyos felhasználás esetében mobil töltőállomások felhasználása is tervben van. ezáltal ezt a módszert megfelelőbb egy rugalmasabb megközelítéssel felhasználni egy esetleges alkalmazás folyamán [16].



5.ábra: Egy vasúti hidrogén töltőállomás vázlatlatterve [13]

A mobil hidrogén töltőállomások pedig közvetlenül az előállítás helyén veszik fel a hidrogént. Ezáltal kevesebb infrastrukturális elemre van szükség a tárolásuk során. Egy központi tárolóra viszont szükség van a területen, tehát itt is kell fix állomás, viszont ez csupán tárolásra szolgál. Ennek az oka az infrastruktúra lehető legjobb kihasználása.

3.táblázat: A hidrogénállomások típusai és jellemzői

Töltőállomás típusa	Töltőállomás ára	Töltőállomás kapacitása
Fix	1 900 000 dollár	1240 kg
Mobil	423 000 dollár	100 kg

Ez azért egy meghatározó elem, mivel a töltőkapacitás mutatja meg, hogy mennyi mozdonyt lehet kiszolgálni a töltőről, illetve milyen gyakran kell feltölteni az adott töltőt. Ez pedig megtérülésben is jelent fontos tényezőt.

A tolatási igények alapján pedig megmondható, hogy mekkora a hidrogénigénye az állomásnak például napi szinten. A nagyobb tolatási óraszám értelemszerűen magasabb hidrogén igényt eredményez.

3.3 A hidrogénes infrastruktúra megtérülés számítási módszere

A megtérülési ráta esetében több entitás figyelembe vétele szükséges.

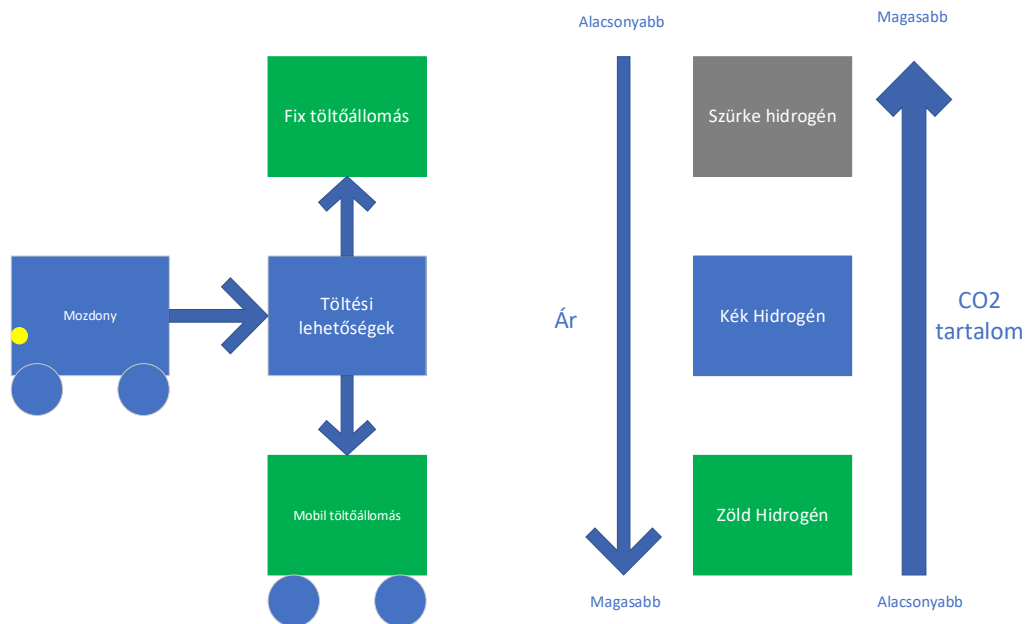
A legfőbb támpontok megtérülés esetében:

- Mozdony ára
- Töltőinfrastruktúra telepítési és üzemeltetési költségek
- Mozdonypark karbantartási létesítményei
- A hidrogén, mint üzemanyag ára átlagosan mérve

A megtérülés kiszámításához segítséget nyújthat a TCO azaz Total Cost of Ownership számítás, illetve amennyiben a CO₂ kibocsátást is szeretnénk figyelembe venni, abban az esetben jó lehet az LCC azaz Life-Cycle Costing módszert alkalmazni a CO₂ kibocsátással korrigált értékek kiszámításának az érdekében, ahogyan azt a cikk is taglalja [17].

A beszerzések esetében a fenti támpontokat határozom meg költség gyanánt. Ezeket az adatokat pedig összehasonlítom az infrastruktúra meglévő és létező elemeivel. A számítások végén kapott eredményekből pedig kiszámítom a megtérülés idejét.

Egy rövid összefoglalás céljából készítettem egy szemléltető ábrát:



6.ábra: Az infrastruktúra szemléltetése példákkal és a hidrogén fajtái

A CO₂ vastagabb nyíllal rendelkezik, mivel arányait tekintve az ár növekedése kevésbé növekszik, mint a CO₂ mennyisége a Hidrogén fajtáit tekintve. A töltőállomások esetében pedig folyamatábraként ábrázoltam, így ez egy egyszerű döntésábrára jelenlegi állapotában.

Aránytalanságok is felfedezhetőek az ár-CO₂ tartalom összefüggésben, ugyanis megfelelő körülmények között a kék hidrogén ára nagyjából 3-5%-kal magasabb érték, mint az a szürke hidrogénnél történhet, továbbá a szennyezettség tekintetében szinte nullára csökkenthető a károsanyag-kibocsátás a kivont és tárolt vagy felhasznált CO₂ mennyiségnek köszönhetően.

3.4 A hidrogén ára

2030-ra világszerte a vasúti dízel járművek körülbelül 30%-át válthatják le a hidrogénes járművek. Emellett a közelmúlt során jelentősen emelkedtek az üzemanyagárak. Ez egy további indok arra, hogy miért reálisabb ennek a célnak az elérése 2030-ra. **Ezért** az üzemeltetők nagy érdeklődéssel kísérik figyelemmel az alternatív meghajtású járműveket, mivel már nem csak környezetvédelmi szempontból lehet fontos a leváltásuk. Ugyanis pénzügyi szempontból is reális a megtérülése egy hidrogén alapú projektnek, összehasonlítva az üzemanyag ár emelkedés előtti idővel [18].

Az egyik legfontosabb klímaügyi megállapodás, amely jelenleg az iránymutató az Euro 2050 klímastratégia. Gazdasági megtérülés szempontjából is egyre inkább zárkózik fel a hidrogén meghajtás a jelenlegi dízel meghajtáshoz. A jelenleg magas költségű töltőkészülékek kompenzálható a kihasználtság növelésével. Vagyis egyszerre lehetőleg több hidrogénes tolatómozdony használja a készülékeket egy használati időszak folyamán.

4.táblázat: A fenttartási költségek a mozdony alkalmazási helye szerint

Mozdonytípus	Teljes fenntartási költség a tanulmány szerint	Fenntartás tolatásban(7km/órában)
Fővonal mozdony	1,5-1,6 Euró/Km	10,5-11,2 Euró/Óra
Tolatómozdony	0,6 Euró/Km	4,2 Euró/Óra

A fenti adatokból megállapítható, hogy jelenlegi körülmények között a kettő mozdonytípusból a tolatómozdonyok alkalmasak a hidrogénes átállásra, amennyiben az üzemeltetési költségeket vesszük figyelembe. Viszont egy fővonal mozdony óránként átlagsebessége nem 7 km/h, hanem 60-80 km/h. Éppen ezért magasabbak ezek a költségek. Ez az adat az egyik **alátámasztása a leghasznosabb átállás állításomra.**

Ez pedig infrastruktúra szempontjából egy kifizetődő tulajdonság, lévén nem csak **felsővezeték**et kell kiépíteni, amely **1 milliárd forint kilométerenként**

Továbbá **zajszennyezés** szempontjából is **jobb választás** hidrogén meghajtású mozdonyokat használni, mivel jelentősen alacsonyabb értékeket mutatnak dízel meghajtású társaiknál, amely azoknál a tolatási pontoknál fontos, amelyek lakott terület közelében helyezkednek el [19].

Emellett az emberek egészségére is hatással lenne egy váltás, ugyanis megállapításra került, hogy egy 5-6 kilométeres távolságon belül emeli a rák kockázatát, ha az ember egy ilyen tolatási telep közelében tartózkodik gyakori jelleggel [10].

5.táblázat: A meghajtás előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Zéró lokális károsanyag kibocsátás	Jelenleg nem kiforrott a technológia
Lehetséges a globális zérus károsanyag	Hosszú, azaz 200 méternél hosszabb iparvágányok esetében érdemes használni
Alacsony zajszennyezés	Körülbelül évi 1000 óra felett térülhet meg
Gyorsan feltölthető	
Nem igényel felsővezeték	
Minimális állásidő és az alatt sem szennyez	

A hidrogén hátrányai miatt döntöttem úgy kutatásom során, hogy második opció gyanánt hibrid mozdonyokat is figyelembe veszek. Ugyanis számos olyan állomás is van, amelyek rövid és kevés iparvágánnyal rendelkeznek. Ezen állomásokra pedig kedvezőbb megoldás a hibrid mozdony alkalmazása.

Egy példaszámítás segítségével szemléltetem, hogy a tanulmányból kiindulva milyen üzemanyagköltségekkel jár egy mozdony az ellátása, emellett azt is megmutatom a számítással, hogy mennyi víz keletkezik a mozdony használata során, amely a szennyezéssel ellentétben akár még hasznosítható is. Ez is egy potenciális használat lehet a jövőre nézve.

6. táblázat: A tanulmányban megjelenő értékekkel való példaszámítás és összehasonlítás

Mozdony	Óránkénti fogyasztás	Napi munkaóra (x2)	Évi munkanap (x3)	Víz kibocsátás 1 kg hidrogén esetén (x4)
M44(d)	23 l	5 óra	354 nap	-
Pesa Hydrogen(h)	3,9 kg	2 óra	354 nap	9 l

Jelölések magyarázata:

7.táblázat: Jelmagyarázat

Változó	Jelentést tartalom
x1	dízelmotordízel fogyasztása
x2	dízelmotordízel napi munkaórája
x3	dízelmotordízel éves munkanapja
x4	hidrogénmotordízel fogyasztása
x5	hidrogénmotordízel napi munkaórája
x6	hidrogénmotordízel éves munkanapja
x7	hidrogénmotordízel vízkibocsátása
fd	a dízelmotordízel éves fogyasztása
fh	a hidrogénmotordízel éves fogyasztása

Átlagos fogyasztások évente

(1) $fd = x1 * x2 * x3 = 23 * 5 * 354 = 40710 \text{ l/év}$

(2) $fh = x4 * x5 * x6 = 3,9 * 2 * 354 = 2762 \text{ kg/ év}$

Éves üzemanyagdíjak:

(3) $fd * 600 \text{ Ft} = 40710 * 600 = 24\,426\,000 \text{ Ft}$

(4) $fh * 2153 \text{ Ft} = 2762 * 2153 = 5\,946\,586 \text{ Ft}$

Átlagos vízkibocsátás / motordízel:

(5) $fh * x7 = 2762 \text{ kg} * 9 = 24858 \text{ l}$

Éves szén-dioxid kibocsátás:

(6) $fd * 2,81 = 40710 * 2,81 = 114\,395,6 \text{ kg CO}_2/\text{év}$

A V46-os értékeire nem állnak jól becsülhetőek a kibocsátási adatok, viszont egy példaszámítással érzékeltethetőek a kibocsátott CO₂ mennyiségek.

8.táblázat: kibocsátási értékek árammennyiségek után [20]

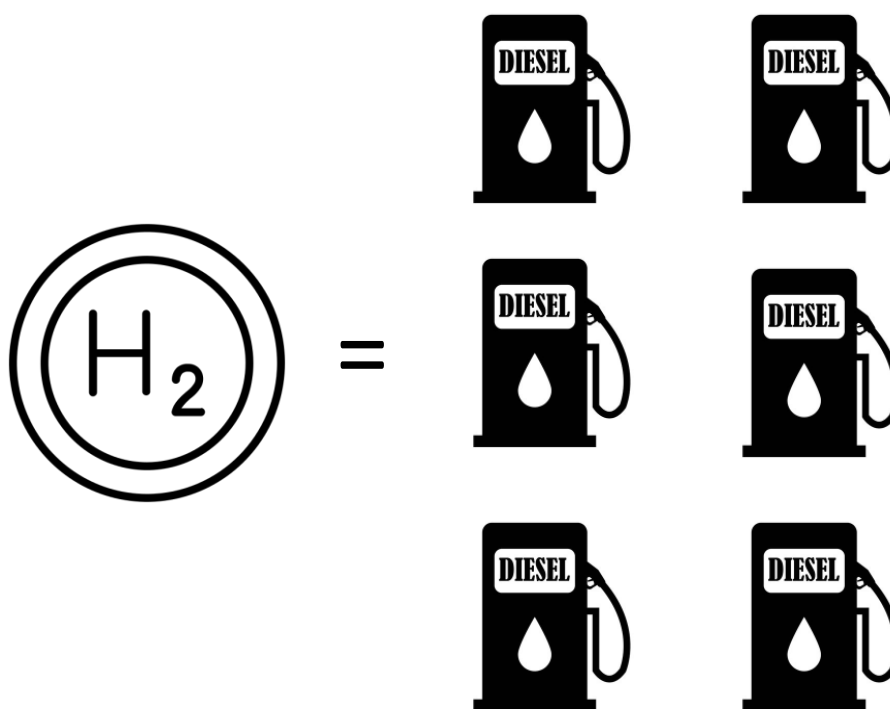
Felhasznált energia [kWh]	Magyarország CO ₂ kibocsátása 1 kWh áram után [g]
1	299
1000	299000

Az éves üzemanyagdíj magas a dízelhez mérten, viszont a hidrogén nagyjából 3-szor magasabb energiasűrűséggel rendelkezik, mint a dízel 35 megapascalos nyomáson tárolva. Tehát ez a tulajdonság **csökkenti az árakat** többletköltségek tekintetében, tekintve hogy emiatt kevesebb hidrogénre lehet szükség ugyanannak a tolatási feladatnak az elvégzéséhez, mint dízelre [22].

9. Táblázat: A legfontosabb példaszámítási értékek összefoglalása egy éves időintervallum esetében

	Éves Üzemanyag mennyiség	Éves Üzemanyagár	Éves kibocsátás
Hidrogén meghajtás	2762 kg	5 946 586 ft	24858 l víz
Dízel meghajtás	40710 l	24 426 000 ft	114 396 kg CO ₂

Ahogy az leolvasható a 9. táblázatból a legfontosabb különbség a kibocsátás. Amíg egy dízel évente 114 tonna CO₂-t bocsát ki, addig egy hidrogén meghajtású mozdony zérus károsanyag kibocsátású. Éppen ellenkezőleg a keletkező vizet hasznosítani is lehet.

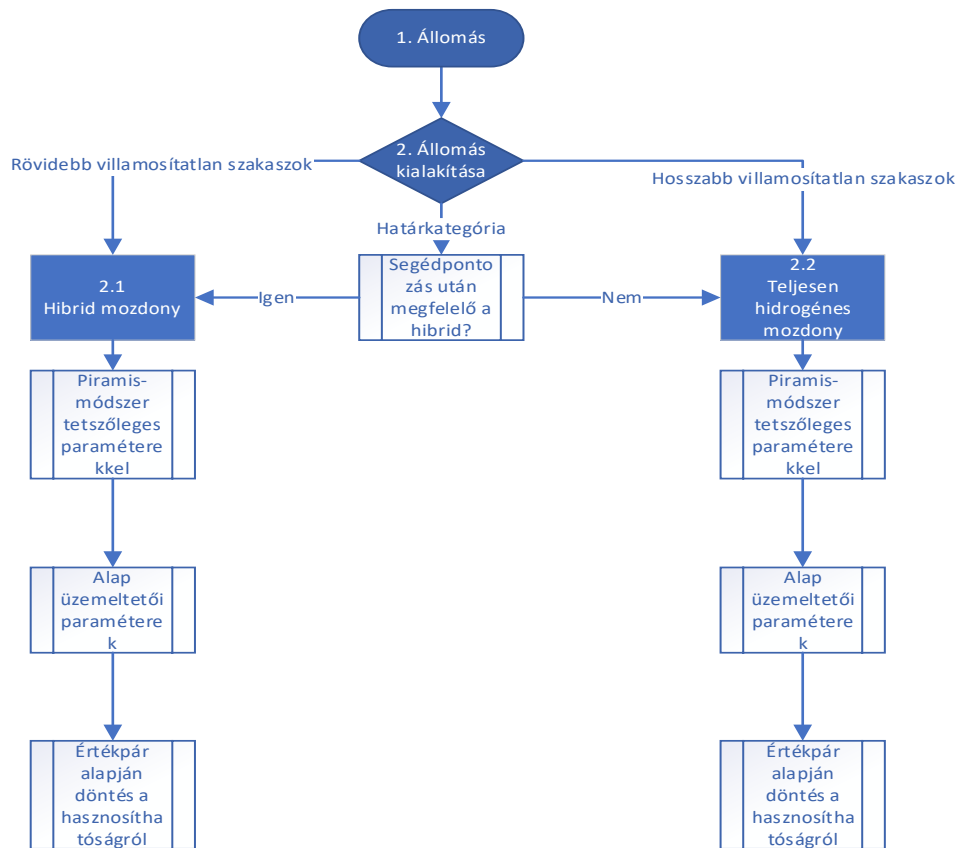


7. ábra: Egy kilogramm hidrogén értéke megegyezik 6 liter dízellel a magyar tolatómozdonyok esetében

4. A kifejlesztett módszer

4.1 A kétlépcsős módszer kiválasztásos fejezete - M_k

Az általam kidolgozott módszer első szinten azt vizsgálja, hogy az adott állomáson tisztán hidrogénes mozdonyok alkalmazása célszerű vagy pedig elegendő villany-hidrogénes hibrid meghajtásúvá átalakítani a már jelenleg is szolgáló V46-os mozdonyokat.



8.ábra: A kiválasztás és értékelés folyamat ábrája

Az első fejezet az állomásról tesz fel kérdéseket. A kérdésekre adott válaszokból pedig az alábbiak határozhatóak meg: Milyen típusú hidrogénes meghajtású járművet célszerű használni az adott állomáson? Miután kiderült az, hogy a teljesen hidrogénes vagy a hidrogén-elektromos járműre van szükség meg lehet mondani melyik számítási irányba célszerű elindulni. Ugyanis a teljesen hidrogénes és a hibrid meghajtást máshogyan lehet számítások formájában értékelni. Ezekre a lehetőségekre térnek majd ki a számításban. Hiszen egy hibrid jármű nem igényel annyi hidrogént, mint egy teljesen hidrogén meghajtású, ezáltal alacsonyabb igényeket támaszt infrastruktúra területén.

Amennyiben **10-nél nagyobb** a villamosítatlan iparvágányok száma és található villamosítatlan vonal az állomás közelében, akkor abban az esetben egyértelműen teljesen hidrogénes meghajtású mozdonyokat célszerű alkalmazni.

Elsőként a jelenlegi mozdonyokat és egy prototípust ismertetek a könnyebb áttekinthetőség érdekében.

A mozdony végsebessége is egy fontos paraméter. Ez azért fontos, mivel ebből az adatból tudható meg, hogy alkalmas-e a mozdony a fővonalis tolatások elvégzésére?

10.Táblázat: A mozdonyok összehasonlító táblázata [7] [23] [24]

Mozdony	Tank	V_{max}	P_{névl.}	Tele tank
M44	1000 l	80 km/h	442 kW	40-45 óra
V46	Felsővezeték	80 km/h	820 kW	Felsővezeték
Pesa SM42-6Dn H.	175 kg	90 km/h	720 kW	35-44 óra között

Látszik, hogy a PESA mozdonya teljesítmény alapján alkalmas az M44-es mozdony feladataira. Mindezt úgy, hogy még az üzemanyag költségek is csökkennek.

Emellett napi 5 órás értékekkel számolva az M44 teli tankkal 8-9 nap múlva igényel tankolást. Viszont a PESA mozdonya teli tankkal akár 22 napot is tud dolgozni. Tehát fele olyan gyakran kell tölteni a hidrogénes mozdonyt. Ez pedig költségcsökkentést jelenthet a töltési infrastruktúra terén. Így felmerül a lehetőség, hogy elegendő lehet a mobil töltőállomás is. Ezen töltőállomások pedig körülbelül negyedannyiba kerülnek, mint a fix töltőállomások. Viszont célszerű meghatározni a számukat és szükségüket a hálózaton.

A hidrogén meghajtású mozdony teljesítmény tekintetében megfelelően alkalmazható az M44-es mozdony helyében.

A végsebesség pedig azért számít egy fontos tulajdonságnak, mivel ebből az adatból állapítható meg, hogy a mozdony elláthat fővonalis tolatómunkálatokat is. Az adatok alapján a Pesa mozdonya szintén alkalmas ilyen jellegű tolatómunkálatok ellátására.

Az állomásokot az OpenRailwayMap segítségével vizsgálom meg. Ez egy nyilvános adatbázis, melyben megtalálhatóak a vágányok típusai és az, hogy felsővezeték található-e a vágányok felett. Ez pedig egy kulcskérdés a tolatómozdonyok szempontjából. Másrészt pedig azért is, hogy a honállomás vonzáskörzetében található-e iparvágány, amely azért egy fontos kérdés, mert a mozdony oda is kiküldhető tolatómunkálatok elvégzésére. Ez a végsebesség függvényében határozható meg. Ugyanis 30-40 km/h-s végsebességű mozdony nem alkalmas a fővonal munkálatok ellátására.

Az értékeléskála folyamán 1 és 5 között állapítottam meg a pontszámokat. Az 1 azt jelenti, hogy a hibrid alkalmasabb az adott területen. Míg az 5-ös azt jelenti, hogy a tisztán hidrogén a megfelelő választás a skála alapján. A pontokat összesítem egy értékelő táblázatban. 2 és 4 pontszámokat nem határoztam meg, mivel így könnyebben kategorizálhatóak az állomások.

11.táblázat: Az iparvágányok helyzetét értékelő táblázat

1 pont	Az adott állomáson a villamosítatlan vágányok száma nem haladja meg az 1,5 kilométert. Maximális hossz 200 m egy vágánynál-
3 pont	Több mint 1,5 kilométer az iparvágány hálózat, de nem több 5 km-nél. Maximális hossz 200m és 1 km között van
5 pont	Az adott állomás iparvágányhálózata meghaladja az 5 km-t. Található az iparvágányok között 1 km-nél hosszabb szakasz is.

A villamosítatlan vonalak szempontjából a teljes villamosítottság esetében nem célszerű tisztán hidrogén mozdonyt alkalmazni. Egy és egynél villamosítatlan vonal esetében pedig már célszerűbb hidrogén meghajtású mozdonyt alkalmazni.

Éppen ezért a másik kiválasztási szempont a vonali tolatószolgálatok helyzete.

Ebben az esetben az alábbi pontozást tartom a legalkalmasabbnak:

12.táblázat: A vonalak helyzetét vizsgáló táblázat

1 pont	Az állomásból nem ágazik ki villamosítatlan vonal, csupán felsővezetékes vonalak vannak jelen
3 pont	Az állomásból kiágazik villamosítatlan vonal, de az nem több a vonalak felénél.
5 pont	Az állomásból kiágazó vonalak több mint fele villamosítatlan vonal.

7.

A kapott pontszámokat összeadva minimum 2, maximum pedig 10 pont jöhetett ki végeredmény gyanánt.

Az összpontszám jelentését a 13. táblázatban összesítettem.

13.táblázat: Az összesítő táblázat

Összpontszám	Következtetés
2-4 pont	Az állomáson a V46 hidrogénes hibridjeit célszerű alkalmazni.
5-7 pont	Az állomáson egyformán alkalmasak lehetnek a hibrid és a teljesen hidrogén meghajtású mozdonyok, viszont további vizsgálatot igényel amennyiben csak az egyik típusra tart igényt az üzemeltető.
8-10 pont	Az állomáson a teljesen hidrogénes meghajtású mozdonyokat célszerű használni.

Természetesen a helyzet ennél bonyolultabb is lehet, például csak 1 villamosítatlan vonal helyezkedik el az állomás közelében, viszont az a vonal több mint 30 km hosszú így ebben az esetben egyártelművé válhat az, hogy az adott állomáson célszerűbb teljesen hidrogénes meghajtású mozdonyt alkalmazni a tolatószolgálat végrehajtásához.

Az alkalmazáshoz egy plusz együtthatót definiálok E_h néven, amely azt mutatja meg, hogy a mozdony a legtávolabbi állomásra is kivezényelhető a villamosítatlan szakaszon. Éppen ezért „használhatósági ráta” néven hivatkozok rá a felírt képletben.

Az eldöntéshez az alábbi képletet tartom célszerűnek használni:

$$E_h = \frac{H}{2 * S_z}$$

Ahol

E_h : használhatósági ráta

H : A hibrid mozdony hatótávolsága

S_z : A villamosítatlan szakasz hossza

A 2-es szorzó azért szerepel a képlet nevező tagjában, mivel a mozdony eljut az adott állomásra, viszont vissza is kell mennie az adott állomásra is a tolatási munkálatok elvégzése után.

Az eredmények kiértékelését a 14. táblázat foglalja össze

14. Táblázat: Az alkalmassági mutatók értékelése

Eredmény	Jelentéstartalom
$Eh > 1,2$	Az adott vonalon alkalmazható a hibrid mozdony.
$Eh \leq 1,2$	Az adott vonalon nem célszerű hibrid meghajtású mozdonyt alkalmazni, mivel előfordulhat, hogy a mozdony hatótávolsága nem elég a táv teljesítéséhez.

Határértéknek azért választottam 1,2-t az 1 helyett, mivel a tolatás folyamán könnyen előfordulhat, hogy plusz feladatot kap a mozdony, mint amivel eredetileg kiküldték az állomásra. Ezt pedig nehezen lehet előre meghatározni. Éppen ezért hozzáadtam +20% biztonsági tartalékot, így egy realisabb végeredményt ad az értékelő táblázat.

Állomások szempontjából az is fontos, hogy az állomás területe közel van a határátmenethez, ugyanis van olyan ország, ahol más villamosítási rendszer van érvényben. Ez azt jelenti, hogy kétáramnemű villamos mozdonyra lenne szükség. Ez pedig fél millió eurós többletköltséget jelent a beszerzésben. Ez egy erős indok a hidrogén mozdony alkalmazása mellett.

4.2 A hidrogén és az állomás értékelő páros

A hidrogént értékelő módszer

Ebben a fejezetben értékelem a hidrogén alkalmazhatóságát az adott állomáson. Arra a kérdésre keresem a választ, hogy melyik a legkönnyebben alkalmazható hidrogén típus az állomás kiszolgálására. A másik keresendő feladat pedig az, hogy ez a típus mennyire megfelelő ellátási szempontból az állomásnak?

Mivel a hidrogénnek több szempontja is lehet és nem csupán az ára a döntő tényező. Ez az oka annak, hogy egy multikritériumos rendszerben értékeltem üzemanyagként a hidrogént.

A jelenlegi hidrogéntípusok számára egy összegző táblázatot készítettem.

A 15. táblázat tartalmazza a legfontosabb tulajdonságokat.

Ilyen például a típusa. Ez azért fontos, mivel ebből megállapítható, hogy milyen mekkora az adott típusú hidrogén karbonlábnyoma. Az externális költségek esetében a szükséges mennyiséget veszem figyelembe és ebből meghatározok egy szorzótényezőt. Az esettanulmányok alapján határozom meg a megtérülésnél. Például 9-es pontszám esetében 0,8-as szorzó esetén 7,2 jön ki, amely 7-nek felel meg. Tisztaság tekintetében pedig megvizsgáltam a kibocsátott CO₂ értékét és ezek alapján állapítottam meg pontszámokat. (Ezzel kapcsolatban további szorzót állapítok meg amellyel a karbonlábnyom és az externális költségek kapcsolatát igyekszem meghatározni.)

A költség a gazdasági szempont egyik legfontosabb mutatószáma. Ugyanis ez a megtérülés egyik legfontosabb eleme. Példaként a CNG buszok hozhatók fel. Ugyanis a fenntarthatóság érdekében vásároltak régen ilyen buszokat. Manapság viszont sokkal drágább a CNG a dízelnél. Ezért is fontos a jövőbeli lehetőség opció. Esettanulmányok esetében pedig abból indultam ki, hogy a közelmúltban mennyi esettanulmány készült a hidrogén típusról. Minél több, annál egyszerűbben alkalmazható a hidrogén típus.

15. táblázat: A jelenleg rendelkezésre álló hidrogéntípusok tulajdonságai

Hidrogén típus	Jelentés	Ár	Tanulmányszám
Szürke	Fosszilis gázokból	Viszonylag olcsó (0,8 euró/kg)	Magas
Kék	Fosszilis gázokból. CO ₂ nagy részének kivonása.	A kivonási folyamat miatt drágább a szürkénél (1,2-2 euró/kg)	Közepes
Zöld	Megújuló természetes energiaforrások által	Magas ár, viszont nagy potenciál. (6-8 euró/kg)	Alacsony
Rózsaszín	Atomenergia által		Rendkívül alacsony
Türkiz	Biomassza által	(1,6-3 euró/kg)	Alacsony
Piros	Biomassza által		Alacsony
Sárga	Zöldhidrogéneken belül napenergia által		Alacsony

Az árak értékelésénél abból indultam ki az ismeretlenek esetében, hogy besoroltam a hidrogén típusokat valamelyik kategóriába. Ez azt jelenti, hogy az adott hidrogén típus a kék vagy a zöld kategóriába tartozhat. Ebből állapítottam meg a hiányzó árakat a típusok esetében. Az árnál pedig a megkapott ártartomány középértékét vettem a számításba. Például a 6-8 Eurós esetében a 7 Euró volt a mértékadó.

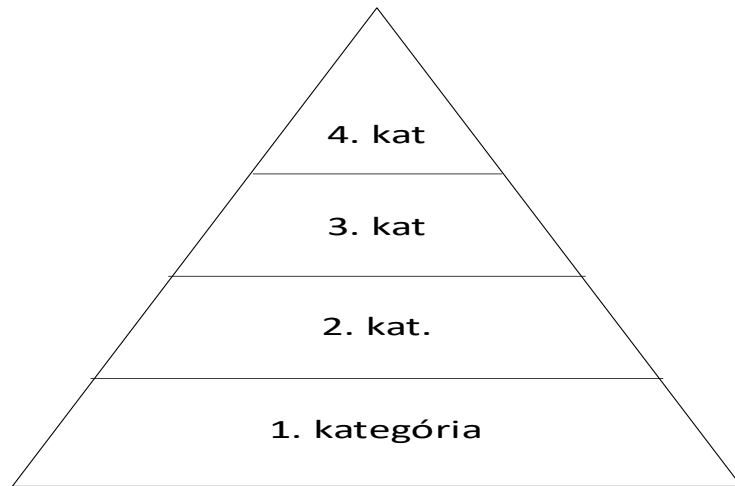
Ezt követően az alábbi képletet határoztam meg a hidrogének értékelésére:

Az állomást értékelő módszer

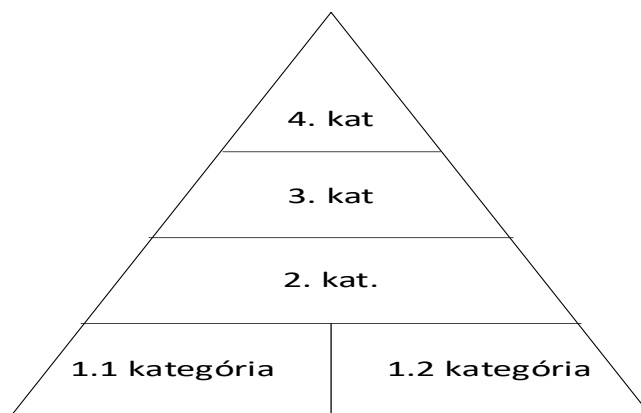
A kidolgozott módszerhez az alábbi szempontokat tartom fontosnak kiemelni a mozdonyhal kapcsolatokban:

- karbantarthatósági ráta,
- mozdonyszám az adott állomáson,
- üzemórák száma,
- jelenlegi flotta rendelkezésre állása %-ban kifejezve,
- Életkor (a karbantarthatóság miatt), kapcsolódik a rendelkezésreálláshoz,
- Zöldenergiaforrás a közelben (20 km-es környezet)
- A hidrogén típusa és ára,
- Az állomáson teherforgalom számára is fent van tartva vagy pedig elenyésző a teherforgalom?

A módszerem állomási kiválasztásához egy úgynevezett piramisos elvet használok fel. Ennek célja az, hogy rangsoroltatni lehessen az állomási kritériumokat és a változók értékét a használó határozhatja meg, hogy mi számára a legfontosabb a fenntartás végett. Emellett előfordulhatnak olyan elemek is, amelyek a módszer felhasználója szerint egyforma fontosak lehetnek, éppen ezért az egyik kategóriában történhet megosztás is ennek a problémának a megoldására.



9. ábra: A piramismódszer vázlata



10. ábra: Egy lehetséges dupla-piramis példa

A kategóriák súlyozását a 16. táblázat határozza meg:

16. Táblázat: A kategóriák egy lehetséges súlyozását szemléltető táblázat

A kategória száma	A kategória súlyozása tizedestört értékben
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

A Dupla kategóriás módszerre az alábbi egyszerű megoldást javaslom:

$$(5) K_{\text{átl}} = \frac{K_1 + K_2}{2}$$

Ahol $K_{\text{átl}}$ az átlagolt kategória pontszámát jelenti

K_1 és K_2 pedig a figyelembe vett kategóriák összpontszáma.

A módszeremben úgy határoztam, hogy érdemes minél több pontot átvenni. Mivel 2 esetben is az átlagolás miatt elvesznek adatok. Ennél több eredmény átlagolása esetében pedig egyre több adat veszik el.

A módszerben 1-5-ig tartó értékeket veszek fel, amelyeknek jelentését táblázatokban részletezem.

A módszer második része pedig a környezeti hatásával foglalkozik az új vagy átalakított tolatómozdonyoknak. Ennek a lényege ,hogy megvizsgálja, hogy az állomás közelében megtalálható-e jelentősebb kapacitású szélérőmű vagy napelempark és, hogy mennyi felesleges energiát termel a rendszer napi lebontásában. Amennyiben pedig ez belátható távolságon belül nem áll rendelkezésre, úgy a kék hidrogént ajánlja fel a rendszer megoldás gyanánt. A kék hidrogén gyakorlatilag szürke hidrogén azzal a különbséggel, hogy a keletkezett CO2 mennyiséget megfogják és levezetik a földbe ezáltal kivonva a levegőből. Jelenleg viták vannak a tisztaságáról, ám jelenlegi körülmények között olcsóbb, mint a zöld hidrogén és az üzemanyag ára az egyik legfontosabb tényező gazdaságosság tekintetében, így ez nem hagyható figyelmen kívül az értékelés során.

17. táblázat: A hidrogén lehetőségeit értékelő táblázat

Pontszám	Jelentéstartalom
1 pont	Nincs a környéken szélérőmű/napelempark , nem ideálisak a földrajzi viszonyok
3 pont	Nincs a környéken szélérőmű/napelempark, ideálisok a földrajzi viszonyok
5 pont	Található a környéken szélérőmű/napelempark

A napelemtérképet azért tartottam fontosnak [25], mivel ebből meghatározhatóak a teljesítmény értékek. Azaz mennyi lehet az adott területen atúltermelés. Ugyanis a túltermelt árat 5 ft/kWh körüli áron veszi át az állam. Ezáltal olcsón előállítható ebből hidrogén megfelelő felhasználás mellett a felesleges napelemből fakadó energiákból. Ez pedig a jövőben egy olcsó alternatíva lehet a zöld hidrogén esetében, mint potenciális forrás.

Továbbá még fontos szerepet játszik a szélenergia is a zöld hidrogén előállításában .Viszont ez csak Nyugat- Magyarország térségében fontos elem, ugyanis ez az ország legszelesebb területe éves szeles órák tekintetében.

Rendelkezésre állási ráta

A rendelkezésre állás értékelésében magas értékeket állapítottam meg.

18. táblázat: A rendelkezésre állási pontszám táblázat

Pontszám	Jelentése
1	A mozdony rendelkezésre állása 85-100% között áll.

3	A mozdony rendelkezésre állása 70-85% között áll.
5	A mozdony rendelkezésre állása 70% alatti.

A mozdonyszám

Mozdonyszám esetében, mivel költségspórolás érhető el, ezért úgy határoztam, hogy ez a nagyobb mozdonyszámú állomások esetében lehet optimális választás. Ugyanis a mozdonyszámot azért tartom fontosnak, mivel pótmozdonyt is lehet az állomáson így tartani. Ez azt jelenti, ha lerobbanna egy hidrogénes mozdony, addig a régebbiek közül át tudnak venni feladatokat amíg, a lerobbant példány szervizben van.

19. táblázat: A mozdonyszámot pontozó táblázat

Pontszám	Jelentést tartalom
1	Az állomáson alacsony a flottaszám [1-4 db]
3	Az állomáson közepes a flottaszám [5-9 db]
5	Az állomáson magas a flottaszám [10+ db]

Az éves tolatási idő

Az üzemidők számából következtetést lehet levonni azzal kapcsolatban, hogy mennyi munka zajlik az adott állomáson, ezáltal növelhető a produktív időalap. Ugyanis az adatbázisban az adatokba beletartozik az állásidő is. Ebből adódóan minél magasabb az éves tolatási idő, arányaiban annál több tolatás spórolható meg.

Ennek az adatnak a megtudásához a VPE adatbázisát használtam fel. Ugyanis itt a 2022/23-as évre lebontva látható, hogy az adott állomáson mennyi tolatás zajlott le az évben. Illetve az is megtudható, hogy a pályavasúti és magántolatás esetén mennyi idő volt [26].

A VPE Opendata felülete egy nyilvános adatbázis, amelyen az információk lekérdezhetőek az adott állomáson lezajlott tolatómunkálatokról. Ebben az adatbázisban az is szerepel, hogy milyen arányban volt használatos a pályavasúti tolatás és a magántolatás és ezeknek az arányait is megmutatja a térképen az adatbázis. Továbbá az adatbázis előnye a nagy adatforrás. Ez alatt azt kell érteni, hogy nem csupán a nagy városokat mutatja a rendszer. A kisebb településeken is látszódik, hogy zajlottak tolatások óramennyiségben levetítve. Ezáltal meghatározható több adat is. Ilyen például a vonali tolatószolgálat mértéke is. Ez azt jelenti, hogy az adott vonalon zajlott-e tolatómunkálat. Ezt a térképen szereplő tolatómunkálatok mutatják meg részletesebben.

20. táblázat: A tolatási időket értékelő pontszám táblázat

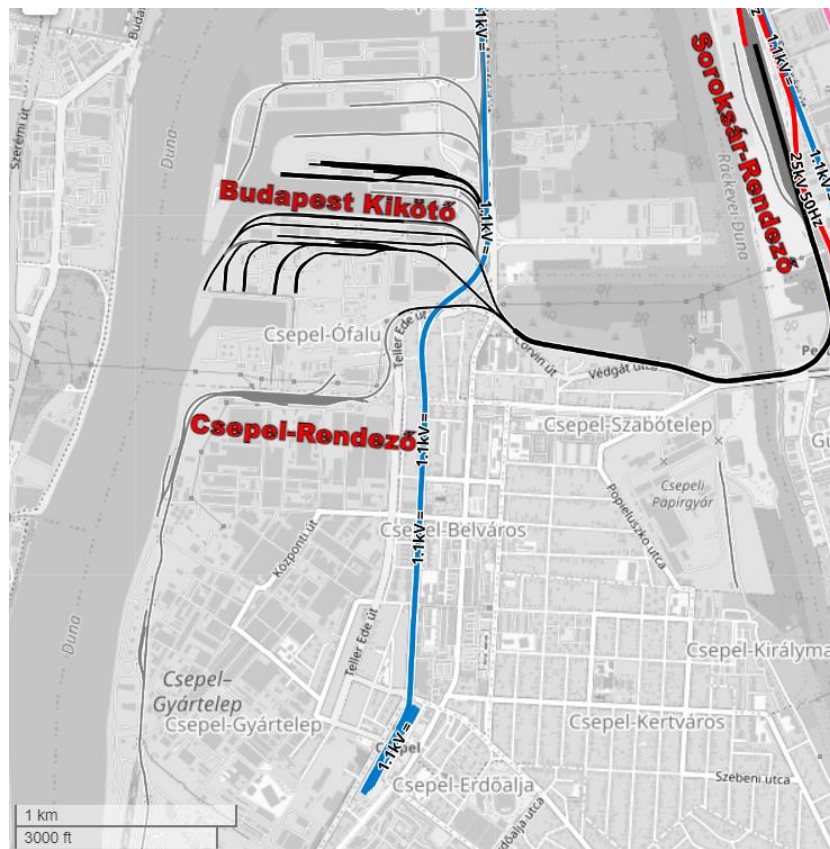
Pontszám	Jelentést tartalom
1	Az állomáson 2000 üzemóránál kevesebb tolatás zajlik évente
3	Az állomáson 2000-4000 üzemóra közötti tolatás zajlik évente
5	Az állomáson 4000 üzemóránál több tolatás zajlik évente

A módszer a legvégén egy számpárosítást ad ki (például 7-5), amely azt mutatja meg, hogy 1-10-es skálán a mozdony mennyire alkalmas az üzemeltető igényeinek és általános üzemeltetés szempontjából is.

4.3 Példaalkalmazás

Példaalkalmazásként Csepeli rendszópályaudvar-Budapest kikötő térségen keresztül szemléltetem a módszer alkalmazását.

A terület Soroksár-Rendező irányából közelíthető meg és csupán Soroksár irányban is hagyható el. Amennyiben a kikötő végéig mennek a mozdonyok ez egy körülbelül 4 km-es távolságot jelent. Továbbá Csepel-Rendező irány esetében ez még többet is jelent. Ez a pontozásban 5 pontot ér. Iparvágányok számát tekintve pedig több, mint 10 iparvágány helyezkedik el. Ezek átlagos hossza átlagosan 1 km. Ennek is 5 pont az értéke. Így összesen 10 pontot kapott a terület, amely azt jelenti, hogy a területen tisztán hidrogén meghajtású mozdonyt érdemes használni.



11. Ábra: Csepel iparvágányhálózata

A térképen a villamosítatlan vonalak feketével, míg a villamosított vonalak vörössel vannak jelölve. A kék a HÉV vonalát jelenti, amelyet csak személyszállításra van fenntartva.

Hidrogén tekintetében a sárga hidrogén alkalmazása tűnik ideális választásnak, mivel a fővárosban 230000 kW feletti teljesítményűek a napelemek. Ennek a tizedével is kb 479 kg hidrogén állítható elő, amely 61 ilyen típusú mozdonyt is képes ellátni üzemanyaggal egy teljes napnyi munkálatra.

Kibocsátás tekintetében 0 a CO₂ kibocsátása ennek a típusnak. A közelmúltban számos esettanulmány készült a típussal kapcsolatban, amely messze több, mint a többi típus esetében. Illetve ár tekintetében jelenleg a legrosszabb választás, ugyanis ennek a legmagasabb az ára.

21. táblázat: A hidrogén értékelése

Elérhetőség	5*0,4 = 2 pont
Tisztaság	5*0,2 = 1 pont
Esettanulmányok száma	5*0,2 = 1 pont
Ár	1*0,2 = 0,2 pont
Összesen	4,2 pont

Az állomáson VPE adatok alapján 6000 óra tolatás zajlik évente, amely az egyik legforgalmasabb területté teszi a Közép-Magyarországi régióban. Fontos megjegyezni, hogy a Soroksári úti rendezőben rendezik az oda kiszállított kocsikat, ezért az ottani tolatásszámot vettem figyelembe. Mozdonyok tekintetében itt általában 5-9 közöttire tehető a szám, amely középkategóriásnak tekinthető. Rendelkezésreállítás területén 75 % a mozdonyok rendelkezésreállása, amely alacsony értéknek tekinthető. Továbbá a rendelkezésreállási együttható is azt jelenti, hogy körülbelül 2-3 év alatt egy teljes százalékot romlik a rendelkezésreállítás- Ez pedig csak romlani fog a jövő során.

22. táblázat: Az állomást és infrastruktúráját értékelő táblázat

Éves tolatásszám	5*0,4 = 2 pont
Mozdonyszám	3*0,3 = 0,9 pont
Rendelkezésreállítás	3*0,2 = 0,6 pont
Együttható	5*0,1 = 0,5 pont
Összesen	4 pont

Tehát **a rendező pályaudvar és térsége 4,2 pont-4 pont közötti értékpárt kapott**, amely azt jelenti, hogy érdemes hidrogén meghajtású mozdonyokat alkalmazni a Rendező pályaudvaron.

5. Megtérülés számítása egyszerűsített CBA módszerrel

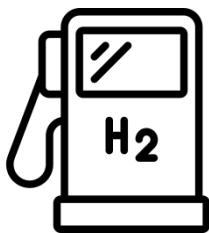
A megtérülést 10 mozdony és 1 hidrogén töltőállomás vételére számítottam ki 35 éves időtartamra a CBA, azaz a Cost Benefit Analysis segítségével. Egy ilyen lehetséges alkalmazási terület például a Soroksári úti Rendezőpályaudvar térsége.

Mozdony esetében a középárat (770 millió Forint) használtam a számításokhoz [18]. Míg fix töltő esetében a 712,5 millió forintos árat határoztam meg [14].

Költségelemek



Új mozdonyok

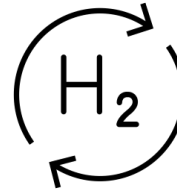


Töltőállomás

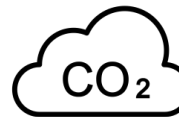
Megtérülési elemek



Fenntartási
megtérülés



Olcsóbb
hidrogén
megtérülés



CO2
megtérülés

12. ábra: A megtérülés során figyelembe vett elemek

A számítás során azzal számoltam, hogy a mozdonyok már a beszerzési év első napján szolgálatba állnak és már az adott évben számolható megtérülés, amely a 23. táblázatban is szemléltetve van.

Számításaim során az Economical Appraisal Vademecum 2021-2027 dokumentumot vettem alapul a CO₂ költségek meghatározásához [28]. Az évet 2023-mal indítottam, továbbá a 800 feletti értékek esetében évenkénti 10 Eurós emelést határoztam meg. Üzemeltetési költség spórolása esetében a jelentés azon adatát vettem alapul, miszerint a Train Maintenance közel fele a hidrogén mozdony esetében, mint a dízel mozdony esetében [18].

23.táblázat: költségek meghatározása példaévekre vetítve

Emellett az alábbi cikk évenkénti 75000 Dolláros árat határozott meg, mint fenntartási költség dízelmozdony esetében, így 37500 Dolláros költségcsökkenéssel számoltam éves szinten [29].

A számítások során 375-ös dollár és 385-ös Euró árfolyammal számoltam.

évek	0	1	2	10	35
Beruházási költség	7,7 mrd Ft 0,7125 mrd forint = 8,4125 mrd ft	0	0	0	0
Üzemeltetési költség spórolás	14 062 500 ft* 10 = 140 062 500 ft	140 062 500 ft	140 062 500 ft	140 062 500 ft	140 062 500 ft
Üzemanyag-költség spórolás	18 479 414 ft * 10 = 184 794 140 ft	184 794 140 ft	184 794 140 ft	184 794 140 ft	184 794 140 ft
CO2 költségek megtakarítása	50 043 500 ft	58 000 250 ft	65 527 000 ft	135 481 500 ft	385 192 500 ft

Az üzemanyag költség spórolást pedig a fenti számítások alapján számoltam, amely során kivontam a dízel éves üzemanyagköltségéből a hidrogén éves üzemanyagköltségét.

A számítás során 0,34 évig vizsgáltam a 35 éves intervallumot, emellett 4 és 5%-os diszkontrátára is megvizsgáltam a végeredményt.

24. táblázat: ENPV-k kiszámítása

	4%-os diszkontráta	5%-os diszkontráta
Spórolás 35 év alatt	9 783 790 701 ft	8 505 052 496 ft
ENPV érték	$9,784/8,4125 = \mathbf{1,163}$	$8,505/8,4125 = \mathbf{1,01}$

A számításba vett elemek alapján tehát megtérülőnek számít a projekt. Az egyszerűsített számításba a leglátványosabb elemek kerültek beelemésre. A valóság ennél jóval összetettebb képet mutat a pontos megtérülés elemzéséről.

6.Konklúzió

Dolgozatomban a hidrogénes meghajtás alkalmazhatóságával foglalkoztam részletesebben vizsgálva a jelenlegi helyzetet és a jövőbeli lehetőségeket. Emellett a kifejlesztett módszeremmel megmutattam, hogy milyen módon lehet értékelni egy állomást és értékelni az állomáshoz legjobban illeszkedő hidrogéntípust. E a módszer természetesen tovább is fejleszthető a jövőben, amely további kutatási potenciállal rendelkezik.

Az eredmények alapján van jövője a hidrogénes hajtásnak a vasúti iparban. Ehhez viszont megfelelő alkalmazási területen kell alkalmazni üzemanyagként a hidrogént, amely jelen körülmények között a teherforgalmat előnyben részesítő állomások és pályaudvarok területe a tolatómozdonyok esetében.

A hidrogénes számításokhoz később akár felhasználható a szél- napenergiás számítási módszer is értékeléssel együtt [30]. Ez az egyik fő célom a jövőbeli kutatással. Továbbá vizsgálni tervezem a fővonalai alkalmazási lehetőségeket értékelésének egy lehetséges kidolgozását. Ez alatt a villamosítatlan vonalakat értem. A hidrogénnel kapcsolatban a hatékony elosztást is egy fontos kérdésnek tartom, amelynek hatékony elosztása is egy potenciális kutatási terület.

Fontosnak tartom továbbá a hidrogén jövőbeli árképzését is. Ez is egy jövőbeli kutatási lehetőség, amely számos érdekes adatot és megoldandó problémát vet fel, hogy milyen módon érdemes alkalmazni a hidrogént. A felsorolt területekkel szeretnék a jövőbeli kutatásaimban foglalkozni.

7. Irodalomjegyzék

- [1] European Environment Agency 2023, Reducing greenhouse gas emissions from heavy-duty vehicles in Europe.
<https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-of-new-heavy08>.
[6 November 2023]
- [2] Máv Csoport 2023, Több mint 1,7 millió tonna szén-dioxid-kibocsátást takarítottak meg az utasok a vasúti közlekedéssel.
<https://www.mavcsoport.hu/mav-csoport/tobb-mint-17-millio-tonna-szen-dioxid-kibocsatast-takaritottak-meg-utasok-vasuti>.
[6 November 2023]
- [3] Statista 2023, Carbon dioxide emissions from rail transportation in the European Union from 1990 to 2020.
<https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>.
[6 November 2023]
- [4] Statista 2023, Carbon dioxide emissions from transportation in the European Union (EU-27) from 1990 to 2020.
<https://www.statista.com/statistics/1200660/carbon-dioxide-emissions-transport-sector-european-union/>.
[6 November 2023]
- [5] Világgazdaság 2023 , Van olyan töltőállomás, ahol húszezer forintból kijön egy tele tank.
<https://www.vg.hu/logisztika/2023/04/van-olyan-toltoallomas-ahol-20-ezer-forintbol-kijon-egy-teletank>.
[6 November 2023]
- [6] Infografikák 2023, Infografika – „Írány az 55%!”: a fenntarthatóbb közlekedésre való áttérés, 26 július 2023 Az Európai Unió Tanácsa
<https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/fit-for-55-afir-alternative-fuels-infrastructure-regulation/>
- [7] Hajtó, B. n.d., M44 Járműállomány ,
http://hbweb.hu/jarmu/mav_m44_full.htm.
[6 November 2023]
- [8] Wikipédia 2019, Máv V46 sorozat
https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C3%81V_V46_sorozat
[6 November 2023]
- [9] Pagenkopf, J., Konrad, M., Böhm, M., Jäger, V., Dittus, H. 2022, 'Alternative powertrains for shunting locomotives – analysis of feasibility and limitations' , WCRR
https://elib.dlr.de/186966/1/WCRR2022_Paper-Pagenkopf_Alternative%20Drivetrains%20for%20Shunting%20Locos.pdf.
[6 November 2023]
- [10] Kałuża, A. 2016. General statistics of diesel engines' idle time: Shunting locomotives in industrial sidings in Poland 2009...2013. Transp. Res. Part D: Transp. and Env. Volume 49, Pages 82-93
DOI: 10.1016/j.trd.2016.08.031
- [11] Hermesmann, M. & Müller, T.E. 2022 , 'Green, Turquoise, Blue or Grey? Environmentally friendly Hydrogen Production is Transforming Energy Systems' , Progress in Energy and Combustion Science, vol. 90

DOI : 10.1016/j.pecs.2022.100996

[12] Molgroup.info 2022 , ÚJABB LÉPÉS AZ ENERGIAFÜGGETLENSÉG FELÉ: „Zöld hidrogén gyártásába kezd a Mol.

<https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlomenyek/ujabb-lepes-az-energiafuggetlenseg-fele-zold-hidrogen-gyartasaba-kezd-a-mol>

[6 November 2023]

[13] Sandia National Laboratories, 2019 Hydrogen for rail applications.

<https://energy.sandia.gov/programs/sustainable-transportation/hydrogen/hydrogen-for-rail-applications/>

[6 November 2023]

[14] Richardson A., I., Fisher T., J., Frome E., P., Smith O., B., Guo, S., Chanda, S., McFeely S., M., Miller M., A., Leachmann W., J. 2015, 'Low-cost, transportable hydrogen fueling station for early market adoption of fuel cell electric vehicles' , International Journal of Hydrogen Energy, Volume 40, Issue 25.

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.04.066

[15] DB develops rapid refueling, Hydrogen trains ,2021 8 July 2021

Railtech.com

<https://www.railtech.com/rolling-stock/2021/07/08/hydrogen-trains-db-develops-rapid-refueling/?gdpr=accept>

[6 November 2023]

[16] v. Mikulicz-Radecki, F., Giehl, J., Grosse, B., Schöngart, S., Rüdts, D., Evers, M., Müller-Kirchenbauer, J. 2023. Evaluation of hydrogen transportation networks - A case study on the German energy system. Energy Volume 278, Part B, 127891

DOI: 10.1016/j.energy.2023.127891

[17] Kovács, K. 2018 , 'A teljes életciklusra számított költség figyelembevételének előnyei a közbeszerzési eljárások keretében'

DOI: 10.24228/KTSZ.2018.2.2

[18] Ruff, Y., Zorn, T., De Neve, P.A., Andrae, P., Erofeeva, S., Garrison, F. 2019,

'Study on the use of Fuel Cells & Hydrogen in the railway environment Report 1' , Europe's Rail.

<https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2019/04/Report-1.pdf>

[6 November 2023]

[19] Hoffrichter, A., Lovegrove, G., Lannon-Paakspuu, K., Hegazi, M. & Kumar, V. 2019, 'Hydrogen-powered trains and their benefits in noise and vibration reduction' , Global Railway Review.

<https://www.globalrailwayreview.com/article/93584/hydrogen-trains-benefits-noise-vibration-reduction/>

[6 November 2023]

[20] Climate Impact by Area 2022, Electricity Maps.

<https://www.electricitymap.org/map>

[6 November 2023]

[21] Lakossági vízdíjkalkulátor n.d., Fővárosi Vízművek.

<https://www.vizmuvek.hu/hu/kezdolap/informaciok/dijszabasok/lakossagi-vizdij-kalkulator>

[6 November 2023]

- [22] A Rouch, D. 2021, Electricity power plan Australia: replacing coal-fired plants by 2040 with renewable energy plants, March 2021 Table 7
https://www.researchgate.net/publication/350132545_Electricity_power_plan_Australia_replacing_coal-fired_plants_by_2040_with_renewable_energy_plants
[6 November 2023]
- [23] Wikipédia n.d., MÁV M44 Sorozat.
https://hu.wikipedia.org/wiki/M%C3%81V_M44_sorozat
[6 November 2023]
- [24] Pesa, 2023, Pesa SM-42-6Dn Hydrogen(2023, augusztus 10)
<https://pesa.pl/en/produkty/hydrogen-ready/sm42-6dn-hydrogen/>
[6 November 2023]
- [25] Pest megye, 2023, Solarmap
<https://solarmap.hu/napelem-terkep/>
[6 November 2023]
- [26] Pályavasúti vs. saját tolatások (terv alapon) 2023, VPE – Open Data
<https://opendata.vpe.hu/teljesitmeny-adatok/2021-2022-menetrendi-idoszak/palyavasuti-vs-sajat-tolatasok-terv-alapon-arufuvarozas-2021-2023>
[6 November 2023]
- [27] v. Mikulicz-Radecki, F., Giehl, J., Grosse, B., Schöngart, S., Rüdts, D., Evers, M., Müller-Kirchenbauer, J. 2023, 'Evaluation of hydrogen transportation networks - A case study on the German energy system'¹ Energy Volume 278, Part B, 127891
DOI: 10.1016/j.energy.2023.127891
[6 November 2023]
- [28] Economic Appraisal Vademecum 2021-2027 - General Principles and Sector Applications 2021, European Commission
https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/guides/2021/economic-appraisal-vademecum-2021-2027-general-principles-and-sector-applications
- [29] R. K. Ahluwalia, D. Papadias, J-K Peng, and T. Krause 2019, 'Total Cost of Ownership for Line Haul, Yard Switchers and Regional Passenger Locomotives – Preliminary Results'
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/04/f62/fcto-h2-at-rail-workshop-2019-ahluwalia.pdf>
- [30] Sacit Herdem, M., Mazzeo, D., Matera, N., Baglivo, C., Khan, N., Afnan, Congedo, P. M., De Giorgi, M. G. 2023, 'A brief overview of solar and wind-based green hydrogen production systems: Trends and standardization'
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.05.172
[6 November 2023]
-

8.Melléklet

M44 képe [6]



V46 képe [22]



Pesa SM42-6Dn Hydrogen [23]



Karbantarthatósági ráta: Az adott mozdony általánosan hány %-os rendelkezésreállást képes nyújtani a működés folyamán? Minél alacsonyabb, annál érdekesebb leváltani.

Teljes CBA excel táblázat a kiszámított értékekkel:

Évek száma	Üzemeltetési költségcsökkenés	Üzemanyagspórolással kapcsolatos költségcsökkenés	CO2 kibocsátás		5%-os diszkontráta	4%-os diszkontráta
0.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	50 473 500,00 Ft	375 892 640,00 Ft	375 892 640,00 Ft	375 892 640,00 Ft
1.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	58 000 250,00 Ft	383 419 390,00 Ft	365 161 323,81 Ft	368 672 490,38 Ft
2.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	65 527 000,00 Ft	390 946 140,00 Ft	354 599 673,47 Ft	361 451 682,69 Ft
3.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	73 053 750,00 Ft	398 472 890,00 Ft	344 215 864,38 Ft	354 240 948,24 Ft
4.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	80 580 500,00 Ft	405 999 640,00 Ft	334 016 908,59 Ft	347 050 193,83 Ft
5.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	88 107 250,00 Ft	413 526 390,00 Ft	324 008 747,09 Ft	339 888 549,30 Ft
6.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	95 634 000,00 Ft	421 053 140,00 Ft	314 196 335,87 Ft	332 764 412,65 Ft
7.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	103 160 750,00 Ft	428 579 890,00 Ft	304 583 726,29 Ft	325 685 492,79 Ft
8.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	110 687 500,00 Ft	436 106 640,00 Ft	295 174 139,99 Ft	318 658 850,18 Ft
9.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	123 084 500,00 Ft	448 503 640,00 Ft	289 109 445,30 Ft	315 112 708,32 Ft
10.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	135 481 500,00 Ft	460 900 640,00 Ft	282 953 011,46 Ft	311 367 957,77 Ft
11.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	147 878 500,00 Ft	473 297 640,00 Ft	276 727 327,68 Ft	307 445 121,90 Ft
12.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	160 275 500,00 Ft	485 694 640,00 Ft	270 452 949,36 Ft	303 363 439,14 Ft
13.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	172 672 500,00 Ft	498 091 640,00 Ft	264 148 631,27 Ft	299 140 931,50 Ft
14.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	184 626 750,00 Ft	510 045 890,00 Ft	257 607 833,60 Ft	294 538 792,57 Ft
15.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	196 581 000,00 Ft	522 000 140,00 Ft	251 090 992,55 Ft	289 848 148,15 Ft
16.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	208 535 250,00 Ft	533 954 390,00 Ft	244 610 658,28 Ft	285 082 614,26 Ft
17.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	220 489 500,00 Ft	545 908 640,00 Ft	238 178 131,37 Ft	280 254 890,46 Ft
18.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	232 443 750,00 Ft	557 862 890,00 Ft	231 803 553,38 Ft	275 376 810,17 Ft
19.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	244 398 000,00 Ft	569 817 140,00 Ft	225 495 991,59 Ft	270 459 388,59 Ft
20.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	256 352 250,00 Ft	581 771 390,00 Ft	219 263 518,33 Ft	265 512 868,07 Ft
21.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	268 306 500,00 Ft	593 725 640,00 Ft	213 113 285,17 Ft	260 546 761,27 Ft
22.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	280 260 750,00 Ft	605 679 890,00 Ft	207 051 592,32 Ft	255 569 892,17 Ft
23.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	292 215 000,00 Ft	617 634 140,00 Ft	201 083 953,46 Ft	250 590 434,95 Ft
24.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	304 162 000,00 Ft	630 031 140,00 Ft	195 352 438,99 Ft	245 788 677,22 Ft
25.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	317 009 000,00 Ft	642 428 140,00 Ft	189 710 810,36 Ft	240 985 589,55 Ft
26.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	329 406 000,00 Ft	654 825 140,00 Ft	184 163 503,64 Ft	236 188 377,45 Ft
27.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	341 803 000,00 Ft	667 222 140,00 Ft	178 714 328,60 Ft	231 403 694,11 Ft
28.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	354 200 000,00 Ft	679 619 140,00 Ft	173 366 518,29 Ft	226 637 672,24 Ft
29.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	358 627 500,00 Ft	684 046 640,00 Ft	166 186 614,64 Ft	219 340 522,83 Ft
30.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	363 055 000,00 Ft	688 474 140,00 Ft	159 297 389,98 Ft	212 269 429,78 Ft
31.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	367 482 500,00 Ft	692 901 640,00 Ft	152 687 441,55 Ft	205 417 798,73 Ft
32.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	371 910 000,00 Ft	697 329 140,00 Ft	146 345 793,46 Ft	198 779 208,20 Ft
33.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	376 337 500,00 Ft	701 756 640,00 Ft	140 261 881,82 Ft	192 347 405,99 Ft
34.	140 625 000,00 Ft	184 794 140,00 Ft	380 765 000,00 Ft	706 184 140,00 Ft	134 425 540,46 Ft	186 116 305,71 Ft
			Vizsgált évek	0-34	8 505 052 496,40 Ft	9 783 790 701,19 Ft