



საქართველოში მწვანე წყალბადის სადგურის მშენებლობისთვის მთავარი კომპონენტების შერჩევა და მისი ეფექტიანობა

ნინო გიორგიშვილი¹; საბა პატარქალიშვილი²

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი; ²სტუ-ს ენერჯეტიკის ფაკულტეტის ბაკალავრი

ანოტაცია

ნაშრომში განხილულია მწვანე წყალბადის სადგურის ინფრასტრუქტურული შემადგენლობა და მისი მუშაობის თანმიმდევრობა. მწვანე წყალბადი როგორც მომავლის ეკოლოგიური საწვავი მსოფლიო მასშტაბით ენერჯეტიკულ წრეებში აქტიურად განიხილება სუფთა ენერჯის წარმოების წყაროდ. უნდა აღინიშნოს, რომ სუფთა, მწვანე წყალბადი ახალი ტექნოლოგია არ არის და მასზე მუშაობა სხვადასხვა ქვეყანაში ათეული წლებია მიმდინარეობს. მწვანე წყალბადი მიიღება ელექტროლიზის საშუალებით და „მწვანე“ კი იმიტომ არის, რომ მისი წარმოება შესაძლებელია განახლებადი ენერჯების – წყლის, მზის, ქარის მეშვეობით. წყალბადის წარმოების ხარჯი ძირითადად მოიცავს ელექტროენერჯისა და წყალბადის წარმომქმნელი დანადგარის ელექტროლაიზერის ხარჯებს. წყალბადი გამოიყენება როგორც ენერჯია, რომლისგანაც შესაძლებელია ელექტროენერჯის წარმოება ან მისი, როგორც აირის, მოხმარება. ამ ეტაპზე წყალბადი ყველაზე ხშირად გამოიყენება ნავთობის გადამუშავებისა და სასუქების წარმოებაში, ხოლო ტრანსპორტი და კომუნალური მომსახურების სეგმენტი ძირითადად წყალბადის განვითარებად ბაზრებს წარმოადგენს.

ენერჯეტიკული გაერთიანების (Energy Community) ანგარიშის თანახმად, 2030 წლიდან განიხილება მწვანე წყალბადზე მომუშავე ტრანსპორტის აქტიური გამოყენება, 2030 წლისთვის კი ტრანსპორტის სექტორში წყალბადის წილი შეიძლება იყოს 0,2%-მდე (3.4 ათასი ტონა ნავთობის ეკვივალენტი). ამავდროულად, მწვანე წყალბადის გამოყენება განიხილება გაზომომარაგების მიმართულებით, რაზეც დამატებითი კვლევების ჩატარება იგეგმება. ენერჯეტიკისა და კლიმატის ეროვნული ინტეგრირებული გეგმა ენერჯეტიკული უსაფრთხოების ღონისძიებად განიხილავს მწვანე წყალბადის, როგორც შემნახველი ტექნოლოგიის განვითარებას.

მწვანე წყალბადის განვითარების კურსი საქართველომაც აიღო. ამასთანავე, აღმოსავლეთ პარტნიორობის ფარგლებში ევროპა ჩვენს ქვეყანას განიხილავს მოკავშირედ მწვანე წყალბადის წარმოების მიმართულებით. 2020 წელს საქართველოს მთავრობამ ევროპის რეკონსტრუქციისა და განვითარების ბანკთან (EBRD) ხელი მოაწერა შეთანხმებას, რომელიც გულისხმობს ქვეყნის საჭიროების შეფასების ტექნიკურ კვლევას ეკოლოგიურად სუფთა წყალბადის წარმოებაზე.

მწვანე წყალბადის ტექნოლოგიების განვითარება და მასშტაბირება ქმნის ინოვაციებისა და ეკონომიკური ზრდის შესაძლებლობებს. ეს მოიცავს კვლევას და განვითარებას განახლებადი ენერჯის, ელექტროლიზის და წყალბადის ინფრასტრუქტურის სფეროში, ასევე სამუშაო ადგილების შექმნას ამ სექტორში.

საკვანძო სიტყვები: მწვანე წყალბადი, ელექტროლიზი, ელექტროლიზატორი, ინფრასტრუქტურა, ელექტროენერჯის გენერაცია, რეზერვაცია, კათოდი, ანოდი, წყალბადის შემნახველი, აბსორბაცია, დეზორბაცია.

შესავალი

მწვანე წყალბადის წარმოება მომავლის სფეროს წარმოადგენს, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ვსაუბრობთ გარემოს ეკოლოგიაზე და ტრადიციული ენერჯის წყაროების ჩანაცვლებაზე. მართალია წყალბადის წარმოება დღეის მდგომარეობით ძვირია, მაგრამ ეს სფერო ყოველდღიურად განაგრძობს განვითარებას და სიახლეების შეთავაზებას მსოფლიო ენერჯეტიკისთვის. ენერჯეტიკის ამ სექტორში ხორციელდება მსხვილი ფულადი ინვესტიციები და იქმნება ახალი სამუშაო ადგილები. - ეს ყველაფერი ხდება იმის გამო, რომ მსოფლიოს მთავარი საენერჯეტიკო პოლიტიკა მიისწრაფვის ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის გამომუშავებისაკენ.

ევროკავშირი ძალიან დიდ ყურადღებას უთმობს მწვანე წყალბადის წარმოებას, საქართველო, როგორც „საერთაშორისო ენერჯეტიკული გაერთიანების“ წევრი ქვეყანა, უახლეს საერთაშორისო ტენდენციებს ითვალისწინებს. ბევრმა ქვეყანამ უკვე აიღო ვალდებულება, რომ 2050 წლისათვის ბუნებრივ გაზს, დიდწილად, ალტერნატიული ენერჯიებით ჩაანაცვლებს. განვითარებული ქვეყნები მზად არიან ეტაპობრივად გადავიდნენ წყალბადზე და ამით ხელი შეუშალონ კლიმატის ცვლილებებს. წყალბადს გამოყენების მრავალი პერსპექტივა გააჩნია: ელექტროენერჯის გენერაცია და რეზერვაცია, ალტერნატიული და სუფთა ენერჯია სატრანსპორტო საშუალებებისთვის, იგეგმება ქარხნებისა და წარმოებების წყალბადის ენერჯიაზე გადაყვანა, მისი გამოყენება შენობების გასათბობად და ა.შ. ევროპა, ამ მიმართულებით, სერიოზულ ნაბიჯებს დგამს. ეს, მათთვის, მომავლის ინვესტიციაა. საქართველოს კი შეუძლია იგი არა მხოლოდ შიდა მოხმარებისთვის აწარმოოს, არამედ ექსპორტზე გაიტანოს. მოთხოვნა მუდმივად

მზარდია, რადგან როგორც უკვე ვახსენეთ, ბევრი ქვეყანა ცდილობს ბუნებრივი აირის წყალბადით ჩანაცვლებას.

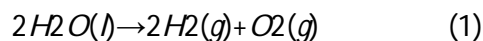
ძირითადი ნაწილი

მწვანე წყალბადი არ წარმოქმნის ემისიებს, რადგან ის იყენებს წარმოების პროცესში, განახლებადი ენერჯის წყაროებს, რაც მას სუფთა ენერჯის ნამდვილ წყაროდ აქცევს. იგი მზადდება წყლის ელექტროლიზით - სუფთა ელექტროენერჯის გამოყენებით, რომელიც შექმნილია ქარისა და მზის ენერჯის ჭარბი განახლებადი ენერჯისგან. პროცესი იწვევს რეაქციას, რომელიც წყალს ყოფს წყალბადისა (H_2) და ჟანგბადის (O_2) მოლეკულებად.

ქარის ტურბინა არის მოწყობილობა, რომელიც გარდაქმნის ქარის კინეტიკურ ენერჯიას მექანიკურ ენერჯიად, რომელიც შემდეგ გამოიყენება ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად. არსებობს ქარის ტურბინების ორი ძირითადი კატეგორია: ჰორიზონტალურ ღერძიანი ქარის ტურბინები (HAWT) და ვერტიკალურ ღერძიანი ქარის ტურბინები (VAWT).

მზის პანელი, რომელიც ასევე ცნობილია როგორც ფოტოვოლტაიკური (PV) პანელი, არის მოწყობილობა, რომელიც გარდაქმნის მზის შუქს ელექტროენერჯიად - ფოტოელექტრული ეფექტის საშუალებით. არსებობს მზის პანელების სამი ძირითადი კატეგორია: მონოკრისტალური, პოლიკრისტალური და THIN-FILM-ი.

ელექტროლიზატორი ეს არის მოწყობილობა რომელიც გამოიყენება ელექტროლიზის განსახორციელებლად, ელექტროლიზი არის ქიმიური რეაქცია, რომელიც ხდება მაშინ, როდესაც ელექტრული დენი გადის წყალში თხევად ან გახსნილ ნივთიერებაში, რომელიც ცნობილია როგორც ელექტროლიტი. ელექტროლიზატორი, როგორც წესი, შედგება ელექტროლიტში ჩაძირული ორი ელექტროდისგან, ერთს ანოდი ეწოდება, მეორეს კი კათოდი. ეს ელექტროდები დაკავშირებულია ელექტროენერჯის წყაროსთან, როგორცაა ბატარეა ან გენერატორი. ელექტროდებზე უწყვეტი ელექტრული დენის მიწოდებით, ხდება ელექტროლიზი. ელექტროლიზის პროცესის დროს ელექტროლიტში არსებული იონები ქიმიური რეაქციებით იშლება შემადგენელ ელემენტებად. ანოდზე უარყოფითი იონები, რომლებიც ცნობილია როგორც ანიონები, კარგავენ ელექტრონებს და წარმოქმნიან აირისებრ ნივთიერებებს, ხოლო კათოდზე დადებითი იონები, რომელსაც კათიონები ეწოდებათ, იძენენ ელექტრონებს და ასევე წარმოქმნიან აირისებრ ნივთიერებებს. ეს წარმოებული აირები, როგორც წესი, არის წყალბადი და ჟანგბადი.

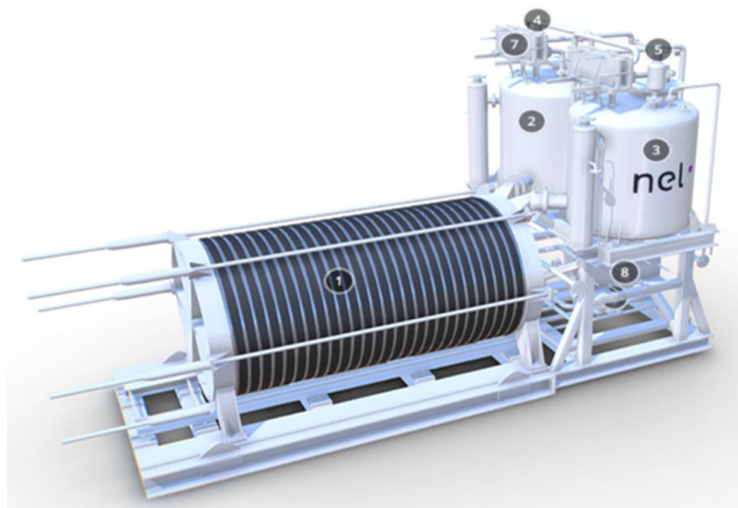


სადაც:

- $2H_2O(l)$ არის წყლის 2 მოლეკულა (*l-liquid-თხევადი*)
- $2H_2(g)$ არის წყალბადის გაზის 2 მოლეკულა (*g-gas-გაზი*)

- $O_2(g)$ არის ჟანგბადის 2 მოლეკულა (*g-gas-გაზი*)

წყალბადის გაზი წარმოიქმნება კათოდზე, ხოლო ჟანგბადის გაზი წარმოიქმნება ანოდზე. წარმოქმნილი აირები, როგორც წესი გროვდება სპეციალურ შემნახველებში და შემდეგ მათი გამოყენება შეიძლება სხვადასხვა მიზნებისათვის. გამოყენებული ელექტროლიტისა და მუშაობის პირობების მიხედვით ელექტროლიზატორები სხვადასხვა ტიპისაა. ელექტროლიზატორების ძირითადი ტიპებია: ტუტე ელექტროლიზატორები, პროტონების გაცვლის მემბრანის (PEM) ელექტროლიზატორები და მყარი ოქსიდის ელექტროლიზატორები. თითოეულ ტიპს აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები.



ნახ. 1. ტუტე ელექტროლიზატორი.

1. ელექტროლიზერის უჯრედები
2. წყალბადის დამაგროვებელი ავზი
3. ჟანგბადის დამაგროვებელი ავზი
4. წყალბადის გამომყვანი
5. ჟანგბადის გამომყვანი
6. ცირკულაციის ტუმბო
7. გამაგრილებელი

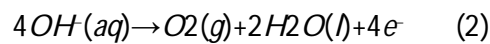
- ამ ტიპის ელექტროლიზატორებს შეუძლიათ გამოიმუშაონ 24 საათში: 647-8374 კილოგრამამდე მწვანე წყალბად.

ტუტე ელექტროლიზატორი არის მოწყობილობა, რომელიც იყენებს ტუტე ელექტროლიტის ხსნარს, როგორც წესი, კალიუმის ჰიდროქსიდს (KOH) ან ნატრიუმის ჰიდროქსიდს (NaOH), რათა ხელი შეუწყოს წყლის ელექტროლიზს.

ტუტე ელექტროლიზატორი, როგორც წესი, შედგება შემდეგი კომპონენტებისგან:

- ელექტროლიტური რეზერვუარი: შეიცავს ტუტე ელექტროლიტის ხსნარს.
- ანოდი: დადებითი ელექტროდი, სადაც წარმოიქმნება ჟანგბადის გაზი.
- კათოდი: უარყოფითი ელექტროდი, სადაც წარმოიქმნება წყალბადის გაზი.
- გამყოფი: ჰყოფს ანოდს და კათოდს წყალბადისა და ჟანგბადის აირების შერევის თავიდან ასაცილებლად.
- ანოდი და კათოდი დაკავშირებულია გარე DC დენის წყაროსთან.

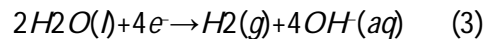
ანოდზე ხდება დაჟანგვა, რაც იწვევს ჟანგბადის გაზის წარმოქმნას (ანოდის რეაქცია):



სადაც:

- $4OH(aq)$ არის ჰიდროქსიდის 4 მოლეკულა (*aq* – ჰიდროქსიდის იონები წყალხსნარშია)
- $O_2(g)$ არის ჟანგბადის 2 მოლეკულა (*g-gas*-გაზი)
- $2H_2O(l)$ არის წყლის 2 მოლეკულა (*l- liquid*-თხევადი)
- $4e^-$ - აღნიშნავს 4 ელექტრონს (უარყოფითი მუხტით)

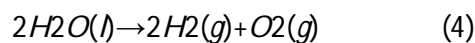
კათოდზე ხდება წყალბადის გაზის წარმოქმნა (კათოდის რეაქცია):



სადაც:

- $2H_2O(l)$ არის წყლის 2 მოლეკულა (*l- liquid*-თხევადი)
- $4e^-$ აღნიშნავს 4 ელექტრონს (უარყოფითი მუხტით)
- $H_2(g)$ არის წყალბადის გაზის 2 მოლეკულა (*g-gas*-გაზი)
- $4OH(aq)$ - არის ჰიდროქსიდის 4 მოლეკულა (*aq* – ჰიდროქსიდის იონები წყალხსნარშია)

ანოდისა და კათოდური რეაქციების შედეგია წყლის ელექტროლიზი :

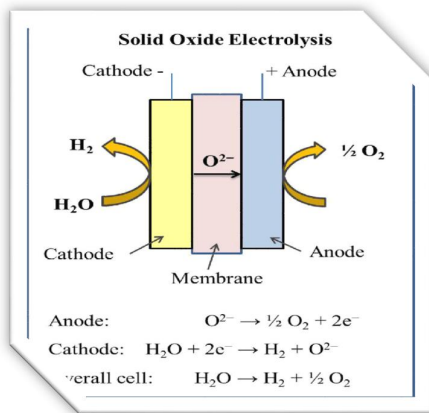


სადაც:

- $2H_2O(l)$ არის წყლის 2 მოლეკულა (*l- liquid-თხევადი*)
- $2H_2(g)$ არის წყალბადის გაზის 2 მოლეკულა (*g-gas-გაზი*)
- $O_2(g)$ არის ჟანგბადის გაზის მოლეკულა (*g-gas-გაზი*)

გამომუშავებული აირები გადიან გაწმენდის პროცესს, რათა მიღებულ აირებს გამოყენებამდე მოცილდეთ მინარევები.

ტუტე ელექტროლიზატორებს აქვთ შედარებით მაღალი ელექტრული ეფექტურობა. ისინი კომერციულად ხელმისაწვდომია უკვე რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში, რის გამოც მისმა ტექნოლოგიამ ფეხი მოიკიდა არსებულ ბაზარზე. ტუტე ელექტროლიზატორებში ხშირად გამოიყენება ისეთი მასალები, როგორცაა ნიკელი. ტუტე ელექტროლიზატორებს ნაკლოვანებებიც გააჩნიათ: ტუტე ელექტროლიზატორების ნაკილია ნელი რეაგირების დრო, რაც ნაკლებად შესაფერისს ხდის. ასევე ტუტე გარემოს კოროზიულმა ბუნებამ შეიძლება შეზღუდოს მათი გამოყენების პერსპექტივა.

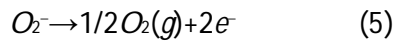


ნახ. 2. მყარი ოქსიდის ელექტროლიზატორი

მყარი ოქსიდის ელექტროლიზის უჯრედი (SOEC) შედგება ანოდის, კათოდისა და ელექტროლიტისგან. თავად ელექტროლიტი არის მყარი კერამიკული მასალა. მყარი ოქსიდის ელექტროლიტი არის მნიშვნელოვანი კომპონენტი, რომელიც უზრუნველყოფს ჟანგბადის იონების (O_2^-) ტრანსპორტირებას კათოდიდან ანოდამდე. მყარი ოქსიდის ელექტროლიტებისთვის გამოყენებული საერთო მასალები მოიცავს - იტრია-სტაბილიზებულ ცირკონს (YSZ), რომელიც კერამიკული მასალაა და ჩვეულებრივ გამოიყენება მაღალი იონური გამტარობისა და სტაბილურობისთვის - მაღალ ტემპერატურაზე.

ანოდი არის დადებითი ელექტროდი, სადაც ჟანგბადის იონები იჟანგება ელექტროლიზის პროცესში. ის მნიშვნელოვან როლს ასრულებს საერთო რეაქციაში. SOE ანოდების საერთო მასალები მოიცავს - Nickel-YSZ Cermet- ნიკელისა და იტრით სტაბილიზირებულ

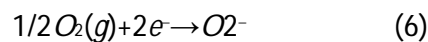
ცირკონიის კომბინაციას, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტრონებისა და ჟანგბადის იონების კარგ გამტარობას.



სადაც:

- O_2^- არის ჟანგბადის მოლეკულა
- $1/2 O_2(g)$ აღნიშნავს ჟანგბადის დაშლის(ნახევარ) მოლეკულას
- $2e^-$ არის ელექტრონის 2 მოლეკულა

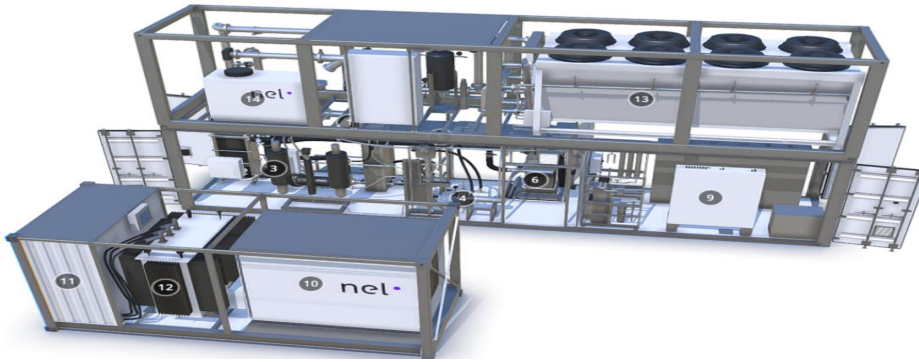
კათოდი არის უარყოფითი ელექტროდი, სადაც ჟანგბადის გაზი წარმოიქმნება. კათოდების საერთო მასალები მოიცავს: Lanthanum Strontium Manganite-ს, (LSM) - პეროვსკიტის მასალას, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება მისი კარგი ელექტრონული გამტარობისა და კატალიზური აქტივობისთვის.



სადაც:

- $1/2 O_2(g)$ - აღნიშნავს ჟანგბადის დაშლის(ნახევარ) მოლეკულას
- $2e^-$ არის ელექტრონის 2 მოლეკულა
- O_2^- არის ჟანგბადის მოლეკულა

ეს მასალები არჩეულია მათი თვისებებიდან გამომდინარე, რომ ეფექტურად იმუშაონ მაღალ ტემპერატურაზე, 500-დან 1000 °C დიაპაზონში. ასეთი მასალების შერჩევა მიზნად ისახავს ბალანსის მიღწევას მაღალ იონურ და ელექტროგამტარობას, სტაბილურობასა და კატალიზურ აქტივობას შორის. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ მეცნიერები აგრძელებენ ახალი მასალების შესწავლას და SOE ელექტროდების ეფექტურობისა და გამძლეობის გაუმჯობესებას, რაც ხელს უწყობს Solid Oxide Electrolyzer-ის ტექნოლოგიის წინსვლას და კომერციალიზაციას.



ნახ.3. PEM ელექტროლიზატორი

1. HGL;
2. სითბოს ამრთმევი;
3. წყალბადის გაზის საშრობი;
4. წყალბადის გამომყოფი;
5. ჟანგბადის გამომყოფი;
6. PEM ელექტროლიზატორის უჯრედები;
7. წყლის გამწმენდი;
8. წყლის ტუმბო;
9. მართვის პანელი;
10. გამმართველი(AC/DC);
11. MV შემყვანი;
12. ტრანსფორმატორი;
13. თერმო კონტროლის სისტემა;
14. ჩილერი(წყალბადის გაზს ართმევს ტენს).

- ამ ტიპის სადგურებს შეუძლიათ გამოიმუშაონ 24 საათში: 531-1062 კილოგრამამდე მწვანე წყალბადი.

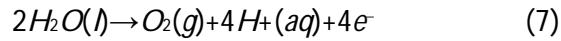
- ელექტროლიზატორის შენობის სტანდარტული ზომებია: 12.2mX2.5mX3m

- სატრანსფორმატორო შენობის სტანდარტული ზომებია: 6.1mX2.5mX2.6m - 12.2mX2.5mX3m

პროტონების გაცვლის მემბრანის (PEM) ელექტროლიზატორი არის მოწყობილობა, რომელიც წყლის ელექტროლიზის დროს იყენებს მყარ პოლიმერულ ელექტროლიტის მემბრანას - პროტონების გასატარებლად. PEM ელექტროლიზატორის ძირითადი კომპონენტია მყარი პოლიმერული ელექტროლიტური მემბრანა. ეს მემბრანა, როგორც წესი, დამზადებულია პერფტორსულფონის მჟავას პოლიმერისგან, როგორცაა ნაფიონი. ელექტროლიტური მემბრანა უზრუნველყოფს პროტონების ტრანსპორტირებას (H^+) ელექტრონების გავლის ბლოკირებისას. ის ჰყოფს ანოდისა და კათოდის უჯრედებს, რაც ხელს უწყობს ელექტროქიმიურ რეაქციას.

PEM ელექტროლიზატორში ანოდი, როგორც წესი, დამზადებულია კატალიზატორით დაფარული გამტარი მასალისგან. საერთო კატალიზატორული მასალები მოიცავს პლატინის

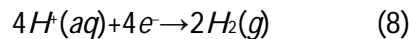
ან პლატინა-რუთენიუმის შენადნობებს. ანოდზე წყალი იჟანგება და წარმოიქმნება პროტონები და ელექტრონები:



სადაც:

- $2H_2O(l)$ - არის წყლის 2 მოლეკულა (*l*- liquid-თხევადი)
- $O_2(g)$ - არის ოქსიგენის მოლეკულა
- $4H^+(aq)$ - არის წყალბადის 4 მოლეკულა

კათოდი ასევე დამზადებულია გამტარი მასალისგან, რომელიც დაფარულია კატალიზატორით. გავრცელებული კატალიზატორის მასალები მოიცავს პლატინის ან პლატინა-ნიკელის შენადნობებს. კათოდში, ანოდის მხრიდან პროტონები და ელექტრონები გაერთიანებულია წყალბადის გაზის წარმოქმნით:



სადაც:

- $4H^+(aq)$ - არის წყალბადის 4 მოლეკულა (*aq* – წყალბადის იონები წყალხსნარში)
- $4e^-$ არის 4 ელექტრონი
- $2H_2(g)$ - არის წყალბადის 2 მოლეკულა (*g-gas*-გაზი)

ელექტროლიზატორები შედგებიან ბიპოლარული ფირფიტებისაგან. ისინი დამზადებულია გამტარ მასალებისგან, როგორცაა გრაფიტი ან ლითონით დაფარული მასალები. ბიპოლარული ფირფიტები აკავშირებენ ცალკეულ უჯრედებს ელექტროლიზატორის დასტაში. ისინი უზრუნველყოფენ სტრუქტურულ სტაბილურობას - ანაწილებენ რეაგენტებს და ხელს უწყობენ ტემპერატურის თანაბარ განაწილებას. PEM ელექტროლიზატორებს სჭირდებათ წყლის მართვის სისტემა, რათა უზრუნველყოს მემბრანის დატენიანება. წყალი გადამწყვეტია მემბრანაში პროტონის გამტარობის შესანარჩუნებლად. ზოგიერთი დიზაინი მოიცავს რეცირკულაციის სისტემას, წყლის დონის მართვისთვის.



PEM ელექტროლიზატორების უპირატესობები:

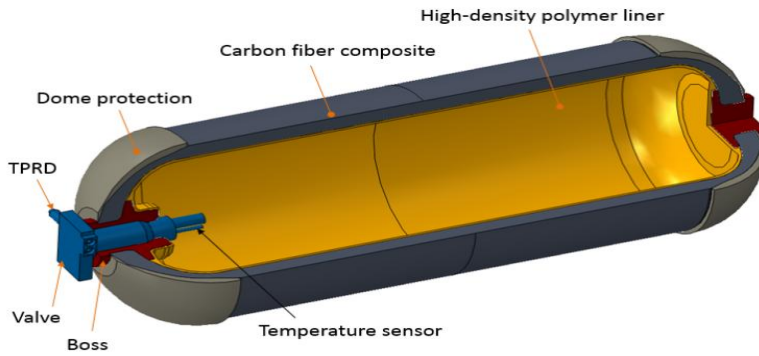
- სწრაფი რეაგირება: PEM ელექტროლიზატორებს აქვთ სწრაფი გაშვების და რეაგირების დრო.
- მაღალი ეფექტურობა: ისინი მუშაობენ მაღალი ეფექტურობით, განსაკუთრებით ნაწილობრივი დატვირთვის პირობებში.
- კომპაქტური ზომა: PEM ელექტროლიზატორები, როგორც წესი, უფრო კომპაქტურია სხვა ელექტროლიზატორების ტიპებთან შედარებით.
- დაბალი მუშაობის ტემპერატურა: ისინი მუშაობენ შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე, მყარი ოქსიდის ელექტროლიზატორებთან შედარებით.

PEM ელექტროლიზატორები ცნობილია: მათი სწრაფი რეაგირების დროით, მაღალი ეფექტურობით და შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე მუშაობის უნარით, სხვა ელექტროლიზატორებთან შედარებით. მიმდინარე სამეცნიერო კვლევები მიზნად ისახავს გააუმჯობესოს ელექტროლიზატორის მუშაობის ეფექტურობა და შეამციროს PEM ელექტროლიზატორების ღირებულება უფრო ფართო კომერციული გამოყენებისთვის.

„PEM ელექტროლიზატორების რამდენიმე ტიპი არსებობს: MC სერია, M სერია, C სერია, H სერია, და S სერია.

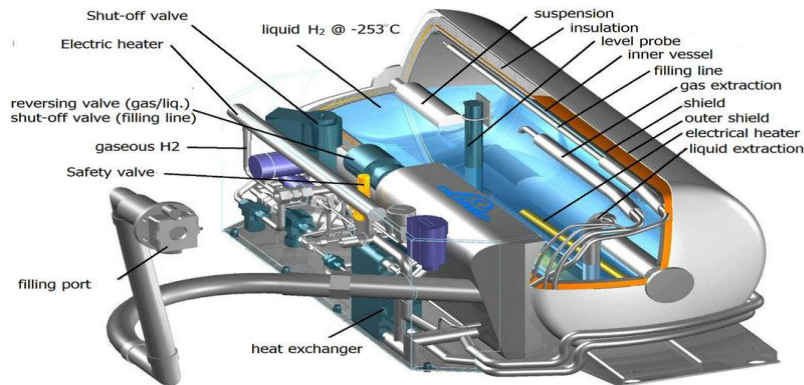
განვიხილოთ წყალბადის შემნახველი მოწყობილობები. მწვანე წყალბადის შემნახვი მოწყობილობები შექმნილია "მწვანე" ან განახლებადი მეთოდით წარმოებული წყალბადის შესანახად. მწვანე წყალბადის შენახვა მნიშვნელოვანია მისი, როგორც სუფთა და მდგრადი ენერჯის სამომავლო გამოყენებისთვის. წყალბადის შენახვა შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმით, მათ შორის: აირისებრ, თხევად და მყარ მდგომარეობაში. შენახვის თითოეულ მეთოდს აქვს თავისი მახასიათებელი.

წყალბადის მაღალი წნევით შეკუმშვა - წყალბადის შენახვის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მეთოდია. წყალბადის გაზის სახით შესანახად, როგორც წესი, საჭიროა მაღალი წნევის ავზები (350–700 ბარი წნევა). შენახვის ავზები, როგორც წესი, დამზადებულია მსუბუქი და მაღალი სიმტკიცის მასალებისგან, როგორცაა ნახშირბადის ბოჭკოებით გამაგრებული კომპოზიტები ან მაღალი სიმტკიცის ფოლადი. წყალბადის შენახვა შესაძლებელია თხევად მდგომარეობაშიც, უკიდურესად დაბალ ტემპერატურაზე, დაახლოებით -253°C (-423°F). ამ ტემპერატურაზე წყალბადი იქცევა კრიოგენულ სითხედ. თხევადი წყალბადის შესანახად გამოიყენება სპეციალიზებული კრიოგენული რეზერვუარები, ხშირად ორკედლიანი საიზოლაციო ვაკუუმის ფენით.



ნახ.4. გაზური ტიპის წყალბადის შემნახველი რეზერვუარი.

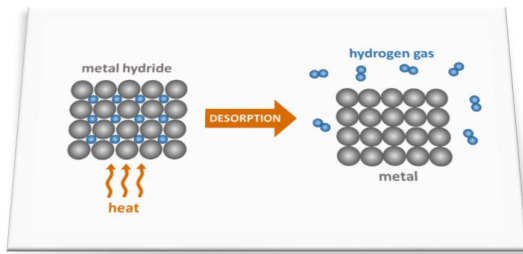
- ტემპერატურის სენსორი;
- მთავარი გამხსნელი;
- სარქველი;
- თერმული წნევის შემცირების მოწყობილობა;
- გარე ჯავშანი;
- ნახშირბადის ბოჭკოვანი კომპოზიტი;
- მაღალი სიმკვრივის პოლიმერული შიდა კედლის ფენა.



ნახ.5. კრიოგენული წყალბადის შემნახველი რეზერვუარი.

- გამაციებელი;
- შევსების პორტი;
- უსაფრთხოების სარქველი;
- უკუ სარქველი ;
- გათიშვის სარქველი;
- ელექტრო გამათბობელი;
- რეზერვუარის შიდა კედლის იზოლაცია;
- კრიოგენული წყალბადის დონის საზომი;
- შიდა რეზერვუარი;

- დამცავი.



წყალბადის შენახვა მყარ მდგომარეობაში ჩვეულებრივ მოიცავს ლითონის ჰიდრიდების გამოყენებას. ლითონის ჰიდრიდები არის ნაერთები, რომლებიც წარმოიქმნებიან გარკვეული ლითონების წყალბადთან შერწყმით. წყალბადი შეიწოვება ლითონის

კრისტალური მესრის სტრუქტურაში, რაც ქმნის სტაბილურ მყარ ნაერთს. ეს პროცესი უზრუნველყოფს წყალბადის შექცევად შეწოვას და დეზორბციას, რაც უზრუნველყოფს წყალბადის შენახვას და გამოთავისუფლებას საჭიროების შემთხვევაში.

შექცევადობა ლითონის ჰიდრიდების ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა. მათ შეუძლიათ გაიარონ წყალბადის შთანთქმის და დეზორბციის განმეორებითი ციკლები მნიშვნელოვანი დეგრადაციის გარეშე.

აბსორბცია - ლითონის ჰიდრიდის მასალა შთანთქავს წყალბადს ქიმიური რეაქციის გზით. ეს შთანთქმის პროცესი ჩვეულებრივ ხდება ზომიერ ტემპერატურაზე და წნევაზე.

დეზორბცია - როდესაც საჭიროა წყალბადის გამოყენება, ლითონის ჰიდრიდი ათავისუფლებს შენახულ წყალბადს საპირისპირო ქიმიური რეაქციის გზით. დეზორბცია ჩვეულებრივ ხდება უფრო მაღალ ტემპერატურაზე, ვიდრე აბსორბცია.

ლითონის ჰიდრიდის ტიპები - სხვადასხვა ლითონებს შეუძლიათ შექმნან ლითონის ჰიდრიდები, ლითონის ჰიდრიდის შესანახ სისტემებში გამოყენებული ლითონებია : მაგნიუმი, ტიტანი და ლანთანიდები, როგორცაა იტრიუმი და ლანთანი. ლითონის ჰიდრიდები ცნობილია მათი უსაფრთხოებით. წყალბადის შენახვის სხვა მეთოდებთან შედარებით.

ახლა კი განვიხილოთ მწვანე წყალბადის საპილოტე სადგურის მშენებლობის პერსპექტივა საქართველოში.

საქართველო, როგორც ევროპის ენერგეტიკული გაერთიანების წევრი, ჩართულია „მწვანე წყალბადის“ პროექტის განვითარების პროცესში. 2023 წლის 16 მაისს საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს, სს „საქართველოს ნავთობისა და გაზის კორპორაციას,“ ბათუმის მუნიციპალიტეტის მერიასა და „გერმანიის რეკონსტრუქციის საკრედიტო ბანკს“ (KfW) შორის ხელი მოეწერა ურთიერთგაგების მემორანდუმს მწვანე წყალბადის პროექტის განვითარებასთან დაკავშირებით. გაფორმებულ მემორანდუმში გამოხატულია მხარეთა განზრახვა, ერთობლივი ძალისხმევით განავითარონ როგორც მწვანე წყალბადის საპილოტე საწარმო, ასევე მისი სრული ღირებულებითი ჯაჭვი (მოთხოვნა-

მიწოდების ჩათვლით). ეკონომიკის მინისტრის პირველი მოადგილის, რომეო მიქაუტაძის განცხადებით, ხელისუფლება განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს საქართველოში წყალბადის ენერჯის განვითარების პერსპექტივებს.

ეკოლოგიური წყალბადის ენერჯეტიკის განვითარებას ჩვენს ქვეყანაში კარგი საფუძველი აქვს და ეს მიმართულებაც მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს საქართველოს ენერჯოუსაფრთხოების უზრუნველყოფაში, რაც ქვეყნის ერთ-ერთი პრიორიტეტული ამოცანაა. შეთანხმება მწვანე წყალბადის მოხმარების განვითარებისა და აღნიშნულთან დაკავშირებული მოსამზადებელი ღონისძიებებისათვის 1,3 მილიონი ევროს გამოყოფას ითვალისწინებს. შეთანხმების თანახმად, ჩატარდება მოსამზადებელი სამუშაოები „მწვანე წყალბადის“ ტექნოლოგიის დასანერგად საჭირო ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების, პროექტირების, გარემოზე ზემოქმედების ანგარიშებისა და შესაბამისი საკანონმდებლო ინიციატივების პროექტის იმპლემენტაციის მიზნით. იმ შემთხვევაში, თუ კვლევებით დადასტურდება პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობა, მომდევნო ეტაპი ითვალისწინებს მწვანე წყალბადის გენერაციის სადგურის მშენებლობას და ნახშირორჟანგის ემისიის შემცირების მიზნით, სადგურის მიერ გამოთქმავებული მწვანე წყალბადის მიწოდებას ბათუმის მუნიციპალიტეტისთვის. ეს იქნება საპილოტე პროექტი, რომლის წარმატებით განხორციელებაც მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს საქართველოში ეკოლოგიური წყალბადის ენერჯეტიკის განვითარებაში.

მზის ელექტრო სადგური

1 მეგავატიანი სიმძლავრის მზის ელექტრო სადგური:



მზის ელექტრო სადგურის მშენებლობისთვის გამოვიყენებთ AESOLAR „მზის პანელებს“ კერძოდ AE660ME-132BS-ის მოდელს.

- 1 მგვტ-იანი მზის სადგურის აშენება დაგვიჯდება 953 000 \$
- 1 მგვტ-იანი მზის სადგურის ასაშენებლად დაგვიჭირდება AE660ME-132BS-ის 1 563 ერთეული მზის პანელი.
- 1 მგვტ -ანი სადგურის მ.ქ.კ იქნება საშვალოდ 22% -ი. (ანუ 1 საათში სადგური დააგენერირებს 220 კვტს ელექტრულ ენერჯიას.)
- სადგური დღიურად იმუშავებს საშვალოდ 9 საათი და გამოუმუშავებს 1 980 კვტს ელექტრულ ენერჯიას.

ქარის ელექტრო სადგური

1.5 მეგავატიანი სიმძლავრის ქარის ელექტრო სადგური:



ქარის ელექტრო სადგურის მშენებლობისთვის გამოვიყენებთ VESTAS „ქარის ტურბინებს“ კერძოდ V163-1.5MW-ის მოდელს.

- 1 მგვტ-იანი ქარის სადგურის აშენება 1 858 350\$

დაგვიჯდება.

- 1 მგვტ-იანი ქარის სადგურის ასაშენებლად დაგვჭირდება V163-1.5MW -ის 1 ერთეული ქარის ტურბინა
- 1 მგვტ -ანი სადგურის მ.ქ.კ იქნება საშვალოდ 37% -ი. (ანუ 1 საათში სადგური დააგენერირებს 555 კვტს ელექტრულ ენერგიას).
- სადგური დღე-ღამეში იმუშავებს საშვალოდ 11 საათს ან „მეტს“ და დააგენერირებს 6 105 < კვტს ელექტრულ ენერგიას.

წყალბადის შემნახველი რეზერვუარები

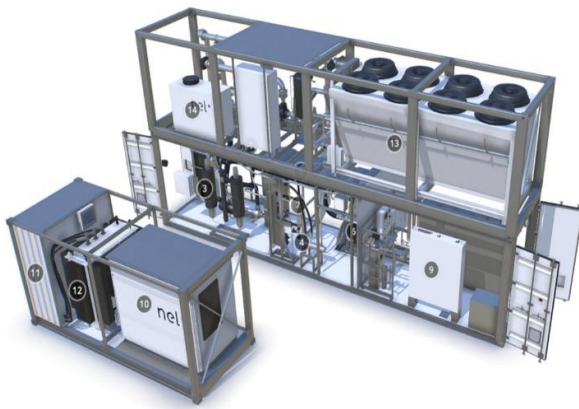


- ჩვენს მიერ სამომავლოდ აშენებული წყალბადის სადგური გამოიმუშავებს დღეში 327 კილოგრამ მწვანე წყალბადს, აქედან გამომდინარე საჭიროა შევიძინოთ 500 კგ.-იანი წყალბადის გაზის დამაგროვებელი რეზერვუარი 618 000\$ -ად კომპანია BAGLIONI-სგან.

- შეკუმშული წყალბადი ინახება მაღალ წნევაზე (677 ბარზე.)
- ამავე კომპანიისგან ვაპირებთ შევიძინოთ წყალბადის გაზის მაგისტრალური მილები ჯამში 254 მ.
- მისი ღირებულება შეადგენს 308 721 \$ -ს.



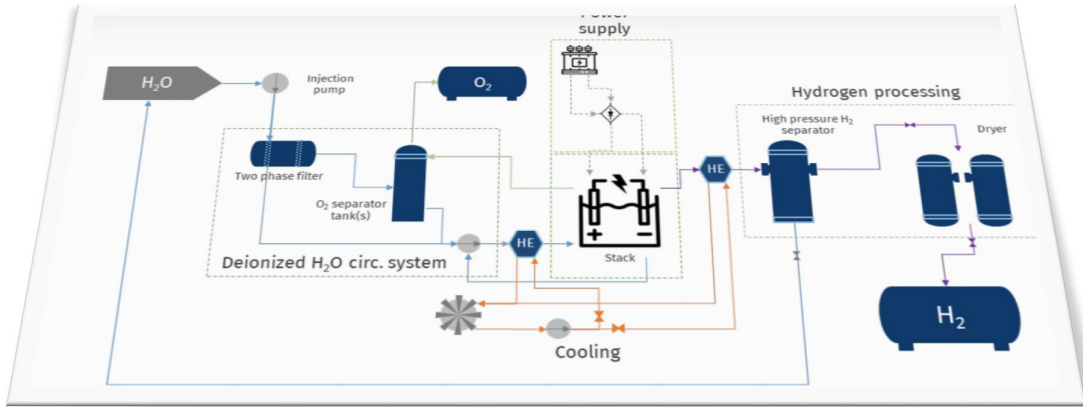
ელექტროლიზატორი და მისი მართვის სისტემები



- 0,6 მგვტ-იანი PEM (MS) (327კგ/24სთ.) ელექტროლიზატორის სადგურის აშენება საშუალოდ 1 082 662 \$ დაგვიჯდება.
- სადგური 1 საათში გამოიმუშავებს 13,6 კგ GH_2 -ს.
- 1 კილოგრამი მწვანე წყალბადის წარმოებისთვის სჭირდება 52 კვტსთ ელექტრული ენერგია. (1 საათში სჭირდება - 707,2 კვტსთ, 24 საათში - 16 972,8 კვტსთ

ელექტრული ენერგია).

- H_2 წარმოების მოდულაციის დიაპაზონი 74 – 151Nm³/h 10-100%
- H_2 გამომავალი წნევა 15-30 bar(g)
- 1 საათში სჭირდება 123 ლიტრა სუფთა წყალი (1 კილოგრამი წყალბადის წარმოებისთვის საჭიროა 9 ლიტრა სუფთა წყალი). (24 საათში საჭიროა 2 938 ლიტრა სუფთა წყალი).
- ელექტროლიზატორის კონტეინერის ზომებია: W X D X H 12.2m X 2.5m X 3 m
- ტრანსფორმატორის კონტეინერის ზომებია: W X D X H 6.1m X 2.5m X 2.6 m



ნახ.6. წყალბადის სადგურის მუშაობის პრინციპული სქემა.

დასკვნა

მწვანე წყალბადი იწარმოება განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენებით, როგორცაა ქარი, მზის და ჰიდროენერჯია, ისინი არ წარმოქმნიან ნახშირბადის ემისიებს წყალბადის წარმოებისას. ეს აქცევს „მწვანე წყალბადს“ სუფთა და მდგრადი ენერჯის მატარებლად, რომელსაც შეუძლია დაეხმაროს ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორებს - მათ შორის: ტრანსპორტს, მრეწველობას და ენერჯეტიკას.

წყალბადი შეიძლება გახდეს ენერჯის შენახვის საუკეთესო ალტერნატივა. განახლებადი წყაროებიდან გამომდინარე გამომუშავებული ჭარბი ენერჯია შეიძლება გამოყენებული იქნას მწვანე წყალბადის წარმოებისთვის, რომელიც შეიძლება შევინახოთ და მოგვიანებით გამოვიყენოთ ელექტროენერჯის გამომუშავებისათვის. ეს ხელს შეუწყობს ქსელის სტაბილიზაციას და განახლებადი ენერჯის წყაროების საიმედოობის გაზრდას.

გონიოში სამომავლოდ ასაშენებელ საპილოტე მწვანე წყალბადის სადგურის ელექტროლიზატორის უჯრედებს მოემსახურება და ელექტროენერჯით მოამარაგებს 1მგვტ-იანი მზის ელექტროსადგური და 1.5მგვტ-იანი ქარის ელექტროსადგური. ორივე სადგურის ჯამური ელექტროენერჯის გამომუშავება - დღიურად იქნება (მზის - 1980კვტსთ. ქარის - 6105კვტსთ.) 8085კვტსთ. ელექტრული ენერჯია. წყალბადის სადგურს 1 დღეში(24 საათში) მაქსიმუმ შეეძლება გამოიმუშაოს 327 კგ მწვანე წყალბადი, რაც რეალურად საჭიროებს 24 საათში 17 004 კვტსთ. ელექტრულენერჯიას. (17 004-8085=8 919კვტსთ) მარტივი გამოთვლები ცხადყოფს იმ ფაქტს, რომ მოგვიწევს სადგურს ქსელიდან დამატებით მივაწოდოთ 8 919კვტსთ. ელ.ენერჯია, რომლის შევსებაც მოხდება აჭარის ჰიდროელექტროსადგურებიდან.

მიღებულ მწვანე წყალბადს გამოვიყენებთ საწვავად - წყალბადზე მომუშავე ავტობუსებში, რომლებიც მოემსახურებიან ქალაქ ბათუმის მოსახლეობას და მათ ცხოვრებაში შეიტანს მეტ ეკოლოგიურად სუფთა გარემოს. წყალბადზე მომუშავე ავტობუსები 100 კმ-ზე

წვავენ 6 კგ. წყალბადს, ბათუმის მუნიციპალიტეტი თავდაპირველად განიხილავს 10 ავტობუსის შემოყვანას. ჩვენი გამოთვლებით 1 ავტობუსი ბათუმში დღიურად საშუალოდ გადის 211 კილომეტრს ეს ნიშნავს რომ 1 ავტობუსი დღიურად მოიხმარს 12,6 კგ წყალბადს.

ბათუმის მუნიციპალიტეტი გეგმავს შეისყიდოს გარემოს ეკოლოგიურად გაუმჯობესებისთვის 10 ავტობუსი, ეს ნიშნავს რომ დღეში მათ დასჭირდებათ 126 კილოგრამი წყალბადი, რომლის წარმოებაც მოხდება საქართველოში, ამით ყოველ დღიურად შემცირდება 637,2 კგ CO₂-ს გამოყოფა, რაც ნიშნავს რომ წელიწადში 232 578(ანუ 232,6ტ. CO₂-ის გამოყოფა შემცირდება ქალაქ ბათუმში.)

მწვანე წყალბადის სადგურის შენახვა მოუწევს სახელწიფოს. ეს ფაქტი გარდაუვალია, რადგან წყალბადის სადგურის მშენებლობა დაკავშირებულია დიდ ფინანსურ რესურსთან და წარმოებული პროდუქტი(ამ შემთხვევაში მწვანე წყალბადის) თვითღირებულება არის საკმაოდ მაღალი. აქედან შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ მწვანე წყალბადის მომავალზე უნდა იზრუნონ ქვეყნებმა და სადგურების აშენება უნდა მოხდეს ქვეყნის ბიუჯეტის საშუალებით. მწვანე წყალბადის სადგურის მშენებლობა ხაზს უსვამს ქვეყნის ეკოლოგიურ წინსვლას, რაც გლობალურ მაჩვენებლებზეც აისახება. მწვანე წყალბადის სადგურში დაბანდებული ფულადი რესურსი ქვეყნის და მსოფლიოს ეკოლოგიურობაში დაბანდებული რესურსია!

გამოყენებული ლიტერატურა

1. FORBES - „მწვანე წყალბადის პერსპექტივები“ - <https://forbes.ge/mtsvane-tsqhalbadis-perspeqtivebi/>
2. საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო - <https://www.economy.ge/?page=news&nw=2236&s=mwvane-wyalbadis-proeqtis-ganvitarebastan-dakavshirebit->
3. NEL, PEM Electrolyser – MC Series - <https://nelhydrogen.com/product/mc-series-electrolyser/>
4. NEL, Atmospheric Alkaline Electrolyser <https://nelhydrogen.com/product/atmospheric-alkaline-electrolyser-a-series/>
5. CAVENDISH <https://cavendishh2.com/>
6. BAGLIONI - <https://baglionispa.com/en/special-pressure/>
7. VESTAS, V163-4.5MW - <https://www.vestas.com/en/energy-solutions/onshore-wind-turbines/4-mw-platform/V163-4-5-MW>
8. AESOLAR - <https://ae-solar.com/>

Selection of the main components for the construction of a green hydrogen station in Georgia and its efficiency

annotation

The paper discusses the infrastructural composition of the green hydrogen station and the sequence of its work. Green hydrogen as an ecological fuel of the future is actively considered in energy circles worldwide as a source of clean energy production. It should be noted that clean, green hydrogen is not a new technology and work on it has been going on for decades in different countries. Green hydrogen is obtained through electrolysis and is "green" because it can be produced using renewable energies - water, sun, wind. The cost of hydrogen production mainly includes the costs of electricity and the hydrogen generating unit, the electrolyzer. Hydrogen is used as energy from which electricity can be produced or consumed as a gas. At this stage, hydrogen is most often used in oil refining and fertilizer production, while transportation and utilities are mainly emerging markets for hydrogen.

According to the Energy Community report, active use of green hydrogen-powered transport is being considered from 2030, and by 2030 the share of hydrogen in the transport sector may be up to 0.2% (3.4 thousand tons of oil equivalent). At the same time, the use of green hydrogen is considered in the direction of gas supply, on which additional studies are planned. The National Integrated Energy and Climate Plan considers the development of green hydrogen as a storage technology as an energy security measure.

Georgia also took the course of green hydrogen development. In addition, within the framework of the Eastern Partnership, Europe considers our country as an ally in the direction of green hydrogen production. In 2020, the Government of Georgia signed an agreement with the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), which involves a technical study to assess the country's need for environmentally clean hydrogen production.

The development and scaling of green hydrogen technologies creates opportunities for innovation and economic growth. This includes research and development in the field of renewable energy, electrolysis and hydrogen infrastructure, as well as job creation in this sector.