МЛАД ФОРУМ
Механика Транспорт Комуникации
Научно списание http://www.mtc-aj.com

ISSN 2367-6558 (print)
ISSN 2367-6612 (online)
том 14, брой 1, 2025г.
статия № 2668

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ДОСТАВКИТЕ НА АЛТЕРНАТИВНО ВОДОРОДНО ГОРИВО ЗА ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА ПРИ НЕНАТОВАРЕН ТРАФИК В ГРАДСКИ УСЛОВИЯ

Васил Василев, Васил Копривщенов
vassco@vtu.bg, vasil1koprivshtenov@gmail.com

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *зелен и бял водород, доставки в градски условия, оптимално зареждане*

Резюме*: Конвенционалните изкопаеми горива, като нефта и природния газ са евтин и доказан източник на енергия. Те обаче имат определен лимит и в недалечно бъдеще могат да бъдат изчерпани. По тази причина от сега се обръща внимание на алтернативни горива, като електрическа енергия и водорода, добит по екологичен начин,, който е широко признат бъдещ енергиен носител поради своите незамърсяващи свойства и висока енергийна плътност. За да се реализира водородна мобилност е необходимо да се изгради подходяща инфраструктура и оптимална верига на доставки от базата към станциите за зареждане. В този доклад даваме пример за реализиране на оптимални доставки на екологичен водород в София, включващ подбор на транспортни средства и график на тяхното движение. Изграден е модел за транспортирането на водород от локална база в столицата до потенциални места на станции за зареждане на водородни автомобили, като са използвани различни методи.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Надеждите, които се възлагат на водорода, 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 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[2].

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[4]. 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.[3] 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 [5].

Друга потенциална причина да се залага на водородната мобилност е намирането на значителни залежи на естествен (бял) водород в някои страни, които дават надежди за значително поевтиняване на това алтернативно гориво.

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА

Транспортирането на водород се различава значително от транспортирането на традиционни горива поради неговите специфични физикохимични свойства:

- **Нисък обем на енергия на единица обем:** Водородът има много по-ниска плътност на енергия на единица обем в сравнение с бензина или природния газ, дори в течна форма. Това означава, че за пренасяне на същото количество енергия е необходим по-голям обем или по-високо налягане.
- **Висока запалимост и експлозивност:** Водородът е изключително запалим и може да образува експлозивни смеси с въздуха в широк диапазон на концентрации. Това налага строги мерки за безопасност при неговото транспортиране и съхранение.
- **Крехкост на металите (Hydrogen Embrittlement):** Водородът може да проникне в металните структури и да ги направи крехки, което представлява риск за тръбопроводите и резервоарите (цистерните).
- **Малък размер на молекулата:** Малкият размер на водородната молекула затруднява уплътняването и може да доведе до течове през материали, които са непропускливи за други газове.

При превоз на дълги разстояния – над 400 км, се предпочита водородът да е в течна форма, което налага необходимост от криогенни температури. Втечняването на водород изисква поддържане на изключително ниски температури (около -253 °C), което е енергоемък процес и крие допълнителни рискове.

ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Как би изглеждала една схема за доставки на водород до потенциални станции за зареждане на превозните средства, движещи се на това алтернативно гориво? За да отговорим този въпрос избрахме да направим схема с логистична база и станции за зареждане в София. Като най-голям български град, столицата се очертава, като благоприятно поле за изпитване на нови технологии в автомобилните превози. Преди това да направим едно малко уточнение. Когато говорим за автомобили, движещи се на водород, се има в предвид електромобили, при които двигателят се захранва с ток, произведен от водородна горивна клетка.

За целта на доклада сме избрали един начален етап от навлизането на водородната мобилност в столицата, като сме предложили примерна инфраструктура от логистична база и потенциални 5 станции за зареждане.

За потенциално място на логистичната база, която ще е отправна точка в нашето изследване, е избрано място до Околовръстно шосе, южно от Младост 4 с GPS координати - 42°37'26.0"N 23°23'13.9"E. Причина за избора е комуникативността на местоположението и наличието на удобни връзки с магистралната мрежа на България. Освен това няма жилищни зони наблизо.

За местоположение на станциите сме избрали следните места:

- В ЖК Овча купел 2: Локацията е близо до бул. "Президент Линкълн" (южна част, до Софийски околовръстен път). GPS координати - 42.67901, 23.25122.

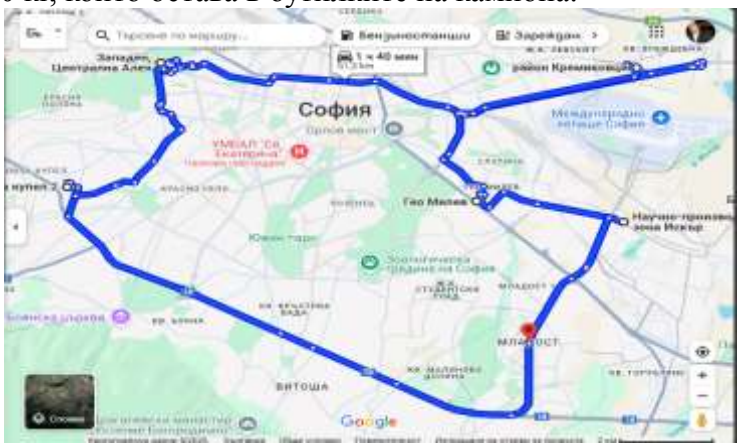
- В ЖК Западен Парк: В зоната около Западен парк (близо до бул. "Царица Йоана"). Парковата зона не е жилищна и е удобна за градски потребители. GPS координати - 42.70922, 23.27597.
- В ЖК Враждебна: В зоната близо до кръстовището на бул. „Владимир Вазов“ и бул. „Ботевградско шосе“ в индустриална зона. Има достъп до Околовръстни път. GPS координати - 42.70808, 23.40151.
- В ЖК „Гео Милев“: На паркинга на бившия хотел „Плиска“. GPS координати - 42.67557, 23.35942.
- В ЖК Дружба 1: Локация близо до Търговски център "Дружба" (бул. "Проф. Цветан Лазаров"). Мястото има добър достъп от Околовръстното шосе, а зоната там е предимно търговска със складове и офиси. GPS координати - 42.67059, 23.39813.

СЪЗДАВАНЕ НА ПРИМЕРЕН ГРАФИК ЗА ЗАРЕЖДАНЕ

Приемаме, че количеството водород, което може да се съхрани в зареждащите станциите е 100 кг. Също така, приемаме, че в края на деня в станциите остава около 20% от това количество.

Зареждането им ще става всеки ден, като то ще се през нощните часове – от 22:00 до 6:00 часа. Тогава трафикът е слаб и рискът е по-малък, тъй като ще има по-малко хора наоколо по време на разтоварване. Количеството, което ще е необходимо за зареждане на петте станции всяка нощ ще бъде 400 кг водород. За зареждане избираме камион с ремарке тип tube trailer, за газообразен водород под налягане 300 bar с капацитет 500 кг. При така подбраното превозна средства доставката ще е еднократна всяка нощ. Приемаме, че камионът ще се движи с максимално разрешената скорост в градски условия – 50 км/ч, тъй като ще минава по магистрални отсечки (Околовръстното шосе) и главни големи булеварди.

В случай, че някоя станция има нужда от повече гориво, то може да се осигури от остатъка от 100 кг, който остава в бутилките на камиона.



Фиг. 1

Водородните доставки изискват баланс между ефективност, безопасност и спазване на ограничения. При изчисляване на маршрута използваме комбинация от методи. По картата на София изчисляваме разстоянията между всички точки с помощта на Google Maps. Виждаме какво е разстоянието от дадена станция до най-близката до нея и така създаваме маршрута. В случай може да се използва задачата за намиране на най-кратък път [6]. Така създаваме кръгов маршрут (фиг. 1), но решаваме да го направим в обратен ред. В случая, първата спирка ще е Овча Купел, тъй като до там пълният с водород камион ще се движи по Околовръстния път, който в по-голямата си

част е с много голям габарит. Вътре в самата столица се стараем да се минава само по главни булеварди, като се избягват по възможност жилищни зони.

При средна скорост от 50 км/ч общото разстояние ще бъде изминато за 67 минути. Като сложим 20% буфер общото време за път ще бъде близо 80 минути.

Слагаме средно време за разтоварване от 20 мин/станция, което прави общо 100 мин. Така общото време за транспорт и зареждане на станциите ще бъде 180 минути т.е. близо 3 часа.

При тези данни оптималният маршрут на камиона ще бъде както е показан на фиг. 2.

При положителен тренд на развитие на водородната градска мобилност, ще се наложи изграждането на нови станции за зареждане, което ще наложи оптимизиране на графика на доставките на водород в градски условия. Когато се изгражда техния график е необходимо да се обърне внимание на следните фактори:

- **Динамично планиране на маршрути:** Използване на софтуер, който анализира трафика в реално време и оптимизира маршрутите на доставчиците, за да се избегнат задръствания и да се съкрати времето за доставка.
- **Доставки в извънпикови часове:** Планиране на доставките през нощта или рано сутрин, когато трафикът е по-лек. Това ще намали времето за пътуване и ще подобри ефективността.
- **Използване на по-малки и по-маневрени превозни средства:** В начална фаза на разрастване на зареждащите станции ще е необходимо да се вземе цистерна за камион с по-голям обем – 1000 кг. Трябва да се помисли обаче дали доставките няма да са по-гъвкави с цистерни за 500 кг водород, тъй като те са по-удобни за навигиране в трафика и достигане до местата за зареждане.

База → Овча купел → Западен парк → Враждебна → Гео Милев → Дружба 1 → База

Отсечки	Разстояние (км)	Време (мин)	Улици/Пътища
База → Овча купел	12,5	15	Околовръстно шосе → бул. „Президент Линкълн“
Овча купел → Западен парк	6,8	8	бул. „Президент Линкълн“ → Околовръстно шосе → бул. „Царица Йоана“
Западен парк → Враждебна	14,3	17	бул. „Царица Йоана“ → Околовръстно шосе → бул. „Владимир Вазов“
Враждебна → Гео Милев	7,1	9	бул. „Ботевградско шосе“ → бул. „Гео Милев“
Гео Милев → Дружба 1	4,3	5	Бул. „Шипченски проход“ → бул. „Проф. Цветан Лазаров“
Дружба 1 → База	10,7	13	Бул. Брюксел → Бул. Цариградско шосе → Околовръстно шосе
Общо	55,7 км	67 мин	

Фиг. 2

- **Децентрализирана мрежа от бази за зареждане:** Вместо да се разчита на една голяма база за зареждане, може да се изградят няколко по-малки в различни точки в покрайнините на града. Това ще намали разстоянията за доставка и ще подобри бързината на зареждане.

- **Система за прогнозиране на търсенето:** Анализиране на данните за потреблението на водород, за да се прогнозира бъдещото търсене и да се планират доставките по-ефективно, като се избягва излишно транспортиране.
- **Стимулиране на зареждането извън пиковите часове:** Предлагане различни стимули на фирмите, които зареждат станциите с водород през нощта или в други часове с по-лек трафик.

Прилагането на комбинация от тези стратегии може значително да оптимизира доставките на алтернативно водородно гориво в градски условия при ненатоварен трафик, което ще доведе до по-ниски разходи, по-бързи доставки и по-екологичен транспорт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Транспортирането на водород в градски условия е ключов елемент за реализиране на потенциала на водородната икономика. Въпреки съществуващите предизвикателства, напредъкът в технологиите и разработването на строги мерки за безопасност и ефективност ще направят възможно създаването на устойчива и екологично чиста градска среда, базирана на водородна енергия. Необходими са продължаващи изследвания, инвестиции и сътрудничество между правителството, индустрията и научните институции за успешното внедряване на водородната инфраструктура в градски условия. Успешното развитие на тази инфраструктура ще играе важна роля за постигане на целите за зелена мобилност и намаляване на емисиите в столицата.

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] Fabian Stöckl1, Wolf‑Peter Schill1, Alexander Zerrahn, Optimal supply chains and power sector benefits of green hydrogen, www.nature.com/scientificreports, 2021

[3] Lei Lia, Herve Manier, Marie-Ange Manier, Hydrogen supply chain network design: An optimization-oriented review, Renewable & Sustainable Energy Reviews, november.2018

[4] Joakim Andersson, Stefan Grönkvist, Large-scale storage of hydrogen, International Journal of Hydrogen Energy, April 2019

[5] Evangelos E. Pompodakis, Arif Ahmed, Constantinos Condaxakis,
Georgios I. Orfanoudakis, Emmanuel S. Karapidakis, Paving the way toward hydrogen mobility: An effective policy to reduce the green hydrogen cost, International Journal of Hydrogen Energy 100 (2025)

[6] Richard C. Larson, Amedeo R. Odoni, Urban operation research, Massachusetts Institute of Technology, Prentice-Hall, NJ, 1981.

OPTIMIZATION OF SUPPLIES OF ALTERNATIVE HYDROGEN FUEL FOR VEHICLES IN UNLOADED TRAFFIC IN URBAN CONDITIONS

Vasil Vassilev, Vasil Koprivshtenov
vassco@vtu.bg, vasil1koprivshtenov@gmail.com

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, st. Geo Milev – 158
BULGARIA

Key words: *green and white hydrogen, supplies in urban conditions, optimal charging*

Abstract: *Conventional fossil fuels, such as oil and natural gas, are a cheap and proven source of energy. However, they have a certain limit and in the near future they may be exhausted. For this reason, attention is now being paid to alternative fuels, such as electricity and hydrogen, obtained in an environmentally friendly way, which is widely recognized as a future energy carrier due to its non-polluting properties and high energy density. In order to implement hydrogen mobility, it is necessary to build an appropriate infrastructure and an optimal supply chain from the base to the charging stations. In this report, we provide an example of implementing optimal supplies of ecological hydrogen in Sofia, including the selection of transport vehicles and their schedule. A model for the transportation of hydrogen from a local base in the capital to potential locations of hydrogen vehicle charging stations has been built, using different methods.*