



Latvijas  
Biozinātņu un  
tehnoloģiju  
universitāte

---


Reģ. Nr. 90000041898 // Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001 // Tālr. +371 63 022 584 // [edokuments@lbtu.lv](mailto:edokuments@lbtu.lv) // [www.lbtu.lv](http://www.lbtu.lv)

## ATSKAITE

**Mobilā ūdeņraža elektroenerģijas ģenerators, kura darbību nodrošina elektrības  
ražošana no ūdeņraža**

Vaučēris Nr. VP-V-2022/44

Jelgava 2023



## SATURS

1	Pētījuma aktualitāte .....	4
1.1	Hipotēze: .....	4
1.2	Tehniski ekonomiskā priekšizpēte .....	5
2	Autonomo elektroģeneratoru veidi.....	7
2.1	Iedalījums pēc jaudas .....	7
2.2	Iedalījums pēc enerģijas konversijas veida .....	8
2.3	Iekšdedzes dzinēju AEG .....	8
2.4	Baterija/invertora sistēmas .....	9
3	Pamatojums ūdeņraža izmantošanai pārvietojama enerģijas avota energoapgādei .....	13
3.1	Ūdeņraža priekšrocības enerģētikā. ....	13
3.2	Degvielas šūnas (kurināmā elementi) pārveidojamajos elektroģeneratoros.....	16
3.3	Protonu apmaiņas membrānas degvielas šūnas (PEMFC): .....	17
3.4	Cietā oksīda degvielas šūnas (SOFC):.....	18
3.5	Sārmzemju metālu degvielas šūnas (AFC):.....	19
3.6	Tiešā metanola degvielas šūnas (DMFC): .....	19
3.7	Izkausētu karbonātu degvielas šūnas (MCFC): .....	19
4	Mobilā Ūdeņraža ģeneratora prototipa izstrādes plāns .....	21
4.1	Pētījuma priekšmets .....	21
4.2	Pētījuma ierobežojumi .....	22
4.3	Pētījuma rezultāti .....	23
4.4	Izmēru salīdzinājums .....	23
5	Tirgus izpēte un ūdeņraža ģeneratora koncepcija (Tehniski ekonomiskā priekšizpēte).....	24
5.1	Ūdeņraža ģeneratora piekaves parametru aprēķini .....	25
5.2	Tehniskais projekts .....	25
5.3	Tehniskā projekta elementi .....	27
5.4	Ūdeņraža ģeneratora pārbūves risinājumi.....	28

5.5	Ūdeņraža ģenerators prototipa projekts .....	30
5.6	Ģenerators motora salāgošana ar hibrīda kurināmā elementu/akumulatoru bateriju sistēmu .....	36
6	Tehniskais koncepts .....	38
7	Vadošo iekārtu ražotāju izvērtējums .....	43
7.1	Principi ūdeņraža ekonomiskās dzīvotspējas novērtēšanai. ....	45
8	Ekonomiskā analīze ūdeņraža ģeneratoram. ....	47
9	Ekonomiskais novērtējums .....	48
9.1	CAPEX .....	49
9.2	OPEX.....	49
9.3	NPV izvērtējums.....	52
	Secinājumi .....	55

## 1 Pētījuma aktualitāte

Šobrīd pasaulē aizvien lielāka sabiedrības uzmanība tiek pievērsta videi draudzīgu tehnoloģiju attīstībai, tai skaitā transporta jomā.

Lai stimulētu transportlīdzekļu pāreju no fosilo enerģiju izmantojošiem uz atjaunojamo enerģiju izmantojošiem dzinējiem, it sevišķi – elektrotransportu, Eiropas Komisija 2011. gadā izdeva Balto Grāmatu “Ceļvedis uz Eiropas vienoto transporta telpu - virzība uz konkurētspējīgu un resursefektīvu transporta sistēmu”, kurā tiek paredzēts “Līdz 2030. gadam uz pusi samazināt "tradicionālās degvielas" automobiļu izmantošanu pilsētas transportā; līdz 2050. gadam pakāpeniski pārtraukt to izmantošanu pilsētās; līdz 2030. gadam lielākajos apdzīvotajos centros panākt pilsētu loģistiku praktiski bez CO2 emisijām”

Pilsētas privātais un sabiedriskais transports ir lielākais gaisa piesārņotājs pilsētās, taču diemžēl līdz šim elektroauto pielietojums pasaulē ir tikai simbolisks, salīdzinot ar iekšdedzes transporta apjomu. Galvenais iemesls tam ir elektroauto cena, kas nepieciešamā nobraukuma ar vienu uzlādi un tam atbilstošās lielās bateriju energoietilpības dēļ pagaidām ievērojami atpaliek no iekšdedzes transporta ekonomiskās efektivitātes.

Savukārt hibrīdauto saskaņā ar Starptautiskās enerģētikas aģentūras informāciju, jau šobrīd ir ekonomiski izdevīgi, taču atgūtais (atjaunotais) enerģijas daudzums pagaidām ir ļoti ierobežots – esošās hibrīdauto (HEV) tehnoloģijas ļauj atgūt līdz 15% enerģijas pilsētas ciklā .

Vispārējā nozares problēma, ko paredzēts risināt šajā projektā ir – izpētīt iespējas, izstrādāt tādu elektriskās piedziņas sistēmu, kas ļautu saglabāt tās priekšrocības, ko sniedz elektrība kā dzinējspēks (jauda, efektivitāte, zemākas izmaksas), vienlaikus noteiktos brīžos būtiski palielinot tā nobraukumu.

Būtiski, ka ģeneratori darbojas pēc enerģijas uzkrāšanas (taupīšanas) principa, kas nozīmē to, ka ģenerators neražo enerģiju, tas tikai pārvērš vienu enerģijas veidu citā. Šī enerģijas pārveidošanas ierīce pārvērš mehāniskā griezes momenta enerģiju elektroenerģijā, izmantojot elektromagnētiskās indukcijas principu.

### 1.1 Hipotēze:

Autonoms ūdeņraža elektroģenerators ir konkurētspējīgs kopējā ģeneratoru tirgū. Galvenās priekšrocības, kas to apliecina:

- Draudzīgs dabai - H<sub>2</sub> un tā sadegšanas produkts – ūdens, ir videi draudzīgs, tādējādi mazinās SGE gāzu (īpaši CO<sub>2</sub>) emisijas;
- Elastība: Ūdeņraža var tikt iegūts un izmantots dažādos sektoros, piemēram, publiskajā un sabiedriskajā transportā (arī ostās un lidostās), rūpniecībā;

- Efektivitāte: Ūdeņraža degvielas šūnas ir efektīvas, jo tās ražo enerģiju tieši no degvielas, nevis caur termisko procesu.
- Ātra uzlāde: Ūdeņraža degvielas šūnas var uzlādēt ātrāk nekā lielākā daļa akumulatoru. Ilgmūžība:
- Ūdeņraža degvielas šūnas var darboties ilgāk nekā tradicionālie akumulatori.

Šie apstākļi ļauj plaši pielietot izstrādājamo ūdeņraža tehnoloģijas elektroģeneratoru gan tautsaimniecībā, gan publiskajā, gan privātajā sektorā.

## 1.2 Tehniski ekonomiskā priekšizpēte

Tika veikta tehniski ekonomiskā priekšizpēte, kuras ietvaros bija jāizvērtē ražošanas potenciāls ūdeņraža elektroģeneratoram, kā arī izvērtēt izgatavošanas izmaksas šim ūdeņraža elektroģeneratoram.

Mūsdienās ģeneratori, ir kļuvuši par ievērojamu tehnoloģisko sasniegumu, kas nodrošina cilvēkiem elektrību brīžos, kad tā nav pieejama. Ja nav strāvas, bet ir nepieciešams, lai darbotos darbarīki, tehnika vai apgaismošanas iekārtas, ir pieejams lielisks risinājums – pārvietojams ģenerators. Līdz ar to ir iespējams izmantot kā pastāvīgu vai avārijas strāvas avotu. To popularitāte ir saistīta ar viņu iespaidīgo sniegumu, izcilu stabilitāti un pārsteidzoši kompaktajiem izmēriem. Ģeneratori ir ieguvuši plašu atzinību ne tikai būvniecībā, kā elektrības ražotāji, bet arī mūsdienās militārajā nozarē, kur šī brīža Ukrainas kara ietvaros aktīvi tika izmantoti šie ģeneratori elektrības ražošanai.

Pārvietojami autonomi elektroģeneratori ir ļoti noderīgi, bet tiem ir gan priekšrocības, gan trūkumi.

Priekšrocības<sup>12</sup>:

- Mobilitāte: Pārvietojamos elektroģeneratorus var viegli pārvietot un izmantot dažādās vietās.
- Kompaktums: Šie elektroģeneratori ir salīdzinoši mazi, tāpēc to uzstādīšana aizņem maz vietas.
- Nepārtraukta enerģijas piegāde: Spēj nodrošināt nepārtrauktu enerģijas piegādi – nereaģē uz ārējiem apstākļiem.
- Autonoma energoapgāde: Spēja strādāt autonomi, avāriju un tīklu atslēgumu gadījumos, pat bez tīkla vispār

<sup>1</sup> Pros & Cons Of Portable Generators (Why It's Best To Get Them). <https://activegenrental.com/blog/pros-and-cons-of-portable-generators/>.

<sup>2</sup> Should you get a home generator? Here's the pros and cons. <https://www.tomsguide.com/news/should-you-get-a-home-generator-heres-the-pros-and-cons>.

Trūkumi<sup>34</sup>:

1. Ierobežota jauda: Pārvietojamie elektroģeneratori parasti ir mazas jaudas, tāpēc tie var nodrošināt tikai būtiskāko elektroierīču darbību.

2. Augstas izmaksas: Daži pārvietojamie elektroģeneratori, piemēram, invertoru elektroģeneratori, var būt dārgi. Iegūtās elektroenerģijas pašizmaksa augstākā nekā stacionāriem lieljaudas ģeneratoriem (Economy of Scales - mēroga efekts)

3. Drošības problēmas: Ja pārvietojamos elektroģeneratorus nepareizi izmanto, tie var radīt traumas, apdegumus un pat oglekļa monoksīda saindēšanos – īpaši slēgtās telpās.

Tomēr tie ir spējīgi nodrošināt stabilu un vienmērīgu elektroenerģijas piegādi, kas padara tos ideālos un īpaši noderīgos ekstremālos apstākļos, kā, piemēram, vētras, elektropiegādes avārijas vai citu neparedzētu apstākļu dēļ, kad tiek pārtraukta standarta strāvas padeve. Tomēr šie ģeneratori ražo CO<sub>2</sub> izmešus un ir kaitīgi videi, turklāt šādi ģeneratori ir vieni no lielākajiem CO<sub>2</sub> izmešu radītājiem slēgtās teritorijās – ostās, lidostās, muitas zonās, u.c..

Tādēļ tika nolemts veikt padziļinātu šo problēmas izpēti un piedāvāt risinājumus šādu elektroģeneratoru izveidei.

Pirmējie pētījumi uzrādīja arī ūdeņraža tehnoloģiju un uz tās izmantošanu balstītu elektroģeneratoru trūkumus. Starp galvenajiem var atzīmēt sekojošos:

- Augstas sākotnējās (kapitāla) izmaksas: Ūdeņraža degvielas šūnu iegādei un uzstādīšanai ir nepieciešamas lielas sākotnējās investīcijas.
- Ūdeņraža pieejamība un ieguves izaicinājumi: Lai gan ūdeņradis ir visbiežāk sastopamais elements Visumā, tā ieguve no ūdens ir pagaidām vēl ir dārga.
- Drošības problēmas: Ūdeņradis ir bezkrāsains, bezsmaržas un bez garšas gāze, turklāt viegli uzliesmojošs un var būt bīstams, ja to nepareizi glabā un transportē.
- Regulējums, pieņemšana un infrastruktūras ierobežojumi: Ūdeņraža degvielas šūnu plaša izmantošana prasa plašu infrastruktūru un regulējumu, kas pašlaik vēl nav pilnībā izstrādāts.

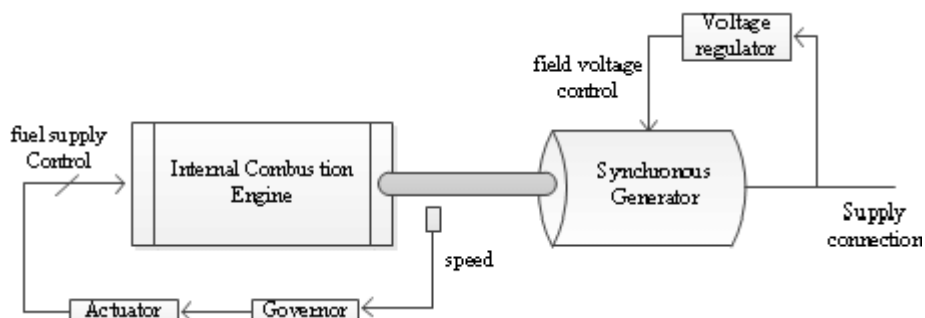
Ģeneratorus var iedalīt stacionārajos un mobilajos. Trīs galvenie ģeneratoru veidi mūsdienās ir benzīna ģeneratori, dīzeļģeneratori un gāzes ģeneratori. Visizplatītākie un visbiežāk izmantotie ir ģeneratori, kurus darbina iekšdedzes dzinējs.

---

<sup>3</sup> What Is An Inverter Generator: Working Rule, Pros And Cons - Anker. <https://www.anker.com/blogs/home-power-backup/what-is-an-inverter-generator-working-rule-pros-and-cons>.

<sup>4</sup> 4 Major Benefits of a Portable Generator - Critter Guard. <https://www.critterguard.org/blogs/articles/4-major-benefits-of-a-portable-generator>.

Pašlaik visizplatītākais no tiem ir ģenerators ar iekšdedzes dzinēja risinājumu, kas izmanto benzīna un dīzeļa ģeneratorus (skat. 1.1. att.). Šis risinājums ir populārs, pateicoties tā priekšrocībām, piemēram, esošās degvielas pieejamība.



**1.1. att. Dīzeļģenerators - blokshēma**

Visbiežāk tiek izmantoti divi ģeneratoru tipi - stacionārie un mobilie. Šie ģeneratori ir populāri dēļ degvielas un infrastruktūras pieejamības.

Stacionārie ģeneratori. Tie ir lieli, ļoti smagi, parasti ļoti jaudīgi ģeneratori, kurus izmanto, kad nepieciešamas lielas elektroenerģijas jaudas uz ilgāku laiku. Šie ģeneratori tiek izvēlēti dažādu projektu īstenošanai, piemēram, būvniecībā.

Mobilie ģeneratori. Tie ir vieglāki (salīdzinot ar stacionāriem), pilnīgi droši lietošanā, uzticami un klusi. Šīs īpašības ļauj ģeneratorus izmantot dzīvojamo māju pagalmos – saimnieciskām vajadzībām, piemēram, īslaicīga elektrības padeves pārtraukuma gadījumā. Šāda veida ģeneratori parasti ir dīzeļdegvielas un ir lieliski piemēroti kā pagaidu elektroapgādes risinājums būvlaukumos vai citos objektos, kur elektroapgāde netiek piegādāta vai īslaicīgi pārtraukta.

## 2 Autonomo elektroģeneratoru veidi.

Autonomos elektroģeneratorus (AEG) iedala gan pēc jaudas, gan pēc enerģijas konversijas veida, gan pēc to izmantotās primārās enerģijas veida.

### 2.1 Iedalījums pēc jaudas

Pēc jaudas AEG iedala sekojoši:

- Mazjaudas ģeneratori:

Šie ģeneratori ir piemēroti mājāsaimniecībām, nelielām uzņēmējdarbības vietām vai ārkārtas situācijām.

Jauda: Līdz 5 kilovatiem (kW).

- Vidējas jaudas ģeneratori:

Šie ģeneratori spēj nodrošināt lielāku enerģijas daudzumu.

Bieži izmantoti uzņēmējdarbības vietās, lauku mājās vai nelielos uzņēmumos.

Jauda: No 5 līdz 50 kilovatiem (kW).

- Lieljaudas ģeneratori:

Šie ģeneratori ir piemēroti lielām uzņēmējdarbības vietām, rūpnīcām vai citiem lieliem objektiem.

Jauda: Virs 50 kilovatiem (kW).

## 2.2 Iedalījums pēc enerģijas konversijas veida

Pēc enerģijas konversijas veida AEG iedala sekojoši:

- Mehāniskās piedziņas:
  - Vēja ģeneratori, ūdens turbīnas, ūdens rati – atjaunīgo energoresursu konversija;
  - Ārdedzes – tvaika turbīnas, Stirlinga motori, u.c.,
  - Iekšdedzes motoru piedziņas AEG (dažādas degvielas – šķidrās, gāzveida, gan fosilās, gan no atjaunīgajiem energoresursiem iegūtās)
- Saules fotoelektriskie pārveidotāji – saules paneļu/invertoru sistēmas
- Elektroķīmisko bateriju/akumulatoru un invertoru sistēmas AEG
- Elektroķīmiskā procesa – degvielas šūnu AEG (degviela – ūdeņradis, metāns, u.c.)

Šajā pētījumā netiek apskatīti reti lietojamie, neefektīvie enerģijas konversijas veidi, piemēram, tvaika turbīnas, kā arī ar patēriņu un piegādi grūti salāgojamie enerģijas ģeneratori – saule, vējš.

Galvenā uzmanība tiek veltīta iekšdedzes dzinēju sistēmām, bateriju/invertoru sistēmām (īpaši litija polimēru un litija jonu bateriju sistēmām), un ūdeņraža degvielas šūnu AEG.

## 2.3 Iekšdedzes dzinēju AEG

Iekšdedzes dzinēju darbināmi AEG ir visbiežāk sastopamais veids. Tie ir pietiekami efektīvi un spēj ģenerēt lielu jaudu, taču tie rada piesārņojumu (CO<sub>2</sub> izmeši) un var būt skaļi.

Priekšrocības:

- Attīstīta, ilgstoši lietota un zināma tehnoloģija – salīdzinoši lēti remontu, pieejamas detaļas un ir kvalificēts darbspēks gan apkalpošanā, gan apkopēs, gan remontu gadījumos



- Augsta mehāniskā izturība – ērti un droši transportējami, pārvietojami, uzglabājami
- Spēj ģenerēt elektroenerģiju plašā jaudu diapazonā
- Izmantojami dažādos apkārtējās vides apstākļos (jebkurā gadalaikā, u.c.)

Trūkumi:

- Dārgi, ja nenotiek masveida ražošana (liels augstas precizitātes detaļu skaits, augstas kvalitātes materiāli)
- Salīdzinoši daudz kustīgo un dilstošo detaļu
- Izmeši rada piesārņojumu (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, cietās daļiņas);
- Rada akustisko piesārņojumu un vibrācijas, kas var būt kaitīgas apkārtējai videi un cilvēkiem
- Tukšgaitas zudumi, ieskriešanās laiks ievērojams.

## 2.4 Baterija/invertora sistēmas

Baterija/invertora sistēmas ir kļuvas diezgan populāras AEG izvēlē. Tās ir klusas, pielietojuma vietā videi draudzīgas un spēj ģenerēt elektrību, kas uzkrāta, izmantojot atjaunojamo enerģiju, piemēram, saules vai vēja enerģiju.

Priekšrocības:

- Klusas, nerada akustisko piesārņojumu,
- Videi draudzīgas to pielietošanas vietā – nav izmešu,
- Izmantojamas slēgtās telpās, vidē ar ierobežotām prasībām,
- Atjaunojamo enerģijas avotu dēļ var tikt uzskatītas par videi drošu un draudzīgu sistēmu,
- Īss ieskriešanās un izslēgšanas laiks – var precīzi vadīt patēriņu, mazinot tukšgaitas zudumus.

Trūkumi:

- Ne vienmēr var tikt uzlādētas ar zaļo elektroenerģiju – no fosilā kurināmā iegūtā elektroenerģija nav videi draudzīga – SEG mesijas gāzu dēļ,
- Pie salīdzināmas jaudas daudz lielāki izmēri un masa (līdz pat 3 reizes lielāka masa), nekā iekšdedzes dzinēja darbinātiem AEG,
- Nepieciešama regulāra uzlāde atbilstošā sagatavotā vietā – nevar pievest klāt enerģiju jebkurā vietā,

- Bateriju izmaksas virs 400 EUR/kWh – lielāka enerģijas patēriņa gadījumos būtiskas izmaksas.

Ūdeņraža degvielas šūnu (Fuel Cell) sistēmas ir jaunākā tehnoloģija AEG nozarē. Tās ir klusas, videi draudzīgas un spēj ģenerēt elektrību, izmantojot ūdeņradi.

Priekšrocības:

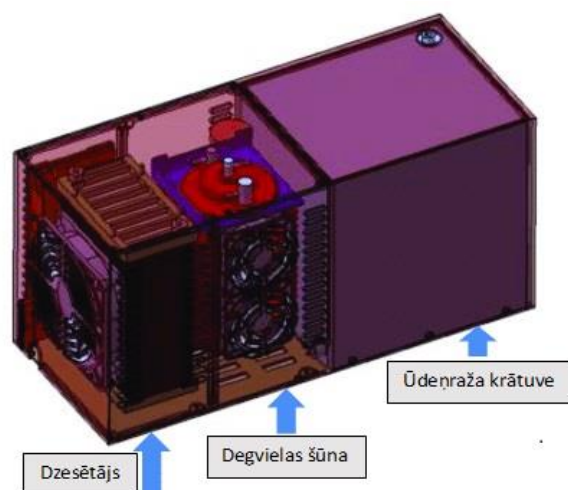
- Izmanto ūdeņradi, kas ir atjaunojams enerģijas avots, un iegūstams jebkurā vietā, kur ir ūdens;
- Izmeši – ūdens tvaiks – nerada piesārņojumu;
- Klusas, nerada akustisko piesārņojumu;
- Videi draudzīgas to pielietošanas vietā – nav kaitīgu izmešu;
- Izmantojamas slēgtās telpās, vidē ar ierobežotām prasībām;
- Īss ieskriešanās un izslēgšanas laiks – var precīzi vadīt patēriņu, mazinot tukšgaitas zudumus;
- Ātra uzpilde, pievedot klāt ūdeņradi.

Trūkumi:

- Ne vienmēr var tikt uzlādētas ar zaļo ūdeņradi, kā arī iegūt elektrolīzē izmantojot zaļo elektroenerģiju – no fosilā kurināmā iegūtā elektroenerģija nav videi draudzīga – SEG mesijas gāzu dēļ;
- Ūdeņradis no dabas gāzes – daļēji videi draudzīgs;
- Pie salīdzināmas jaudas daudz lielāki izmēri un masa (līdz pat 2 reiz lielāka masa), nekā iekšdedzes dzinēja darbinātiem AEG.

## 2.5 Iedalījums pēc transportēšanas veida.

Autonomā ūdeņraža/kurināmā elementu elektroģeneratora uzbūves skice ar galveno elementu izkārtojumu parādīta 2.1.att.



2.1.att. Autonomā elektroģeneratora uzbūves skice

Šādu konteīnera tipa konstrukciju var uzlikt uz jebkuras mobilās platformas – vai tā ir atsevišķa piekabe (mazākas jaudas sistēmām – vieglā auto piekabe (2.2.att., lielākas jaudas sistēmām – divvasu (2.3.att.) vai pat trīsasu piekabe), vai arī kravas auto kravas kastē (2.4.att.), ar vai bez riteņu bāzes, nodrošinot izcelšanu un iecelšanu darba vietā. Tiek piedāvāti arī AEG uz kravas auto bāzes (2.5.att)



2.2.att. Elektroģenerators uz vieglā auto piekabes



2.3.att. Elektroģenerators uz 4 riteņu bāzes (<http://www.ksdieselgenerator.com/6-4-trailer-gensets/>)



2.4.att. Elektroģenerators auto kravas kastē (<https://www.indiamart.com/proddetail/truck-mounted-silent-generator-19045337533.html>)



2.5.att. Elektroģenerators uzmontēts uz auto <https://www.thepowerline.co.uk/product/200-kva-generator-truck-gs200ob/>

### 3 Pamatojums ūdeņraža izmantošanai pārvietojama enerģijas avota energoapgādei

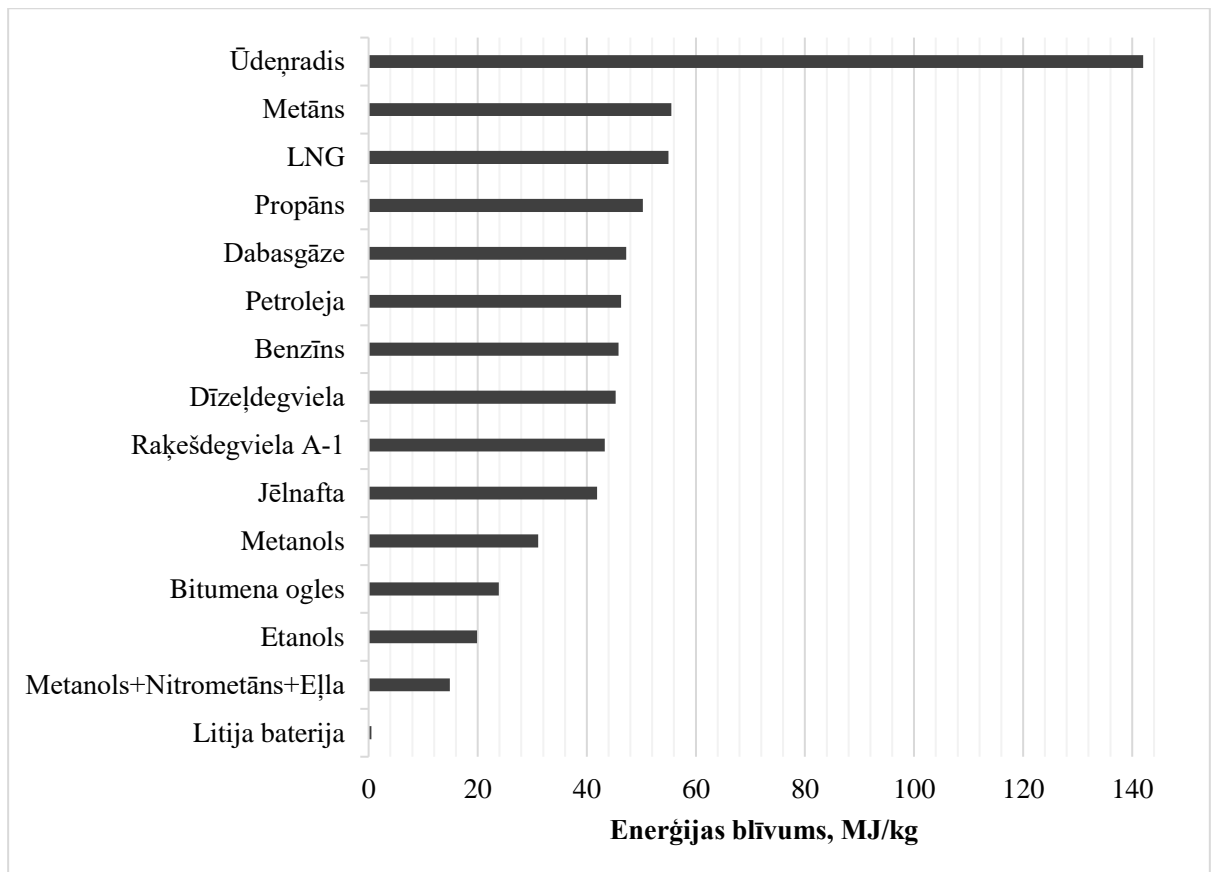
Pārvietojamo energobloku degvielas ir ļoti dažādas – sākot no fosilām degvielām – benzīns, mazuts, dīzeļdegviela, dabas gāze, beidzot ar biovidē iegūtām biodegvielām – biometanos, bioetanolu, biometānu) un noslēdzot ar dažādos veidos – gan no fosilās degvielas, gan no biovides, gan ūdens iegūta ūdeņraža.

#### 3.1 Ūdeņraža priekšrocības enerģētikā.

Energoapgāde, izmantojot ūdeņradi kā degvielu, ir interesants un perspektīvs virziens.

Ūdeņradis piedāvā vairākas priekšrocības kā ģenerators enerģijas avots:

- Augsts enerģētiskais blīvums: (3.1. att.)



### 3.1. att. Energijas blīvuma salīdzinājums enerģijas nesējos

- Ātra uzpilde: Ūdeņradis var tikt uzpildīts ātrāk nekā bateriju uzlāde, samazinot laiku starp braucieniem.
- Nulle emisijas: Ūdeņraža degvielas šūnas rada tikai ūdens tvaiku kā blakusproduktu, padarot to videi draudzīgu.

Tomēr ir arī izaicinājumi, kas saistās ar ūdeņraža degvielas šūnām ģeneratoru energoapgādes sistēmās.

- Ūdeņraža uzglabāšana un transportēšana.
- Augstas ūdeņraža izmaksas un zema pieejamība.
- Kurināmā elementu sistēmas sarežģītība un svars, kas ietver degvielas tvertni, kurināmā elementu un papildu vadības bloku.
- Izturības un darbaspēju problēmas skarbos ekspluatācijas apstākļos (temperatūra, u.c.).

Ūdeņradis ir sprādzienbīstams un prasa speciālus drošības pasākumus, lai novērstu negadījumus. Turklāt ūdeņraža degvielas šūnas pašas ir dārgas un prasa precīzu kontroli, lai optimāli izmantotu enerģiju.

Otrs izaicinājums ir efektivitāte un enerģijas zudumi. Ūdeņraža degvielas šūnu darbības efektivitāte joprojām ir zemāka salīdzinājumā ar tradicionālām akumulatoru sistēmām, kas var ierobežot veiktspēju. Turklāt enerģijas zudumi var samazināt kopējo enerģijas pārveides efektivitāti.

Turklāt infrastruktūras attīstība ir būtiska, lai atbalstītu ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas. Nepieciešams izveidot uzpildes stacijas, kur klienti varētu uzpildīt ūdeņraža degvielu, kā arī nodrošināt uzglabāšanas un apstrādes iekārtas ūdeņraža ražošanai un attīrīšanai.

Lai pārvarētu šīs problēmas, daži pētnieki un ražotāji ir ierosinājuši hibrīdsistēmas, kas apvieno kurināmā elementus ar akumulatoriem un superkondensatoriem, lai optimizētu barošanas sistēmas veiktspēju un efektivitāti.

Pētniecības un attīstības centieni ir vērsti uz:

- Degvielas šūnu efektivitātes uzlabošanu: Degvielas šūnu veiktspējas un enerģijas zudumu samazināšana, lai palielinātu kopējo efektivitāti.
- Ūdeņraža uzglabāšana un transportēšana: Drošība, viegla un kompakta uzglabāšanas risinājumu izstrāde efektīvai transportēšanai un uzstādīšanai.
- Sistēmas integrācija: Optimizēt ūdeņraža degvielas šūnu iekļaušanu transporta sistēmu platformās, nodrošinot saderību un optimālu veiktspēju.

Neskatoties uz šiem izaicinājumiem, ūdeņraža degviela energoapgādē piedāvā daudzas potenciālās priekšrocības, tostarp ilgāku lietošanas laiku, mazākas emisijas un iespēju izmantot vietējus resursus, piemēram, ūdeni. Turpmākā tehnoloģiju attīstība un infrastruktūras uzlabošana varētu palīdzēt pārvarēt šos izaicinājumus un nodrošināt efektīvu un ilgtspējīgu ģeneratoru energoapgādes sistēmu, izmantojot ūdeņradi kā degvielu.

Lai pilnveidotu energoapgādi, izmantojot ūdeņradi kā degvielu, ir nepieciešama turpmāka tehnoloģiju attīstība. Viennozīmīgi svarīgs aspekts ir uzlabot ūdeņraža degvielas šūnu efektivitāti, lai palielinātu enerģijas konversijas procesa efektivitāti. Pētniecība tiek vērsta uz jaunu katalizatoru un membrānu izstrādi, kas varētu uzlabot degvielas šūnu sniegumu un palielināt to noturību.

Papildus tam ir nepieciešama tehnoloģiju attīstība, kas ļautu droši un efektīvi uzglabāt un transportēt ūdeņradi. Inovatīvas ūdeņraža tvertnes, kas nodrošina lielāku energoietilpību un drošu uzglabāšanu, ir nepieciešamas, lai nodrošinātu ilgāku *bezuzpildes* lietošanas laiku. Tāpat arī jāattīsta kompakta un viegla infrastruktūra, piemēram, uzpildes stacijas, kas ļauj ģeneratoriem ātri un efektīvi uzpildīt ūdeņraža degvielas tvertnes.

Turklāt vides faktori ir svarīgi ņemt vērā. Lai maksimāli izmantotu ūdeņraža degvielas potenciālu, nepieciešama videi draudzīga ūdens ieguve un attīrīšana, kā arī ūdens resursu ilgtspējīga pārvaldība. Turpmāka pētniecība jāveic arī attiecībā uz ūdeņraža ražošanas metodēm, kas izmanto atjaunojamo enerģiju, piemēram, saules enerģiju vai vēja enerģiju, lai samazinātu vides ietekmi un veicinātu ilgtspējīgu ģeneratoru darbību.

Šīs tehnoloģiju un infrastruktūras attīstības kopā ar vides apsvērumiem ir svarīgas, lai nodrošinātu ūdeņraža degvielas ģeneratoru energoapgādes sistēmas ilgtspējību un efektivitāti. Tikai turpinot pētniecību un attīstību šajā jomā, mēs varam gaidīt turpmāku progresu un inovācijas, kas nākotnē ļaus izmantot ūdeņradi kā efektīvu degvielu ģeneratoriem, ražojot elektrību.

Potenciālie ūdeņraža degvielas energoģeneratoru pielietojumi:

- Pārvietošanās attāluma pagarināšana: transportlīdzeklim no ārpuses pieslēgts ūdeņraža degvielas energoģenerators nodrošina tālākus pārbraucienus, neveicot transportlīdzekļa pārbūvi.
- Energoapgāde attālinātās teritorijās ar sarežģītu loģistiku: Ūdeņraža degvielas energoģenerators var atbalstīt energoapgādi, īpaši elektroapgādi, teritorijās ar ierobežotu infrastruktūru vai sarežģītu reljefu.

### 3.2 Degvielas šūnas (kurināmā elementi) pārvietojamos elektroģeneratoros.

Kurināmā elementi ir elektroķīmiskas ierīces, kas pārvērš ķīmisko enerģiju no degvielas un oksidētāja elektroenerģijā.

3.1. tabula *Degvielas šūnu tehnoloģiju salīdzinājums*

Degv. šūnas veids	Darbības temperatūra	Izejas jauda	Efektivitāte	Pielietojums
Sārmu (AFC)	90 - 100°C	10 – 1000kW	60 – 70% elektriskā	Militārā joma, Kosmosa izpēte
Fosfora skābes (PAFC)	150 - 200°C	50 kW – 1MW (250kW tipiskā)	80 – 85% kopējā (36 – 42% elektriskā)	Ražošana izplatīšanai



Polimēra Elektrolīta Membrānas (PEM)	50 - 100°C	<250kW	50 – 60% elektriskā	Rezerves enerģija, pārnēsājamā enerģija, enerģija nelielam patēriņam, transports
Lietā karbonāta (MCFC)	600 - 700°C	<1MW (250kW tipiskā)	85 % kopējā (60% elektriskā)	Elektroenerģijas pakalpojumi, liela apjoma patēriņiem
Cietā oksīda (SOFC)	650 - 1000°C	❖ 5kW – 3MW	85 % kopējā (60% elektriskā)	Papildu enerģija, Elektroenerģijas pakalpojumi, liela apjoma enerģijas ģenerēšana

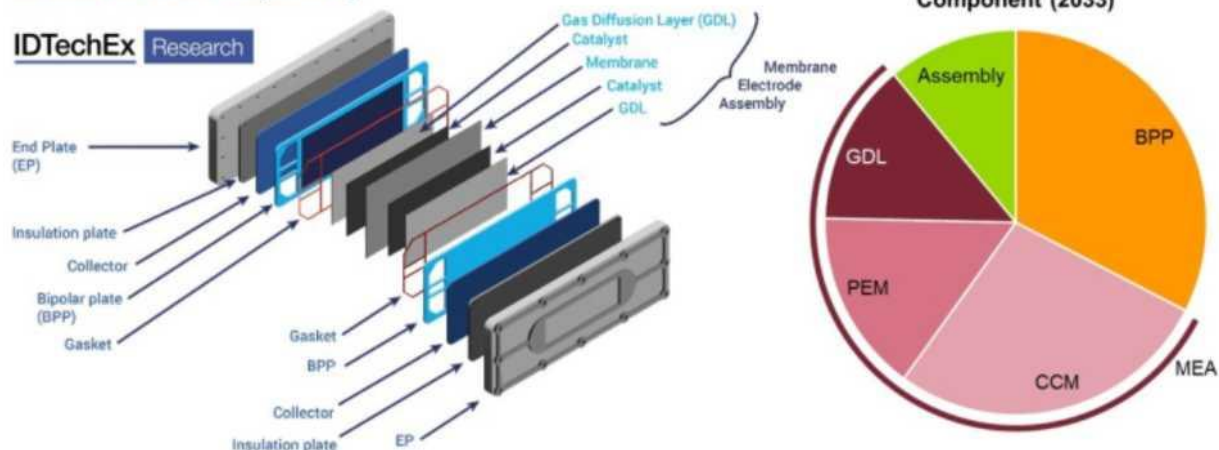
Vislabākos rezultātus degvielas šūnu tipoloģijā ģeneratoru enerģijas nodrošināšanai ir protonu apmaiņas membrānas degvielas šūnas (PEMFC) un cietā oksīda degvielas šūnas (SOFC).

### 3.3 Protonu apmaiņas membrānas degvielas šūnas (PEMFC):

Priekšrocības:

- Ātra sākšanas un reakcijas laiks, piemērotas dinamiskai darbībai.
- Augsts jaudas blīvums un efektivitāte, nodrošina pietiekamu enerģiju.
- Darbojas pie salīdzinoši zemām temperatūrām, ļaujot izveidot kompaktus un vieglus dizainus.
- Piemērotas dažādiem pielietojumiem, tostarp transportam.

### Exploded Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)



3.2.att, PEM kurināmo elementu (PEMFC) tirgus prognoze 2033. gadam (<https://hydrogen-central.com/materials-pem-fuel-cells-exceed-a-market-value-us7-billion-2033-says-idtechex/>)

Trūkumi:

- Nepieciešama tīra ūdeņraža degviela, kas ierobežo degvielas avotu iespējas.
- Jūtīgas pret piesārņojumu un prasa rūpīgu attīrīšanu.
- Salīdzinoši īss kalpošanas laiks salīdzinājumā ar citiem degvielas šūnu veidiem.

### 3.4 Cietā oksīda degvielas šūnas (SOFC):

Priekšrocības:

- Augsta efektivitāte un degvielas pielāgojamība.
- Spēj izmantot dažādas degvielas, ieskaitot ūdeņradi, dabasgāzi un biogāzi.
- Piemērotas stacionārās enerģijas ražošanas lietojumiem.
- Ilgs kalpošanas laiks un izturība.

Trūkumi:

- Nepieciešamas augstas darba temperatūras (parasti virs 800°C).
- Lēna startēšana un reaģēšanas laiks.
- Dārgi materiāli un ražošanas procesi.

### 3.5 Sārmzemju metālu degvielas šūnas (AFC):

Priekšrocības:

- Augsta efektivitāte un jaudas blīvums.
- Izmanto nemetālisko katalizatoru, samazinot izmaksas.
- Darbojas ar ūdeņradi un citām degvielām, piemēram, amonjaku.

Trūkumi:

- Nepieciešama tīra ūdeņraža degviela un kāliju hidroksīda elektrolīts.
- Jūtīgas pret CO<sub>2</sub> un citiem piesārņojumiem.
- Salīdzinot ar citiem degvielas šūnu veidiem, kalpošanas laiks ir īsāks.
- Ierobežots pielietojumu spektrs.

### 3.6 Tiešā metanola degvielas šūnas (DMFC):

Priekšrocības:

- Vienkāršāka degvielas uzglabāšana

Trūkumi

- Zemāka efektivitāte salīdzinājumā ar ūdeņraža degvielas šūnām.
- Metanola migrācija var samazināt veiktspēju.
- Katalizatora piesārņošana ar metanola nešķīstībām.
- Darbības izmaksas, saistītas ar metanola piegādi.

### 3.7 Izkausētu karbonātu degvielas šūnas (MCFC):

Priekšrocības:

- Augsta efektivitāte, īpaši lielapjoma enerģijas ražošanai.
- Spēj izmantot dažādas degvielas, ieskaitot ūdeņradi, dabasgāzi un biogāzi.
- Oglekļa dioksīdu var noņemt un izmantot procesā.

Trūkumi:

- Nepieciešamas augstas darba temperatūras (parasti ap 600-700°C).
- Lēns startēšanas laiks un problēmas ar termisko vadību.
- Pakļautas oglekļa noklājumiem un korozijai.
- Ļoti svarīgi izvēlēties atbilstošu degvielu.

Gan PEMFC, gan SOFC ir savas priekšrocības un trūkumi attiecībā uz elektroģeneratora enerģijas nodrošināšanu. Kamēr PEMFC piedāvā ātru reakcijas laiku un augstu jaudas blīvumu,

SOFC nodrošina degvielas elastību un ilgu kalpošanas laiku. Izvēle starp abiem tipiem ir atkarīga no konkrētām ģeneratoru prasībām, piemēram, enerģijas pieprasījuma, darbības apstākļu un degvielas pieejamības faktoriem.

Hibrīda sistēma, kas apvieno kurināmā elementu un akumulatoru, var uzlabot elektroģeneratora sistēmas veiktspēju un uzticamību. Akumulators var nodrošināt maksimālo jaudu, savukārt degvielas šūna var nodrošināt vienmērīgu jaudu. Akumulators var darboties arī kā rezerves akumulators degvielas elementa atteices gadījumā.

## 4 Mobilā Ūdeņraža ģenerators prototipa izstrādes plāns

### 4.1 Pētījuma priekšmets

Iekšdedzes ģeneratori pašreizējā laika posmā plaši tiek pielietoti dažādās nozarēs, pateicoties to salīdzinoši zemajām ekspluatācijas izmaksām un ekspluatācijas vienkāršumam. Iegādājoties iekšdedzes ģeneratoru, cena ir salīdzinoši zemāka par elektrības kabeļa ievilkšanu vietās, kur elektrība ir nepieciešama steidzami un uz konkrētu laiku.

Vadošā loma šeit ir tieši dīzeļģeneratoriem, kam enerģijas avots ir dīzeļdegviela. Taču ģeneratoru izstrādātāji piedāvā izmantot arī ar benzīnu, dabasgāzi un dīzeļa darbināmus ģeneratorus.

Visbiežāk pieminētais kritērijs, kuru ekspluatanti piemin kā faktoru, kas ierobežo ģenerators veiktspēju, ir degvielas apjoms, ko lielā mērā nosaka konkrētā ģenerators lielums. Jo lielāka bākas kapacitāte, jeb ietilpība, jo retāk konkrētajam ģeneratoram būs jāpildās, lai varētu ģenerators nodrošināt elektrības apjomu nepārtraukti, kas savukārt arī ietekmē šī ģenerators izmērus un lielumus.

Jāpiemin arī fakts, ka iekšdedzes dzinēju ģeneratoriem darbības procesā rodas CO<sub>2</sub> izmeši, kas šobrīd ļoti aktuāli ir Eiropas Savienībā, jo šobrīd aktīvi tiek strādāts pie tā, kā šos CO<sub>2</sub> izmešus samazināt.

Šo iemeslu rezultātā arvien lielāku uzmanību piesaista tehnoloģijas, kas ļautu izmantot ar ūdeņradi darbināmus ģeneratorus. Ja ģenerators darbināšanai kā enerģijas avotu izmanto ūdeņradi, kas ir ļoti viegls, efektīvo darbības laiku izdotos palielināt 2-3 reizes.

Ja ģeneratorus klasificē pēc pielietojuma, tad visizplatītākie un pieejamākie ir mobilie, jeb klusie ģeneratori. Kā jau vēsta nosaukums, šāda veida ģeneratori ir vieglāki (salīdzinot ar stacionāriem), pilnīgi droši lietošanā, uzticami un klusi. Šīs īpašības ļauj ģeneratorus izmantot dzīvojamo māju pagalmos – saimnieciskām vajadzībām, piemēram, īslaicīga elektrības padeves pārtraukuma gadījumā. Šāda veida ģeneratori parasti ir dīzeļdegvielas un ir lieliski piemēroti kā pagaidu elektroapgādes risinājums būvlaukumos vai citos objektos, kur elektroapgāde netiek piegādāta vai īslaicīgi pārtraukta.

Kā nākamie jāpiemin stacionāri ģeneratori. Tie ir lieli, ļoti smagi, parasti ļoti jaudīgi ģeneratori, kurus izmanto, kad nepieciešamas lielas elektroenerģijas jaudas uz ilgāku laiku. Šie ģeneratori tiek izvēlēti dažādu projektu īstenošanai, piemēram, būvniecībā.

Bez šaubām ģeneratorus arī iedala pēc degvielas veida, viena no izplatītākajiem ir dīzeļģeneratori. Tie ir vismazāk uzliesmojoši, salīdzinot ar cita veida ģeneratoriem. Tos parasti raksturo tādas priekšrocības kā izturība, efektivitāte (efektīvi darbojas ilgu laiku), vienkārša darbība, drošība. Tā ir diezgan ekonomiska izvēle. Pateicoties to konstrukcijai – bez aizdedzes

svecēm un karburatora – dīzeļģeneratoriem nav nepieciešama liela apkope, to uzturēšanas izmaksas ir zemas. Viss, kas nepieciešams šāda veida ģeneratora apkopei, ir regulāra eļļas maiņa. Dīzeļģeneratori ir ideāli piemēroti, ja liela jauda nepieciešama lieliem projektiem.

Svarīgu lomu ģeneratoru vidū ieņem arī gāzes ģeneratori. Gāzes ģeneratori. Šie ģeneratori ir pieejami dažādos modeļos ar dažādām saražotās gāzes daudzuma īpašībām. Tieši gāzes ģeneratori tiek uzskatīti par vieni no uzticamākajiem, jo tie tiek ražoti atbilstoši starptautiskajiem kvalitātes standartiem. Daži ražotāji piedāvā tādus ģeneratorus, kas izmanto ne tikai dabasgāzes degvielu, bet arī degvielu no atjaunojamiem energoresursiem (biogāze). Bez kapitālā remonta šos ģeneratorus var izmantot astoņus gadus un dažreiz pat ilgāk. Gāzes ģeneratori ir ļoti autonomas energoapgādes sistēmas veids, kas lieliski piemērots lietošanai iekārtās, kas savienotas ar centralizētiem gāzes apgādes tīkliem vai uzglabāšanas sistēmām. Tā kā gāzes ģeneratori izdala ļoti maz piesārņotāju, tos uzskata par videi draudzīgiem.

Visbeidzot jāpiemin *benzīna ģeneratori*. Benzīna ģeneratori. Šis ir viens no labākajiem ģeneratora veidiem, kas meklē visekonomiskāko un vienkāršāko variantu. Tirgū šo ģeneratoru cena ir viena no zemākajām salīdzinājumā ar citiem ģeneratoru veidiem. Šie ģeneratori ir maza izmēra un kompakti. To galvenā iezīme ir tā, ka tos var nēsāt un pārvietot no vienas vietas uz otru. Tiesa, šī priekšrocība ir atkarīga no ģeneratora jaudas.

Benzīna ģeneratori ir ideāli piemēroti neliela apjoma darbiem. Tie ir piemēroti gan lietošanai mājās (garāžās, fermās u.c.), gan darbam (būvlaukumos, kempingos u.c.).

## 4.2 Pētījuma ierobežojumi

Pie pētījuma ierobežojumiem pirmkārt jāpiemin tas, ka aprēķini tika veikti pie nosacījuma, ka mobilā ūdeņraža ģeneratora darbību neietekmē dažādi ārējie apstākļi. Piemēram, vēja brāzmas gaisa temperatūra, kas būtiski var ietekmēt ģeneratora veikspēju. Lai praktiski pārbaudītu aprēķinus, būtu nepieciešamā prototipa izgatavošana un testēšana dažādos ekspluatācijas režīmos un vides apstākļos.

Aprēķinot pašizmaksu, komponentu cena tika noteikta pēc šī brīža aktuālā piedāvājuma.

Pašlaik ražotāji dažādu uzdevumu veikšanai pārsvarā piedāvā pilnībā nokomplektētus ūdeņraža ģeneratorus. Ģeneratoriem kas darbināmi ar dīzeļdegvielu, tehniskie parametri atkarīgi no prasībām, kas ir svarīgas konkrētajā pielietojuma sfērā. Šādu ģeneratoru cenu nosaka ģeneratora jauda un izmēri, efektīvais darba ilgums utt. Šo apstākļu rezultātā dažādu modeļu cenu piedāvājuma amplitūda atrodas robežās no 5000 līdz 400000 EUR.

### 4.3 Pētījuma rezultāti

- No pētījuma laikā veiktajiem aprēķiniem var secināt, ka mobilā ūdeņraža ģeneratora priekšrocības salīdzinājumā ar dīzeļģeneratoriem izpaužas, ka tam CO<sub>2</sub> izmeši ir 0.
- Izmantojot ūdeņradi, ūdeņraža ģenerators, ekspluatācijas izmaksas būs mazākas nekā dīzeļģeneratoram.
- Darbības ilgums ir atkarīgs no Ūdeņraža balonu apjoma un skaita..
- Samazinot elektrības izejošo jaudu ir iespējams palielināt H<sub>2</sub> degvielas tvertni un paildināt darbības ilgumu.
- Strādājot pie dažādām slodzēm lietderība nesamazinās.
- Trokšņu līmenis būtiski samazinās salīdzinājumā ar dīzeļģeneratoru.

### 4.4 Izmēru salīdzinājums

Tika veikts vienādu elektrisko parametru – 800 kWh ietilpības AEG ar izejas jaudu 100 kW dažādu veidu sistēmu fizikālo parametru salīdzinājums. Tika salīdzinātas gan kopējās masas, gan izmēri.

Rezultāti ir sekojoši:

- 100 kW iekšdedzes elektroģenerators:

Jauda: 100 kW.

Degvielas tvertne 800 kWh

Dimensijas (aptuveni):

Augstums: vidēji apmēram 1,5 metri.

Garums: Ap 2–3 metriem.

Platums: Ap 1–1,5 metriem.

Masa: Atkarīgs no konkrētā modeļa, bet vidēji apmēram 1,5–2 tonnas.

- 800 kWh bateriju/invertora sistēma ar 100 kW izejas jaudu:

Jauda: 100 kilovati (kW).

Enerģijas uzglabāšanas ietilpība: 800 kWh.

Dimensijas (aptuveni):

Augstums: Ap 2–2,5 metriem.

Garums: Ap 3–4 metriem.

Platums: Ap 1,5–2 metriem.

Masa: Atkarīgs no bateriju veida, bet vidēji apmēram 4–5 tonnas.

- Ūdeņraža PEM Fuel cell invertora sistēma ar 800 kWh enerģiju un 100 kW izejas jaudu:

Jauda: 100 kilovati (kW).

Enerģijas uzglabāšanas ietilpība: 800 kilovatstundas (kWh).

Dimensijas (aptuveni):

Augstums: Ap 2–2,5 metriem.

Garums: Ap 3–4 metriem.

Platums: Ap 1,5–2 metriem.

Masa: Atkarīgs no konkrētā modeļa, bet vidēji apmēram 2 tonnas.

Kā rāda salīdzinošie dati, bateriju/invertora sistēma ir vissmagākā (4.5 000 kg), un tai nepieciešama regulāra transportēšana uz uzlādes vietu.

Iekšdedzes dzinēja AEG ir viskompaktākā, visplašāk zināmā, tomēr tās pielietojumu ierobežo gan kaitīgie izmeši, gan fosilās degvielas pielietojšana.

Šajā salīdzinājumā visefektīvākā ir ūdeņraža kurināmā elementu/ invertora sistēma – tā ir videi draudzīga, ar minimālu piesārņojumu apkārtējai videi, un ar iespēju precīzi vadīt un efektīvi izmantot.

## 5 Tirgus izpēte un ūdeņraža ģeneratora koncepcija (Tehniski ekonomiskā priekšizpēte)

Latvijā, aptaujājot industriālo ģeneratoru nomas, būvniecības un elektroinženieru uzņēmumus, esam ieguvuši šādu informāciju:

1. Aptuveni 3000 ģeneratori ar jaudu 100 kW ir īpašumā būvniecību un elektroinženieru uzņēmumos, lai būtu iespēja nodrošināt rezerves jaudas,

2. Šobrīd aktīvi tiek izmantoti nomā aptuveni 2000 ģeneratori ar jaudu 100 kW,

3. Pamatā šādus ģeneratorus izmanto būvniecības un industriālos objektos.

Līdz ar to pēc šo datu analīzes mēs varam apgalvot, ka ūdeņraža ģeneratoram ir liels tirgus potenciāls, jo Latvijā šobrīd ir aptuveni 5000 ģeneratori ar jaudu 100 kW. No pētījuma laikā veiktajiem aprēķiniem var secināt, ka ar ūdeņraža degvielas šūnu darbināmu ģeneratoru priekšrocības



salīdzinājumā ar dīzeļģeneratoriem izpaužas, ka tie neražo CO<sub>2</sub> izmešus un nerada nekādus trokšņus. Izmantojot ūdeņraža degvielas šūnas, ģenerators ar 100 kW jaudu var strādāt 24 stundas ar vienu uzpildi un gadā ietaupa līdz 46 tonnām CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> ietaupījums ir atkarīgs no tā, cik bieži lieto. Savukārt mobilās piekabes svaru ir iespējams palielināt H<sub>2</sub> degvielas tvertnei un tādējādi var nodrošināt ilgāku ūdeņraža ģenerators darbību.

## 5.1 Ūdeņraža ģenerators piekabes parametru aprēķini

Šajā nodaļā tiks veikts aprēķins, lai noskaidrotu ūdeņraža ģenerators piekabes darba ilgumu standarta jaudai – 100 kW sistēmai.

Tika definēti vienoti elektroenerģijas nodrošināšanas (izejas) parametri. Tie ir sekojoši:

- 100 kW izejas jauda (elektroenerģija);
- 8 stundu darba diena ar vidējo noslodzi 80%;
- Regulārs pielietojums - 245 dienas gadā.
- Uzpilde/transportēšana uz un no uzpildes vietas notiek ārpus darba laika (tā tiek ierēķināta izdevumos, bet ne darba laikā);
- Specifiski bateriju sistēmai – baterijas nomaiņa pēc 1000 uzlādes cikliem (baterijas cena 150 EUR/kWh)

## 5.2 Tehniskais projekts

Mobilā ūdeņraža ģenerators pārbūve, lai tas darbotos ar ūdeņraža kurināmā elementiem, ir sarežģīts process, kas prasa rūpīgu plānošanu, inženierzinātnes un rūpīgu izpratni par darbības un drošības apsvērumiem, kas saistīti ar ūdeņraža tehnoloģiju. Ir svarīgi sadarboties ar šīs jomas ekspertiem un visā procesā ievērot drošības standartus un noteikumus.

Šeit ir sniegts piemērs secīgai tehniskā projekta pasūtījuma izveidei.

### 1. darbība. Priekšizpētes novērtējums

Mērķis: Novērtēt iespēju pārveidot ģenerators par ūdeņraža kurināmā elementu jaudu.

Uzdevumi:

- Novērtēt ūdeņraža ģenerators ūdeņraža enerģijas vajadzības.
- Nosakiet ūdeņraža kurināmā elementu piemērotību konkrētajam pielietojumam.
- Analizējiet esošo ģenerators komponentu saderību ar ūdeņraža pārveidi.

### 2. darbība. Dizains un komponentu izvēle

Mērķis: Izstrādājiet ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu un atlasiet komponentus. Uzdevumi:

- Dizaina modifikācijas, lai pielāgotos ūdeņraža kurināmā elementu ģenerators.

- Izvēlieties atbilstošu kurināmā elementu sistēmu, ūdeņraža uzglabāšanas sistēmu un palīgkomponentus.
- Optimizējiet ģenerators rāmi.

3. darbība: integrācija un prototipēšana

Mērķis: integrēt ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu ģeneratorā un izveidot prototipu.

Uzdevumi:

- Izveidojiet modificētā mobilā ūdeņraža ģenerators prototipu ar degvielas šūnu sistēmu.
- Kurināmā elementa vadības un vadības sistēmas izstrāde.
- Veiciet saderības pārbaudi, lai nodrošinātu pareizu integrāciju.

4. darbība. Drošība un atbilstība normatīvajiem aktiem

Mērķis: Nodrošināt drošu darbību un atbilstību noteikumiem. Uzdevumi:

- Ieviest drošības pasākumus darbam ar ūdeņradi un noplūžu konstatēšanai.
- Pārbaudiet atbilstību tehnisko iekārto drošībai.

5. darbība: testēšana un apstiprināšana

Mērķis: veikt plašu testēšanu, lai apstiprinātu ar ūdeņradi darbināma ģenerators veiktspēju un

drošību. Uzdevumi:

- Veiciet testus, lai novērtētu kurināmā elementa efektivitāti un stabilitāti.
- Veiciet elektrības nodrošināšanu kontrolētā vidē.
- Pārbaudiet un vāciet datus par sistēmas veiktspēju, tostarp energoefektivitāti un darbības parametriem.

6. darbība: infrastruktūra un degvielas uzpilde

Mērķis: izveidot ūdeņraža uzpildes infrastruktūru. Uzdevumi:

- Iestatiet vai piekļūstiet uzticamam ūdeņraža piegādes avotam.
- Izstrādāt mobilā ūdeņraža ģenerators degvielas uzpildes protokolus un aprīkojumu.

7. darbība: datu vākšana un analīze

Mērķis: analizēt reālās pasaules veiktspējas datus. Uzdevumi:

- Apkopojiet datus par darbības diapazonu, izturību un efektivitāti.
- Analizējiet datus, lai noteiktu optimizācijas un uzlabojumu jomas.

8. darbība: mērogošana un lietojuma multiplicēšana

Mērķis: apsveriet jaunizveidotā ģenerators izmantošanu īpašām misijām papildus plānotajam.

Uzdevumi:

- Novērtējiet izveidotās tehnoloģijas mērogojamību ģenerators lietojumprogrammām.
- Izpētiet iespējas palielināt ražošanu, ja tas tiek uzskatīts par rentablu.

9. darbība: nepārtraukta uzlabošana

Mērķis: nepārtraukti pilnveidot tehnoloģiju. Uzdevumi:

- Iekļaujiet operatoru atsauksmes, lai uzlabotu dizainu un veiktspēju.
- Esiet informēts par sasniegumiem ūdeņraža kurināmā elementu tehnoloģijā.

### 5.3 Tehniskā projekta elementi

Ģenerators pārbūve un pilnveide, lai tas darbotos ar ūdeņraža kurināmā elementu barošanas bloku, ir sarežģīts tehnisks projekts, kas ietver vairākas galvenās sastāvdaļas un apsvērumus. Tā sastāvā jābūt sekojošiem elementiem un sastāvdaļām.

- Ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas integrācija
  - Ūdeņraža kurināmā elementu sistēmas projektēšana un integrēšana ģenerators enerģosistēmā.
  - Nodrošināt degvielas šūnas savietojamību un efektivitāti ar ģenerators elektriskajām sastāvdaļām.
- Ūdeņraža uzglabāšana
  - Piemērotas ūdeņraža uzglabāšanas tehnoloģijas izvēle, piemēram, augstspiediena tvertnes vai cietvielu uzglabāšana.
  - Izvēlētajās uzglabāšanas metodes integrācija ģenerators rāmī, vienlaikus nodrošinot drošību.
- Kurināmā elementu jaudas elektronika
  - Jaudas elektronikas izstrāde sprieguma un strāvas regulēšanai no kurināmā elementa atbilstoši ģenerators prasībām.
  - Jaudas pārvaldības sistēmas ieviešana netraucētai enerģijas ražošanai.
- Ūdeņraža degvielas uzpildes infrastruktūra
  - Ģenerators un efektīvas ūdeņraža uzpildes sistēmas izveide ģenerators.
  - Pārnēsājamas vai uz vietas esošās degvielas uzpildes iespēju apsvēršana.
- Drošības un noteikumu ievērošana
  - Drošības standartu un noteikumu ievērošana ar ūdeņraža kurināmā elementiem darbināmiem ģenerators, tostarp apstrādi, uzglabāšanu un transportēšanu.
  - Sadarbība ar attiecīgajām regulatīvajām iestādēm sertifikācijas jomā.
- Svara un līdzsvara optimizācija
  - Rūpīgi apsveriet svara sadalījumu un līdzsvaru, lai saglabātu transportēšanas stabilitāti un veiktspēju (konstruktīvi precīzi aprēķināts svara sadalījums un līdzsvarošana, īpaši uz piekabes vai kravas kastē novietotam AEG, ir ārkārtīgi svarīgs tā iemesla dēļ, ka

degvielas šūnas un ūdeņraža balonu nepareiza izvietojuma gadījumā transportēšana laikā var notikt avārijas, Tas nosaka arī prasības AEG transportēšanas sistēmai – tās veiktspējai, konstrukcijai, prasībām transportēšanai un novietošanai.)

- Strukturālas modifikācijas, lai pielāgotos jaunajiem komponentiem.
- Veiktspējas pārbaude un optimizācija
  - Stingra ar ūdeņraža kurināmā elementu darbināma ģenerators pārbaude veiktspējai, izturībai un efektivitātei. AEG veiktspējas, izturības un efektivitātes pārbaudes ir īpaši svarīgas, ja notiek biežas tā pārvietošanas pa dažādiem ceļiem ar dažādiem transporta līdzekļiem – autonomā energoapgāde ir galvenokārt nepieciešama vietās, kurās nav ne labu ceļu, nedz stabilu pārvadāšanas ierīču. Šādā vidē strādājošie AEG ir pakļauti pastiprinātām vibrācijām, triecienslodzēm, un deformācijām.
  - Komponentu un sistēmu iteratīva optimizācija maksimālai veiktspējai.
- Ietekmes uz vidi novērtējums
  - Novērtējiet un kvantificējiet ar ūdeņraža kurināmā elementiem darbināma ģenerators izmantošanas ieguvumus videi salīdzinājumā ar tradicionālajiem ģeneratoriem.
  - Apsveriet dzīves cikla analīzi un oglekļa pēdas samazināšanu.
- Izmaksu analīze
  - Novērtējiet kopējās ūdeņraža kurināmā elementa ģenerators atjaunošanas, darbības un apkopes izmaksas.
  - Salīdziniet izmaksu efektivitāti ar citiem enerģijas avotiem.
- Dokumentācija un atskaites
  - Saglabājiet rūpīgu dokumentāciju par visu atjaunošanas procesu, tostarp projekta specifikācijas, testu rezultātus un drošības protokolus.
  - Sagatavojiet visaptverošu ziņojumu, kurā apkopoti projekta rezultāti.

#### 5.4 Ūdeņraža ģenerators pārbūves risinājumi

Ģenerators pāreja no iekšdedzes enerģijas uz ūdeņraža kurināmā elementu jaudu ietver vairākus soļus, tostarp konstrukcijas modifikācijas, sistēmas integrāciju un drošības apsvērumus. Tālāk ir sniegts pārskats par galvenajiem soļiem, kas saistīti ar ģenerators atjaunošanu ūdeņraža kurināmā elementu jaudai:

- Iespējamības novērtējums:

Novērtējiet iespēju pārveidot ģenerators par ūdeņraža kurināmā elementu jaudu. Apsveriet tādus faktoros kā misijas prasības, darbīgums un pieejamā infrastruktūra ūdeņraža piegādei.

- Dizaina modifikācijas:

Pārveidojiet ģenerators enerģijas sistēmu, lai pielāgotos ūdeņraža kurināmā elementam, kas ietver rāmja, elektrības ražošanas sistēmas un jaudas sadales modifikācijas.

- Ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas izvēle:

Izvēlieties piemērotu ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu, pamatojoties uz ģenerators jaudas vajadzībām, izmēru un svara ierobežojumiem. Apsveriet tādas faktorus kā kurināmā elementu efektivitāte un ūdeņraža uzglabāšana.

- Ūdeņraža uzglabāšana un izplatīšana:

Izstrādājiet un integrējiet ūdeņraža uzglabāšanas sistēmu, kas ir savietojama ar ģenerators izmēra un svara ierobežojumiem. Tas var ietvert augstspiediena vai cietvielu ūdeņraža uzglabāšanas metodes.

- Sistēmas integrācija:

Integrējiet ūdeņraža kurināmā elementu sistēmu ģeneratorā, tostarp degvielas elementu dzesēšanas un tvaika izplūdes sistēmu, ūdeņraža krātuvi un nepieciešamās vadības un kontroles ierīces.

- Kontroles un vadības sistēmas:

Izstrādāt vai pārveidot kontroles un vadības sistēmas, lai nodrošinātu drošu un efektīvu degvielas šūnas darbību, tostarp jaudas regulēšanas, palaišanas un izslēgšanas procedūras.

- Drošības pasākumi:

Ieviesiet drošības protokolus ūdeņraža degvielas lietošanai un uzglabāšanai, jo ūdeņradis ir uzliesmojošs. Tas ietver noplūdes noteikšanas un avārijas izslēgšanas procedūras.

- Testēšana un apstiprināšana:

Veiciet plašu testēšanu, lai apstiprinātu ar ūdeņradi darbināma ģenerators veiktspēju, efektivitāti un drošību. Pārlicinieties, vai pārveidotais ģenerators atbilst ekspluatācijas prasībām.

- Darbības pārbaude:

Veiciet darbības testus kontrolētos apstākļos, lai novērtētu ģenerators veiktspēju, darbības laiku un izturību ar ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu.

- Efektivitātes optimizācija:

Nepārtraukti uzlabojiet sistēmu optimālai efektivitātei, ņemot vērā tādas faktorus kā ūdeņraža patēriņa līmenis, enerģijas ražošana darbības laikā un kopējais darba ilgums.

- Infrastruktūras apsvērumi:

Nodrošināt piekļuvi uzticamam ūdeņraža avotam, kas var ietvert piegādes ķēdes izveidi vai nodrošināšanu ūdeņraža uzpildīšanai.

- Atbilstība normatīvajiem aktiem:

Ievērojiet valsts un ES ieviestos noteikumus un normatīvus (piemēram UNECE R 134), kas attiecas uz ūdeņraža uzglabāšanu, transportēšanu un ģenerators darbībām. Iegūstiet visas nepieciešamās atļaujas vai sertifikātus.

- Apkope un apmācība:

Izstrādāt ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas apkopes procedūras un nodrošināt apmācību ģenerators operatoriem un apkopes personālam.

- Uzraudzība un datu vākšana:

Ieviesiet sistēmas, lai uzraudzītu ģenerators veiktspēju un apkopotu datus par degvielas elementu efektivitāti, apkopes vajadzībām un vispārējo lietojuma statistiku. (Darba laika un darba režīmu uzskaitē un tālāka rezultātu analīzē ļauj novērtēt gan AEG darba mūžu, gan arī nepieciešamos pilnveides soļus. Turklāt var tikt izvērtēta arī izmantotā AEG atbilstība katrā konkrētā darba vietā (jauda, ūdeņraža balonu tilpums, u.c.), kas ļauj novērtēt tā efektivitāti un var būt par pamatu lēmumu pieņemšanai AEG izvēlē un lietošanā.

- Izmaksu un ieguvumu analīze:

Veiciet izmaksu un ieguvumu analīzi, lai novērtētu ar ūdeņradi darbināma ģenerators ekonomisko dzīvotspēju, ņemot vērā tādus faktorus kā sākotnējais ieguldījums, ekspluatācijas izmaksas un iespējamie ieguvumi (piemēram, samazināts CO<sub>2</sub> izmešu apjoms un trokšņu līmenis).

- Izvietošana un mērogošana:

Kad ar ūdeņradi darbināmā ģenerators prototips ir veiksmīgi izstrādāts, apsveriet izvietošanu konkrētām misijām vai lietojumprogrammām un izpētiet iespējas palielināt ražošanu, ja tas tiek uzskatīts par rentablu.

Nepārtraukti meklējiet iespējas uzlabot ģenerators dizainu, efektivitāti un drošību, pamatojoties uz reāliem veiktspējas datiem un operatoru atsauksmēm.

## 5.5 Ūdeņraža ģenerators prototipa projekts

Lai izstrādātu ar ūdeņraža ģenerators elektrības ražošanai, nepieciešamas konstruktora un dizainera zināšanas, lai izveidotu sākotnējo dizainu un skices. Šis novatoriskais mobilais ūdeņraža ģenerators kā primāro enerģijas avotu izmantos ūdeņraža kurināmā elementus, piedāvājot elektrību un uzlabotu ilgtspējību. Lūdzu, skatiet tālāk norādīto uzdevumu un ierobežojumu sarakstu šajā projektēšanas fāzē. Uzdevumi:

1. Konceptuālais dizains:

Izstrādāt ar ūdeņraža kurināmā elementu darbināma ģenerators konceptuālu dizainu, ilustrējot tā vispārējo struktūru, galvenās sastāvdaļas un ūdeņraža kurināmā elementu veidus, uzglabāšanas un elektrības ražošanas sistēmas.

2. Konfigurācijas izkārtojums:

Izveidot ģenerators sastāvdaļu izkārtojumu, skaidri parādot ūdeņraža degvielas elementu, ūdeņraža uzglabāšanas, vadību, baterijas un vadības sistēmu izvietojumu.

### 3. Energosistēmas integrācija:

Sniegt skices, kurās sīki aprakstīts, kā ūdeņraža kurināmā elementu sistēma integrējas ar ģenerators jaudas sadali, tostarp strāvas kabeliem un savienojumiem.

### 4. Drošības līdzekļi:

Dizainā iezīmēt drošības elementus un avārijas izslēgšanas mehānismus, uzsverot drošu apiešanos ar ūdeņradi un noplūžu vai ugunsgrēku novēršanu.

### 5. Ārējais izskats:

Iesniegt uzmetuma skices, kas attēlo ģenerators ārējo izskatu, uzsverot estētiku un zīmola apsvērumus.

Ierobežojumi:

- Svara ierobežojums:

Lai nodrošinātu optimālu darbības veiktspēju, ģenerators kopējais svars, ieskaitot ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu, nevajadzētu pārsniegt 1800 kg, lai to būtu iespējams pārvietot lietotājs ar B kategorijas vadītāja apliecību. Ļoti svarīgi faktori transportēšanas gadījumā – jaudas un masas attiecības, kā arī transportlīdzekļa izvēles pamatošanai

- Izmēra ierobežojumi:

Ģenerators kopējiem izmēriem ir jāatbilst maksimālajam garumam, platumam un augstumam [norādīt izmērus] cm, lai nodrošinātu pārvietojamību (ietilpst krava skastē, piekabē, nepārsniedz noteiktus gabarītus transportēšanai pa ceļiem, u.c.) un ērtu lietošanu. Ļoti svarīgi faktori transportēšanas gadījumā – jaudas un masas attiecības, kā arī transporta līdzekļa izvēles pamatošanai)

- Ūdeņraža drošība:

Ūdeņraža uzglabāšanas un kurināmā elementu sastāvdaļām jāatbilst stingriem drošības standartiem, un konstrukcijā jāiekļauj līdzekļi, kas novērš ūdeņraža noplūdi.

- Darbības ilguma prasība:

Ņemot vērā ekspluatācijas prasības, projektā būtu jātiecas uz minimālo darbības ilgumu [norādīt ilgumu] stundas ar vienu ūdeņraža kurināmā elementa uzlādi.

- Atbilstība normatīvajiem aktiem:

Nodrošināt, lai dizains atbilstu katrā attiecīgajā darba vietā noteiktajiem darba drošības noteikumiem un drošības standartiem, tostarp tiem, kas saistīti ar ūdeņradi darbināmiem ģeneratoriem.

- Izmaksu ierobežojumi:

Projektēšana noteiktā budžeta ietvaros prototipa izstrādei, ņemot vērā rentablus materiālus un sastāvdaļas.

## 5.6 Autonomā elektroģeneratora elementu bāze

Polimēru Elektrolītu Membrānu Kurināmie elementi ļauj bez kustīgām detaļām tiešā veidā iegūt elektroenerģiju un siltuma enerģiju, izmantojot augstas tīrības vienas komponentes gāzi. H<sub>2</sub> ir vienīgais bezemisiju enerģijas pārveidotājs, kuru iespējams integrēt dažādās sistēmās ar ātru ieslēgšanās laiku, kā arī tās iespējams kombinēt lielas kopējās enerģijas sistēmas.



### 5.1.att. Mazizmēra PEM FC H<sub>2</sub> (GenCell ražotāja 5kW sistēma<sup>5</sup>)

Tipiski enerģijas nodrošināšanai autonomas energoapgādes gadījumos var pielieto mazjaudas (dažu desmitu kW) moduļus, kuri veido lieljaudas sistēmas.

No pārāk mazas jaudas (zem 5kW) blokiem šīs sistēmas veidojas pārāk dārgas un ir izmēra ziņā apjomīgas, kā arī prasa lielāku apkalpošanas laiku un tādējādi palielina operatīvās izmaksas.

Cita ražotāja – *Ballard*, piedāvātā sistēma parādīta 5.2.att.

<sup>5</sup> <https://www.gencellenergy.com/our-products/gencell-box/>



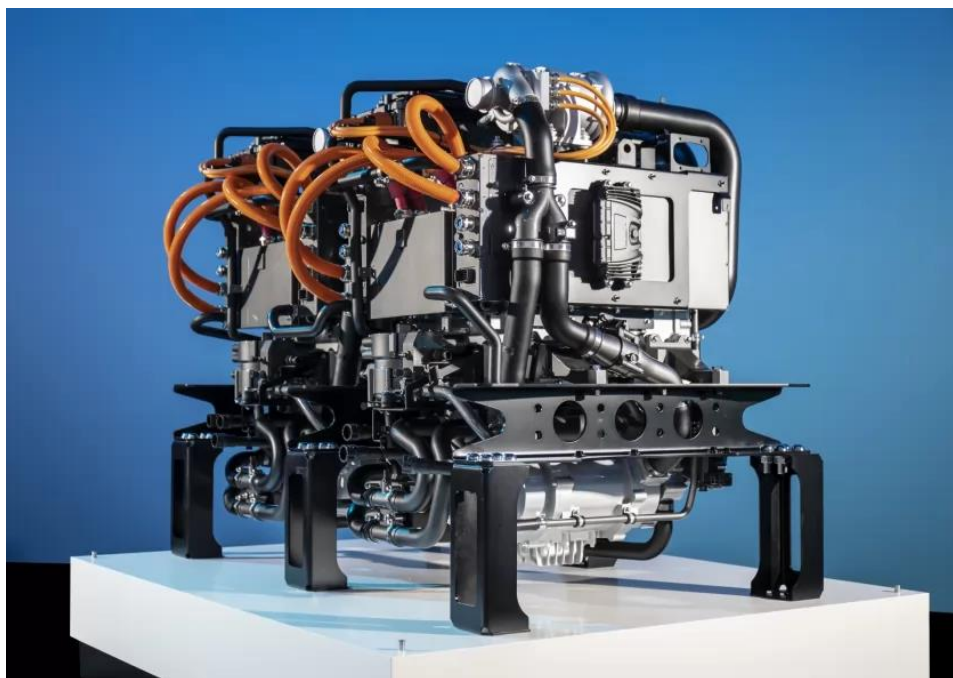
Tabula. FCwave PEM FC sistēmas parametri:

Rated power	200 kW
Minimum power	30 kW
Peak fuel Efficiency	56%
Operating voltage	350 - 720 V DC
Rated current <sup>1</sup>	2 x 300 A 1x 550
System cooling output	Max 65° C
Heat management	Liquid cooled
H2 Pressure	3,5 - 5 Barg
Dimensions (1 x w x h) <sup>2</sup>	1220 mm x 738 mm x 2200 mm
Weight (estimate) <sup>3</sup>	875 kg
Environmental protection	IP44
Engine room (DNV GL CG-0339)	+0°C- +45 °C
Minimum start-up temperature	0°C
Short-term storage temp	-40°C - +80°C
Type	Gaseous hydrogen
Composition	As per SAE spec. J2719
Oxidant	Air
Composition	Particulate, Chemical and Salt filtered
Coolant <sup>4</sup>	Water or 50/50 glycol
Certifications	DNV-GL compliant
Enclosure	Hydrogen safe enclosure
Control interface	Ethernet Can
Exhaust	Zero-emission
<p><sup>1</sup> System output is 2 x 300 A (1x 55QA output still under development). <sup>2</sup> Target size. <sup>3</sup> Includes: framed ski'd base, fuel cell stacks, plumbing and wiring, H2 enclosure, cooling system, air system, electrical panel, and miscellaneous (sensors, cable tray, etc.). <sup>4</sup> Customer coolant type.</p>	



5.2.att. FCWave 200kW modulis, (specifikācija tabulā)

Eiropā jaunākā informācija rāda, ka *Daimler Truck AG* un *Volvo Group* kopuzņēmums “*Cellcentric*” plāno būvēt vienu no Eiropā lielākajām ūdeņraža degvielas ražotnēm lieljaudas kravas auto darbināšanai. Plānots, ka ražotne darbu sāks jau 2025. gadā<sup>6</sup>.



5.3.att. Kravas auto degvielas šūnu sistēma ( <https://www.veho.lv/par-mums/aktuali/daimler-truck-ag-un-volvo-grupa-kopiga-udenraza-degvielas-razotne-plano-sakt-darbu-jau-2025-gada-220> )

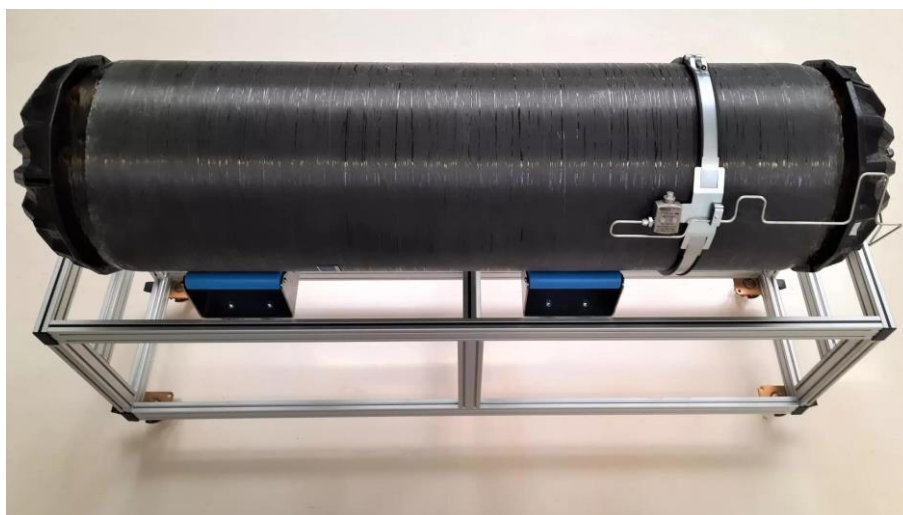
---

<sup>6</sup> [Daimler Truck AG un Volvo grupa kopīgā ūdeņraža degvielas ražotne plāno sākt darbu jau 2025. gadā - Mercedes-Benz - Veho](https://www.veho.lv/par-mums/aktuali/daimler-truck-ag-un-volvo-grupa-kopiga-udenraza-degvielas-razotne-plano-sakt-darbu-jau-2025-gada-220) <https://www.veho.lv/par-mums/aktuali/daimler-truck-ag-un-volvo-grupa-kopiga-udenraza-degvielas-razotne-plano-sakt-darbu-jau-2025-gada-220>



5.4.att. Cellcentric Degvielas šūnu sistēma (<https://cellcentric.net/en/>)

*Voith Composites SE & Co. KG* piedāvā pēc ES standarta UNECE R 134 un Apvienoto Nāciju Ekonomikas komisijas standartizētu risinājumu kravas transportam – 700 bāru spiedienu izturošu oglekļa šķiedru balonu, kurā ietilpst 350 l ūdeņraža



5.5.att. Kompozītmateriālu ūdeņraža balons (<https://voith.com/corp-en/products-services/composites-solutions/carbon4tank.html>)

## 5.7 Ģenerators motora salāgošana ar hibrīda kurināmā elementu/akumulatoru bateriju sistēmu

Degvielas šūnu/kurināmā elementu ražošanā pēdējo gadu laikā ļoti strauji pieaug konkurence.

Kurināmā elementu sistēmas un akumulatori var darboties kopā, lai transporta un enerģijas jomā sniegtu vairāk iespēju. Degvielas šūnu sistēmas ir izstrādātas, lai uzlabotu akumulatoru un elektriskās piedziņas platformu mijiedarbību.. Lai gan katrai sistēmai ir savas priekšrocības, jauno bateriju un kurināmā elementu tehnoloģiju apvienošana var palīdzēt samazināt kopējo oglekļa emisiju un palielināt ilgtspējīgas enerģijas izmantošanu, nemazinot veiktspēju.

Kurināmā elementa savienojuma ar mobilo elektrisko sistēmu akumulatoru baterijām priekšrocības:

- Augsta energoefektivitāte: kurināmā elementi piedāvā augstu enerģijas pārveidošanas efektivitāti salīdzinājumā ar parastajiem iekšdedzes dzinējiem, tādējādi samazinot enerģijas izšķērdēšanu un palielinot kopējo sistēmas efektivitāti.
- Vides ieguvumi: kurināmā elementi ražo elektroenerģiju, izmantojot elektroķīmiskas reakcijas, kā rezultātā samazinās siltumnīcefekta gāzu emisijas un gaisa piesārņojums, salīdzinot ar enerģijas avotiem, kuru pamatā ir fosilais kurināmais.
- Diapazona paplašināšana: kurināmā elementu integrēšana ar akumulatoru baterijām var paplašināt mobilo elektrisko sistēmu klāstu, jo kurināmā elementi nodrošina nepārtrauktu jaudu, ģenerējot elektroenerģiju no degvielas avota (piemēram, ūdeņraža), bez nepieciešamības bieži uzlādēt.
- Ātra degvielas uzpilde: degvielas šūnu sistēmas uzpildīšana var būt ātrāka nekā akumulatora uzlāde, jo tā ir saistīta ar degvielas padeves papildināšanu, nevis gaidīšanu, līdz akumulators uzlādējas. Tas var būt izdevīgi lietojumiem, kas ir jutīgi pret laiku, piemēram, elektriskajiem transportlīdzekļiem.

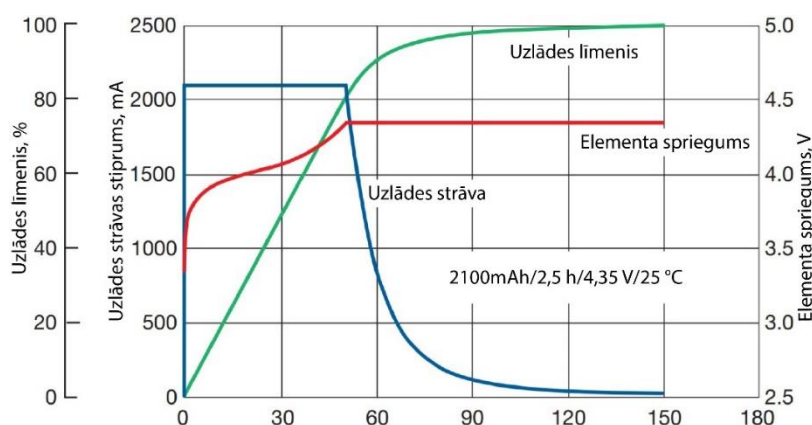
Mīnusi kurināmā elementu savienošanai ar mobilo elektrisko sistēmu akumulatoru baterijām:

- Izmaksas: kurināmā elementu sistēmas pašlaik ir dārgākas salīdzinājumā ar tradicionālajām sistēmām, kuru pamatā ir akumulatori, galvenokārt kurināmā elementu skursteņu un ūdeņraža infrastruktūras augsto izmaksu dēļ.
- Ūdeņraža infrastruktūra: plaši izplatītas ūdeņraža infrastruktūras izveide degvielas uzpildei var būt nopietns izaicinājums, jo tas prasa ievērojamus ieguldījumus ūdeņraža ražošanā, uzglabāšanā, transportēšanā un sadalē.
- Degvielas pieejamība un uzglabāšana: ūdeņraža pieejamība un uzglabāšana var radīt problēmas, jo ūdeņradim ir nepieciešama īpaša infrastruktūra un apstrādes procedūras tā zemā enerģijas blīvuma un augstās uzliesmojamības dēļ.

- Izturība un kalpošanas laiks: degvielas šūnu sistēmām var būt ierobežojumi attiecībā uz izturību un kalpošanas laiku, jo īpaši mobilajās lietojumprogrammās ar dažādiem darbības apstākļiem un biežu iedarbināšanu un izslēgšanu. Ilgtermiņa uzticamības nodrošināšana var radīt bažas.

Tehniski kurināmā elementu sistēmas salāgošanai/pieslēgšanai jebkura elektro transportlīdzekļa, arī ģeneratoram, jāveic, ietverot sekojošus elementus:

- Jaudas elektronikas interfeiss: lai pārvaldītu jaudas plūsmu starp kurināmā elementu sistēmu un akumulatoru, ir nepieciešama jaudas elektronikas saskarne. Tā kalpo kā starpnieks, pārveidojot un sagatavojot elektriskos signālus, lai tie atbilstu abu sistēmu prasībām.
- DC-DC pārveidotājs: DC-DC pārveidotāju bieži izmanto, lai saskaņotu sprieguma līmeņus starp kurināmā elementu sistēmu un akumulatoru. Tas nodrošina efektīvu un precīzu jaudas pārvadi, un nodrošina saderību starp dažādu divu sistēmu sprieguma līmeņiem.
- Kontroles un vadības sistēma: kontroles un vadības sistēma ir būtiska, lai regulētu un optimizētu jaudas plūsmu starp kurināmā elementu sistēmu un akumulatoru. Tā uzrauga tādus parametrus kā spriegums, strāva un temperatūra, un attiecīgi pielāgo sistēmas darbību, lai nodrošinātu drošu un efektīvu darbību.
- Drošības sistēmai: Drošība ir būtisks apsvēruma, savienojot degvielas elementu sistēmas ar akumulatoru baterijām. Jāīsteno atbilstoši drošības pasākumi, lai novērstu pārmērīgu uzlādi, pārmērīgu izlādi un termisku pārslodzi (5.3. att.). Šie pasākumi var ietvert aizsargķēdes, temperatūras sensorus un sprieguma uzraudzības sistēmas.



**5.3. att. Li-Ion bateriju uzlādes stadijas**

- Enerģijas pārvaldības stratēģija: tiek izmantota, lai noteiktu optimālo jaudas izmantošanu gan no kurināmā elementu sistēmas, gan no akumulatora baterijas. Šajā stratēģijā tiek ņemti vērā tādi faktori kā slodzes pieprasījums, degvielas elementa efektivitātes raksturlielumi,

akumulatora uzlādes stāvoklis un darbības apstākļi, lai sasniegtu vislabāko kopējo sistēmas veiktspēju.

- Sakari un datu apmaiņa: Komunikācijas protokoli un datu apmaiņas mehānismi ir nepieciešami vienmērīgai koordinācijai starp kurināmā elementu sistēmu un akumulatoru. Tas atvieglo informācijas apmaiņu, vadības komandas un uzraudzības funkcijas starp abām sistēmām.
- Integrācija un dizains: kurināmā elementu sistēmas un akumulatora baterijas fiziskai integrācijai ir rūpīgi jāapsver dizainiskais risinājums. Tas ietver kompaktu un efektīvu izkārtojumu izstrādi, lai optimizētu telpas izmantošanu, nodrošinātu dzesēšanas prasības un komponentu pieejamību.

## 6 Tehniskais koncepts

Šajā nodaļā ir aprakstīti ūdeņraža ģeneratora piekabes tehniskie optimālie raksturlielumi. Tika definēti vienoti elektroenerģijas nodrošināšanas (izejas) parametri. Tie ir sekojoši:

- 100 kW izejas jauda (elektroenerģija);
- Uzkrātās enerģijas apjoms 800 kWh elektroenerģijas ģenerēšanai

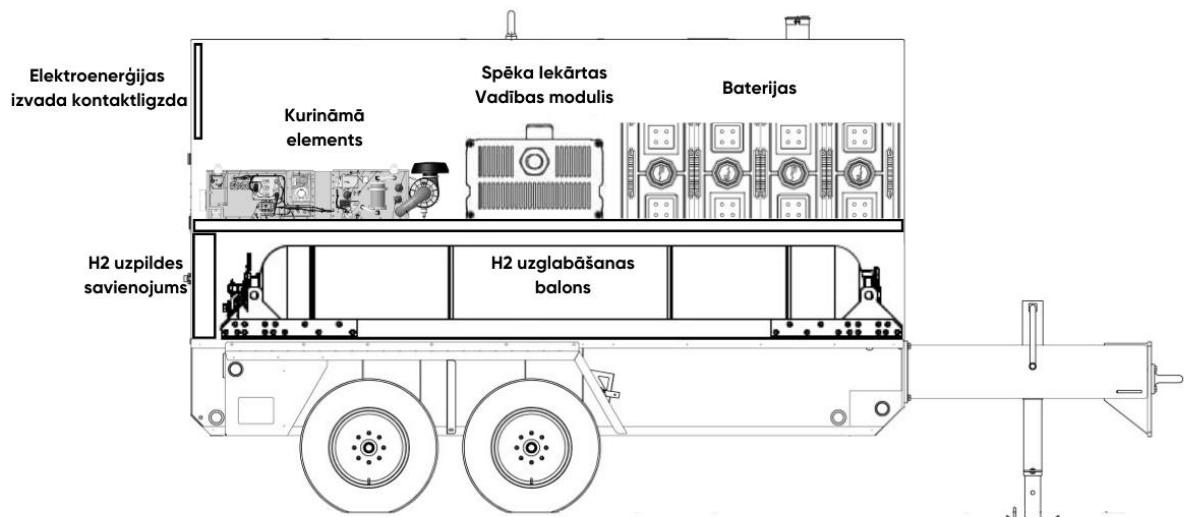
Izvēlētās komponentes

- Piekabes šasija
- 100 kW kurināmā elements
- 48 kg H<sub>2</sub> uzkrāšanas sistēma
- 5 kWh akumulatoru bateriju modulis
- Spēka iekārtas jaudas vadības modulis

Dizaineriem tika dots uzdevums izveidot konceptuālu dizainu. Tika izveidota konceptuālā skice – mobilajai ūdeņraža ģeneratoram.

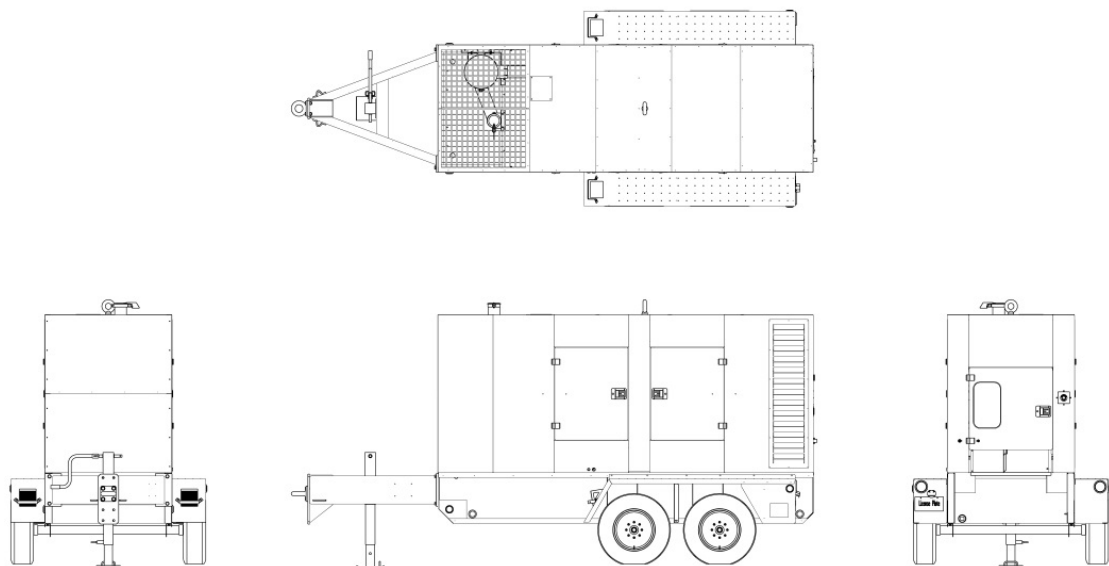
Konceptuālais pilnveidotā ģeneratora tehniskā projekta dizains parādīts 6.4 att.

Izmantojot minētās komponentes, tad tiek salāgots ūdeņraža ģenerators (skat. 6.4. att.).

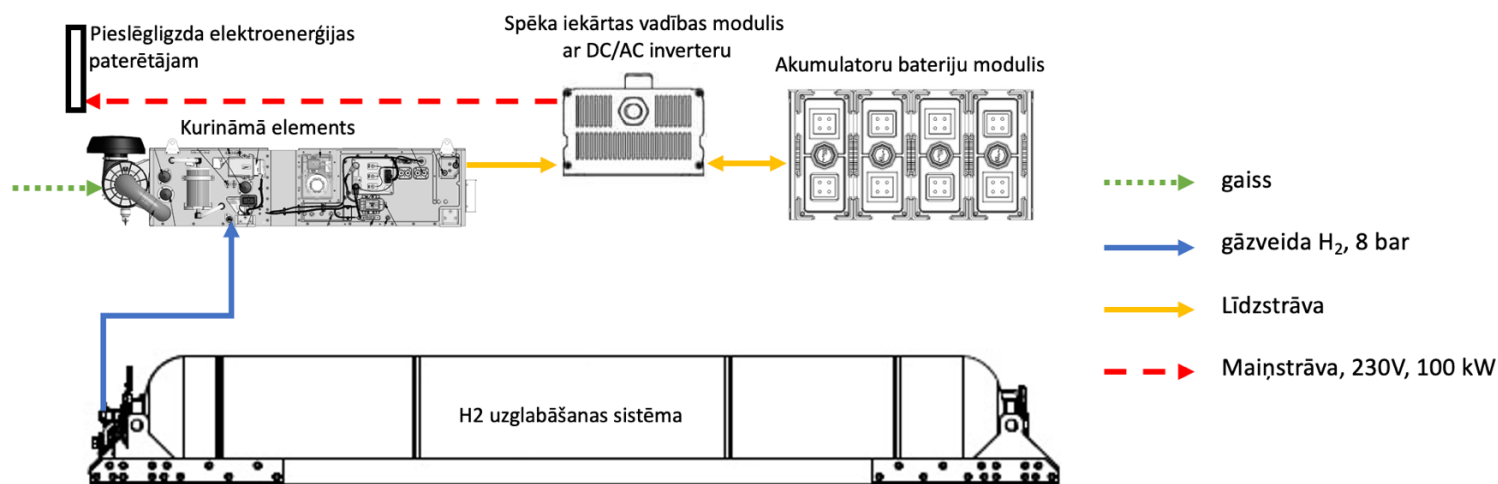


**6.4. att. Ūdeņraža ģenerātoru piekabes tehnoloģiskā skice**

Ūdeņraža ģenerātoru kopskats ar noslēgpaneļiem ir redzams 6.5. att.



**6.5. att. Ūdeņraža ģenerātoru piekabes kopskats.**



6.6. att. Ūdeņraža ģenerators tehnoloģiskā shēma

### Darbības principu apraksts

H<sub>2</sub> balonu uzkrāšanas sistēma, ar kapacitāti 48 kg, nodrošina nepieciešamo H<sub>2</sub> apjomu 800 kWh elektroenerģijas ģenerēšanai. Balonu sistēmas darba spiediens ir 350 bar gāzveida ūdeņraža uzglabāšanai.

Kurināmā elementā termokīmiskā procesā oksidējot ūdeņradi tiek ģenerēta līdzstrāva.

Līdzstrāva no kurināmā elementa caur spēka iekārtas vadības moduli pēc konversijas DC/AC invertēta kā maiņstrāva tiek pievadīta patēriņa jeb patērētāja pieslēgkontakta.

Spēka iekārtas vadības sistēmai pieslēdzot elektroenerģijas patērētāju, iniciē kurināmā elementa ieslēgšanu. Kurināmā elementa un bateriju moduļa darbības vadību/kontroli nodrošina spēka iekārtas vadības sistēma.

Akumulatoru bateriju modulis nodrošina sekojošas funkcijas:

1. sākotnējās enerģijas avots ģenerators ieslēgšanas brīdī
2. enerģijas patēriņa pēkšņa pieauguma gadījumā papildus enerģijas avots
3. pēkšņas patērētāja atslēgšanās gadījumā uzkrāj kurināmā elementa ģenerēto elektroenerģiju līdz tā darbības apturēšanai

### Komponentu apskats

Ģeneratoram nepieciešamās komponentes:

1. piekabes šasija ar aprīkojumu transportēšanai pa koplietošanas ceļiem
2. kurināmā elements, jauda 100 kW
3. H<sub>2</sub> uzkrāšanas sistēma, ietilpība 48 kg H<sub>2</sub>, darba spiediens 350 bar



4. Gāzveida ūdeņraža padeves sistēmas elementi
5. Akumulatoru bateriju modulis, kapacitāte 5 kWh
6. Spēka iekārtas jaudas vadības modulis ar integrētu Bateriju Uzlādes Vadības moduli un DC/AC jeb līdzstrāvas/maiņstrāvas inverteru
7. Pieslēgligzda patērētājam
8. Metāla konstrukcijas, to stiprinājumi un savienojumi
9. Elektroinstalācijas elementi, tai skaitā augstsprieguma un zemsprieguma vadi un to savienojumi

Visas komponentes, izņemot kurināmā elementu un H<sub>2</sub> uzkrāšanas sistēmu, kas apskatītās saraksta var tikt uzskatītas par standarta tirgū pieejamām komponentēm un ir nopērkamas veikalos.

H<sub>2</sub> uzkrāšanas sistēmas izvēlei tika uzrunāti vairāki potenciāli piegādātāji, kas varētu piedāvāt kompozītmateriālu balonu sistēmu. Lai arī tehnisko specifikāciju un rasējumus atsūtīja tikai kompānija *Worthington Cylinders GmbH*, veicot padziļinātu izpēti koplietošanas vietnēs, tika secināts, ka līdzvērtīgas kompozītmateriālu balonu H<sub>2</sub> sistēmas piedāvā vairāki ražotāji un autobūves industrijā šādas sistēmas tiek uzskatītas par standarta produktu.

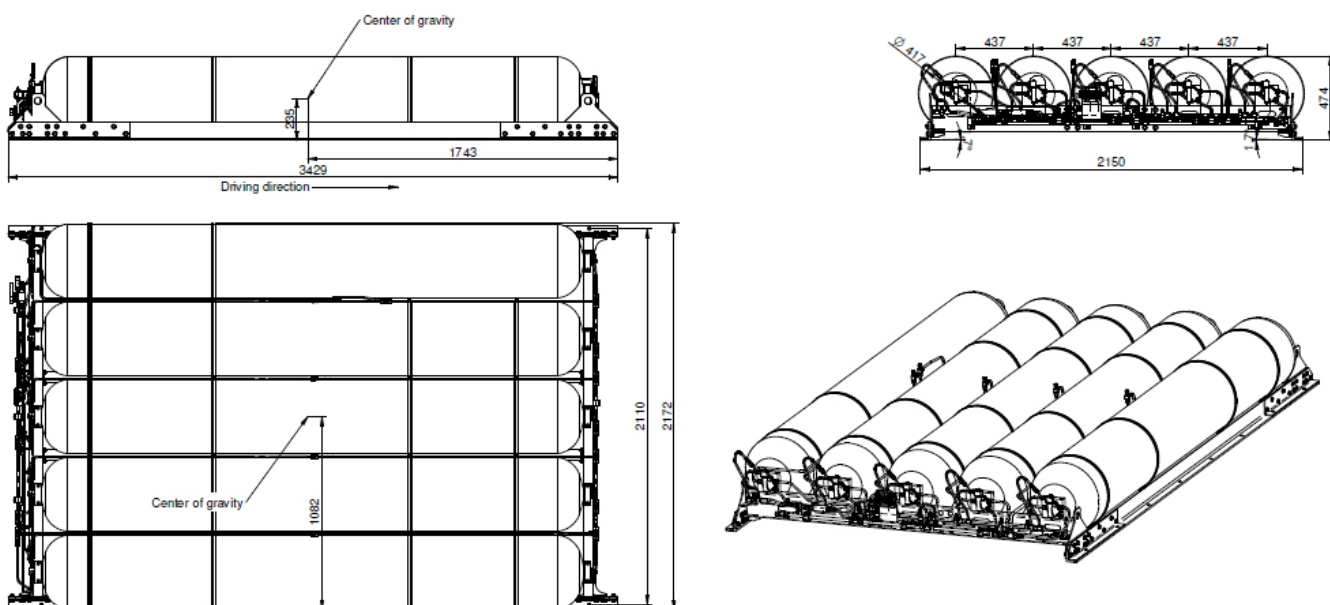
Izmantojot no komponentu piegādātāju apkopoto informāciju par tehnoloģiskiem risinājumiem 6.7. att. ir attēlota standarta ūdeņraža uzpildes, uzglabāšanas un padeve sistēma.

## Ūdeņraža komponentes H<sub>2</sub> uzpildes, uzglabāšanas un padeves sistēmām



6.7. att. Tehnoloģiskā shēmā ūdeņraža uzpildes, uzglabāšanas un padeves sistēmai

Savukārt, lai ūdeņradi varētu droši pārvietot un uzglabāt, tad nepieciešami droši ūdeņraža baloni. Līdz ar to ūdeņraža baloni ir attēloti 6.8. attēlā.



6.8. att. Ūdeņraža uzglabāšanas baloni

Kurināmā elements

Kurināmā elementu izvēlei tika uzrunāti vairāki potenciāli piegādātāji, kas varētu piedāvāt 100 kW jaudas iekārtu. Tehniskā specifikācija tika saņemta no kompānijām *Ballard Power Systems Europe* un *PowerCell Sweden AB*.

Salīdzinājums būtiskākajiem tehniskajiem parametriem:

Parametrs	Ballard Power Systems	PowerCell
Sistēmas jauda	100 kW	100 kW
Darba spriegums	280 – 560 V	250 – 500 V
Darba jauda	21 – 360 A	50 – 450 A
Svars	256 kg	212 kg
H <sub>2</sub> padeves spiediens	8 bar	8 – 12 bar
Darba temperatūra	-30 - +50 °C	-30 - +45 °C
Lietderība, max	57 %	55 %
Vadības sistēma	CANbus	CANbus
Darbības ilgums	25 000 h	20 000 h
Aizsardzības klase	IP54	IP54

Apskatot tehniskos parametrus, tika secināts, lai arī nav redzamas būtiskas atšķirības, pateicoties augstākas lietderības un darbības ilgumam, lietderīgāk būtu izmantot *Ballard Power Systems* kurināmā elementu. Turpinot darbu pie pilotiekārtas būtu jāturpina monitorēt tirgū esošās alternatīvas, kā arī jāveido ciešāka ilgtermiņa sadarbība ar būtisko komponentu piegādātājiem.

## 7 Vadošo iekārtu ražotāju izvērtējums

Stacionāru ģeneratoru un ģeneratoru ražošana pasaulē kļūst ļoti populāra. Šajā nozarē strādā ļoti liels skaits ražotāju visās pasaules valstīs. Kā vadošos var atzīmēt sekojošos ražotājus:

- Kohler
- SDMO industries
- Caterpillar
- Cummins Inc.
- QULLIQ Energy Corp.
- PRAMAC
- Himoina
- PowerLink
- Mahindra Powerol
- Atlas Copco
- Mitsubishi Heavy Industries Engine & Turbocharger Ltd.
- Toyota Motor Corporation

### 7.1 Konkurentu salīdzinājums – degvielas šūnu tirgus

Degvielas šūnu ražošanā piedalās gan Eiropas, gan ASV un Kanādas, gan arī Ķīnas uzņēmēji un zinātnieki<sup>7</sup>. Saskaņā ar *Fortune Business Insights* datiem pasaules degvielas elementu tirgus apjoms 2021. gadā tika novērtēts USD 4,58 miljardu apmērā, un tiek prognozēts, ka līdz 2029. gadam tas sasniegs USD 36,41 miljardus<sup>8</sup>.

#### **Toyota**

Toyota ir nozīmīgs spēlētājs automobiļu rūpniecībā un ir bijis pionieris ūdeņraža degvielas šūnu tehnoloģijā ar savu Toyota Mirai modeli. Uzņēmumam ir ievērojama ietekme tirgū, un tas ir veicis ievērojamas investīcijas degvielas šūnu transportlīdzekļu attīstībā.

- Plusi: Toyota degvielas šūnu tehnoloģija ir pazīstama ar savu uzticamību un efektivitāti. Uzņēmums ir koncentrējies uz ūdeņraža infrastruktūras izveidi, veicinot kopējo ūdeņraža ekonomikas izaugsmi. Turklāt Toyota ir spēcīga inovāciju un

---

<sup>7</sup> <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cells-program-overview>

<sup>8</sup> <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/fuel-cell-market-100733>

ilgtspējības reputācija. Tirgus lieluma ziņā Toyota ir lielākais ūdeņraža degvielas elementu ražotājs ar 70% tirgus daļu 2021. gadā<sup>9</sup>.

- Mīnusi: Viena no problēmām, kas saistīta ar Toyota degvielas šūnu transportlīdzekļiem, ir ierobežotā ūdeņraža uzpildes infrastruktūra. Bažas rada arī augstās degvielas šūnu transportlīdzekļu izmaksas un ūdeņraža ražošana.

### **Hyundai Motor Company:**

Tirgus lielums: Hyundai ir aktīvi iesaistījies ūdeņraža degvielas šūnu transportlīdzekļu, piemēram, NEXO, izstrādē un komercializēšanā. Lai gan Hyundai nav tik plaša izpēte kā Toyota, tai ir ievērojama tirgus daļa un tā paplašina savu klātbūtni degvielas šūnu transportlīdzekļu tirgū.

- Plusi: Hyundai ir guvis panākumus izmaksu samazināšanā un ūdeņraža degvielas šūnu sistēmu veiktspējas uzlabošanā. Uzņēmums ir apņēmies nodrošināt ilgtspējību un investē dažādās zaļās tehnoloģijās, tostarp kurināmā elementos.
- Mīnusi: līdzīgi kā Toyota, ierobežotā ūdeņraža degvielas uzpildes staciju pieejamība rada izaicinājumu Hyundai degvielas šūnu transportlīdzekļu plašai ieviešanai. Izmaksu apsvērumi un elektrisko transportlīdzekļu konkurence ir papildu faktori.

### **BALLARD POWER SYSTEMS**

Tirgus lielums: *Ballard* ir pasaulē vadošais protonu apmaiņas membrānas (PEM) degvielas šūnu produktu piegādātājs. Lai gan tas nav autoražotājs, tam ir izšķiroša nozīme degvielas elementu un to sistēmu piegādē dažādiem lietojumiem, tostarp autobusiem, kravas automašīnām un stacionārai enerģijas ražošanai.

- Plusi: *Ballard* degvielas šūnu tehnoloģija ir daudzpusīga un tiek izmantota dažādos lietojumos. Uzņēmums lielu uzmanību pievērš pētniecībai un attīstībai, kuras mērķis ir uzlabot degvielas šūnu sistēmu veiktspēju un izmaksu efektivitāti.
- Mīnusi: kurināmā elementu produktu tirgū valda liela konkurence, un *Ballard* saskaras ar problēmām, kas saistītas ar kurināmā elementu izmaksām salīdzinājumā ar alternatīvām tehnoloģijām. Tirgus pieprasījums un regulējošais atbalsts ūdeņraža infrastruktūrai ir arī kritiski faktori.

---

<sup>9</sup>Blackridge Research & Consulting. (2023). Global Top 10 Hydrogen Fuel Cell Companies. <https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-global-top-hydrogen-fuel-cell-hfc-companies-manufacturers-suppliers-in-the-world>

## Plug Power un Bloom Energy

*Plug Power* un *Bloom Energy* starp vadošajiem kurināmā elementu ražotājiem pasaulē. *Plug Power* piedāvā protonu apmaiņas membrānas (PEM) kurināmā elementus, kas ģenerē elektroenerģiju, izmantojot ūdeņradi kā ievades degvielu, *Bloom Energy* kurināmā elementu piedāvājumā kā ievades degviela tiek izmantota dabas gāze vai biogāze, izmantojot cietā oksīda kurināmā elementus<sup>10</sup>.

Tirgus lieluma ziņā *Plug Power* ir lielāks uzņēmums, kura tirgus kapitalizācija ir 3 miljardi USD, salīdzinot ar *Bloom Energy* tirgus kapitalizāciju USD 1,2 miljardu apmērā.

Ūdeņraža degvielas elementu nozare attīstās, un tādi lielākie autoražotāji kā Toyota un Hyundai ir vadošie kurināmā elementu transportlīdzekļu izstrādes un komercializācijas jomā. Turklāt tādi uzņēmumi kā *Ballard Power Systems* sniedz svarīgus kurināmā elementu komponentus.

Pie pētījuma ierobežojumiem pirmkārt jāpiemin tas, ka aprēķini tika veikti pie nosacījuma, ka mobilā ūdeņraža ģenerators darbību neietekmē dažādi ārējie apstākļi. Piemēram, vēja brāzmas gaisa temperatūra, kas būtiski var ietekmēt ģenerators veikspēju. Lai praktiski pārbaudītu aprēķinus, būtu nepieciešamā prototipa izgatavošana un testēšana dažādos ekspluatācijas režīmos un vides apstākļos.

Aprēķinot pašizmaksu, komponentu cena tika noteikta pēc šī brīža aktuālā piedāvājuma.

### 7.2 Principi ūdeņraža ekonomiskās dzīvotspējas novērtēšanai.

Ūdeņraža ģenerators darbības rādiusa paplašinātāja ekonomiskās dzīvotspējas novērtēšana, izmantojot ūdeņradi un kurināmā elementus, ietver dažādus faktoros un aprēķinus. Šeit ir sniegta pakāpeniska pieeja tās ekonomiskās iespējamības novērtēšanai:

#### 1. Nosakiet projekta darbības jomu:

- Nosakiet īpašos mērķus un prasības ūdeņraža ģenerators darbības ilguma paplašinātājam, izmantojot ūdeņradi un kurināmā elementus. Tas ietver paredzamo darba ilguma paplašināšanu, trokšņa līmeņa samazināšanu un darbības apstākļus.

#### 2. Izmaksu aprēķins:

- Aprēķiniet sākotnējo ieguldījumu izmaksas:
  - Paša ģenerators izmaksas (bez darbības ilguma paplašinātāja).
  - Ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas izmaksas.
  - Ūdeņraža uzglabāšanas un sadales sistēmas izmaksas.
  - Uzstādīšanas un integrācijas izmaksas.
- Novērtējiet pastāvīgās darbības izmaksas:

<sup>10</sup> <https://www.fool.com/investing/2021/01/20/better-buy-plug-power-vs-bloom-energy/>

- Ūdeņraža degvielas izmaksas (izmaksa par kilogramu ūdeņraža).
- Kurināmā elementu sistēmas un ģenerators uzturēšanas izmaksas.
- Elektrības ražošanas izmaksas.
- Darbaspēka izmaksas ekspluatācijai un uzturēšanai.

### 3. Ieņēmums un ietaupījumi:

- Nosakiet iespējamus ieņēmumu vai izmaksu ietaupījumus, kas saistīti ar paplašināto ģenerators darbības ilgumu. Tas var ietvert:

- Palielināts misijas pārklājums.
- Samazināts dīkstāves laiks uzlādēšanai.
- Iespējas slēgt jaunus līgumus vai pakalpojumus.

### 4. Dzīves cikla analīze:

- Apsveriet ģenerators un ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas kalpošanas laiku. Aprēķiniet kopējās īpašuma izmaksas paredzamajā kalpošanas laikā.

### 5. Ieguldījumu atdeve (IA):

- Aprēķiniet ROI, salīdzinot kopējos ieguvumus (ieņēmumus, izmaksu ietaupījumus, vides ieguvumus) sistēmas darbības laikā ar kopējām izmaksām (sākotnējās investīcijas, pastāvīgās darbības izmaksas).

Atcerieties, ka šādas sistēmas ekonomiskā dzīvotspēja var atšķirties atkarībā no konkrētiem faktoriem, piemēram, atrašanās vietas, darbības konteksta un tehnoloģiju sasniegumiem. Regulāri atjauniniet savu analīzi, mainoties apstākļiem, lai nodrošinātu, ka projekts joprojām ir ekonomiski dzīvotspējīgs.

## 8 Ekonomiskā analīze ūdeņraža ģeneratoram.

Ūdeņraža un degvielas elementu diapazona pagarināšanas sistēmu iespējamība ģeneratoriem:

- Enerģijas blīvums:

Ūdeņraža kurināmā elementi piedāvā augstu enerģijas blīvumu salīdzinājumā ar parastajiem iekšdedzes dzinējiem.

Svara apsvērumi:

Ūdeņraža degvielas šūnu sistēmas mēdz būt smagākas par iekšdedzes dzinēju, kas var ietekmēt kopējo ģenerators svaru un līdzsvaru.

- Diapazona paplašinājums:

Ūdeņraža degvielas šūnu diapazona paplašinātājiem ir potenciāls ievērojami palielināt ģenerators darbības laiku, padarot to piemērotu dažādiem pielietojumiem.

Degvielas uzpildes infrastruktūra:

Ar ūdeņradi darbināmu ģenerators iespējamība ir atkarīga no ūdeņraža degvielas uzpildes infrastruktūras pieejamības, kas dažos reģionos var būt ierobežota.

- Vides ietekme:

Ūdeņraža degvielas šūnas lietošanas vietā nerada izmešus, padarot tās videi draudzīgas salīdzinājumā ar iekšdedzes dzinējiem.

- Izmaksu apsvērumi:

Ūdeņraža kurināmā elementu un uzglabāšanas sistēmu izmaksas var būt šķērslis dažu lietojumu ieviešanai. Ekonomiskā iespējamība atšķiras atkarībā no tādiem faktoriem kā ūdeņraža ražošanas izmaksas un sistēmas efektivitāte.

- Efektivitāte:

Ūdeņraža kurināmā elementiem var būt augsta enerģijas pārveidošanas efektivitāte, kas, iespējams, padara tās efektīvākas nekā iekšdedzes dzinēji.

- Drošība:

Ir ļoti svarīgi nodrošināt drošu apiešanos ar ūdeņradi un to uzglabāšanu, jo tas ir viegli uzliesmojošs. Ir nepieciešami atbilstoši drošības pasākumi un protokoli.

- Pētniecība un attīstība:

Pastāvīga izpēte un izstrāde ir būtiska, lai risinātu tādas problēmas kā sistēmas svara samazināšana, infrastruktūras attīstība un izmaksu samazināšana.

## 9 Ekonomiskais novērtējums

Autonomo elektroģeneratoru izmantošanu nosaka ekonomiskie parametri, kuri ir cieši saistīti ar tehniskajiem parametriem. Īpaši svarīgi izvērtēt šo ierīču iegādi, jo lietotāji ir profesionāļi, kuriem nepieciešams ilgtermiņa ekonomiskais ieguvums no ierīces izmantošanas.

Tādēļ tika veikts ekonomiskais novērtējums, salīdzinot iekšdedzes AEG ar divu veidu degvielām – benzīnu un dīzeļdegvielu (divu dažādu sadedzes procesu sistēmas), bateriju/invertoru sistēmu un ūdeņraža degvielas šūnu/invertoru sistēmu.

Tika definēti visām četrām sistēmā vienoti elektroenerģijas nodrošināšanas (izejas) parametri. Tie ir sekojoši:

- 100 kW izejas jauda (elektroenerģija);
- 8 stundu darba diena ar vidējo noslodzi 80%;
- Regulārs pielietojums - 245 dienas gadā.
- Uzpilde/transportēšana uz un no uzpildes vietas notiek ārpus darba laika (tā tiek ierēķināta izdevumos, bet ne darba laikā);
- Specifiski bateriju sistēmai – baterijas nomaiņa pēc 1000 uzlādes cikliem (baterijas cena 150 EUR/kWh)

Kopējais piegādājamās enerģijas daudzums, ņemot vērā augstākminētos nosacījumus, ir

$$E = 100 \text{ kW} * 8 \text{ h} * 245 \text{ d} * 0,8 = 156\,800 \text{ kWh} = 156,8 \text{ MWh}$$

Noteiktie darba režīmi rāda, ka katrā no apskatāmajiem AEG veidiem ir jābūt pieejamie 800 kWh enerģijas krājumiem (8 stundu darba diena ar 100 kW slodzi – max enerģijas apjoms 800 kWh). Vidējā noslodze tiek lietota garāku periodu (mēneša, gada) enerģijas patēriņu modelēšanai, bet dienas patēriņš atsevišķos gadījumos var būt arī maksimālais.

Apkopes izmaksas tika pieņemtas, ņemot vērā tehnoloģiju atšķirības.

- Iekšdedzes dzinēja ģenerators:
  - Apkopes izmaksas: Iekšdedzes dzinēja apkope ietver degvielas maiņu, eļļas nomaiņu, filtra nomaiņu un citus regulārus pasākumus.
  - Vidējās apkopes izmaksas: Apmēram 100–200 EUR uz megavatstundu (MWh) gadā<sup>11</sup>.
- Bateriju/invertora sistēma:

---

<sup>11</sup> [Hydrogen internal combustion engines and hydrogen fuel cells | Cummins Inc.\(  
https://www.cummins.com/news/2022/01/27/hydrogen-internal-combustion-engines-and-hydrogen-fuel-cells\)](https://www.cummins.com/news/2022/01/27/hydrogen-internal-combustion-engines-and-hydrogen-fuel-cells)



- Apkopes izmaksas: Bateriju un invertora sistēmas prasa mazāk regulāras apkopes, bet bateriju nomaiņa un invertora uzturēšana joprojām ir nepieciešama.
- Vidējās apkopes izmaksas: Apmēram 50–100 EUR uz MWh gadā<sup>12</sup>.
- Ūdeņraža PEM degvielas šūnu invertora sistēma:
  - Apkopes izmaksas: Ūdeņraža šūnu sistēmas prasa specifisku apkopi, ieskaitot elektrolīta nomaiņu un citus pasākumus.
  - Vidējās apkopes izmaksas: Apmēram 50–75 EUR uz MWh gadā<sup>1</sup>.

CAPEX – iegādes izmaksas elektroģeneratoram ar 100 kW elektrisko izejas jaudu

Tehnoloģija	Iegādes izmaksas (EUR)
Iekšdedzes dzinējs (benzīns)	20'000
Iekšdedzes dzinējs (dīzeļdegviela)	25'000
Baterijas/invertors	340'000 (rēķinot 400 EUR/kWh baterijai un 20'000 EUR invertoram)
Ūdeņraža PEM degvielas šūnas	200'000 (100'000 EUR fuel cell, 20'000 EUR invertors, 10'000 EUR Spēka iekārtas vadība un 70'000 H2 baloni)

## 9.1 CAPEX

CAPEX – iegādes izmaksas elektroģeneratoram ar 100 kW elektrisko izejas jaudu

Tehnoloģija	Iegādes izmaksas (EUR)
Iekšdedzes dzinējs (benzīns)	20'000
Iekšdedzes dzinējs (dīzeļdegviela)	25'000
Baterija/invertors	340'000
Ūdeņraža fuel cell	200'000

## 9.2 OPEX

OPEX – operatīvās izmaksas dažādu tehnoloģiju lietošanai

Galvenā operatīvo izmaksu sastāvdaļa ir degviela un tās siltumspēja. Galveno degvielu siltumspējas ir parādītas tabulā.

<sup>12</sup> [How Much Will Hydrogen-Based Power Cost? \(powermag.com\)](https://www.powermag.com/how-much-will-hydrogen-based-power-cost/) (https://www.powermag.com/how-much-will-hydrogen-based-power-cost/)

Degviela	Augstākā siltumspēja, kWh/kg	Zemākā siltumspēja, kWh/kg
Acetilēns	13.9	10.8
Amonjaks	22.5	-
Ūdeņradis	39.4	33.3
Metāns	15.4	13.9
Dabas gāze	14.5	13.1
Acetons	8.83	8.22
Butāns	13.64	12.58
Dīzeļdegviela	12.67	11.83
Etanols (100%)	8.25	7.42
Benzīns	12.89	12.06

Lai varētu veikt salīdzinājumu, nepieciešams pārrēķināt benzīna un dīzeļdegvielas siltumspējas no kWh/kg uz kWh/l.

Dīzeļdegvielai šis pārrēķina koeficients ir 0,84, bet benzīnam tas ir 0,72.

Degvielas izmaksas 1MWh elektroenerģijas ieguvei, ņemot vērā dažādās tehnoloģiju efektivitātes un degvielu cenas, apkopotas tabulā, skatīt zemāk (2023. gada nogalē benzīna un dīzeļdegvielas cenas mazumtirdzniecībā ir ļoti līdzīgas – tās pieņemtas 1,7 EUR/l).

	Siltumspēja, kWh/kg	Degvielas cena, EUR/kg	Degvielas daudzums 1MWh ieguvei, kg	Degvielas izmaksas, EUR/MWh, pie 100% efektivitātes
Benzīns	12,5	2,43	80	194,29
Dīzeļdegviela	12,8	2,02	78,13	158,11
Elektroenerģija no tīkla				150,00
Ūdeņradis	36	10,00	27,78	277,78

Ievērtējot katras konkrētas konversijas tehnoloģijas efektivitāti, pārvēršot pirmējo enerģiju elektroenerģijā, būtiski paaugstina katras tehnoloģijas izmaksas 1MWh ieguvei (skat. tabulu).

	Pārveides efektivitāte, %	Degvielas izmaksas, EUR/MWh, pie 100% efektivitātes	Degvielas izmaksas, EUR/MWh, pie konkrētās reālās tehnoloģijas zemākās efektivitātes	Degvielas izmaksas, EUR/MWh, pie konkrētās reālās tehnoloģijas augstākās efektivitātes
Iekšdedzes dzinējs (benzīns)	20--30	194,29	971,45	647,63
Iekšdedzes dzinējs (dīzeļdegviela)	30--40	158,11	527,0333	395,285
Baterija/invertors	85-90	150,00	187,5	166,67
Ūdeņraža degvielas šūnas	40--70	277,78	694,45	396,83

Apkopes izmaksas 156,8 MWh enerģijas ieguvei ir atkarīgas no tehnoloģijas sarežģītības

Tehnoloģija	Apkopes izmaksas (EUR/MWh)	Apkopes izmaksas (EUR gadā)
Iekšdedzes dzinējs (benzīns)	100	15680
Iekšdedzes dzinējs (dīzeļdegviela)	200	31360
Baterija/invertors	75	11760
Ūdeņraža fuel cell	75	11760

Operatīvās izmaksas kopā, ņemot vērā apkopes izmaksas, lai saražotu 156,8 MWh enerģijas

Tehnoloģija	Degvielas izmaksas (EUR)	Apkopes izmaksas (EUR gadā)	Izmaksas gadā, EUR
Iekšdedzes dzinējs (benzīns)	101549	15680	117229

Iekšdedzes dzinējs (dīzeļdegviela)	61979	31360	93339
Baterija/invertors	26133	11760	37893
Ūdeņraža Degvielas šūnas	62223	11760	73983

### 9.3 NPV izvērtējums

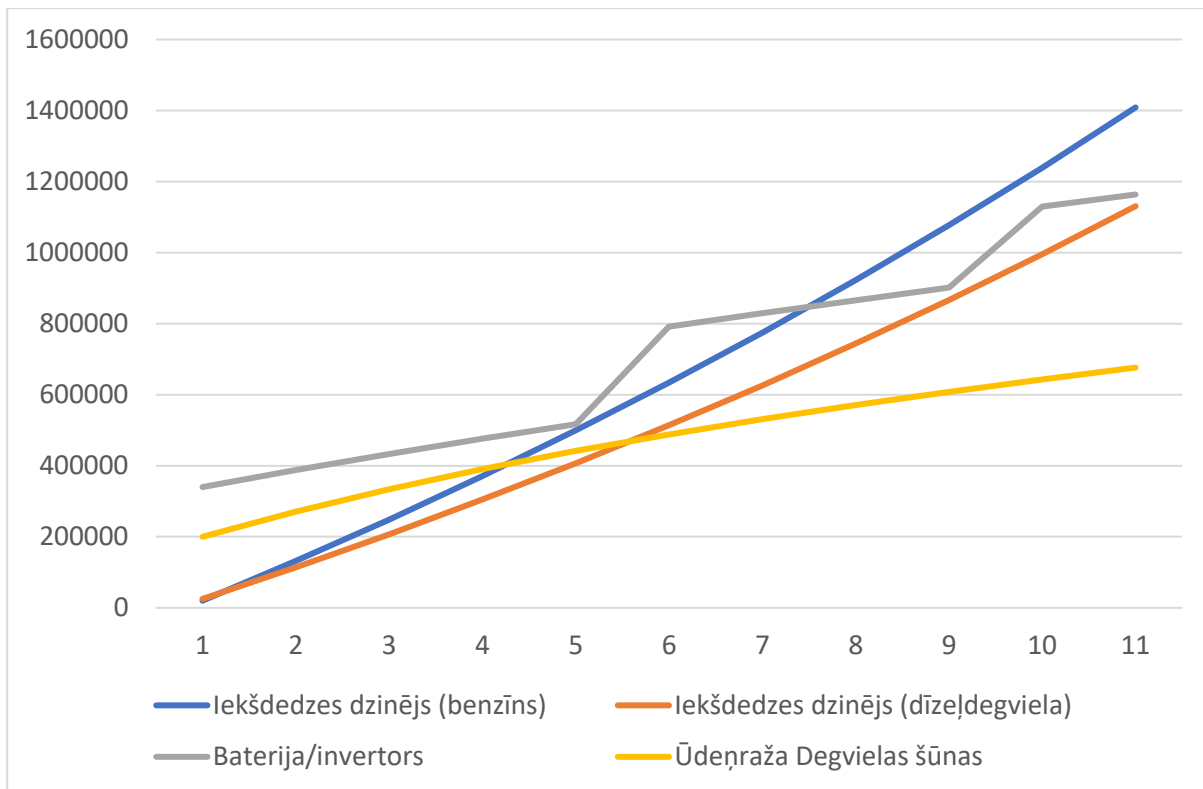
Lai varētu ilgtermiņā salīdzināt visu četru projektu lietderību, tiek izmantota NPV metode. Izvērtējuma periods – 10 gadi – profesionālas iekārtas darba mūžs. Modelī izmantotas sekojošas diskonta likmes - 5%, 10%, un 15%, ar kuriem diskontē operatīvās izmaksas,

Papildu pieņēmumi NPV modelī:

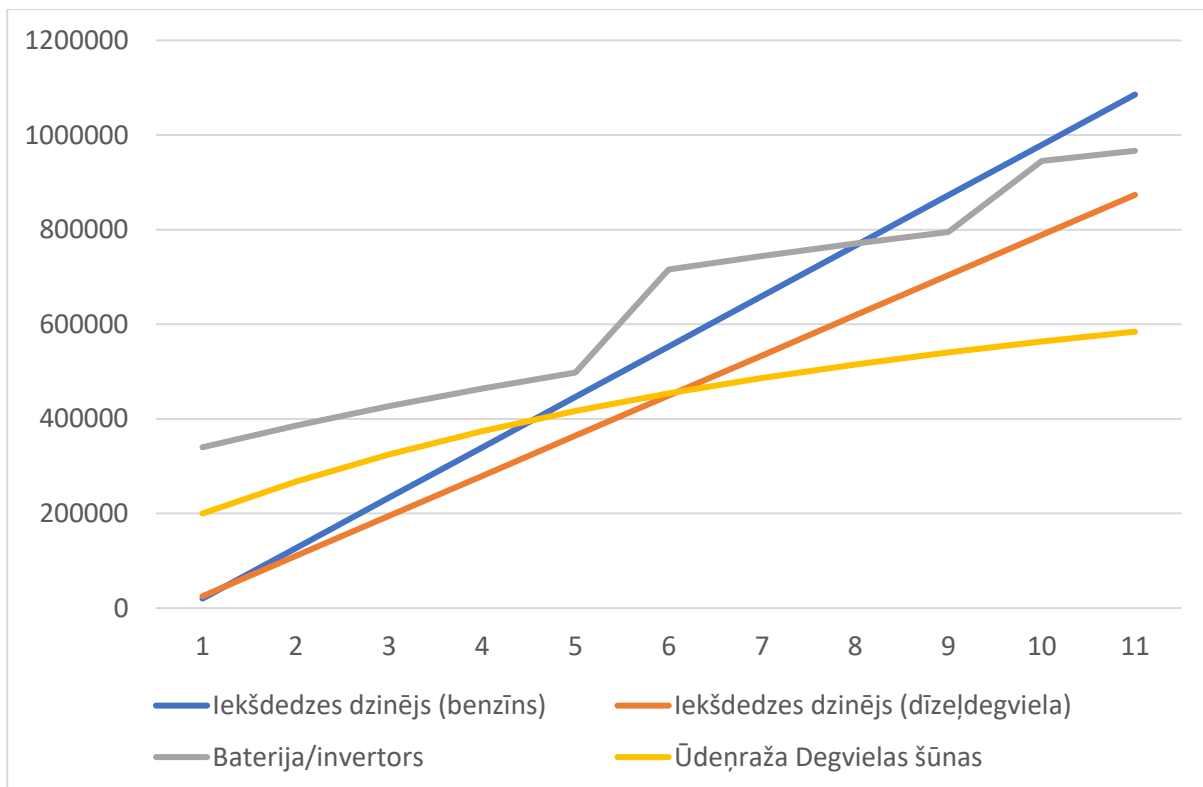
- Pēc 1000 h (ik 4 gadus – pēc 1000 uzlādes un izlādes cikliem) tiek mainīta baterija
- Bateriju sistēma tiek ik dienas pārvadāta 50 km attālumā uz uzlādes vietu (transporta izmaksas ik dienas – degviela 10 EUR dienā, darba alga un citas izmaksas – 40 EUR dienā)
- Fosilo degvielu cena pieaug par 10% gadā
- Ūdeņraža cena mazinās par 10% gadā – ieguve no atjaunīgajiem energoresursiem
- Elektroenerģijas cena samazinās par 5% gadā
- Apkopes cenas pieaug par 10% gadā

Iegūtie rezultāti apkopoti turpmākajos attēlos.

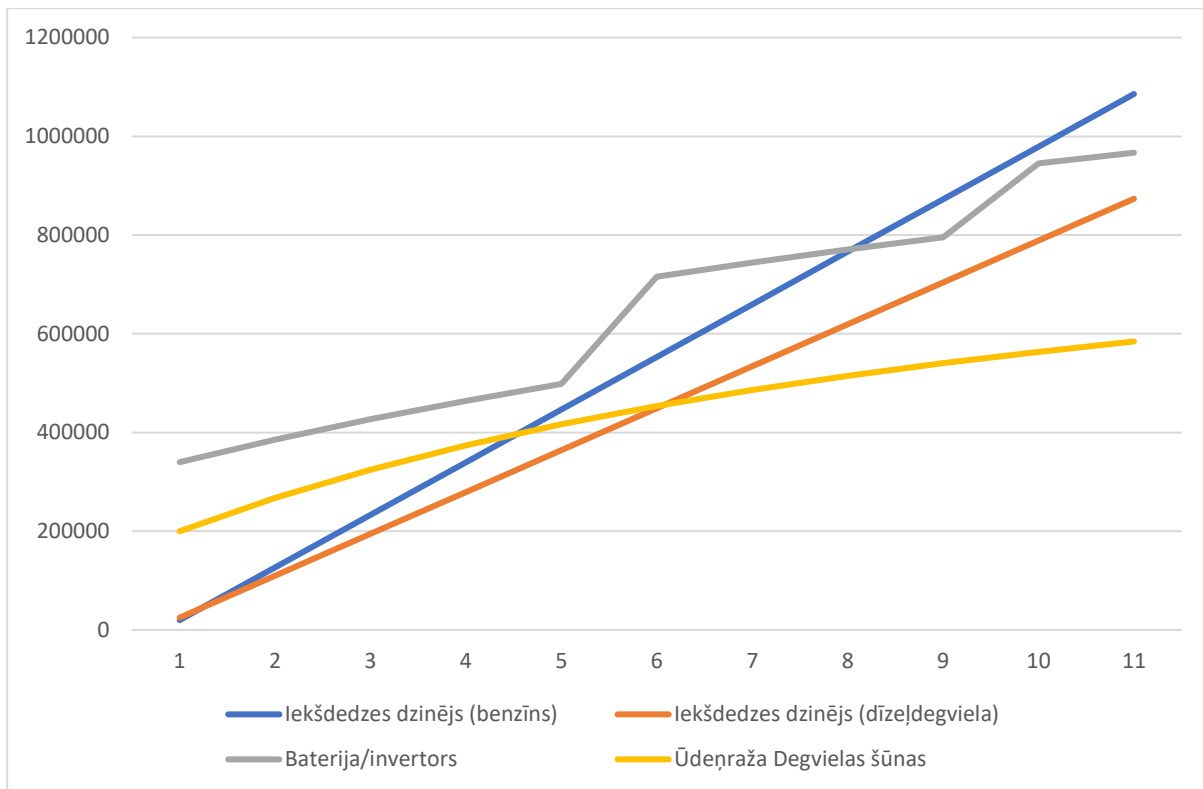
Pielietojot NPV modeli, tika konstatēts, ka pie mazām diskonta likmēm (5% un mazāk) visizdevīgākais ir ūdeņraža degvielas šūnu risinājums AEG. Pieaugot diskonta likmei, kā labākais risinājums ir bateriju/invertora risinājums (6.8., 6.9., 6.10. att.).



6.8. att. NPV modelis ar 5% diskonta likmi



6.9. att. NPV modelis ar 10% diskonta likmi



6.10. att. NPV modelis ar 15% diskonta likmi

Tātad, ja ņemam vērā tikai CAPEX izmaksas, tad iekšdedzes dzinēju darbināmi autonomi elektroģeneratori ir vislētākie. Tomēr, ja ņemam vērā arī OPEX izmaksas, tad ilgtermiņā baterija/invertora sistēmas un ūdeņraža kurināmā elementa sistēmas var būt lētākas.

Īpaši ievērojamas ir baterija/invertora sistēmas, kas ir dārgākas iegādes stadijā, taču ilgtermiņā var būt lētākas par iekšdedzes dzinēju darbinātiem autonoma elektroģeneratoriem, jo degvielas izmaksas ir zemākas.

Ūdeņraža kurināmā elementa sistēmas ir dārgas iegādes stadijā, taču tās var būt lētākas nekā iekšdedzes dzinēju darbināti autonomi elektroģeneratori ilgtermiņā, jo degvielas izmaksas ir vēl zemākas nekā baterijām/invertoriem.

Tomēr ir svarīgi atzīmēt, ka elektroenerģijas izmaksas ir tikai viens no faktoriem, kas jāņem vērā, izvēloties autonomo elektroģeneratoru. Citi svarīgi faktori ietver sistēmas uzticamību, efektivitāti un kopējo izmaksu efektivitāti.

## Secinājumi

Pētījums apstiprina, ka mobilā ūdeņraža ģeneratora ražošana ir perspektīva. Tiem ir potenciāls rast plašu pielietojumu gan tautsaimniecībā, gan militārā nozarē, jo šādas tehnoloģijas ģeneratora darbība salīdzinājumā ar iekšdedzes dzinējiem darbināmajiem ģeneratoriem nodrošina trokšņu līmeņu ievērojamu samazinājumu un CO<sub>2</sub> izmešu samazinājumu. Mobilā ūdeņraža ģeneratora potenciālie klienti: Aizsardzības ministrija, Iekšlietu ministrija, Satiksmes ministrija, industriālās nozares klienti Latvijā, kā arī citās valstīs.