

ВОДОРОДНОТО БЪДЕЩЕ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

Миряна Евтимова¹, Красимир Кръстанов², Даниела Тодорова³, Благой Бурдин⁴, Васко Николов⁵, Венелин Павлов⁶, Веселин Найденов⁷, Миглена Славова⁸, Филип Кирилов⁹,
Валентина Зочинова¹⁰

mevtimova@vtu.bg, kkrastanov@vtu.bg, dtodorova@vtu.bg, b.burdin@iees.bas.bg, varnikolov@vtu.bg,
vpavlov@vtu.bg, v_naidenov@vtu.bg, m Slavova@vtu.bg, f.kirilov@vtu.bg, zochinova@vtu.bg

ORCID iD: 0009-0001-5382-5431, 0009-0001-3453-5244, 0000-0002-6235-9989, 0000-0001-9162-4545,
0009-0004-1252-1599, 0009-0003-5829-2667, 0009-0008-2211-534X, 0000-0003-0536-1852, 0009-0006-0558-
5265, 0009-0004-0697-4620

^{1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10} Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“,
София 1574, ул. „Гео Милев“ № 158

^{4, 8} Институт по електрохимия и енергийни системи „Академик Евгени Будевски“,
Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл.10, 1113 София,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: Целта на това изследване е да се постави началото на комплексен анализ на възможностите за декарбонизация на железопътния транспорт чрез използването на водород, определен като ключов елемент в приетата през 2020 г. Стратегия за използването на водорода за неутрална по отношение на климата Европа.

Представени са възможностите за съществено намаляване на екологичния отпечатък на железниците чрез използване на водород, като 1 килограм водород замества около 4,5 литра дизелово гориво (по данни на Alstom). Описани са основните проекти в световен мащаб за въвеждане на водород в железопътния транспорт. Представени са възможностите за декарбонизация на железопътния транспорт в България за повече от 1000 километра неелектрифицирани железопътни линии чрез използване на водород.

Извършен е SWOT анализ на възможностите за изграждане на водороден железопътен транспорт в България. Систематизирани са основните предизвикателства пред изграждането на водороден железопътен транспорт: липсата на водородна инфраструктура, високи начални инвестиции, производство на „зелен“ водород, обем на резервоарите за съхранение на водород, сигурност на доставките, обучение на висококвалифицирани кадри от всички степени на образование, безопасност и здраве при работа, различни аспекти на микроклимата и др. Описани са ключовите теми при въвеждане на водородна мобилност в железниците.

В заключение са представени възможностите за декарбонизация на железопътния транспорт в България, като част от Европейският Зелен пакт и Националната стратегия за декарбонизация.

Ключови думи: 200 години Железопътен транспорт, Водородна икономика, Европейски Зелен пакт, Кръгова икономика, Декарбонизация.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Данните от обсерваторията в Мауна Лоа на остров Хавай (Националната агенция на океанските и атмосферни изследвания, САЩ) показват, че през юни 2024 г. и 2025 г. концентрацията на въглеродния диоксид в атмосферата има стойности съответно: 428.48 ppm и 426.95 ppm (фигура 2) [1]. Това доказва, че продължава покачването над приетите за допустими нива на CO₂ от 350 ppm и тенденцията за увеличаването му от 1959 г. се запазва, както бе установено и в предишни публикации на някои от авторите [2 и др.].

През 2020 г. Европейската комисия приема Стратегия за използването на водорода за

неутрална по отношение на климата Европа, като водородът се определя като ключов елемент за осъществяване на Европейския зелен пакт и прехода към чиста енергия. Това е решение за декарбонизация на промишлените процеси и икономическите отрасли, в които намаляването на въглеродните емисии е както неотложно, така и трудно за постигане [3].

През 2023 г. е приета Национална пътна карта за подобряване на условията за разгръщане на потенциала за развитие на водородните технологии и механизмите за производство и доставка на водород [4].

Изграждането на водородна екосистема е възможност за постигане на въглеродно неутрална икономика до 2050 г. и за изпълнение на целите на Парижкото споразумение по отношение на климата. Водородът от възобновяеми източници („зелен“ водород) и този, с нисък въглероден отпечатък, могат да допринесат за намаляване на емисиите на парникови газове и са ключов фактор за изграждането на неутрална по отношение на климата икономика с нулево замърсяване през 2050 г. чрез замяна на изкопаемите горива в секторите, които са трудни за декарбонизация, какъвто е железопътния транспорт.

2. ОСНОВНИ ПРОЕКТИ ЗА ВЪВЕЖДАНЕ НА ВОДОРОДА В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ

Възможностите за декарбонизация на железопътния транспорт са анализирани от някои автори [5]. Тук ще бъдат описани основните проекти в тази област.

177 години след началото на съвременната железница, задвижвана през 1825 г. от парният локомотив Locomotion № 1, е демонстриран първият 3,6-тонен минен локомотив с мощност 17 kW, задвижван от водород, с горивни клетки през 2002 г. във Вал д'Ор, Квебек.

Следват множество проекти в различни държани: 2006 - Япония; 2010 – САЩ; 2012 – Дания (водороден ДВГ); 2012 – Южна Африка; 2014 – Германия (трамвай с горивни клетки); 2015 – Дубай (тролейбуси). През 2021 г. Френската железопътна компания (FRC) изразява намерение да добави няколко Hydrail към флота си, като поръчва 14 от тях от Alstom за 200 милиона евро. През 2022 г. Alstom, световен лидер в интелигентната и устойчива мобилност, пуска в експлоатация първият в света водороден пътнически влак Coradia iLint, чрез който се постига съществено намаляване на екологичния отпечатък на железниците чрез използване на водород, като 1 килограм водород замества около 4,5 литра дизелово гориво [6]. В таблица 1 са представени водещите производители на водородни влакове и основните им характеристики.

Таблица 1. Водещи производители и примери на водородни влакове [11], [12], [13], [14].

Производител	Модел	Държава	Характеристики
Alstom	Coradia iLint	Франция/ Германия	Първият в света серийно произведен водороден влак. В експлоатация в Германия, 2022.
Siemens	Mireo Plus H	Германия	Разработен с Deutsche Bahn, планирани тестове и внедряване в няколко региона, 2024.
CRRC	Fuxing H-EMU	Китай	Водороден влак за 160 км/ч, пуснат в експлоатация през 2023 г.
Stadler Rail	FLIRT H2 (Fast Light Innovative Regional Train)	Швейцария/ САЩ	Разработен за пазара в САЩ (Калифорния), 2024.

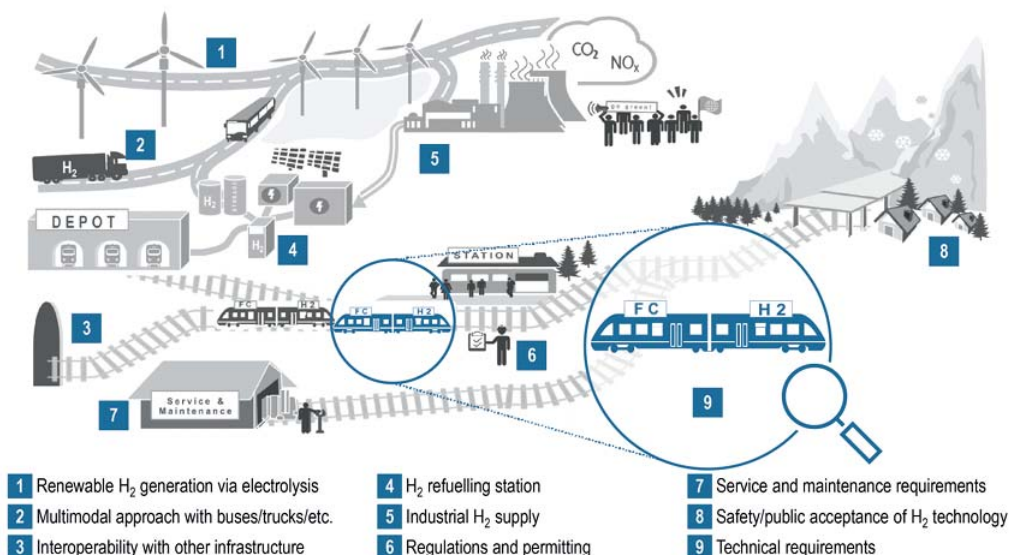
Водородът може да се използва в железопътния транспорт по два начина: директна употреба в тяговия подвижен състав като гориво в двигател с вътрешно горене или в горивни клетки. За постигане на въглеродна неутралност е необходимо да се използва под формата на „зелен“ водород, получен чрез електролиза на вода или други нискоемисионни източници, като биоводород, природен водород и др..

3. КЛЮЧОВИ ТЕМИ ПРИ ВЪВЕЖДАНЕТО НА ВОДОРОДНА МОБИЛНОСТ ПРИ ЖЕЛЕЗНИЦИТЕ

През 2019 г. проучване върху използването на горивни клетки и водород в железопътната среда анализира различни казуси и се доказва обещаващият потенциал за използване на

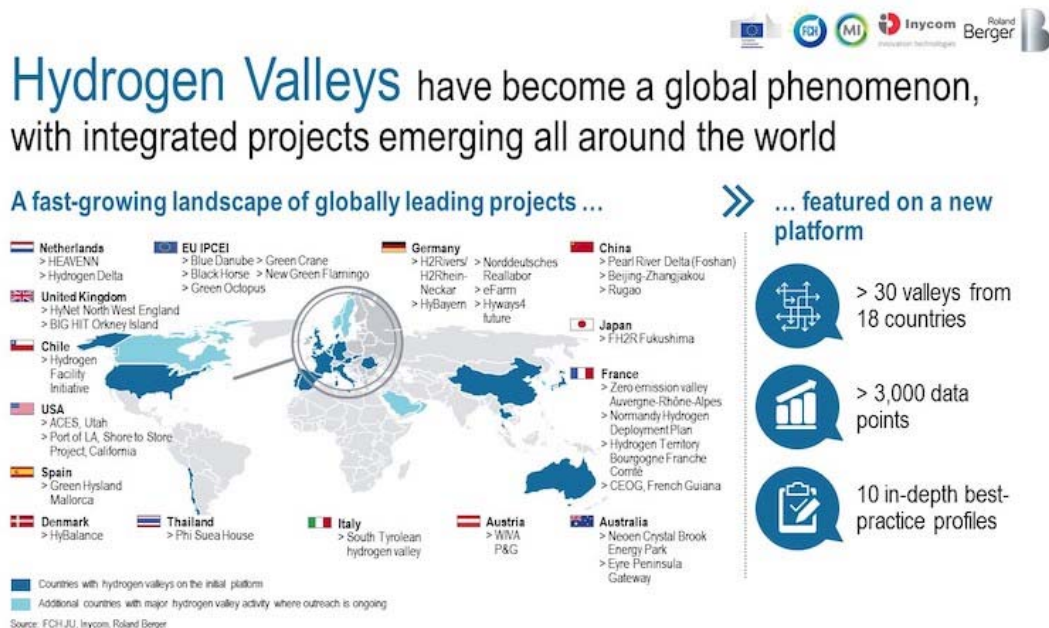
водород [8]. Фокусните теми, представени на фигура 1 трябва да бъдат анализирани за успешното въвеждане на технологията горивни клетки с водород в железопътната среда.

През 2021 г. Международния железопътен съюз (UIC, Union Internationale des Chemins de fer) провежда практически семинар, където се оформят два важни извода: водородът може да бъде най-икономичното решение за постигане на нулеви емисии и създаването на *Водородни долини* (фигура 2) е начин за ускоряване на енергийния преход един от първи елементи на новата водородна икономика [7].



Фиг. 1. Схематично представяне на екосистемата на влаковете с горивни клетки и водород, включително избрани ключови теми [8]

1. Производство на „зелен“ водород чрез електролиза; 2. Интермодален подход; 3. Оперативна съвместимост с друга инфраструктура; 4. Нодородни зарядни станции; 5. Водород за индустриални цели; 6. Административно обслужване; 7. Изисквания за обслужване и поддръжка; 8. Информирание на местната общност за ползите и безопасната употреба на H₂ - технологии; 9. Технологични спецификации (горивни клетки, резервоари за водород, тръбопроводи);



Фиг. 2. Водородни долини, 2025 [9]

4. SWOT АНАЛИЗ НА ВОДОРОДНИЯ ЖЕЛЕЗОПЪТЕН ТРАНСПОРТ В БЪЛГАРИЯ

СИЛНИ СТРАНИ (STRENGTHS):

- екологична устойчива алтернатива на дизеловите локомотиви – нулеви емисии на CO₂, NO_x и фини прахови частици;
- съществено намаляване на екологичния отпечатък на железниците чрез използване на водород, като 1 килограм водород замества около 4,5 литра дизелово гориво [10];
- използване на потенциала на България за производство на водород с енергия от възобновяеми енергийни източници;
- намаляване на необходимостта от изграждане на нови електрифицирани линии - особено подходяща възможност за неелектрифицираните железопътни линии (към 31.12.2024 неелектрифицираните жп линии са 1024 км [10], особено тези на труднодостъпни места;
- подновяване на остарелия дизелов локомотивен парк (някои от сериите дизелови локомотиви са на възраст над 60 години);
- реновиране на съществуващият дизелов подвижен състав чрез преоборудването му за работа с горивни клетки с водород;
- ниско ниво на шумово замърсяване, особено необходимо за населени места и защитени природни територии;
- подобряване на благосъстоянието на живущите в неелектрифицираните райони и увеличаване стойността на недвижимите имоти;
- водородът може да бъде най-икономичното решение за постигане на нулеви емисии и изграждане на водородна икономика;
- създаване на нови работни места за перспективни професии в неутрална, по отношение на климата, кръгова икономика;
- изграждане на иновационен технологичен имидж на БДЖ и НКЖИ;
- повишаване на енергийната независимост на България от внос на изкопаеми горива.

Слаби страни (Weaknesses):

- високи първоначални инвестиции;
- липса на висококвалифицирани кадри от всички степени на образование и опит;
- липса на водородна инфраструктура, анализирана в предишни публикации на авторите [2];
- слаба информираност на потребителска и административна среда, свързани с водородните технологии;
- липса или слабо развита нормативна рамка в областта на водородните технологии.

Възможности (Opportunities):

- финансиране от различни оперативни програми на ЕС;
- развитие на нови професии и работни места;
- създаване и развитие на образователен и научен Център за водороден железопътен транспорт към Висше транспортно училище;
- развитие на Центърът за компетентност ХИТМОБИЛ на ИЕЕС към БАН;
- обновяване на дизеловият тягов подвижен състав с въглеродно неутрални превозни средства;
- подобряване на условията на труд и ергономичните показатели за машинистите;
- развитие на вътрешен пазар;
- изграждане на технологичен капацитет за реновиране на съществуващият дизелов подвижен състав чрез преоборудването му за работа с горивни клетки;
- изграждане на *Водородна долина* на Балканския полуостров с център България, където е първата зарядна станция за водород [2];
- партньорства с водещи производители – Alstom, Siemens и др.

Заплахи (Threats):

- високи оперативни разходи при недобро планиране на производството и доставките на водород;
- зависимост от развитие на водородна инфраструктура за зареждане;
- регулаторна несигурност;
- зависимост на цената на водорода от развитието на глобалните енергийни пазари;

- бавни темпове на внедряване на иновации в БДЖ;
- липса на нормативна рамка в областта на водородните технологии.

За успешно внедряване и развитие на водородния железопътен транспорт е необходимо, да се използват успешно силните страни (които могат да бъдат конкурентно предимство) и възможности. Като в същото време е необходимо да се неутрализират недостатъците.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Изграждането и развитието на водороден железопътен транспорт е най-икономичното решение за изграждане на въглеродно неутрална кръгова икономика в България. За постигането на тази амбициозна цел е необходимо да се направи комплексен анализ на ключовите теми в тази област и да се приложат устойчиви решения за изграждане на „водородна екосистема“.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] <https://www.co2.earth/>, посетена юни 2025.
- [2] Миряна Евтимова, Даниела Тодорова, Красимир Кръстанов, Благой Бурдин, Миглена Славова, Веселин Найденов. Европейски зелен пакт и водородна икономика. Механика. Транспорт. Комуникации: научно списание: София: ВТУ „Тодор Каблешков”, том 22, брой 3/3, 2024 г., с. 0-1/0-10. <https://mtc-aj.com/>. ISSN 1312-3823.
- [3] Стратегия за използването на водорода за неутрална по отношение на климата Европа. Брюксел, 8.7.2020 г. COM(2020) 301 final. СЪОБЩЕНИЕ НА КОМИСИЯТА ДО ЕП, ЕВРОПЕЙСКИЯ СЪВЕТ, СЪВЕТА, ЕИСК И КОМИТЕТА НА РЕГИОНИТЕ.
- [4] Национална пътна карта за подобряване на условията за разгръщане на потенциала за развитие на водородните технологии и механизмите за производство и доставка на водород. Водородно бъдеще за България, (Протокол на МС № 18/ 26 април 2023 година)
- [5] Миряна Евтимова, Веселин Найденов. Възможности за декарбонизация на железопътния транспорт. Механика. Транспорт. Комуникации: научно списание. София: ВТУ „Тодор Каблешков”, том 15, бр. 3, 2017, с. IX-1/IX-5. <https://mtc-aj.com/>. ISSN 1312-3823.
- [6] ALSTOM. World premiere: 14 Coradia iLint to start passenger service on first 100% hydrogen operated route. PRESS RELEASE. 24 August 2022.
- [7] UIC. Hydrogen trains UIC best practice workshop. 2021.
- [8] Yvonne Ruf, Thomas Zorn, Pinar Akcayoz De Neve, Patrick Andrae, Svetlana Erofeeva, Frank Garrison, Andreas Schwilling. STUDY ON THE USE OF FUEL CELLS AND HYDROGEN IN THE RAILWAY ENVIRONMENT. ISBN 978-92-95215-11-5. Publications Office of the European Union in Luxembourg. 2019.
- [9] <https://www.europeanfiles.eu/energy/hydrogen-valleys-driving-growth-and-jobs>, юни 2025..
- [10] НСИ. ДЪЛЖИНА НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ЛИНИИ КЪМ 31.12.2024. <https://www.nsi.bg/statistical-data/367/1046>, юни 2025.
- [11] Alstom Coradia iLint – the world's 1st hydrogen powered passenger train. <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/alstom-coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-passenger-train>, юни 2025.
- [12] Mireo Plus H – The next generation of hydrogen trains. <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo/mireo-plus-h.html>, юни 2025.
- [13] Fuxing Intelligent EMU Trains. https://www.crrcgc.cc/en/2025-02/26/article_2025022616355266754.html. юни 2025.
- [14] FLIRT H2: A clean future on the tracks. <https://www.stadlerail.com/en/solutions/rolling-stock/mainline-flirt-h2>. юни 2025.

THE HYDROGEN FUTURE OF RAIL TRANSPORT

Mirvana Evtimova¹, Krasimir Krastanov², Daniela Todorova³, Blagoy Burdin⁴, Vasko Nikolov⁵,
Venelin Pavlov⁶, Veselin Naydenov⁷, Miglena Slavova⁸, Filip Kirilov⁹, Valentina Zochinova¹⁰
mevtimova@vtu.bg, kkrastanov@vtu.bg, dtodorova@vtu.bg, b.burdin@iees.bas.bg, varnikolov@vtu.bg,
vpavlov@vtu.bg, v_naidenov@vtu.bg, m Slavova@vtu.bg, f.kirilov@vtu.bg, zochinova@vtu.bg

ORCID iD: 0009-0001-5382-5431, 0009-0001-3453-5244, 0000-0002-6235-9989, 0000-0001-9162-4545, 0009-0004-1252-1599, 0009-0003-5829-2667, 0009-0008-2211-534X, 0000-0003-0536-1852, 0009-0006-0558-5265, 0009-0004-0697-4620

^{1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10} *Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, Geo Milev Str. 158,*

^{4, 8} *Academician Institute of Electrochemistry and Energy Systems Evgeni Budevski",
Bulgarian Academy of Sciences, 10 Acad. G. Bonchev St., 1113 Sofia,
BULGARIA*

Abstract: *The aim of this study is to initiate a comprehensive analysis of the possibilities for decarbonization of railway transport through the use of hydrogen, identified as a key element in the Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe adopted in 2020.*

The possibilities for significantly reducing the ecological footprint of railways through the use of hydrogen are presented, with 1 kilogram of hydrogen replacing about 4.5 liters of diesel fuel (according to Alstom data). The main projects worldwide for the introduction of hydrogen in railway transport are described. The possibilities for decarbonization of railway transport in Bulgaria for more than 1000 kilometers of non-electrified railway lines through the use of hydrogen are presented.

A SWOT analysis of the possibilities for the construction of hydrogen railway transport in Bulgaria is carried out. The main challenges facing the development of hydrogen railway transport are systematized: the lack of hydrogen infrastructure, high initial investments, production of "green" hydrogen, volume of hydrogen storage tanks, security of supply, training of highly qualified personnel from all levels of education, occupational safety and health, various aspects of the microclimate, etc. The key topics for introducing hydrogen mobility in railways are described.

In conclusion, the possibilities for decarbonization of railway transport in Bulgaria are presented, as part of the European Green Deal and the National Decarbonization Strategy.

Key words: *200 years of railway transport, Hydrogen economy, European Green Deal, Circular economy, Decarbonization.*