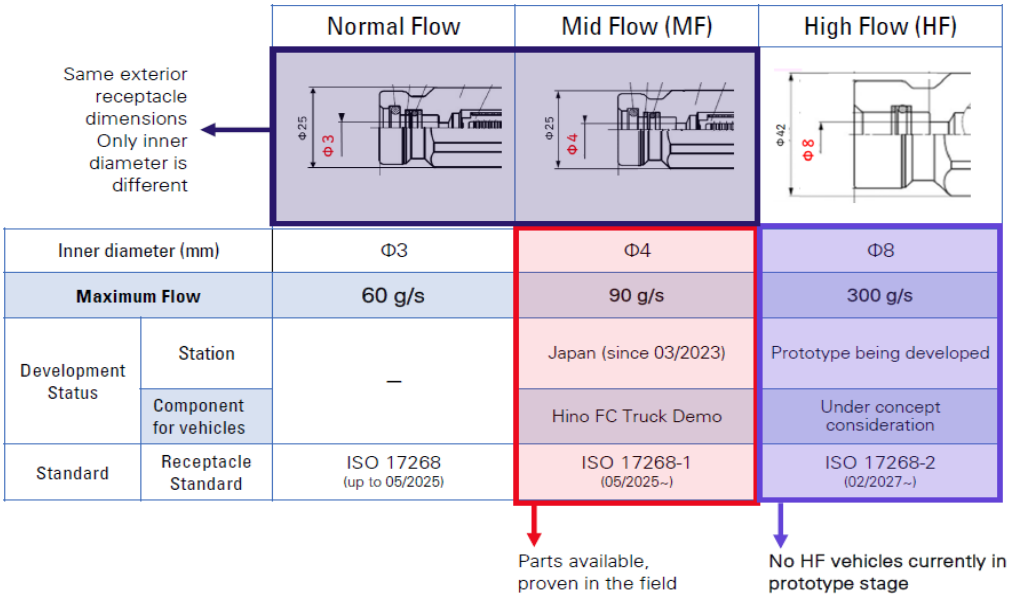
Ez a cikk az MHT Egyesület 2025.04.29-én megrendezett, tagvállalati hidrogén workshopján a Toyota Europe szakértője (*Vincent Matellaer*) által tartott előadás [1] kivonata, kiegészítve a RHeadHy nevet viselő projekt egyes szakmai [2] [3] anyagaival.

Jelenleg a hidrogéntankolás töltési protokollját az SAE[1] J2601:2020 szabvány határozza meg. Ez betűkódokkal jelölt töltési kategóriákat határoz meg, amelyek a kitankolt hidrogén mennyiségét is jelölik: „A" kategória: 2-4 kg_{H2}; „B": 4-7 kg_{H2}; „C": 7-10 kg_{H2}; „D": 10+ kg_{H2}. Személyautó kategóriában a jelenlegi hidrogéntankolási protokoll 5 perc körüli teljes tankolási időt biztosít, amely már elfogadható, versenyképes a hagyományos üzemanyagok tankolási időszükségletéhez viszonyítva. Azonban az 50-60 kg_{H2} – vagy ennél is nagyobb tankolási mennyiségeket – igénylő teherautók esetében a jelenlegi töltési időszükséglet a hatályos protokoll alapján kb. 30 perc (lásd a 3. ábrán). Viszont ez nem verseny-képes időszükséglet és emiatt csökkenteni kell. A teherautók hosszú tankolási időszükségletének oka, hogy a jelenlegi protokoll szerint a töltési sebesség maximális tömegárama alapesetben (*„standard nozzles", H35/H70*) 60 g_{H2}/s mértékben van meghatározva, de kivételek lehetnek. Ezt a továbbiakban „NF" (*Normal Flow*) rövidítés jelöli.

A fenti helyzeten már jelentősen javítana az ún. Mid Flow (MF), azaz az emelt sebességű, pontosabban nagyobb tömegáramú (90 g_{H2}/s) töltés, amelyet a hagyományos töltőpisztolyok megtartásával is el lehetne érni, csak a belső furatot kell Ø3 mm-ről Ø4 mm-re növelni, ahogy ezt az 1. ábra is szemlélteti. Az NF és MF töltési sebesség esetében a töltőpisztoly külső mérete változatlan (Ø25 mm), ennek is köszönhető, hogy több töltőpisztoly-gyártó cég az MF közepes (emelt) tömegáramú hidrogéntöltésre képes töltőpisztolyok gyártására képes, ahogy ezt a 2. ábra szemlélteti. A nagy tömegáramú (HF, 300 g_{H2}/s) töltés is elképzelhető, de ehhez gyakorlatilag új, nagyobb töltőpisztoly kell, ezért ilyen töltőpisztolyok még csak fejlesztési fázisban vannak, és még prototípus szintű hidrogénüzemű jármű sincs, amely HF tankolási tömegárammal lenne képest hidrogént tankolni. Ezzel szemben az MF (*Mid Flow,* 90 g_{H2}/s) töltési sebesség Japánban 2023 óta már demonstrált technológia és a töltőcsatlakozó szabványa (ISO 17268 frissítése) is várhatóan 2025-ben megjelenik.



1. ábra: *normál (NF), közepes (MF) és nagy (HF) áramlási sebességű hidrogén-töltőpisztolyok, fejlettségi helyzetük és a töltőcsatlakozók vonatkozó szabványai. Kép: Toyota Europe*

[1] SAE: Society of Automotive Engineers. https://www.sae.org/

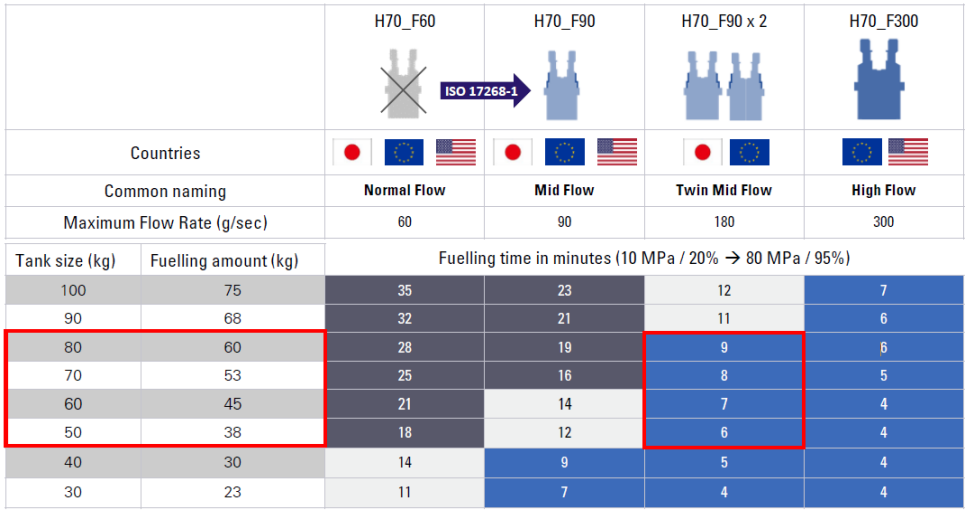
Egy másik, létező és viszonylag egyszerű lehetőség a töltési sebesség növelésére, ha a hidrogénüzemű teherautók hidrogénrendszere kettős töltőcsatlakozóval (*Twin Receptacle*) lesz felszerelve. Azaz, ha egy hidrogén-kútoszlopon két töltőpisztoly található -, amely egyébként már ma is elterjedt megoldás két jármű egyidejű tankolására -, az egyik töltőhelyen éppen nem tankol hidrogén-üzemű jármű, akkor a kútoszlop mindkét töltőpisztolya egy adott járművet lehet képes tankolni – természetesen akkor, ha a jármű is alkalmas erre. Ha ez *Mid Flow* (90 g_{H2}/s) töltésre képes töltőállomás, akkor a *„Twin"* architektúra is jelentős, 180 g_{H2}/s tankolási sebességet képes biztosítani 700 bar-os nyomásszinten.

2. ábra: *töltőpisztoly (nozzle) gyártók MF és HF gyártási képességei. Kép: Toyota Europe*

Ez utóbbi, *„Twin Mid Flow"* (H70_F90 x 2) töltési sebesség egy 40 tonnás kamion esetében, amely ~60 kg hidrogént szeretne tankolni, a tankolási idő mindössze 9 percre csökken. A *High Flow* (HF) megoldás alkalmazásával ugyanez ~6 percre csökkenne a teherautók esetében, ami már igencsak versenyképes lesz. Ezen időtartamokat és töltési tömegáramokat szemlélteti a 3. ábra. (Az ábrán a „H70" a 700 bar nyomásszintre utal; az F60/F90 stb. felirat pedig a töltési tömegáramra, pl. 60/90 g_{H2}/s.) Fontos megemlíteni, hogy a nagy nyomású hidrogéntankolást nem közvetlenül a töltőállomás kompresszora biztosítja, hanem a kompresszor különböző, nagy nyomású puffertartályokat tölt, és ezen puffertartályokból történik a jármű tényleges tankolása. Tehát a megemelt (MF, HF) tankolási sebességek nem feltétlen igénylik – az egyébként igen drága – hidrogénkompresszorok módosítását, kapacitásnövelését, hanem alapvetően a puffertárolók méreteit kell növelni.

TECHNICAL APPROACH

WHICH CONNECTOR TO USE FOR FUELLING HDV IN EU?



		H70_F60	H70_F90	H70_F90 x 2	H70_F300
Countries					
Common naming		Normal Flow	Mid Flow	Twin Mid Flow	High Flow
Maximum Flow Rate (g/sec)		60	90	180	300
Tank size (kg)	Fuelling amount (kg)	Fuelling time in minutes (10 MPa / 20% → 80 MPa / 95%)			
100	75	35	23	12	7
90	68	32	21	11	6
80	60	28	19	9	6
70	53	25	16	8	5
60	45	21	14	7	4
50	38	18	12	6	4
40	30	14	9	5	4
30	23	11	7	4	4

Common for 40-ton tractor

3. ábra: *NF, MF és HF ill. kettős (Twin) töltőcsonkkal felszerelt nehézgépjármű tankolási ideje. Kép: Toyota*

A 4. ábra szemlélteti egy teherautó hidrogéntároló rendszerén a kettős töltőcsonk (*Twin Nozzle*) valós kialakítást, amely ráadásul emelt (*Mid Flow*) töltési sebességre is képes (*Twin Mid Flow* technológia).

A hivatkozott, a töltőcsatlakozóra vonatkozó ISO 17268-1 (*Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices*) szabvány jelen cikk írásakor publikálás alatt állt a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) honlapja alapján[2]. Ez a dokumentum meghatározza a komprimált gáz hidrogénnel üzemelő szárazföldi járművek (GHLV) üzemanyagtöltő-csatlakozóinak tervezési, biztonsági és üzemeltetési jellemzőit. Megjelenése után ez fel fogja váltani az e területen korábban alkalmazandó

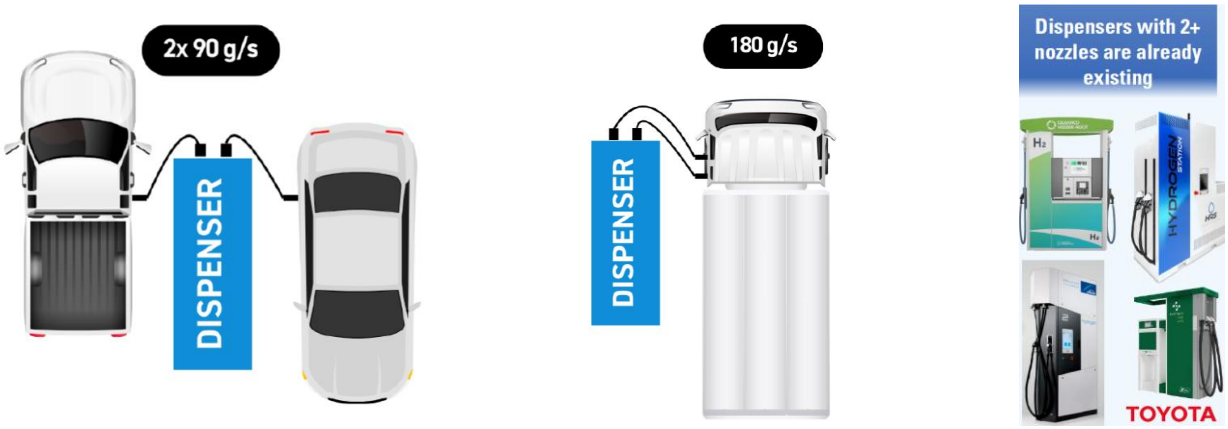
[2] https://www.iso.org/standard/86283.html

ISO 17268:2020 szabványt. E szabvány a csatlakozó és a fúvóka mellett kiterjed a H_2-töltő és a jármű közti kommunikációs hardverre is. A *Twin Mid Flow* technológia abból a szempontból is kedvező, hogy 700 bar nyomásszint esetében jelenleg is használt, infravörös kommunikációs megoldás ugyanúgy használható, tehát ezen sem kell érdemben változtatni. (A *High Flow* töltési sebesség esetében a kommunikációs szabványon várhatóan fejleszteni kell majd, ami 2028 körül várható.)

4. ábra: *kettős töltőcsonkkal (Twin Receptacle) rendelkező és „Mid Flow" töltésre alkalmas onboard hidrogén-tárolórendszer a 2025-ös párizsi HyVolution kiállításon a Toyota standján. Kép: MHTE*

A fejlesztési koncepció további előnye, hogy a jelenleg már létező, piacon lévő NF (*Normal* Flow) tankolásra alkalmas hidrogénüzemű járművek teljes mértékben kompatibilisek az emelt (*Mid* Flow) töltőállomásokkal; és ez megfordítva is igaz, a *Mid Flow* sebességű tankolásra alkalmasként piacra bocsátott járművek is teljes mértékben kompatibilisek a jelenleg működő NF (*Normal Flow*) töltőállomásokkal. Az MF technológia megjelenése tehát nem okoz gondot a már meglévő járművek vagy töltőállomások kompatibilitása szempontjából. A nehézséget, pontosabban változást a HF (*High Flow, 300* g_{H2}/s) technológia megjelenése okozhat, mert ez esetében csak az eleve HF-re fejlesztett H_2-töltőállomások lesznek kompatibilisek az eleve HF-re fejlesztett járművekkel. Azonban ahogy már említettük, a HF töltési technológia csak a nehézgépjárművek (pl. teherautók) esetében várható, mert a személyautók töltési sebessége a jelenlegi protokoll és technológia mellett is már versenyképes.

A két töltőpisztollyal rendelkező diszpenzerek a piacon már jelenleg is elérhetők, több gyártónál is. A következő ábra azt a konfigurációt mutatja, amikor egyetlen *Mid Flow* diszpenzer segítségével könnyű (LCV) és nehézgépjárművek (HDV) is tankolhatók, de utóbbi akár *Twin – dupla sebességű* - megoldással.

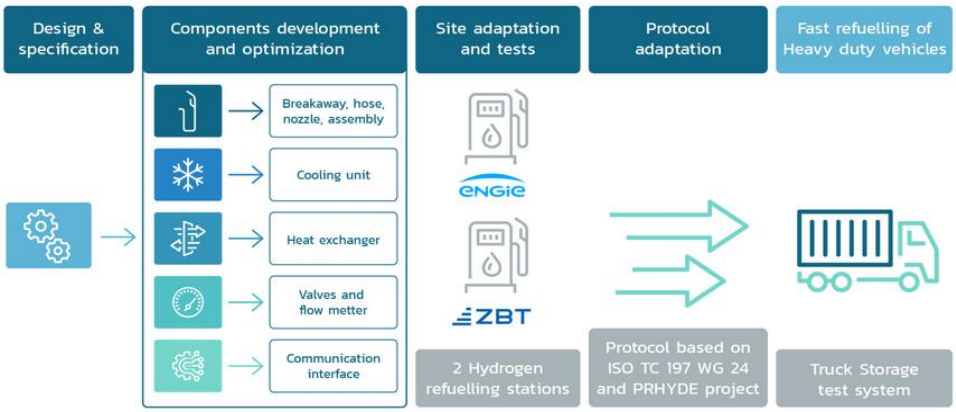


5. ábra: *egyetlen MF diszpenzerrel LDV és HDV járművek tankolási koncepciója. Kép: Toyota*

A fentiekben vázolt H_2-töltési koncepció az AFIR (EU/2023/1804[3]) rendelettel is teljes mértékben kompatibilis, amennyiben az AFIR szerinti min. 1 tonna$_{H2}$/nap tankolási kapacitás is megvalósításra kerül.

A RHeadHy projekt

A fentiekben leírtak már „projektesítve" vannak az EU-ban. A *Clean Hydrogen Partnership* által támogatott RHeadHy projekt (2023-2027) célja nagy kapacitású töltőállomás kifejlesztése nehézgépjárművek számára, 80–100 kg$_{H2}$ töltési kapacitás biztosítása 10 perc alatt, amely már a 40 tonnás kamionok esetében is versenyképesen használható alternatívát jelent [2]. Ehhez a fent már említett, 300 g$_{H2}$/s max. töltési sebesség, azaz a *High Flow* (HF) töltőállomás, illetve tankolási protokoll megvalósítása szükséges. E projektben 9 európai szervezet, 8 iparvállalat[4] és egy kutatóintézet működik együtt három tagállamból (Franciaország, Németország, Hollandia). A projekt keretében először megtervezik és meghatározzák a hidrogéntöltő-állomást, hogy ez megfelelő input paramétereket, jellemzőket szolgáltasson az alkatrészfejlesztéseknek. A nagy kapacitású töltőállomás alkatrészeit ezután úgy fejlesztik ki és gyártják vagy optimalizálják, hogy megfeleljenek ezeknek a specifikációknak. A komponensek segítségével két nagy áramlási sebességű (HF) hidrogén-töltőállomást állítanak össze; ezután ezeket tesztelni fogják a megcélzott áramlási teljesítmény elérése érdekében. A tervek szerint 2028-ra érnék el a nagy kapacitású (HF) töltőállomások terén a TRL-9 érettségi szintet. A RHeadHy projekt vállalásai közé tartozik a hidrogén-töltőállomások alkatrészeinek szabványosítása és tanúsítása a gyors bevezetés, valamint a piacra kerülés biztosítása érdekében. Továbbá az ultra gyors töltéshez kapcsolódó protokoll kidolgozása és demonstrálása is.



6. ábra: *RHeadHy projekt főbb vállalásai és megvalósítása. Kép: rheadhy.eu*

A RHeadHy projekt egyik „mellékága", hogy a főbb konzorciumi partnerekkel, a Hydrogen Refueling Solutions (HRS) és az ENGIE vállalatokkal a Toyota Motor Europe együttműködési megállapodást írt alá 2025 januárjában. Ennek keretében a Toyota biztosít egy tesztpadot és egy *Twin Mid Flow* technológiával felszerelt teherautót. A Hydrogen Refueling Solutions és az ENGIE új generációs, ezzel az innovációval kompatibilis hidrogén-töltőállomásokat fog kifejleszteni, amelyeket a RHeaDHy projektben 2025 negyedik negyedévétől tesztelnek. A *Twin Mid Flow* az együttműködő vállalatok számára egy következő lépcsőfok a hidrogén-töltőinfrastruktúra fejlődéséhez, terjedéséhez vezető úton. E töltőállomások telepítési költségei – a források alapján - jelentősen alacsonyabbak lesznek, ami hozzájárul a hidrogén-infrastruktúra telepítésének felgyorsításához.

Készítette: Mayer Zoltán, MHTE

Források:

[1] Vincent Matellaer (Toyota Motor Europe): Meeting AFIR for LDV and HDV in a cost-efficient way. Előadás: 2025.04.29. MHTE tagvállalati hidrogén workshop, Budapest.

[2] RHeadHy projekt honlapja: https://rheadhy.eu/

[3] Toyota Motor Europe: Toyota partners with Hydrogen Refuelling Solutions and ENGIE for a fast and cost-efficient hydrogen refuelling infrastructure. Press Release, 28 January 2025.

[3] AFIR: az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2023/1804 rendelete (2023. szeptember 13.) az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítéséről, valamint a 2014/94/EU irányelv hatályon kívül helyezéséről.

[4] Konzorcium: ENGIE, Hydrogen Refueling Solutions (HRS), Alfa Laval, Benkei, Emerson, Forvia.faurencia, Lauda, Tescom, ZBT.