



ПРОБЛЕМИ ПРЕД ВЕРИГАТА НА ДОСТАВКИ НА АЛТЕРНАТИВНО ВОДОРОДНО ГОРИВО ЗА ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

Васил Василев, Теодор Беров

vassco@abv.bg, tberov@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“

София, ул. Гео Милев № 158

РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *зелен водород, веригата за доставка на водород, мобилност, базирана на водород, търсене на водород, водород в градския транспорт*

Резюме: *Зеленият водород е широко признат бъдещ енергиен носител поради своите незамърсяващи свойства и висока енергийна плътност. За да се реализира водородна мобилност в бъдеще, от съществено значение е да се изгради цялостна верига за доставка на зелен водород, която може да го превърне в ключов енергиен носител за превозните средства. Този документ прави преглед на веригата за доставки на зелен водород, включващи технологии за производство, съхранение, транспорт и използване. Специално внимание се обръща на различните начини за транспортиране на водород. Обсъждат се предизвикателствата при изграждането на верига за доставки на водород от технико-икономическа, социална и политическа гледна точка и перспективите за бъдещото ѝ развитие. Разглежда се и възможностите за оценка на потенциалното търсене на зелен водород и се прави преглед на етапите на неговото навлизане като алтернативното гориво на пазара. Посочват се факторите, които биха стимулирали търсенето. Накрая се обръща поглед към опитите на България за стимулиране на производството на зелен водород и употребата му в мобилността. Прави се преглед на основните поети ангажменти на страната по отношение на водородната мобилност и плановете за развитие на водороден градски транспорт.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Надеждите, които се възлагат на зеления водород, като източник на чиста енергия за мобилността нараснаха много, особено след започването на войната в Украйна, когато цената на природния газ скочи до облаците. Предполага се, че използването на зелен водород, като гориво за превозните средства не само може да подобри устойчивостта и надеждността на енергийната система, но също така да я направи по-гъвкава.

В стратегията на ЕС за развитие на производството на водород най-много се набляга на т.нар. „зелен“ водород. Той се получава чрез електролиза на вода при използване на възобновяема енергия – от фотоволтаици, от вятърни паркове, геотермална, хидроенергия (ВЕЦ) и от биомаса [1]. За съжаление много малка част от

произведения водород може да се определи като „зелен“. До момента огромната част от водорода, нужен в определени производства (химически заводи и петролни рафинерии) се произвежда чрез реформинг на природен газ на място. Това е процес, който е свързан с отделяне на вредни емисии. Търсенето на зелен водород не е голямо, поради високата му цена и неразвитата инфраструктура за неговите доставки. Като цяло недостатъчността на настоящата инфраструктура на веригата за доставки на водород за зареждане на превозните средства се счита за една от пречките за стимулиране на водородната мобилност. Очаква се цената да падне след появата на повече производители и изграждане на инфраструктура за доставките на зелен водород.

ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Проектирането на веригата за доставки (Hydrogen supply chain network design - HSCND) е един от най-важните проблеми за решаване при планирането на изграждането на водородната инфраструктура. При транспортните процеси тя завършва със зарядни станции за зареждане на превозните средства.

Основните елементи във веригата за доставка на гориво за транспортни процеси са: пунктовете за производство, доставка до пунктове за съхранение, съхранение, доставка до крайните потребители (фиг.1).

При изграждане на една такава логистична верига, подобно на моделите за дизайн на верига за доставка са необходими:

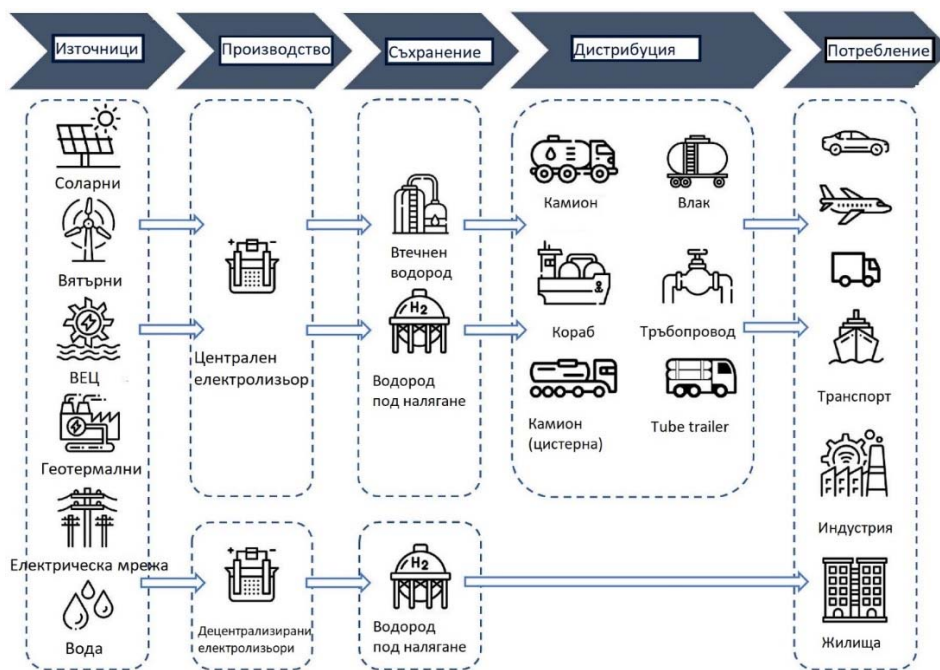
- местоположение на възможните места за зареждане на товаропотока (производство, доставка);
- местоположение на междинните точки за съхранение на продукта;
- местоположение на крайните потребители.

При този процес е възможно участие на повече от един дистрибутор/доставчик и съответно свързани с тях точки на съхранение. Възможностите за транспорт по веригата за водородно гориво (между съответните точки) е в две състояния – газообразно и втечнено, което определя различни транспортни режими.

Основните въпроси, свързани с проектирането на веригата са: определяне на участниците във веригата; определяне на местоположения, свързани със съществуваща инфраструктура или необходимост от изграждане на нова такава; определяне на транспортните потоци с отчитане на режима за транспорт и др.

Разглежданата верига за доставки е подобна на веригата за доставки на класически горива [2] и по нови /биодизел [3]

Има множество възможности за избор във всяко звено на веригата на доставки на зелен водород. Например, като суровина за производствения процес може да се използва вода и електрическо (електролиза), биомаса (газификация на биомаса) и въглища (газификация на въглища). (Много важно е при производство чрез електролиза да има удобен и евтин източник на вода.) След това произведеният водород може да бъде транспортиран до междинните точки (терминалите) за съхранение чрез камиони, влакове или тръбопроводи. Различни подходи за съхранение могат да бъдат избрани в терминалите за съхранение въз основа на физическата форма на водорода – течна или газообразна. При течната форма ще имаме разходи за втечняване на водорода чрез охлаждане до -253°C , при което се изразходва повече от 30% от енергийното съдържание на водорода. Допълнително, известно количество течен водород ще бъде загубено чрез изпаряване, особено когато се използват малки резервоари с големи съотношения между повърхност към обем. Предимството е, че може да се пренесе по-голямо количество водород, което го прави подходящ начин за превози на дълги разстояния. При развита промишленост с големи ползватели на водород, най-подходящо е да се изгради система с тръбопроводи за преноса му [4].



Фиг. 1. Верига на доставки на „зелен“ водород [4]

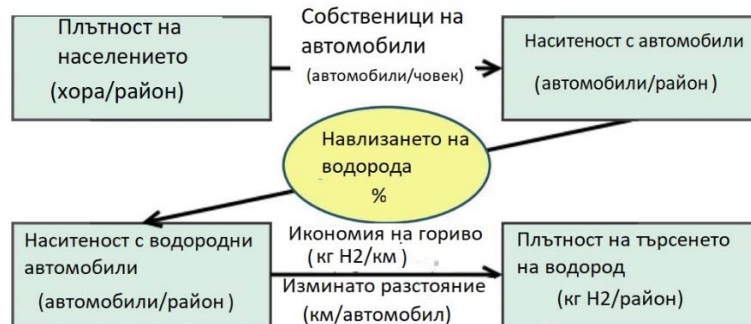
Има два основни типа станции за зареждане с водород - стандартни (с резервоари за съхранение) и с производство на суровината на място, (като по този начин се избягват част от транспортните разходи) [5]. Станциите за зареждане могат да бъдат и от смесен тип – да имат производство на място и допълнително да се снабдяват с водород от терминала за съхранение. Поради специфичните характеристики на веригата за доставки, всяка част е взаимосвързана с другите, а не е изолирана. Сложността на проблема за моделиране на веригата на доставки на водород зависи от взаимодействията, които съществуват между различните ѝ части. По-конкретно, производствените технологии зависят от уникалните характеристики на суровините. Начините на съхранение и транспортиране имат силни връзки с физическата форма на водорода. Освен това местоположението и технологиите на водородостанциите (станциите за зареждане) са значително повлияни от структурата на мрежата за доставка на водород. Подходът, базиран на оптимизация, е особено важен за вникване в тези технологични и пространствени взаимодействия. След две десетилетия на развитие, вече има все по-голям брой изследвания върху веригата на доставки на водород, което значително може да улесни проектирането на съответната инфраструктура.

Ако направим едно бегло сравнение с веригата на доставки на петролни продукти – бензин и дизелово гориво, ще видим, че двете вериги много си приличат. Имаме производство, транспорт с камиони и влакове и доставки до търговци и крайни потребители. При нефтените продукти, обаче имаме и доставка на суровината до производството, което удължава веригата им на доставки. Въпреки това нефтените горива са по-евтини, тъй като при тях имаме една добре изградена и работеща верига на доставки и то от десетилетия.

ОЦЕНКА ПОТРЕБЛЕНИЕТО НА АЛТЕРНАТИВНОТО ГОРИВО

За да се оразмери правилно веригата на доставки на водород, е необходимо да се направи оценка на търсенето. Оценката на търсенето на водород за мобилността играе съществена роля в подготвителните работи преди оптимизацията на веригите на доставки. Промяната в търсенето на водород има голямо влияние върху структурата на системата за доставка на водород. Оптималното решение се получава според размера на

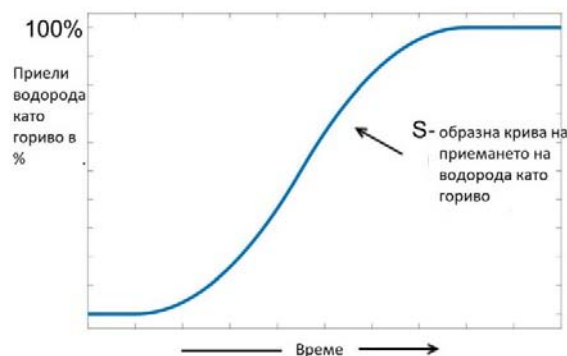
търсенето. Веригата на доставки на водород, която трябва да се изгради, е свързана с постигане на целите на стратегиите за преминаване към мобилност, базирана на водород, (както е в ЕС). Следователно търсенето на водород зависи от броя на електрическите превозни средства с горивна клетка. (Малко уточнение – MAN разработиха камион с ДВГ, задвижван с водород.) Общият метод за оценка на търсенето на водород, докладван в референтните документи, е схематизиран на Фиг. 2 [6].



Фиг. 2. Навлизането на водорода като гориво в мобилността [6]

Предполага се, че приемането на водорода ще следва логистична S-образна крива (фиг. 3), която е подобна на тази, наблюдавана при навлизането на пазара на повечето от новите технологии.

Трите параметъра, описващи тази крива са точката на насищане, датата на началото на прехода и продължителността на прехода. Очаква се по време на началния етап на водородната икономика, търсенето да бъде ограничено до превозни средства с фиксиран ежедневен маршрут и редовни интервали на зареждане с гориво на определени места, например електробуси с водородна клетка от градския транспорт или пътнически мотрисни влакове [6].



Фиг. 3. Крива на навлизане на водорода като гориво в мобилността [6]

Когато производствените разходи на автомобилите с горивна клетка станат с достъпна цена, траекторията на търсенето може рязко да се увеличи. Кривата се изравнява, когато пазарът стигне в точка на насищане. S-образната крива на навлизане на водородните автомобили обикновено се основава на субективни предположения т.е. приема се извън всеки математически модел.

СТИМУЛИРАНЕ НА ПОТРЕБЛЕНИЕТО В БЪЛГАРИЯ

Първият Национален доклад, който страната ни представи в началото на 2020 г. за въвеждането на водорода в транспортния сектор за периода 2020-2030, предвижда до 2025 г. да бъдат регистрирани 120 водородни превозни средства и да започнат да функционират 5 зарядни станции. До 2030 г. броят им да се увеличи съответно с още 599 транспортни средства (градски транспорт, туристически автобуси, двуколесни

превозни средства и леки автомобили) и 14 зарядни станции [1]. В началото на прехода към водородна мобилност у нас, инфраструктурата ще се финансира предимно от държавата и общините, естествено с подкрепа от различни европейски фондове. Тъй като средствата са ограничени, първоначалната верига на доставки може да е съставена само от две звена – производител (водородна долина с фотоволтаични панели) и станция за зареждане, непосредствено до нея. Така се елиминира звеното „Транспорт“, съответно инвестициите в него и ще се намалят разходите по веригата.

Като потенциални потребители на първите станции се очертават превозните средства от градския транспорт. Препоръчително е производителите и зарядните станции да се намират в покрайнините на големите градове, където ще се реализират инвестициите. Също така, там могат да са разположени и гаражите за превозните средства с горивна клетка от градския транспорт (домуването им), така че зареждането им да става бързо и лесно. В производството на електроенергия чрез фотоволтаични централи има ярко изразена сезонност. Затова трябва да се осигури оптимална складова база, която ще осигури равномерно подаване на водород към станциите за зареждане на превозните средства от градския транспорт през цялата година.

В момента у нас има един утвърден проект за изграждане на водородна долина. Това е проектното предложение „Загора, устойчив водороден регион“ (ZAgora sustainable HYdrogen Region – ZAHYR). То е подадено по конкурсите на съвместното предприятие „Чист водород“ (СП ЧВ – Clean Hydrogen Joint Undertaking) към рамковата програма „Хоризонт Европа“ [1]. След Стара Загора пилотни проекти по изграждане на водородни долини могат да се осъществят и в други големи градове на страната. Разработени са 4 такива проекта в най-подготвените общини – София, Стара Загора, Бургас, Русе, които комбинират въвеждане на градска водородна мобилност със съответната инфраструктура, както и изграждане на производствена инфраструктура и разработване на системи за задвижване чрез хибридна система „водородна горивна клетка/батерия“ [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Навлизането на водородната мобилност и увеличаването на търсенето на зелен водород става не на пазарен принцип, а чрез политическо въздействие на ниво ЕС и държавна подкрепа във финансирането на инфраструктурата – приемат се закони, които подкрепят водородната мобилност и същевременно оскъпяват традиционните горива. Това прави прогнозирането на веригата на доставки на водород и навлизането му на пазара доста несигурно. Всяка промяна в политическата подкрепа за неговото налагане като алтернативно гориво ще доведе до промяна в търсенето. Затова трябва много да се внимава на какви базови условия се стъпва при проектиране на една верига за доставки на водород.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Водородно бъдеще за България – Национална пътна карта за подобряване на условията за разгръщане на потенциала за развитие на водородните технологии и механизмите за производство и доставка на водород, <https://www.mig.government.bg>
- [2] Hamidreza Mahmoudi, Morteza Bazrafshan1, Mohadeseh Ahmadipour, Sustainable Multi-Objective Optimization for the Supply Chain of Petroleum Products, Journal of Applied Research on Industrial Engineering, Vol. 8, Spec. Issue. (2021)
- [3] Добруджалиев Д, Иванов Б., Оптимизационен модел за производство и логистика на биодизел в България, НТРУ - 2013, том 52, серия 10.1

- [4] Fabio Sgarbossa, Simone Arena, Ou Tang, Mirco Peron, Reprint of: Renewable hydrogen supply chains: A planning matrix and an agenda for future research, International Journal of Production Economics, (250) 2022
- [5] Fabian Stöckl, Wolf Peter Schill, Alexander Zerrahn, Optimal supply chains and power sector benefits of green hydrogen, www.nature.com/scientificreports, 2021
- [6] Lei Lia, Herve Manier, Marie-Ange Manier, Hydrogen supply chain network design: An optimization-oriented review, Renewable & Sustainable Energy Reviews, november. 2018

GREEN HYDROGEN VEHICLE FUEL SUPPLY CHAIN APPROACHES AND DEMAND MODELING

Vasil Vasilev, Teodor Berov
vassco@abv.bg, tberov@vtu.bg

***Todor Kableskov University of Transport
158 Geo Milev Str., Sofia,
THE REPUBLIC OF BULGARIA***

Key words: *green hydrogen, the hydrogen supply chain, hydrogen-based mobility, hydrogen demand, hydrogen in urban transport*

Abstract: *Green hydrogen is widely recognized as a future energy carrier due to its non-polluting properties and high energy density. To realize hydrogen mobility in the future, it is essential to build a complete green hydrogen supply chain that can make it a key energy carrier for vehicles. This paper reviews the green hydrogen supply chain, including production, storage, transport and utilization technologies. Special attention is paid to the different ways of transporting hydrogen. The challenges in building a hydrogen supply chain from a technical-economic, social and political point of view and the prospects for its future development are discussed. It also examines the possibilities of assessing the potential demand for green hydrogen and reviews the stages of its entry into the market as an alternative fuel. Factors that would stimulate demand are indicated. Finally, a look is turned to Bulgaria's attempts to stimulate the production of green hydrogen and its use in mobility. The country's main commitments regarding hydrogen mobility and plans for the development of hydrogen urban transport are reviewed.*