

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Darius Baltramaitis

**FOTO VANDENILINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO
TYRIMAS**
Magistro darbas

Vadovas

doc. Leonardas Buivis

Šiauliai, 2006

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Tvirtinu

Katedros vedėjas

doc. Teodoras Šimkevičius

2006 06

**FOTO VANDENILINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO
TYRIMAS**

Magistro darbas

Vadovas Doc. Leonardas Buivis

2006 06 06

Atliko **EM4gr.** magistrantas

2006 06 05 Darius Baltramaitis

Recenzentas Dokt. Nerijus Šulčius

2006 06

SANTRAUKA

Magistro darbas.

Magistro baigiamojo darbo tikslas yra foto vandenilinės elektrinės efektyvumo tyrimas. Remiantis šiame darbe surinkta medžiaga galima apžvelgti šiuo metu esamas vandenilio energetikos tyrinėjimo kryptis, kuro elementų rūšis, taip pat praktinių bandymų rezultatus, kurie buvo atlikti su laboratoriniais kuro elementais.

Vandenilio elektrinė - tai ateities elektrinė, kuri šiuo metu yra vystymosi stadijoje, kadangi šios elektrinės pagrindinės dalys (tradicinėse elektrinėse yra generatorius) yra kuro elementas ir pirminės energijos šaltinis - saulės elementas. Darbe nagrinėjama kuro elementų ir saulės elementų tipai, jų naudingo veikimo koeficientai.

Dirbančiai elektrinei labai svarbus dydis yra jos NVK. Todėl pasinaudojant turimais laboratoriniais modeliais bus nustatinėjamas bendras tokios elektrinės efektyvumo rodiklis. Gautus rezultatus bus galima palyginti su esamais rezultatais, kuriuos galima rasti mokslinėje literatūroje.

SUMMARY

Masters diploma

The purpose of the masters diploma work is analysis of efficiency of hydrogen power stations. Based on the data collected in the work, current exploration directions in hydrogen energetic and kinds of fuel cells can be reviewed, as well as results of a laboratory tests, performed with laboratory fuel specimens.

Hydrogen power station, as a station of the future, is currently in the developing phase. Fuel cell and solar panel battery types and efficiency factors are examined, considering fuel cells and solar panel batteries, as primary supply source, are major components in the power station.

The most important thing in operation of the power station is it's rate of efficiency. The attempt will be made to determine common efficiency value of such power station. It will be possible to compare received results with those provided in the specified literature.

LENTELĖS

1 lentelė	Svarbiausi radiometriniai ir fotometriniai fizikiniai dydžiai.....	8
2 lentelė	Tiesioginė saulės energija, krintanti į horizontalų paviršių Lietuvoje, kWh/m2..	13
3 lentelė	Visa saulės energija (tiesioginė ir nuo dangaus skliauto), patenkanti į horizontalų paviršių Lietuvoje, kWh/m2.....	14
4 lentelė	Visa saulės energija, patenkanti į įvairiai orientuotą plokštumą, kWh/m ² per metus.....	15
5 lentelė	Puslaidininkų draudžiamosios juostos.....	20
6 lentelė	Saulės modulio charakteristikos.....	46
7 lentelė	Saulės modulio elementų gaunamos ir atiduodamos galios santykis.....	48
8 lentelė	Vandenilio generatoriaus pagaminamo vandenilio kiekis.....	48
9 lentelė	Elektrocheminio generatoriaus vandenilio sunaudojimas.....	49
10 lentelė	Elektrocheminio generatoriaus voltamperinių charakteristikų duomenys.....	50

PAVEIKSLAI

1 pav.	Saulės energijos priklausomybė nuo metų laiko Šiauliuose.....	16
2 pav.	Saulės elemento charakteristikos.....	17
3 pav.	Idealaus fotoelektrinio elemento atstojamoji schema.....	18
4 pav.	Fotoelektrinio modulio voltamperinės charakteristikos esant skirtingoms apšvietoms E.....	19
5 pav.	Saulės elemento struktūra.....	21
6 pav.	Saulės elemento voltamperinių charakteristikų sujungimo elektrinė schema.....	23
7 pav.	Saulės elemento voltamperinė charakteristika.....	23
8 pav.	Saulės elemento galios charakteristika.....	24
9 pav.	Apšviestumo įtaka elemento voltamperinėms charakteristikoms.....	25
10 pav.	Galios priklausomybė nuo įtampos.....	26
11 pav.	Kuro elemento virsmo proceso struktūrinė schema.....	27
12 pav.	Tradicinės elektrinės virsmo proceso schema.....	28
13 pav.	Kuro elementų tipai.....	29
14 pav.	PEM kuro elemento veikimo režimai.....	32
15 pav.	PEM kuro elemento (elektrolizerio) veikimo principas.....	33
16 pav.	PEM elektrocheminio generatoriaus veikimo principas.....	35
17 pav.	Foto vandenilinės elektrinės struktūrinė schema.....	37
18 pav.	Matematinis saulės elemento modelis.....	37
19 pav.	Saulės elemento srovės ir įtampos bei galios charakteristikos.....	38
20 pav.	Elektrolizerio celės kreivės esant skirtingoms temperatūroms.....	40
21 pav.	Elektrolizerio efektyvumo kreivė.....	41
22 pav.	PEM įtampos srovės priklausomybės.....	42
23 pav.	Maksimalios galios taško charakteristika tipinėje PEMFC dirbančioje prie nustatyto dydžio reikšmės.....	43
24 pav.	Foto vandenilinio tyrimų stendo struktūrinė schema.....	45
25 pav.	Galios priklausomybė nuo apšvietos.....	47
26 pav.	Įtampos priklausomybė nuo apšvietos.....	47
27 pav.	Pagaminto vandenilio tūrio priklausomybė nuo laiko.....	49
28 pav.	Elektrocheminio generatoriaus voltamperinė charakteristika.....	51
29 pav.	Elektrocheminio generatoriaus galios charakteristika.....	51

TURINYS

ĮVADAS.....	7
1. SAULĖS IR VANDENILIO ENERGIJOS PANAUDOJIMO AKTUALUMAS.....	8
2. SVARBIAUSI RADIOMETRINIAI IR FOTOMETRINIAI FIZIKINIAI DYDŽIAI	10
3. SAULĖS ENERGIJOS KRINTANČIOS Į ŽEMĘ CHARAKTERISTIKOS	12
4. SAULĖS TIEKIAMOS ENERGIJOS ĮVERTINIMAS IR JOS IMTUVAI	15
4.1 SPINDULINĖ SAULĖS ENERGIJOS DALIS TENKANTI LIETUVAI.....	15
4.2 SAULĖS (FOTOELEMENTO) ELEMENTO SANDARA IR VEIKIMO PRINCIPAS	18
4.3 FOTOELEKTRINĖSE NAUDOJAMI SAULĖS ELEMENTAI	22
5. EKSPERIMENTINIS SAULĖS ELEMENTO CHARAKTERISTIKŲ MATAVIMAS.....	25
5.1 SAULĖS ELEMENTO VOLTAMPERINĖ IR GALIOS CHARAKTERISTIKOS SAULĖS ŠVIESOJE.....	25
5.2 ELEMENTO VOLTAMPERINĖ IR GALIOS CHARAKTERISTIKOS DIRBTINĖJE ŠVIESOJE.....	26
6. KURO ELEMENTAI	29
6.1 KURO ELEMENTŲ TIPAI.....	31
6.2 VANDENILIO GENERATORIUS.....	35
6.3 ELEKTROCHEMINIS GENERATORIUS.....	37
7. FOTO VANDENILINĖS ELEKTRINĖS STRUKTŪRINIS MODELIS.....	39
8. FOTO VANDENILINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO TYRIMAS	47
6.1 VANDENILIO SAUGOJIMAS	54
6.1.1 Skysto vandenilio saugojimas.....	56
6.1.2 Cheminės būsenos vandenilio transportavimas ir saugojimas	56
6.1.3 Vandenilio saugojimas hidrituose.....	57
IŠVADOS.....	58
LITERATŪRA.....	60
PRIEDAI	62

ĮVADAS

Darbo aktualumas. Šiuolaikinės energetikos pagrindinės nuostatos yra, energijos tiekimo patikimumas, energijos gamybos ir vartojimo efektyvumas, energetinių paslaugų prieinamumas, poveikio aplinkai mažinimas. Šias nuostatas padėti įgyvendinti gali nauji energijos šaltiniai ir naujos technologijos.

Bendrasis energijos suvartojimas pasaulyje sparčiai didėja, todėl bus nelengva įgyvendinti su klimato pokyčiais susijusius tikslus. Energijos efektyvumas ir atsinaujinantys energijos šaltiniai yra itin svarbūs, siekiant ekologiškesnės energijos sistemos.

Energijos suvartojimas ES šalyse didėjo ir tebedidėja nuo devintojo dešimtmečio vidurio, ir manoma, kad ši tendencija išliks. Norint įgyvendinti bendruosius Europos ir nacionalinius tikslus, iki 2010 metų reikės žymiai padidinti ekologiškos energijos gamybą.

Tam gali pasitarnauti atsinaujinantys energijos šaltiniai kaip saulės ir vandenilio energetika.

Saulės spinduliavimas yra neišsenkantis, ekologiškai švarios energijos šaltinis. Į žemę patenkanti saulės energija daugiau kaip 10000 kartų viršija dabartinius žmonijos energetinius poreikius.

Vanduo yra viena iš vandenilio žaliavų, kuri labiausiai paplitusi žemėje. Todėl jo panaudojimas kaip kuro kelia didelį susidomėjimą.

Foto vandenilinė elektrinė - tai naujo tipo ir šiuolaikinių technologijų ir mokslo pasiekimo elektrinė. Šios elektrinės elementai yra tobulinimo ir mokslinių atradimų stadijoje.

Tyrimo objektas. Foto vandenilinės jėgainės efektyvumas.

Darbo tikslas. Ištirti foto vandenilinės elektrinės efektyvumą. Remiantis surinkta mokslinė bei šviečiamąja medžiaga, apžvelgti šiuo metu esamas vandenilio energetikos tyrinėjimo kryptis, kuro elementų rūšis, taip pat praktinių bandymų rezultatus, kurie buvo atlikti su laboratoriniais kuro elementais.

Darbo sudaro: įvadas, kuriame pateikiama bendroji darbo charakteristika, aštuoni skyriai, išvados, literatūros, paveikslų bei lentelių sąrašai.

1. SAULĖS IR VANDENILIO ENERGIJOS PANAUDOJIMO AKTUALUMAS

Šiuo metu, kai kuro problema tampa vis aktualesnė ir kurą importuojančios šalys darosi vis labiau priklausomos nuo savo kuro tiekėjų, kurie tiesiogiai įtakoja šalies kuro kainas tuo pačiu ir bendrą ekonominę situaciją šalyje, alternatyvioji arba atsinaujinančių šaltinių energetika yra labai aktuali valstybėms, kurios neturi savo kuro išteklių arba kuro išteklių yra labai riboti. Tarp šalių, perkančių kurą ir visai priklausančių nuo jo tiekimo iš užsienio, yra Lietuva. Saulė tai yra labai galingas energijos šaltinis.

Apskaičiuota, kad per metus į Žemę patenka 1050 TWh Saulės energijos. Visam žemės paviršiui tenka apie 120TW galia. Jeigu sugebėtume tinkamai panaudoti šios energijos resursus, tuomet turėtume didžiulius kiekius pigios ir neišsenkančios energijos.

Kitas turintis dideles perspektyvas energijos šaltinis yra vandenilis. Panaudojant atsinaujinančią saulės ir vėjo energiją, mokslininkai sugebėjo iš vandens elektrolizės būdu išskirti vandenilį. Šiuo atveju vandenilis tampa energijos nešėju, įgalinančiu transportuoti energiją iš generavimo vietos į naudojimo vietą bei naudoti energiją skirtingu, nei generavimas, metu. Šiuo atveju procese nevyksta jokios taršos. Šiuo metu, didėjant organinio kuro suvartojimui, atmosferos užterštumas anglies dvideginiu CO₂ yra apie 25 % didesnis negu prieš šimtmetį. Oro temperatūra planetoje po truputį kyla. Todėl yra dedamos didžiulės pastangos CO₂ mažinimui. Pasaulio valstybių atstovai siekdami sumažinti CO₂ kiekius Kioto susitikime 1997 m. pasirašė „Bendrosios klimato kaitos konvencijos protokolą“ dėl šiltnamio efekto ir kitų išmetamų aplinkai žalingų dujų sklaidos mažinimo. Skaičiuojama, jog per 2008-2012 m. periodą ES šalys CO₂ išmetimą į atmosferą turėtų sumažinti 8%. Tam, kad 340 mln. tonų kenksmingų medžiagų nepatektų į atmosferą, teks investuoti 6.800 mln. EUR.

Remiantis šiuo nutarimu Lietuvos didžiausios elektrinės turėtų griežčiau riboti sieros dioksido išmetimą, kuris susidaro deginant mazutą.

1 priede esančioje lentelėje yra pateiktos pagrindinių atmosferos taršalų, susidarančių gaminant elektros energiją skirtingose elektrinėse, kiekiai.

Iš lentelės matosi, kad mažiausiai išmetamų dujų kiekiais aplinką teršia hidroelektrinės, tačiau jos sudaro kitokių ekologinių problemų savo poveikiu aplinkai. Anglies ir mazuto elektrinės yra didžiausios CO₂ 'išmetėjos' į aplinką.

Atominė energetika yra savo energijos gamybos procese beveik neturinti kenksmingų išmetimų į aplinką, tačiau panaudoto kuro saugojimas kelia rimtą poveikį aplinkai.

Taip pat galima pastebėti, kad žala aplinkai neužfiksuota elektrinėse, kurios naudoja atsinaujinančios energijos šaltinius.

Pirmojo skyriaus išvados :

- Tradicinėje energetikoje kurui yra naudojama organinis ir branduolinis kuras.
- Šiuo metu naudojamo kuro pasekmės yra:
 - Aplinkos užterštumas ;
 - Didėja priklausomybė nuo kuro tiekėjų (ekonominės problemos).

2. SVARBIAUSI RADIOMETRINIAI IR FOTOMETRINIAI FIZIKINIAI DYDŽIAI

1 lentelė

Svarbiausi radiometriniai ir fotometriniai fizikiniai dydžiai

Radiometriniai dydžiai Pavadinimas, matavimo vienetas, (žymėjimas)	Simbolis	Fotometriniai dydžiai Pavadinimas, matavimo vienetas, (žymėjimas)	Simbolis
Spinduliuotės (energijos) srautas, vatas (W)	Φ_e	Šviesos srautas, lumenas (lm)	Φ_v
Spinduliuotės stipris, vatas / steradianas (W/sr)	I_e	Šviesos stipris, lumenas / steradianas (lm/sr) arba kandela (cd)	I_v
Energinis skaitis, vatas / steradianas · metras ² (W/sr·m ²)	L_e	Skaistis, lumenas / steradianas · metras ² (lm/sr·m ²) arba kandela / metras ² (cd/m ²)	L_v
Energinė apšvieta (energinis šviesis), vatas / metras ² (W/m ²)	E_e	Apšvieta (šviesis), lumenas / metras ² (lm/m ²) arba liuksas (lx)	E_v

Radiometrinių dydžių simboliai turi indeksą - e, o fotometrinių – v.

Spinduliuotės (energijos) srautas Φ_e arba spinduliuotės galia – tai dydis apibūdinantis spinduliuotės perdavimo iš vienos vietos į kitą spartą ir lygus išspinduliuotų, perduodamų ar priimamų elektromagnetinių bangų energijai per laiko vienetą.

Šviesos srautu Φ_v vadinama regimojo spinduliavimo galia, kuri įvertinama pagal normalios (adaptuotos) akies spinduliuotės pojūtį. Srautas Φ_v yra šviesos elektromagnetinių bangų energija, pernešama per laiko vienetą per tam tikrą paviršiaus plotą ir įvertinama pagal regimąjį pojūtį. Matavimo vienetas – lumenas. Jis atitinka monochromatinės spinduliuotės, kurios dažnis yra $540 \cdot 10^{12}$ Hz ir spinduliuotės galia – 1/683 vato, šviesos srautą.

Vadinasi monochromatinei šviesai, atitinkančiai maksimalų akies jautrį ($\lambda = 550$ nm), šviesos srautas lygus 683 lm, jeigu galia lygi vienam vatui.

Tarp spinduliuotės (energijos) srauto ir šviesos srauto yra toks ryšys:

$$\Phi_v = K\Phi_e; \quad (2.1)$$

čia: K – šviesinis veiksmingumas. Jo matavimo vienetas yra lumenas vatui (lm/W).

Tam tikram spinduliuotės bangos ilgiui jis yra skirtingas ir vadinamas spektriniu šviesiniu veiksmingumu. Vienspalvės $540 \cdot 10^{12}$ hercų spinduliuotės spektrinis šviesinis veiksmingumas yra maksimalus ir lygus 683lm/W.

Apšvieta E_v yra lygi į paviršiaus elementą ΔS krintančiam šviesos srautui $\Delta\Phi$ tenkančiam vienetiniam to paviršiaus plotui:

$$E_v = \Delta\Phi / \Delta S; \quad (2.2)$$

Radiometrinis atitikmuo – energinė apšvieta lygi į vienetinį paviršiaus elementą krintančiam spinduliuotės (energijos) srautui.

Saulės energinė apšvieta (energinis šviesis) Žemės paviršiuje aiškia dieną vidurdienį yra apytiksliai lygi 1000 W/m^2 , o apšvieta – 10^5 lx . Tačiau šie dydžiai skiriasi priklausomai nuo geografinės platumos, metų laikų, paros laiko.

3. SAULĖS ENERGIJOS KRINTANČIOS Į ŽEMĘ CHARAKTERISTIKOS

Optinė spinduliuotė - tai elektromagnetinės spinduliuotės dalis, esanti nuo 1nm - 1mm diapazone. Jos energija matuojama kvantais.

$$\varepsilon = hv; \quad (3.1)$$

čia $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js (Planko konstanta),

v - spinduliuotės dažnis.

Kvanto masė:

$$m = \frac{\varepsilon}{c_o^2}; \quad (3.2)$$

čia c_o - šviesos greitis.

Kvanto impulsas:

$$P_f = \frac{hv}{c_o}; \quad (3.3)$$

Spinduliavimo energija - tai optinio spinduliavimo srauto sukuriama energija per tam tikrą laiką:

$$Q_e = \int_{t_1}^{t_2} \Phi_e(t) dt \text{ arba } Q_e = nhv; \quad (3.4)$$

čia n - fotonų skaičius.

Spinduliavimo energijos matas yra džaulis (J) arba vatsekundė (Ws).

Spinduliavimo srautas - tai spinduliavimo galia:

$$\Phi_e = \int \varphi_e(\lambda) d\lambda; \quad (3.5)$$

čia: $\varphi_e(\lambda)$ - optinio spinduliavimo spektrinis tankis vatais (W) arba

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}; \quad (3.6)$$

Erdvinis kampas – tai spindulių, kurie sferos paviršiuje išskiria plotelį dA , bei sujungtų su sferos centru, sudarytas kampas $d\omega$ (erdvėje), matuojamas steradianais (sr):

$$d\omega = \frac{dA}{r^2}; \quad (3.7)$$

Jeigu plotelis dA yra erdvėje orientuotas taško atžvilgiu ne sferos paviršiuje, tuomet projekcija sferos paviršiuje yra $dA \cos \alpha$ ir šis plotelis taško atžvilgiu užima erdvinį kampą:

$$d\omega = \frac{dA \cos \alpha}{r^2}; \quad (3.8)$$

Spinduliavimo stipris - tai spinduliavimo srauto ($d\Phi_e$) erdvinis tankis:

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}; \quad (3.9)$$

Matavimo vienetas vatai steradianui (W/sr).

Kadangi įvairiomis kryptimis gali būti skirtingas, tai spinduliavimo stipris skaičiuojamas pažymint jo kryptį.

Energetinė apšvita – tai švitinamo paviršiaus spinduliavimo srauto ($d\Phi_e$) paviršinis tankis:

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}; \quad (3.10)$$

Matavimo vienetas vatai į ploto kvadratinį metrą (W/m^2).

Dydis taikomas optinio spinduliavimo energetiniam poveikiui įvertinti.

Energetinis šviesis - tai spindulio paviršiaus spinduliavimo srauto ($d\Phi_e$), paviršinis tankis:

$$M = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad (3.11)$$

Matavimo vienetas vatai į ploto kvadratinį metrą (W/m^2).

Energetinis skaitis – tai optinio spinduliavimo stiprio (dI_e) imtuvo kryptimi paviršinis tankis:

$$L_e = \frac{dI_e}{dA \cos \alpha}; \quad (3.12)$$

Matavimo vienetas - vatai į erdvinio ploto vieneta, padaugintą iš ploto vieneto kvadrato ($W/sr \cdot m^2$)

Energetinė ekspozicija - tai optinio spinduliavimo (dQ_e) energijos paviršinis tankis:

$$H_e = \int_{t_1}^{t_2} E_e(t) dt \quad \text{arba} \quad H_e = \frac{dQ_e}{dA}; \quad (3.13)$$

Matavimo vienetas džaulis arba vatskundė į ploto kvadratinį metrą (J / m^2) arba (W_s / m^2).

Šviesos stipris - tai šviesos srauto erdvinis tankis, matas apibūdina srauto pasiskirstymą erdvėje:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}; \quad (3.14)$$

Matavimo vienetas kandela (cd), $1cd = \frac{lm}{sr}$.

Apšvita – tai apšviečiamo paviršiaus (dA) šviesos srauto (dΦ) paviršinis tankis:

$$E = \frac{d\Phi}{dA}; \quad (3.15)$$

Matavimo vienetas liuksas (lx), $lx = \frac{lm}{m^2}$.

Šviesos energija - tai šviesos srauto sukuriama energija per laiko vienetą:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t) dt; \quad (3.16)$$

Matavimo vienetas lumensekundė (lm·s).

4. SAULĖS TIEKIAMOS ENERGIJOS ĮVERTINIMAS IR JOS IMTUVAI

4.1 Spindulinė saulės energijos dalis tenkanti Lietuvai

Norint sužinoti foto vandenilinės jėgainės tinkamumą eksploatuoti mūsų sąlygomis reikia, visų pirma, žinoti saulės energijos kiekius, tenkančius Lietuvai ir atskiriems jos rajonams, skirtingais metų laikais bei atskirais mėnesiais, kiek jos tenka horizontaliam paviršiui, kiek tektų įvairiai orientuotoms plokštumoms, tiek pasaulio šalių atžvilgiu, tiek ir pastatytoms tam tikru kampu į horizontalią padėtį.

Atitinkamai susisteminus Lietuvos hidrometeorologinės tarnybos leidinyje pateiktus daugiamečius saulės spindulinės energijos duomenis, buvo nustatyta koreliacija (koreliacijos koeficientas 0,99) tarp saulės spindėjimo trukmės ir jos spindulinės energijos. Tokiu būdu buvo nustatyta saulės tiesioginių spindulių, krintančių į horizontalų paviršių, energija (žr. 1 lentelė), pilnutinė saulės energija (žr. 2 lentelė), o taip pat energija, krintanti į įvairiai orientuotas vertikalias plokštumas (žr. 3 lentelė).

2 lentelė

Tiesioginė saulės energija, krintanti į horizontalų paviršių Lietuvoje, kWh/m²

Eil. Nr.	Vietovė	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Per Metus
1.	Šilutė	4	11	31	54	87	97	83	71	40	18	5	3	504
2.	Nida	4	11	31	55	88	98	86	73	41	18	5	3	513
3.	Kaunas	4	11	30	51	81	88	77	68	38	17	5	3	473
4.	Vilnius	4	11	29	47	78	81	72	67	35	17	5	3	449
5.	Telšiai	3	11	29	53	87	97	81	69	40	18	5	3	496
6.	Šiauliai	3	11	29	51	87	93	79	70	39	17	5	3	487
7.	Klaipėda	3	11	29	43	78	96	84	73	39	17	4	3	480
8.	Vėžaičiai	3	11	29	53	86	87	88	69	39	18	4	3	490
9.	Utena	4	11	29	49	80	85	75	65	35	16	4	3	456
10.	Biržai	3	10	28	49	83	88	77	66	35	15	3	2	459
11.	Dotnuva	3	10	30	52	87	94	82	72	38	17	3	2	490
12.	Dūkštas	3	10	28	49	84	89	78	67	35	15	3	2	463
13.	Kybartai	4	12	31	52	83	89	78	69	39	18	5	4	484
14.	Lazdijai	4	12	31	52	84	90	79	70	39	18	5	3	487
15.	Varėna	3	10	29	48	82	86	75	70	35	16	3	2	459

**Visa saulės energija (tiesioginė ir nuo dangaus skliauto), patenkanti į horizontalų paviršių
Lietuvoje, kWh/m²**

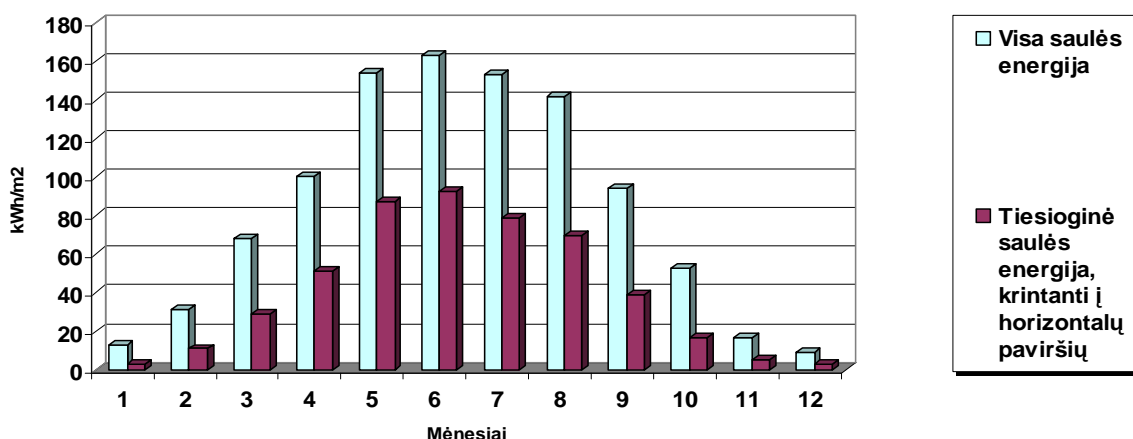
Eil. Nr.	Vietovė	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Per Metus
1.	Šilutė	15	33	72	106	154	169	161	143	96	55	16	9	1029
2.	Nida	14	31	72	108	155	171	165	148	97	54	17	10	1042
3.	Kaunas	16	33	70	99	146	155	150	138	90	52	16	9	976
4.	Vilnius	16	34	69	93	142	146	142	136	84	50	17	10	739
5.	Telšiai	14	32	69	104	154	168	156	141	96	55	19	11	1018
6.	Šiauliai	13	31	68	100	154	163	153	142	94	53	17	9	996
7.	Klaipėda	12	31	67	102	155	158	161	147	94	53	16	8	1013
8.	Vėžaičiai	13	32	67	104	153	154	155	140	94	53	14	8	988
9.	Utena	15	33	67	96	145	151	147	133	84	50	16	8	946
10.	Biržai	8	27	65	96	148	156	151	135	83	46	9	2	926
11.	Dotnuva	10	29	70	103	154	164	158	145	92	50	11	3	989
12.	Dūkštas	9	28	65	97	150	157	153	137	84	47	10	1	938
13.	Kybartai	20	37	74	103	148	157	152	140	93	56	21	14	1015
14.	Lazdijai	19	37	74	103	150	159	153	142	94	56	20	13	1021
15.	Varėna	11	31	68	94	147	152	147	142	85	48	11	3	939

Visa saulės energija, patenkanti į įvairiai orientuotą plokštumą, kWh/m² per metus

Eil. Nr.	Vietovė	Statmena spinduliams	Horizontali	Rytai	Pietryčiai	Pietūs	Pietvakariai	Vakarai
1.	Šilutė	1141	1029	676	804	825	790	650
2.	Nida	1439	1042	684	811	832	797	658
3.	Kaunas	1354	976	644	774	801	762	620
4.	Vilnius	1306	939	622	754	783	744	599
5.	Telšiai	1407	1018	669	798	820	784	648
6.	Šiauliai	1380	996	631	786	810	773	631
7.	Klaipėda	1402	1013	666	795	818	782	641
8.	Vėžaičiai	1369	988	651	781	806	769	626
9.	Utena	1316	946	626	757	786	746	603
10.	Biržai	1290	926	614	746	777	736	591
11.	Dotnuva	1370	989	652	782	807	770	627
12.	Dūkštas	1305	938	621	752	783	742	598
13.	Kybartai	1405	1015	670	795	818	784	643
14.	Lazdijai	1411	1021	671	799	821	786	645
15.	Varėna	1307	939	622	753	787	742	599

1 paveiksle, pagal turimus duomenis, atvaizduojame Saulės energijos priklausomybę nuo metų laiko.

Saulės energijos priklausomybė nuo metų laiko Šiauliuose



1 pav. Saulės energijos priklausomybė nuo metų laiko Šiauliuose

4.2 Saulės (fotoelemento) elemento sandara ir veikimo principas

Apšviestame saulės elementų modulyje, kuris sudarytas iš grupės tarpusavyje elektriškai sujungtų fotoelementų vyksta saulės spindulinės energijos konversijos į nuolatinės srovės elektros energiją procesas.

Jeigu prie fotoelemento neprijungta išorinė įtampa, tai dėl šviesos atsiradusius p - n sandūroje krūvininkus veikia p - n sandūros vidinis elektrinis laukas. Veikiamos elektrinio lauko skylės patenka į p sritį, elektronai – į n sritį. Taip p sritis įsikrauna teigiamai, n sritis – neigiamai. Tarp p ir n sričių išvadų atsiranda potencialų skirtumas – foto įtampa. Šis reiškinys vadinamas *fotovoltiniu reiškiniu*. Taigi šviesos diodas gali veikti kaip fotovoltinis elementas. Prijungus prie fotovoltinio elemento apkrovą grandinėje teka srovė.

Svarbiausi saulės elemento parametrai, kurie rūpi vartotojui, - tai generuojama srovė bei įtampa.

2 paveiksle matome saulės elemento voltamperinę charakteristiką, kai elementas apšviestas (kreivė a) ir neapšviestas (kreivė b).

Tamsaus saulės elemento srovės (I_d) išraiška, atitinka įprastinę srovės, tekančios diodo p - n sandūrai, išraišką:

$$I_d = I_0 \{ \exp(qU/nkT) - 1 \}; \quad (4.2.1)$$

čia:

I_0 yra atvirkštinė soties srovė,

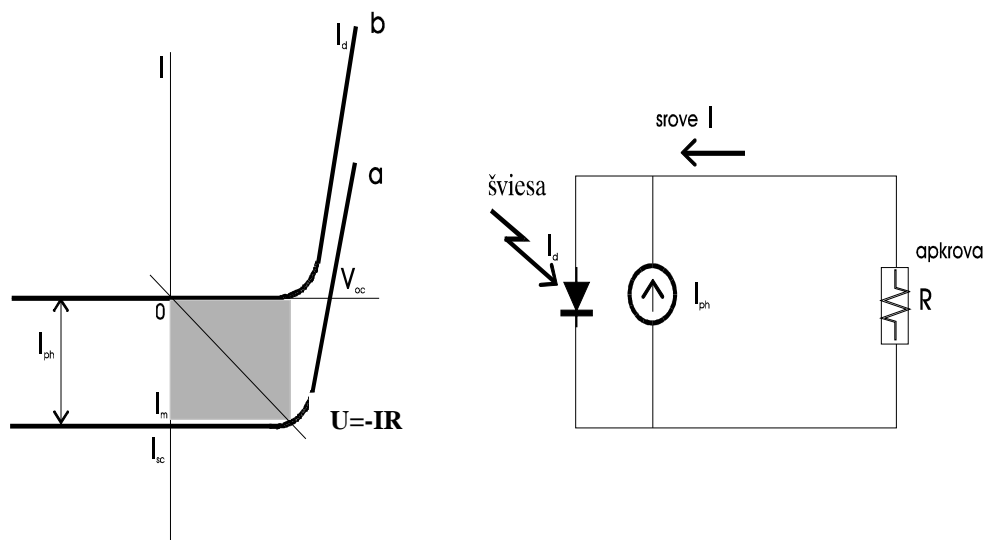
q - elektrono krūvis,

U - įtampa,

n - diodo faktorius, apibūdinantis nukrypimą nuo idealios diodo charakteristikos,
 k - Bolcmano konstanta,
 T - absoliutinė temperatūra.

Kai elementas apšviestas, foto srovė (I_{ph}) teka kaip atvirkštinė diodo srovė ir yra tiesiai proporcinga apšviestumui. Laikydami srovės tekėjimo kryptį (2 pav.) teigiama, turime tokią srovės ir įtampos priklausomybę:

$$I = -I_{ph} + I_0 \{ \exp(qU/nkT) - 1 \}; \quad (4.2.2)$$



2 pav. Saulės elemento charakteristikos

Jei prie saulės elemento prijungiama apkrovimo varža R , įtampa U_R ir srovė I_R apkrovoje nustatomos iš saulės elemento srovės ir įtampos priklausomybės ir tiesės, atitinkančios $U = -IR$ sankirtos. Šiame taške išėjimo galingumas apkrovoje:

$$P_{out} \text{ yra lygus } RI^2_R; \quad (4.2.3)$$

Jei saulės elemento kontaktai yra atjungti arba užtrumpinti, saulės elemento išėjimo galia lygi nuliui. Derinant apkrovimo varžą, galime surasti optimalų darbo tašką, kur išėjimo galia yra maksimali.

Saulės elemento efektyvumo koeficientas η yra apibrėžiamas, taip:

$$\eta = \frac{\text{galia optimaliame veikimo taške}}{\text{saulės elemento gaunama energija}} \times 100\%;$$

Didžiausias atiduodamas galingumas P_{\max} , atviros grandinės įtampa (U_{oc} , kai srovė lygi nuliui) ir trumpojo jungimo srovė (I_{sc} , kai įtampa lygi nuliui) yra susietos priklausomybe:

$$P_{\max} = U_{oc} I_{sc} FF; \quad (4.2.4)$$

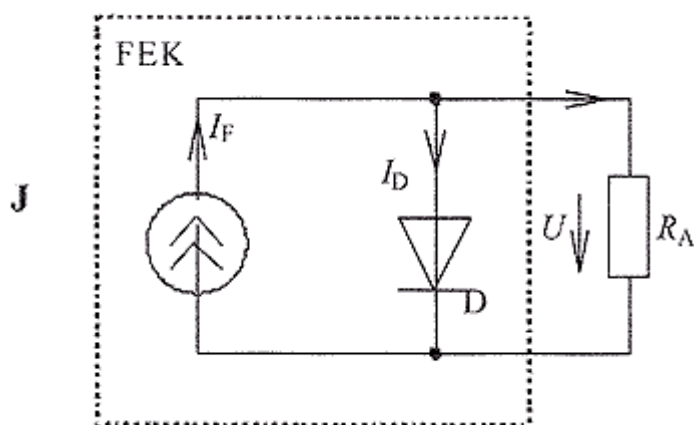
čia: FF yra užpildymo faktorius, kuris yra lygus:

$$FF = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}}; \quad (4.2.5)$$

čia: U_m ir I_m yra įtampa ir srovė darbo taške.

Idealiai monokristalinio silicio saulės elementui FF teoriškai yra apie 0,8, bet realiame, ypač, kai jo plotas yra per 100 cm^2 ir daugiau, FF mažėja.

Žinant fotoelektrinio elemento veikimo principą, galima sudaryti analogiškai veikiančią jo atstojamąją elektrinę schemą. Idealaus fotoelektrinio elemento atstojamoji elektrinė schema pateikta 3 paveikslėlyje. Analogišką schemą galima sudaryti ir fotoelektriniams moduliams, sudarytiems iš fotoelementų. Šią schemą sudaro ekvivalentinis srovės šaltinis J , kurio srovė I_F priklauso nuo apšvietos E_j ir ekvivalentinis diodas D , kurio p–n sandūros varža priklauso nuo apkrovos varžos R_A ir temperatūros T . Kai $R_A = 0$, tai ir $U = 0$ ir fotoelementas veikia trumpojo jungimo režimu. Per diodą D dėl didelės jo p–n sandūros varžos srovė I_D tokiomis sąlygomis dar neteka.

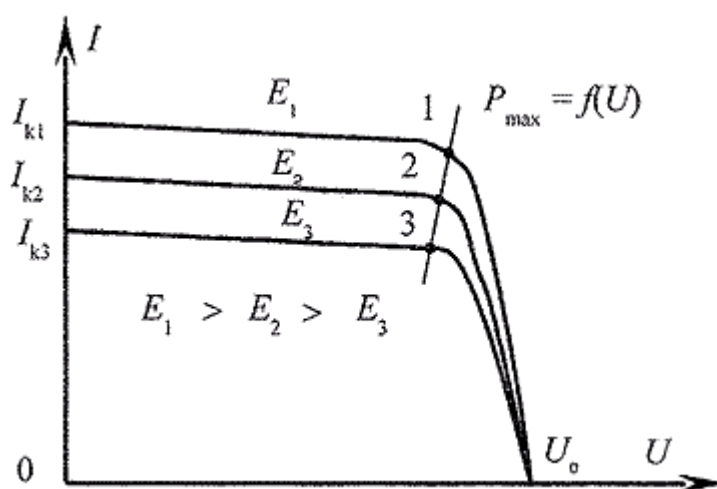


3 pav. Idealaus fotoelektrinio elemento atstojamoji schema

Didinant apkrovos varžą R_A , didėja įtampa U ir fotoelementas arba visas modulynas pradžioje veikia srovės šaltinio režimu iki tol, kol apkrovos galia pasiekia didžiausią vertę. Šiame taške apkrovos varža yra lygi fotoelemento vidaus varžai.

4 paveikslėlyje pateikta fotoelemento voltamperinės charakteristikos. Jame šias maksimalios galios vertes žymi tiesės $P_{\max} = f(U)$ ir fotoelemento voltamperinių charakteristikų $I = f(U)$ susikirtimo taškai 1, 2 ir 3. Didinant apkrovos varžą RA , didėja įtampa U ir mažėja diodo p–n sandūros varža. Todėl didėja diodo srovė I_D fotoelemente (modulyne) veikia įtampos šaltinio režimu.

Norint, kad modulis elektros apkrovai atiduotų maksimalią galią esant kiekvienai apšvietos vertei (kuri, kinta plačiose ribose), reikia nuolat reguliuoti jo apkrovos varžą taip, kad ji visais atvejais būtų lygi fotoelementinei vidaus varžai, kuri kinta priklausomai nuo apšvietos. Šią funkciją automatiškai atlieka galios maksimizatoriai.



4 pav. Fotoelektrinio modulio voltamperinės charakteristikos esant skirtingoms apšvietoms E

Kai $RA = (\text{begalybei})$, apkrovos srovė $I_A = 0$. Šiuo atveju turime Fotoelektrinio modulio tuščiosios veikos režimą, kai generuojama elektrovara U_0 . Fotoelektrinio modulio voltamperinių charakteristikų taškai 1,2,3 (4 pav.), kuriuose apkrovos galia pasiekia didžiausią vertę, vadinami suderintojo darbo režimo taškais. Šie taškai turi įdomią savybę: kai fotoelektrinis elementas dirba suderintuoju darbo režimu, jo vidinė varža yra lygi apkrovos varžai RA . Fotoelektrinio elemento vidinė varža kinta priklausomai nuo apšvietos E .

Panagrinėję fotoelektrinio modulio voltamperines charakteristikas matome, kad jos turi tris ypatingus (charakteringus) taškus: trumpojo jungimo, suderintojo darbo režimo ir tuščiosios veikos. Šių taškų parametrai, išmatuoti, kai apšvieta lygi 1 Saulei (1000 W/m^2), pateikiami fotoelektrinio modulio pasuose (žr. 2 pav.).

Pažymėtina, kad fotoelektrinio modulio voltamperinių charakteristikų pobūdis priklauso nuo temperatūros. Didėjant temperatūrai, fotoelektrinio modulio elektrovara kiek mažėja, o trumpojo jungimo srovė šiek tiek didėja.

4.3 Fotoelektrinėse naudojami saulės elementai

Šiuo metu labiausiai paplitęs fotoelementas yra silicis. Jis yra naudojamas dėl, lyginant su kitais elementais neaukštos kainos, tačiau jo NVK (naudingumo koeficientas) nėra aukštas.

Silicis pasižymi viena labai svarbia savybe. Jei į jį krinta šviesa, tai ji iš silicio priemaišų, atomų išmuša šiaip jau tvirtai su branduoliu susietus elektronus, ir šie laisvai keliauja po visą silicio plokštelę.

Silicio atomą sudaro keturiolika protonų ir keturiolika elektronų. Išoriniame jo sluoksnyje, paprastai vadinamame valentiniu, yra keturi elektronai. Kai formuojamas silicio monokristalas, atomai patys susigrupuoja ir sudaro kovalentines jungtis su keturiais gretimais atomais. Kiekvienoje jungtyje silicio atomas dalijasi vienu iš keturių savo valentinių elektronų su kaimyninio atomo vienu iš keturių valentinių elektronų. Šito pasėkoje kiekvieno iš atomų išorinis sluoksnis yra pilnai užpildytas (jame gali būti iki aštuonių elektronų) ir atomas yra stabilioje būsenoje. Elektronai yra pririšti valentinėje juostoje ir negali klaidžioti nuo atomo prie atomo. Tam, kad jie galėtų taip daryti, jie turi gauti energijos ir peršokti į laidumo juostą.

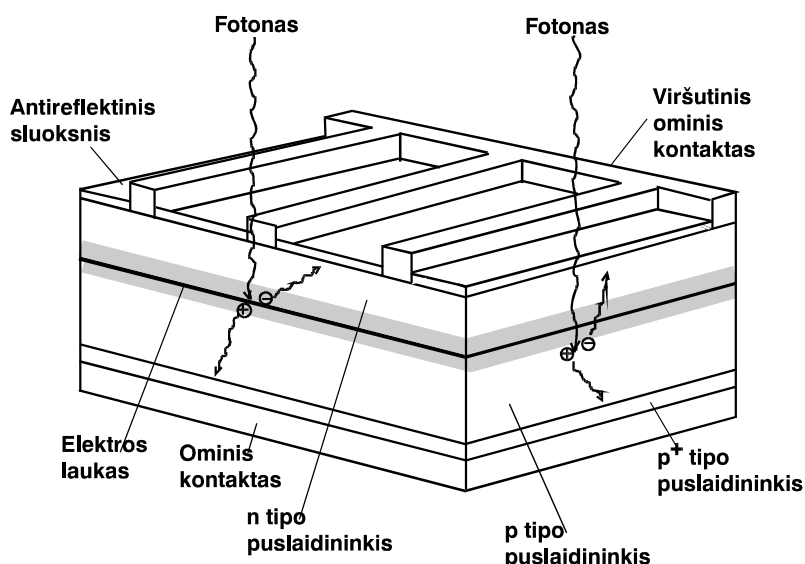
Energijos skirtumas tarp laidumo ir valentinės juostos yra vadinamas *draudžiamąja juosta*. Skirtingos medžiagos turi skirtingo pločio draudžiamąsias juostas. Draudžiamosios juostos dydis apsprendžia saulės elemento atviros grandinės įtampą. 5 lentelėje nurodyti kai kurių puslaidininkių draudžiamųjų juostų dydžiai.

5 lentelė

Puslaidininkių draudžiamosios juostos

Medžiaga	Draudžiamoji juosta (eV)
Monokristalinis silicis	1,12
Amorfinis silicis	1,75
Kadmio teluridas	1,44
Galio arsenidas	1,43

5 paveiksle atvaizduojama Saulės elemento struktūra:



5 pav. Saulės elemento struktūra

Šviečiant ryškiai saulei, kai į elemento 1cm^2 krinta 100mW šviesos galingumas ($1\text{kW}/\text{m}^2$), iš jo gaunamas $10\text{-}18\text{ mW}$ elektros galingumas. Paprastai saulės elementai formuojami $100\text{-}150\text{mm}$ skersmens silicio plokštelėse. Toks elementas turi $0,5\text{-}0,6\text{V}$ įtampą ir atiduoda $2\text{-}3\text{A}$ stiprumo srovę, t.y. $1\text{-}1,5\text{W}$ galingumą.

Santykis tarp gaunamo iš saulės elemento elektros galingumo ir krintančio į elementą saulės šviesos galingumo, vadinamas saulės elemento efektyvumu.

Šiuo metu saulės elementų efektyvumas būna $13\text{-}15\%$ pramoninėje gamyboje ir iki 30% grynai eksperimentiniuose pavyzdžiuose.

Saulės elementai gali būti formuojami bet kokiame puslaidininkyje. Jų elektrines bei eksploatacines charakteristikas lems puslaidininkio prigimtis, elemento struktūra bei jo gamybos technologija.

Pateikiu dažniausiai naudojamų fotoelementų pagrindinius duomenis, kurie buvo nustatyti įvairiose pasaulio mokslinių tyrimų laboratorijose.

Si monokristalas: jo efektyvumas siekia $\eta=24,7\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=0,706\text{V}$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=42,2\text{mA}/\text{cm}^2$.

Si polikristalas: jo efektyvumas siekia $\eta=19,8\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=0,654\text{V}$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=38,1\text{mA}/\text{cm}^2$.

Si plon sluoksnis: jo efektyvumas siekia $\eta=16,6\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=0,645\text{V}$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=32,8\text{mA}/\text{cm}^2$.

GaAs kristalas: jo efektyvumas siekia $\eta=25,1\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=1,022\text{V}$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=28,2\text{mA}/\text{cm}^2$.

GaAs plonasluoksnis: jo efektyvumas siekia $\eta=25,3\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=1,011V$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=27,6mA/cm^2$.

GaAs polikristalinis: jo efektyvumas siekia $\eta=18,2\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=0,994V$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=23,0mA/cm^2$.

InP kristalas: jo efektyvumas siekia $\eta=21,9\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=0,878V$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=29,3mA/cm^2$.

GaInP/GaAs/Ge junginys: jo efektyvumas siekia $\eta=32,0\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=2,622V$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=14,37mA/cm^2$.

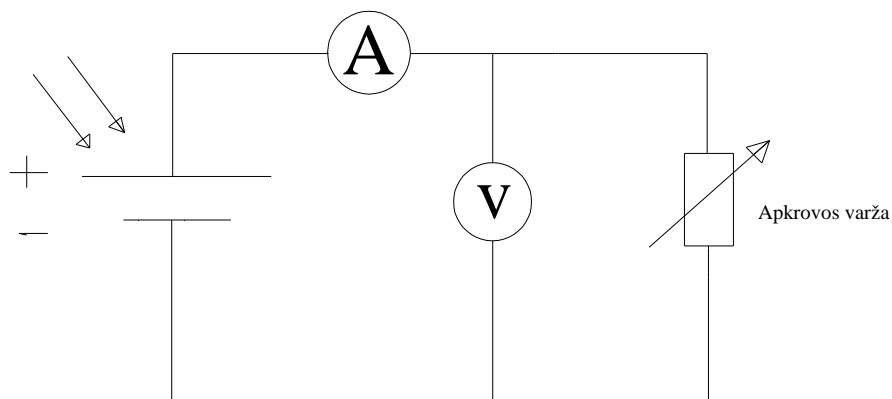
GaInP/GaAs junginys: jo efektyvumas siekia $\eta=30,3\%$, atviros grandinės įtampa $U_{oc}=2,488V$, trumpojo jungimo srovė $I_{sc}=14,22mA/cm^2$.

Šiuo metu daug gaminama labai įvairių tipų saulės elementų ir jų modulių (standžios konstrukcijos, kuriose sumontuotas ir elektriškai sujungtas didesnis ar mažesnis atskirų saulės elementų kiekis: vienkristalio silicio, polikristalinio silicio, silicio juostų, amorfinio silicio sluoksnių ant pigaus padėklo, monokristalinio silicio su šviesos koncentratoriais. Bandomosiose gamyklose gaminami ar ruošiamasi artimiausiu laiku pradėti gaminti vario-indžio selenido, kadmio, telūrido, silicio juostų iš tuščiavidurių auginamų briaunainių, galio, arsenido bei silicio elementai su koncentratoriais.

5. EKSPERIMENTINIS SAULĖS ELEMENTO CHARAKTERISTIKŲ MATAVIMAS

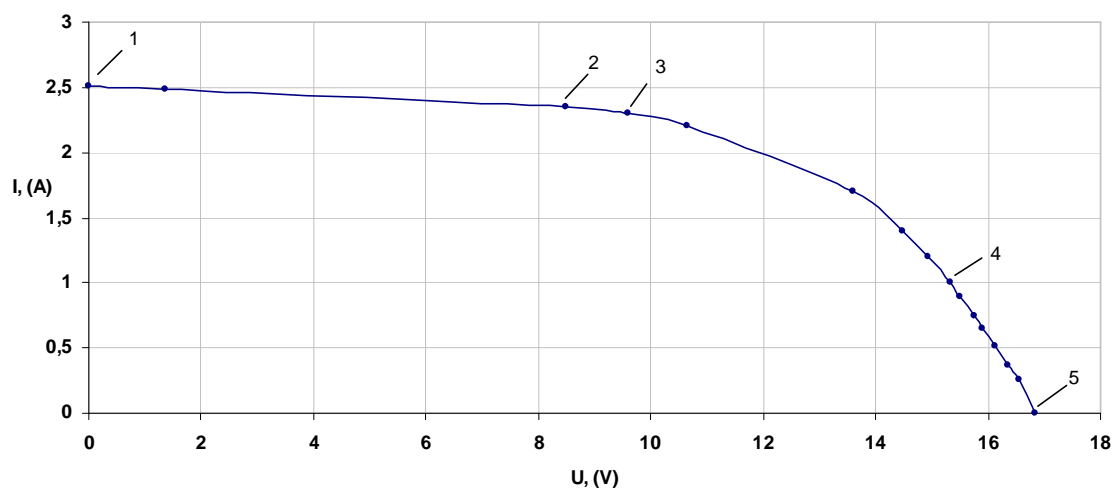
5.1 Saulės elemento voltamperinė ir galios charakteristikos saulės šviesoje

Saulės elemento voltamperinių charakteristikų matavimui sujungiama elektrinė schema, pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Saulės elemento voltamperinių charakteristikų sujungimo elektrinė schema

Keičiant apkrovos varžą, matuojama elemento generuojama įtampa U (V) ir per elementą tekanti srovė I (A). Gaunama saulės elemento voltamperinė charakteristika (žr. 7 pav.), iš kurios galima apskaičiuoti elemento galios P ($P = U \times I$) charakteristiką (žr. 8 pav.).



7 pav. Saulės elemento voltamperinė charakteristika

Išvados:

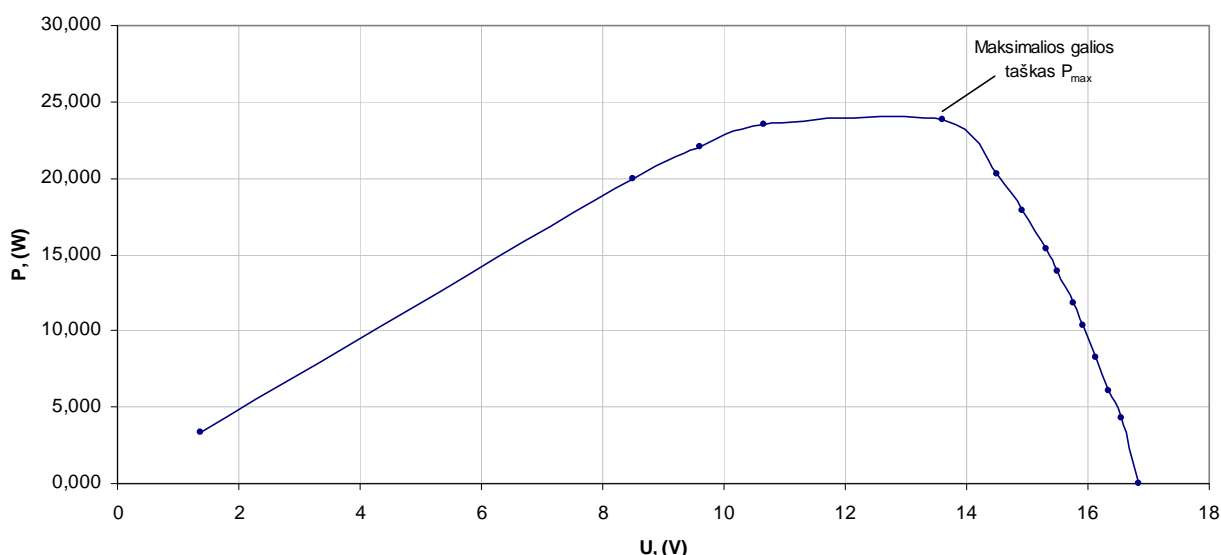
Taškas 1: Apkrovos varža lygi 0 (trumpas jungimas). Elemento įtampa lygi 0.

Elemento srovė yra didžiausia ir priklauso nuo elemento ploto, apšvietimo efektyvumo. Ši srovė vadinama *trumpo jungimo srove*.

Taškas 2, 3: Šiame diapazone, didinant apkrovos varžą, įtampa U auga greitai, o srovė I mažėja lėtai.

Taškas 4: Voltamperinės charakteristikos kritimo sritis. Didėjant apkrovos varžai srovė mažėja greitai.

Taškas 5: Apkrovos varža atjungta ($R = \infty$). Elemento įtampa yra didžiausia ir priklauso nuo puslaidininkio draudžiamosios juostos ir apšvietimo. Ši įtampa vadinama atviros grandinės įtampa.



8 pav. Saulės elemento galios charakteristika

Kiekvienam voltamperinės charakteristikos taške, sudauginus įtampa ir srovę, gaunama elemento galios charakteristika. Nustatomas elemento maksimalios P_{\max} taškas.

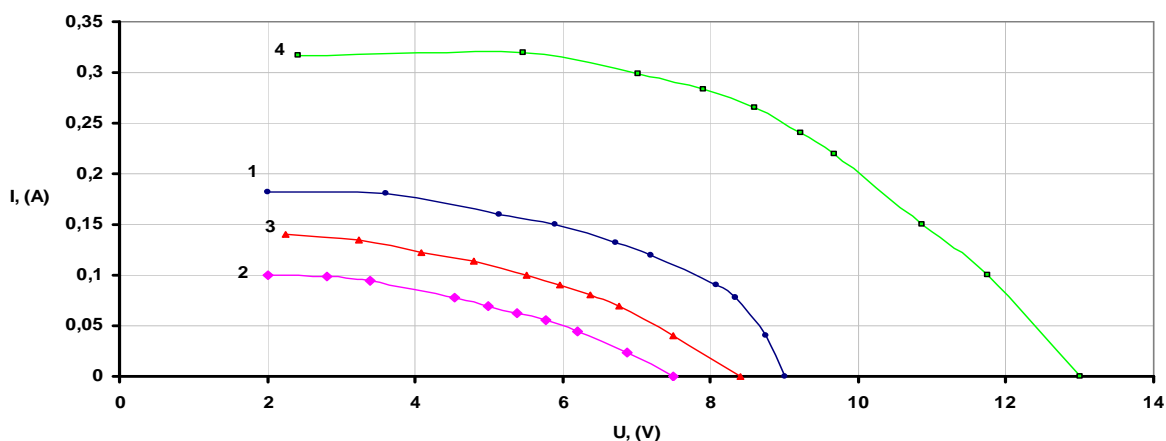
Išvados: Iš eksperimento rezultatų matosi, kad saulės elementų įtampa, srovė ir galia priklauso nuo apkrovos varžos. Yra apkrovos varžos dydis, prie kurio elemento galia yra didžiausia.

5.2 Elemento voltamperinė ir galios charakteristikos dirbtinėje šviesoje

Elemento charakteristikos paprastai matuojamos prie tam tikro, standartinio, apšvietumo.

Viršatmosferiniuose sluoksniuose prie žemės saulės spinduliavimo intensyvumas yra 1353 W/m^2 ir yra vadinamas saulės konstanta. Žemės paviršiuje saulės spinduliavimo intensyvumas lygus 1000 W/m^2 o jo spektrinė sudėtis priklauso nuo geografinės platumos.

Išmatuodami elemento voltamperines charakteristikas prie skirtingų apšvietimų ir skirtingų atstumų, gauname skirtingas voltamperines charakteristikas (žr. 9 pav.).

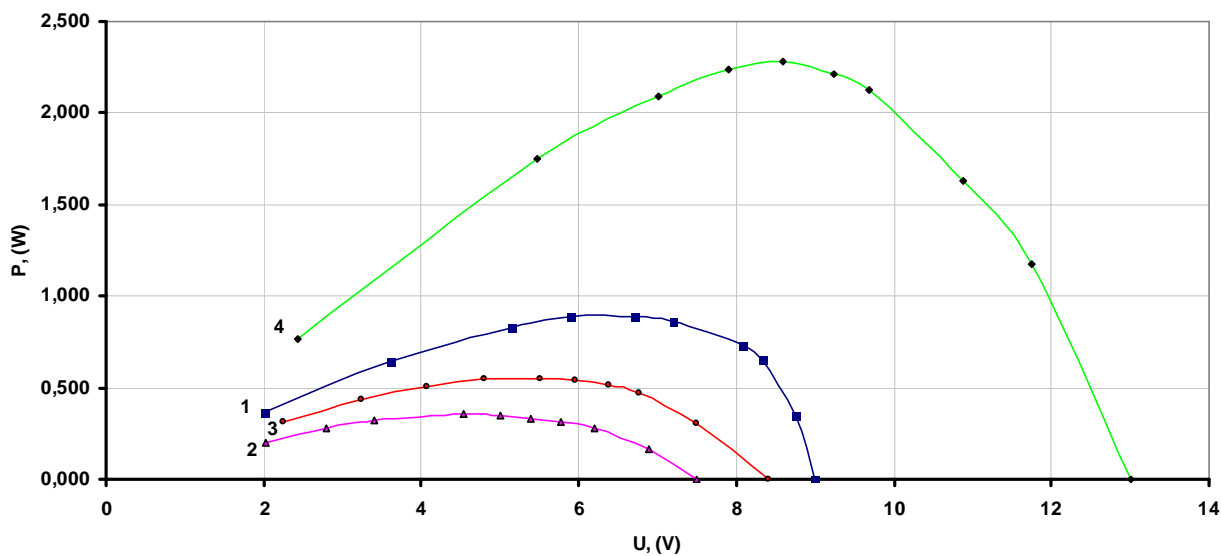


9 pav. Apšvietumo įtaka elemento voltamperinėms charakteristikoms

- 1 Kreivė buvo atliktas bandymas su 250W lempa, atstumas L-1m.
- 2 Kreivė buvo atliktas bandymas su 250W lempa, pakeistas atstumas L-2m.
- 3 Kreivė buvo atliktas bandymas su 1000W lempa, atstumas L-2m.
- 4 Kreivė buvo atliktas bandymas su 1000W lempa, atstumas L-1m.

Išvados: Iš grafiko matosi, kad elemento srovė tiesiogiai priklauso nuo apšvietimo intensyvumo, o įtampa didėja nežymiai.

Atstumas taip pat įtakoja apšvietimo intensyvumui ir spindulių pasiskirstymui erdvėje (žr. 10 pav.).



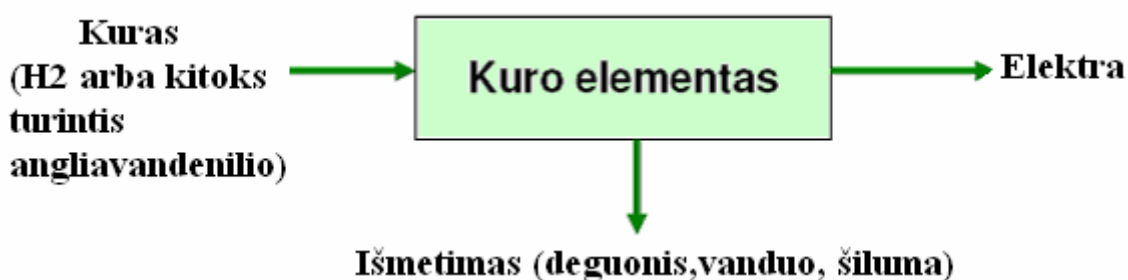
10 pav. Galios priklausomybė nuo įtapos

- 1 Kreivė buvo atliktas bandymas su 250W lempa, atstumas L-1m.
- 2 Kreivė buvo atliktas bandymas su 250W lempa, atstumas L-2m.
- 3 Kreivė buvo atliktas bandymas su 1000W lempa, atstumas L-2m.
- 4 Kreivė buvo atliktas bandymas su 1000W lempa, atstumas L-1m.

Išvados: Maksimalios galios darbo taške išgaunama galia tiesiogiai priklauso nuo apšvietimo intensyvumo, t.y., maksimali elemento galia pasiekama prie skirtingų apkrovos varžų dydžių.

6. KURO ELEMENTAI

Cheminės energijos keitikliai į elektros energiją yra vadinami kuro elementais. Kuro elementai (Fuel cells) yra elektrocheminis įrenginys kuriame vyksta vandenilio ir deguonies jungimosi reakcija, o atsipalaiduojanti energija iš karto paverčiama elektros energija, o ne šiluma. Kuru galima naudoti tiek gryną vandenilį tiek jo junginius. Priklausomai nuo kuro yra naudojamos įvairios tarpinės medžiagos – elektrolitai (kalio hidroksidas, fosforo rūgštis, ličio – kalio karbonatas, kieto cirkonio dioksidas, polimerinė protonams laidži membrana ir kt.).



11 pav. Kuro elemento virsmo proceso struktūrinė schema

Vandenilio kaip kuro privalumai:

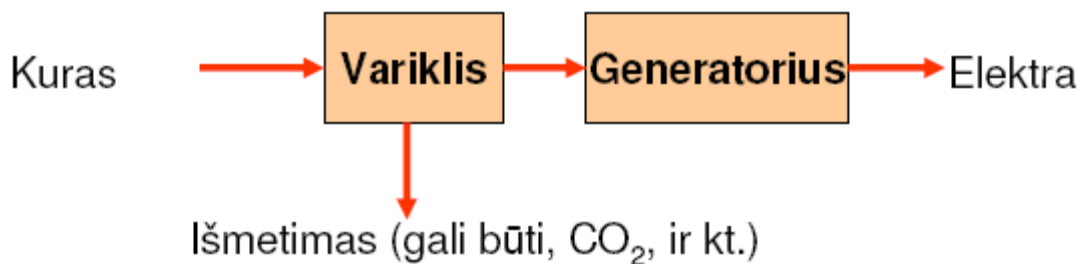
- vykstant oksidacijos reakcijai iš vandenilio galima išgauti labai didelius energijos kiekius,
- galima išgauti ekologiškai labai „švarią“ energiją,
- galimybė cheminės reakcijos metu išsiskyrusią energiją versti tiesiogiai elektros energija be tarpinių keitiklių.

Kuro elementai yra ta pati įprasta, baterija. Skirtumas tik tas, kad baterija „išsenka“, o kuro elementai – ne, kadangi jiems yra pastoviai tiekiamas kuras.

Tai kogeneracinis įrenginys, kadangi likutinis reakcijos produktas be vandens yra ir šiluma.

Kuras yra vandenilis, gamtinės dujos, metanolis ar kiti angliavandeniliai. Procesas švarus (vieninteliai likutiniai produktai yra vanduo ir šiluma), tylus (nėra jokių judančių dalių arba degimo proceso). Kuro elemento efektyvumas gerokai didesnis nei šiluminių procesų, nes jo neriboja termodinamikos dėsniai. Labai nedideli yra šių įrengimų aptarnavimo kaštai.

Kuro elementų efektyvumas yra daug didesnis, nei tradicinių elektros gamybos būdų. Jėgainių su kuro elementais efektyvumas jau dabar yra 50-65%, o ateityje tikimasi, kad efektyvumas viršys 85%.



12 pav. Tradicinės elektrinės virsmo proceso schema

Tradicinių energijos transformavimo įrenginių efektyvumą riboja Karno ciklo terminis naudingumo koeficientas. Tuo tarpu kuro elemente visa laisvoji Gibso energija gali būti transformuojama į elektros energiją. Kuru galima naudoti tiek gryną vandenilį tiek jo junginius. Priklausomai nuo kuro yra naudojamos įvairios tarpinės medžiagos – elektrolitai (kalio hidroksidas, fosforo rūgštis, ličio – kalio karbonatas, kieto cirkonio dioksidas, polimerinė protonams laidi membrana ir kt.).

Kuro elementai leidžia tiesiogiai generuoti elektros energiją, vykstant katalizinėms elektrocheminėms reakcijoms, pvz. *vandenilio oksidacijai ant anodo ir deguonies redukcijai ant katodo.*

Kuro elementų naudojamas kuras

Standartiniam kuro elementams vienintelis tinkamas kuras yra vandenilis. Pats savaime tai yra labai brangus kuras, gaminamas stambiose chemijos įmonėse. Tačiau paprastai kuro elementai įeina į sistemą, kur greta kuro elemento yra reformeris, įgalinantis kuro elementą dirbti, panaudojant bent kokį angliavandenilių kurą.

Reformeriai

Vandenilis yra gaunamas iš bet kurio angliavandenilinio kuro. T.y., gali būti panaudojamas metanolis, etanolis, gamtinės dujos, naftos distiliatas, skystas propanas ir gazifikuota akmens anglis.

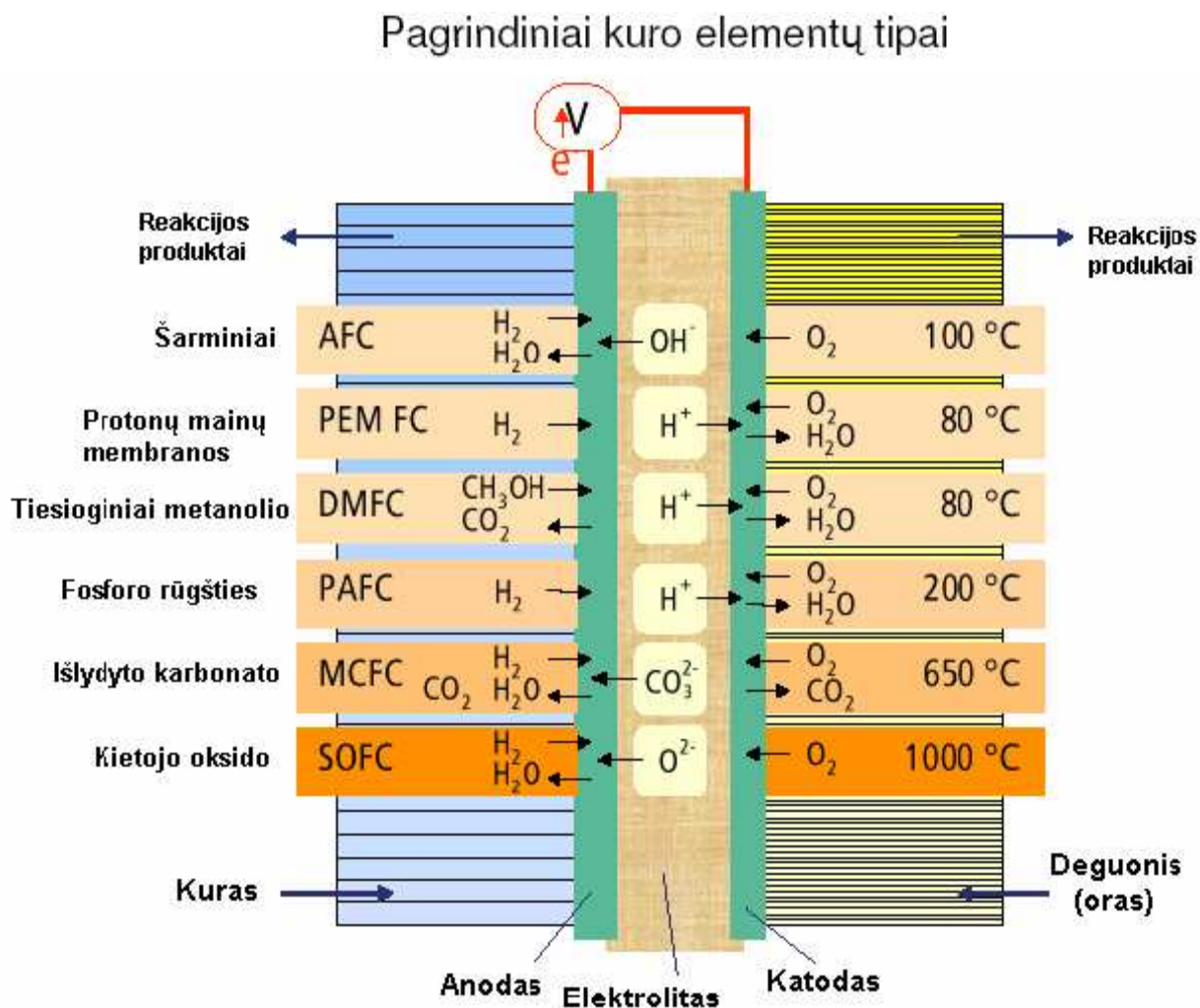
Vandenilio generavimo procesas vadinamas reformingu. Šis metodas ypač populiarus ten, kur vandenilio saugojimui nėra sąlygų.

Pirmas reformingo tipas yra endoterminis reformingas garu, vandens garui sąveikaujant su kuru ir specialių membranų pagalba separuojant iš kuro išsiskiriantį vandenilį. Metodo trūkumas yra tai, kad procesas yra endoterminis, t.y., jam vykdyti yra reikalinga šiluma.

Kitas reformerių tipas yra dalinės oksidacijos (POX) reformeriai.

6.1 Kuro elementų tipai

13 paveiksle pateikiami pagrindiniai kuro elementų tipai.



13 pav. Kuro elementų tipai

Šarminiai kuro elementai

Naudingumo koeficientas: Elektros generavimo efektyvumas juose siekia 70%.

Darbo temperatūra: elementų temperatūra yra nuo 150 iki 200° C .

Trūkumai: pasižymi ypač aukšta kaina, nors keletas įmonių šiuo metu dirba, bandydami sumažinti šio tipo kuro elementų kainą.

Elektrinė šio tipo kuro elementų galia dažniausiai būna nuo 300W iki 5kW.

Protonų membranos kuro elementai PEM

Naudingumo koeficientas : 40-60 %

Darbo temperatūra: 60-80°C

Kuras vandenilis

Privalumai: aukštas jų elektros generavimo efektyvumas, kuro elementai leidžia prisitaikyti prie greitai kintančio elektros energijos poreikio .

Trūkumai: Labai jautrūs tiekiamo kuro kokybei.

Panaudojimas: Automobilių pramonėje, nedideliuose pastatuose, gali pakeisti pakraunamus akumulatorius.

Tiesioginiai metanolio kuro elementai(DMFC)

Naudingumo koeficientas: elektros generavimo efektyvumas 40-55 %;

Darbo temperatūra: 50-100 °C

Panaudojimas: nešiojamuose kompiuteriuose, mobiliuosiuose telefonuose.

Šio tipo kuro elementai yra panašūs į PEM kuro elementus, kadangi ir čia naudojama polimerinė membrana kaip elektrolitas. Tačiau DMFC kuro elementuose, anodo katalizatorius pats savaime pritraukia vandenilį iš skysto metanolio, taigi prie kuro elementų nereikia įrengti kuro reformerio.

Fosforo rūgšties kuro elementai(PAFC)

PAFC- elektros energijos generacija didesnė nei 40% efektyvumu, maždaug 85% kogeneruojamos šilumos yra panaudojama kaip garas, tiekiamas iš kogeneracinės elektrinės vartotojų poreikiui

Darbo temperatūra: apie 150 - 200 °C

Esant žemesnėms temperatūroms, fosforo rūgštis tampa prastu jonų laidininku, o anglies monoksidas (CO) tampa ypač žalingu platinos katalizatoriui ant anodo. Elektrolitu šiuose KE yra skysta fosforo rūgštis išmirkytoje matricoje.

Privalumai: vienas iš pagrindinių šio KE tipo privalumų (neskaitant beveik 85% bendro kogeneracijos įrenginio efektyvumo) yra galimybė panaudoti nepilnai išvalytą nuo anglies monoksido kurą. PAFC kuro elementai gali naudoti kurą, kuriame yra iki 1,5% CO. Tai leidžia pasirinkti platesnį naudojamo kuro spektrą.

Trūkumai: šio KE tipo trūkumai yra – brangaus platinos katalizatoriaus naudojimas, palyginus nedidelis elektros generavimo efektyvumas, šie įrengimai yra dideli ir sunkūs.

Lydyto karbonato kuro elementai (MCFC)

Naudingumo koeficientas: elektros generavimas (apie 60%)

Bendras kogeneracijos efektyvumas (apie 85%)

Darbo temperatūra: siekia maždaug 650°C. Aukšta temperatūra yra reikalinga, siekiant padidinti elektrolito laidumą.

Kuras: naudoja vandenilį, anglies monoksidą, gamtines dujas, propaną, biodujas, dyzelinį kurą, anglies gazifikavimo metu gautas dujas.

Privalumai: aukštas efektyvumas, aukštos darbinės temperatūros leidžia naudoti paprastesnius katalizatorius.

Trūkumai: dėl aukštos darbinės temperatūros padidėjusi korozija ir sutrumpėjęs atskirų elementų tarnavimo laikas.

Panaudojimas: ypač perspektyvūs stambesnėse elektros generavimo jėgainėse

Kieto elektrolito kuro elementai (SOFC)

Naudingumo koeficientas: elektros generavimo efektyvumas siekia 60%,

bendras kogeneracijos efektyvumas 85%.

Darbo temperatūra: 600-1000°C

Kuras :vandenilio dujos ,propanas, metanolio dujos ir kt.

Privalumai:

Turi didžiausią naudingumo koeficientą ;

Kaip šalutinis produktas išsiskiria daug šilumos kuri gali būti naudojama kombinuoto tipo įrenginiuose;

Gaminant šį kuro elementą nenaudojami taurieji metalai;

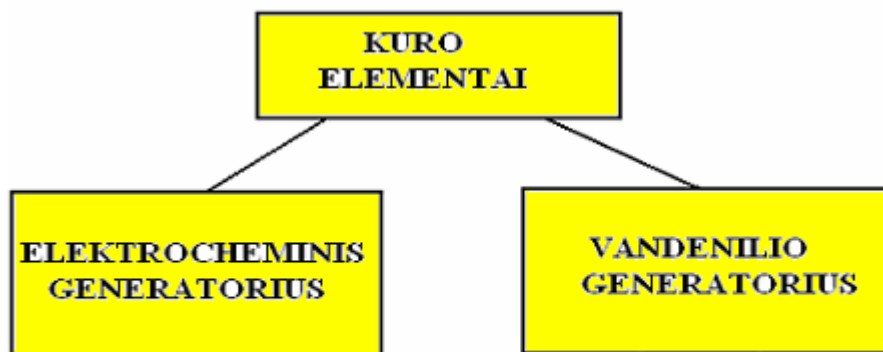
Darbo metu sukuriama labai maža anglies junginio emisija;

Ilgaamžė 40000-80000h.

Panaudojimas: panaudojimui stambesnėse pramoninėse ir elektros generavimo jėgainėse.

Šiame darbe nagrinėsiu kuro elemento su polimerine protonams laidžia membrana PEMFC (protone exchange membrane fuel cells) efektyvumą ir panaudojimo galimybes.

14 paveikslėlyje pateikiami PEM kuro elementų veikimo režimai.



14 pav. PEM kuro elemento veikimo režimai

Šių elementų pagrindiniai privalumai yra:

- KE dirba prie sąlyginai žemos temperatūros,
- aukštas yra jų elektros generavimo efektyvumas,
- kuro elementai leidžia prisitaikyti prie greitai kintančio elektros energijos poreikio.

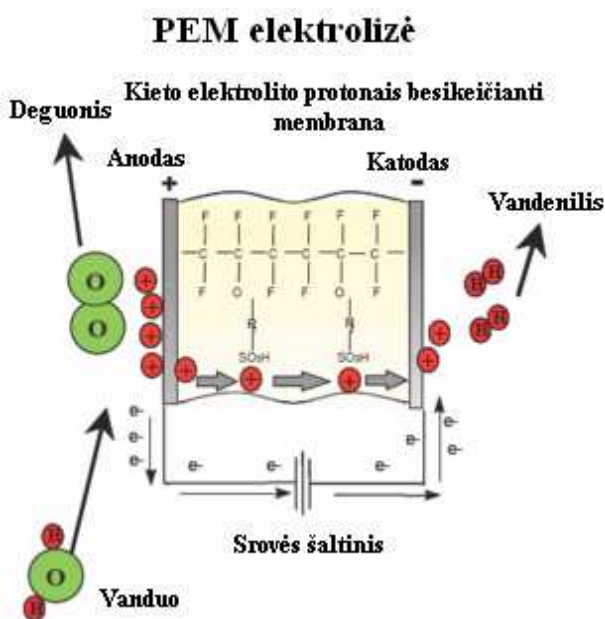
Šio tipo kuro elementai yra perspektyviausi įrengimui lengvuosiuose automobiliuose, nedideliuose pastatuose, taip pat potencialiai – smulkesniems poreikiams, pakeičiant pakraunamų akumuliatorių naudojimą.

Protonų membrana yra plonas plastikinis lakštas, pro kurį gali prasiskverbti vandenilio jonai. Membrana iš abiejų pusių yra padengta plonu metalo lydinio (dažniausiai platinos) sluoksniu, kuris veikia kaip katalizatorius. Naudojamas elektrolitas – kietos būsenos organinis polimeras, poly-perflourosulfoninė rūgštis. Kietos būklės elektrolitas yra privalumas, kadangi tai mažina koroziją ir aptarnavimo išlaidas.

6.2 Vandenilio generatorius

Vandenilio generatorius tai elektrocheminis įrenginys, kuriame, vanduo yra tiekiamas link anodo, kur katalizatoriaus suskaldo vandenį į vandenilio jonus, elektronus ir deguonį. Veikiami elektros lauko (potencialų skirtumo) elektronai per išorinę grandinę pereina į katodą, o protonai per polimerinę protonams laidžią membraną.

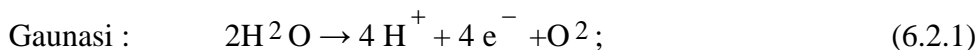
PEM kuro elemento principinė schema su protonams laidžia membrana pavaizduota 15 pav.



15 pav. PEM kuro elemento (elektrolizerio) veikimo principas

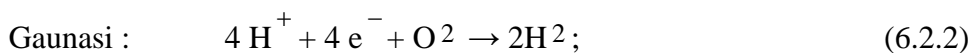
Proceso charakteristika:

Prie anodo katalizatorius suskaldo vandenį į vandenilio jonus H^+ , elektronus e^- ir deguonį O_2 ;



Veikiami elektrinio lauko (potencialų skirtumo) elektronai e^- per išorinę grandinę pereina į katodą, o H^+ protonai – per polimerinę protonams laidžią membraną.

Deguonis prie katodo surenka elektronus ir redukuojasi į O_2 jonus, kurie, susijungę su 2 H^+ jonais sudaro vandenilį.



Vandenilio energijos sistemos efektyvumo įvertinimo kriterijai:

Sistemos vandenilio generatoriaus efektyvumui įvertinti yra naudojamas pirmasis Faradėjaus dėsnis, pagal kurį galima apskaičiuoti teorinį vandenilio tūrį:

$$V^{H_2^{gen}} = R \cdot I \cdot T \cdot t / F \cdot p \cdot Z; \quad (6.2.3)$$

čia: $V^{H_2^{gen}}$ - pagamintas teorinis dujų kiekis (m^3);

R - universalioji dujų pastovioji $R=8.314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$;

T - aplinkos temperatūra ($^\circ\text{K}$);

I - elektrolizės proceso srovės stipris (A);

p - aplinkos slėgis (Pa);

F - Faradėjaus pastovioji $F=96485\text{C/mol}$.

Z- elektronų skaičius cheminio elemento atomo išorinėje orbitoje ($Z^{H_2} = 2$; $Z^{O_2} = 4$).

Pagal šį dėsnį galima apskaičiuoti vandenilio generatoriaus teorinį efektyvumo kriterijų

$\eta^{H_2^{genT}}$ (Faradėjaus kriterijų):

$$\eta^{H_2^{genT}} = V^{h_2r} / V^{H_2^{gen}}; \quad (6.2.4)$$

čia: $V^{H_2^{gen}}$ - teorinė pagaminto vandenilio tūrio reikšmė;

V^{h_2r} - realioji pagaminto vandenilio tūrio reikšmė.

Kadangi gamybos proceso metu susidaro vandenilio nuostoliai, todėl vandenilio generatoriaus energetinis efektyvumas η^{h_2} yra mažesnis $\eta^{H_2^{genT}}$.

Energetinis vandenilio generatoriaus efektyvumo kriterijus η^{h_2} apskaičiuojamas:

$$\eta^{h_2} = \eta^{H_2^{genT}} \cdot H_o / U \cdot I \cdot T; \quad (6.2.5)$$

čia: H_o - pagaminto vandenilio didžiausia energetinė šiluminė vertė J/m^3 .

$H_o = 12745 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$ - ši energija gali būti panaudota tik kaip šiluminė, o ne elektrinė.

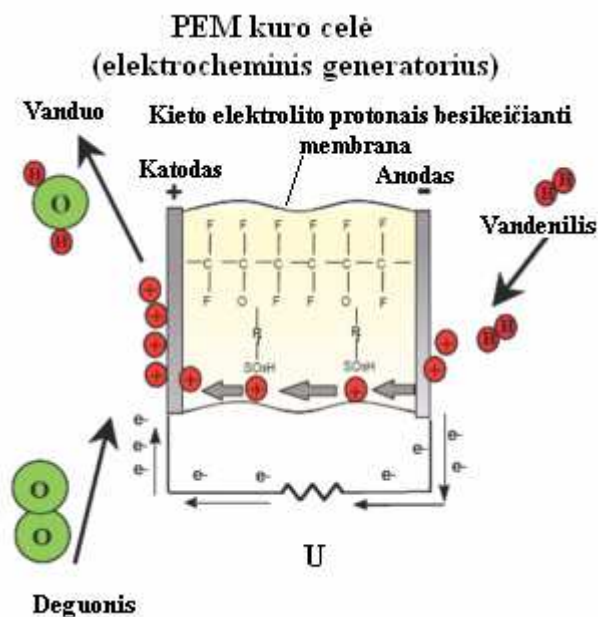
6.3 Elektrocheminis generatorius

Elektrocheminis generatorius, tai tas pats kuro elementas, tiksliai jo veikimo principas yra priešingas vandenilio generatoriaus veikimo principui.

Vandenilis yra tiekiamas link anodo, kur katalizatorius skatina vandenilio atomus skilti į elektronus ir protonus. Elektronai elektros srove teka elektros grandine link katodo. Šią elektros srovę galima naudoti pagal paskirtį. Deguonis tiekiamas link katodo. Tuo pačiu metu protonai prasiskverbia pro membraną (elektrolitą) link katodo, kur susijungia į vandenilio atomus ir reaguoja su deguonimi, virstant į vandenį.

Kiekvienas elektrocheminis generatorius (kuro elementas) atskirai gali duoti 0,7-1V, kad padidinti įtampą elektrocheminiai generatoriai yra jungiami į modulius nuosekliu jungimu. Jeigu norima padidinti srovę kuro elementai yra jungiami lygiagrečiai. Apjungus modulius su kuro padavimo sistema, oro padavimo ir vėdinimo o taip pat su valdymo sistema, tai gausime generatorių kuris bus pajėgus tiekti elektros energiją. Kadangi elektrocheminis generatorius yra sudarytas iš modulių tuomet norint padidinti jo galią reikia prijungti keletą modulių.

Elektrocheminio generatoriaus struktūrinė schema pavaizduota 16 pav.



16 pav. PEM elektrocheminio generatoriaus veikimo principas

Prie anodo katalizatorius suskaldo vandenilį į H^+ jonus, elektronus e^- :

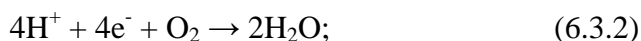


H₂- dviatomė vandenilio molekulė ;

H⁺ - jonizuotas vandenilis, protonas;

e⁻ - elektronas.

Deguonis prie katodo surenka elektronus ir redukuojasi į O₂ jonus, kurie ,susijungę su 2 H⁺ jonais sudaro vandenį;



Teorinis sunaudoto vandenilio tūris yra apskaičiuojamas:

$$\text{VEGt} = R \cdot I \cdot T \cdot t / F \cdot p \cdot Z; \quad (6.3.3)$$

čia: I - elektrocheminio generatoriaus su protonam laidžia membrana esant apkrovai RA- tiekiamos srovės stipris (A);

t - energijos konversijos proceso tyrimo laikotarpis (s);

T - aplinkos temperatūra (°K).

Elektrocheminio generatoriaus teorinę sunaudojamo vandenilio vertę galima apskaičiuoti:

$$\eta_{\text{EGf}} = \text{VEGf} / \text{VEG}; \quad (6.3.4)$$

čia: VEGf - teorinis apskaičiuotas vandenilio tūris;

VEG - realiai sunaudotas elektrocheminiame generatoriuje.

Elektrocheminio generatoriaus efektyvumo kriterijus yra apskaičiuojamas :

$$\eta_{\text{EG}} = U \cdot I \cdot t / \text{VEG} \cdot H_u; \quad (6.3.5)$$

čia: U - apkrovos RA įtampa;

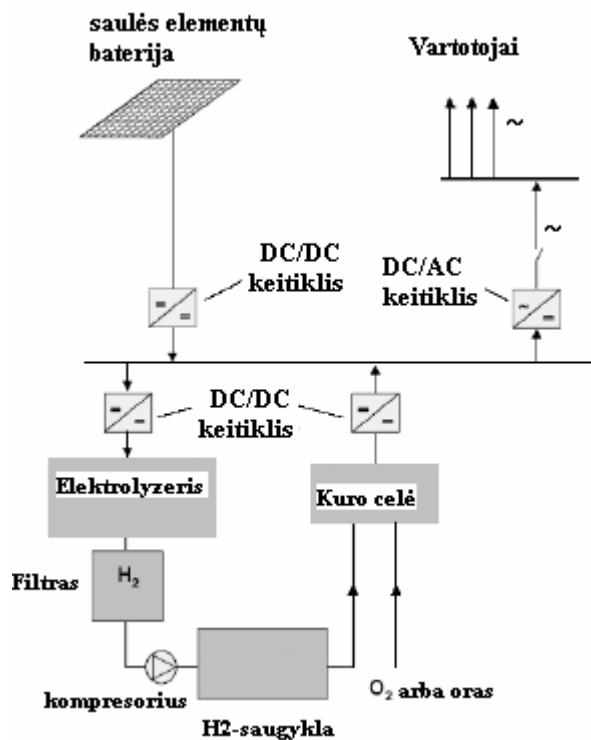
I -srovės stipris (A);

t - energijos konversijos proceso tyrimo laikotarpis (s);

VEG – realiai sunaudotas vandenilio kiekis (m³);

H_u – vandenilio energijos kalorinė vertė H_u = 10.8 · 10⁶ J/m³

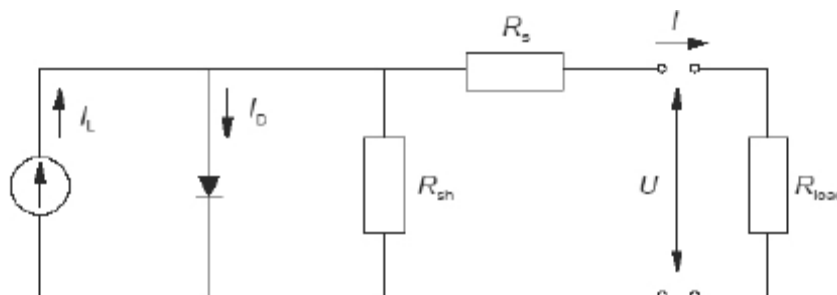
7. FOTO VANDENILINĖS ELEKTRINĖS STRUKTŪRINIS MODELIS



17 pav. Foto vandenilinės elektrinės struktūrinė schema

Saulės elementų baterija

Matematinis saulės elemento modelis yra sudarytas iš vieno diodo pavaizduotas 18 pav.



18 pav. Matematinis saulės elemento modelis

Jis yra užrašomas formule:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{U + IR_S}{a}\right) - 1 \right\} - \frac{U + IR_S}{R_{sh}}; \quad (7.1)$$

čia: I_L - šaltinio srovė(A),

I_0 (A) - diodo įsisotinimo srovė,

R_s - nuosekli varža (Ω),

R_{sh} - šunto varža(Ω),

a - kreivės parametras,

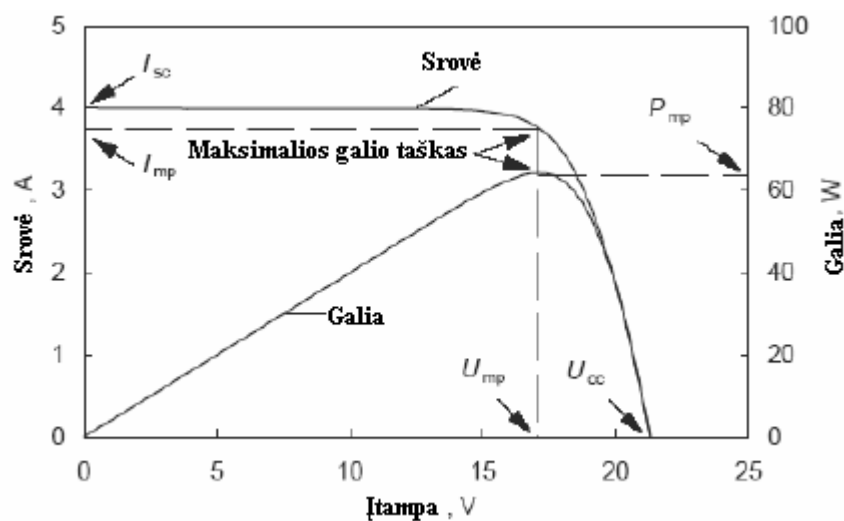
U - operacinė įtampa(U),

I -operacinė srovė(A).

Saulės elementų galia apskaičiuojama:

$$P = U \cdot I; \quad (7.2)$$

Saulės elemento tipinės srovės ir įtampos bei galios priklausomybės pavaizduotos 19 pav.



19 pav . Saulės elemento srovės ir įtampos bei galios charakteristikos

Saulės elementui gaminant energiją atsiranda šiluma, dėl to atsiranda galios sumažėjimas.

Saulės elemento galios netekimas P_{loss} labiausiai priklauso nuo elektros srovės jis gali būti

užrašytas:

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = P_0 + \frac{U_s}{U_{out}} P_{out} + \frac{R_i}{U_{out}^2} P_{out}^2 ; \quad (7.3)$$

čia: P_{in} - įėjimo galia (W);

P_{aut} - išėjimo galia (W);

P_0 - įrenginio galia (W);

U_s - įrenginio įtampa;

R_i - vidaus varža [Ω];

P_{out} - išėjimo galia (W);

U_{out} - išėjimo įtampa (V).

Santykis tarp įėjimo P_{in} ir išėjimo įtampos P_{aut} gautas normalizuojant ankstesnę išraišką atžvilgiu nominalios galios P_{nom} yra lygus:

$$\frac{P_{in}}{P_{nom}} = \frac{P_0}{P_{nom}} + \left(1 + \frac{U_s}{U_{out}}\right) \frac{P_{out}}{P_{nom}} + R_i P_{nom} \left(\frac{P_{out}}{P_{nom} U_{out}}\right)^2 ; \quad (7.4)$$

čia: P_{in} - įėjimo galia;

P_{nom} - nominali galia;

Galios netekimą apibūdina naudingumo koeficientas:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (7.5)$$

čia: P_{out} - išėjimo galia;

P_{in} - įėjimo galia.

Elektrolizeris

Elektrolizerio veikimas yra pagrįstas termodinamikos ir elektrochemijos pagrindais. Įtampos ir srovės priklausomybė nuo temperatūros ir slėgio sudaro elektrocheminio modelio pagrindą. Elektrodai elektrolizeryje modeliuoja santykį tarp srovės ir įtampos kreivių. Srovės ir įtampos kreivės labiausiai priklauso nuo darbo temperatūros.

Priklausomybę galima užrašyti:

$$U = U_{rev} + \frac{r}{A}I + s \log\left(\frac{t}{A}I + 1\right); \quad (7.6)$$

čia: U - Darbo įtampa (V);

U_{rev} - celės pasipriešinimo įtampa (V);

r - elektrolito varža [Ω],

t - įtampos padidėjimo koeficientas ant elektrodų,

A - elektrodų plotas [m^2],

I - celės srovė (A);

Skirtumas tarp dviejų įtampos ir srovės kreivių labiausiai priklauso nuo temperatūros kurią sukelia įtampos padidėjimai. Modeliuojant temperatūros priklausomybę nuo įtampos padidėjimų galima modeliuoti daugiau srovės ir įtampos reikšmių paimant temperatūrinę priklausomybę nuo varžos r įtampos padidėjimo koeficiento s ir t sąskaita.

$$U = U_{rev} + \frac{r_1 + r_2 T}{A}I + (s_1 + s_2 T + s_3 T^2) \log\left(\frac{t_1 + t_2/T + t_3/T^2}{A}I + 1\right); \quad (7.7)$$

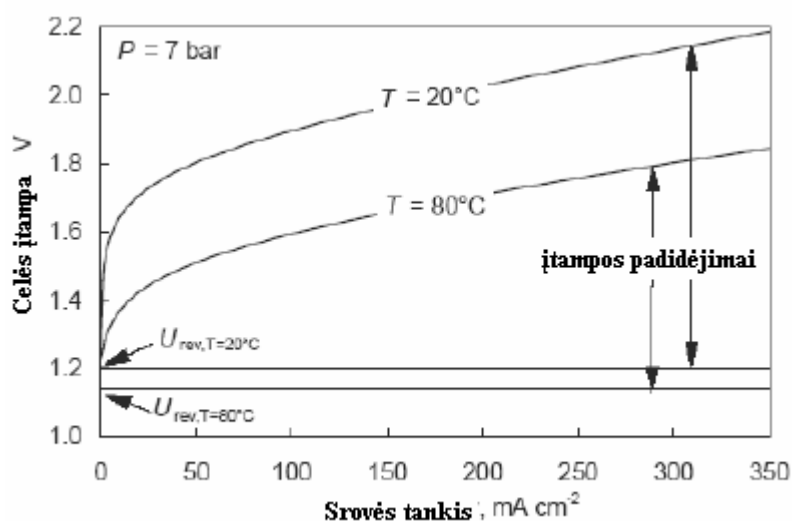
čia: r_i - elektrolito varžos pasipriešinimas,

s_i, t_i - įtampos padidėjimas ant elektrodų,

A - elektrodo plotas (m^2),

T - elektrolito temperatūra $^{\circ}C$.

Elektrolizerio įtampos priklausomybė nuo srovės tankio esant slėgiui $p = 7$ bar, ir skirtingoms temperatūroms pavaizduota 20 paveikslėlyje.



20 pav. Elektrolizerio celės kreivės esant skirtingoms temperatūroms

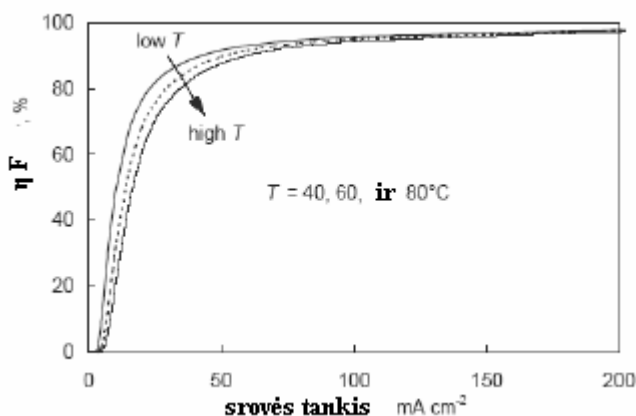
Faradėjaus efektyvumas η^F gali būti apskaičiuojamas santykiu tarp tikro ir teorinio vandenilio kiekio pagaminto elektrolizeryje:

$$\eta_F = a_1 \exp\left(\frac{a_2 + a_3 T + a_4 T^2}{I/A} + \frac{a_5 + a_6 T + a_7 T^2}{(I/A)^2}\right) ; \quad (7.7)$$

čia : η^F - Faradėjaus efektyvumas,

a^i , A- elektrodo plotas, I srovė,

Elektrolizerio efektyvumas parodytas 21 paveikslėlyje.



21 pav. Elektrolizerio efektyvumo kreivė

PEMFC

Pagamintas elektros kiekis kuro celėje priklauso nuo išorinio suspaudimo laipsnio, temperatūros, dujų sudėties ir srovės tankio. Kuro celės veikimas gali būti suskirstytas į tris stadijas:

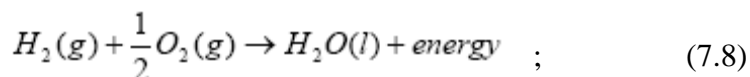
Dujų kamera: paduodamų dujų kiekis, išskiriama energija, slėgis.

Kuro celė: paduodamų dujų kiekis ir energija, dujų ėjimas per elektrodus (apykaita), vandens absorbcija ir ėjimas per membraną, elektros ir šilumos gamyba.

Šilumos nutraukimas:

Kuro celėje cheminė energija yra verčiama į elektros energiją.

Vykstantį procesą galima užrašyti :



Srovės ir įtampos kreivė PEM kuro celėje gali būti aprašoma, įvertinant varžą protonais besikeičiančioje membranoje ir kiekį medžiagos praėjusį per ją. Gali būti užrašoma:

$$U = U_0 - b \log i - Ri - c \exp(di) \quad ; \quad (7.9)$$

čia: U - celės įtampa (V),

U_0 - celės atviroji įtampa (mV),

i - srovės tankis (mA cm²),

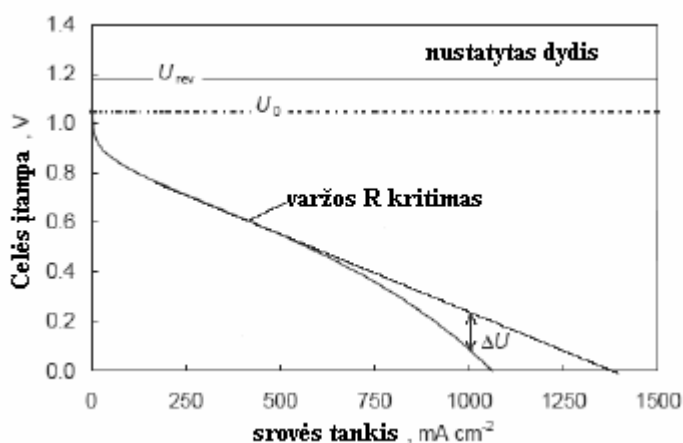
b - įtampos sumažėjimas (mVdec⁻¹),

r - varža (Ω cm²),

c - potencialo padidėjimo parametras,

d - potencialo padidėjimo parametras (cm² mA⁻¹).

22 pav. pavaizduotos tipinės I-U charakteristikos H₂/O₂ kuro celėje, dirbančioje $t = \text{const}$, $p = \text{const}$.



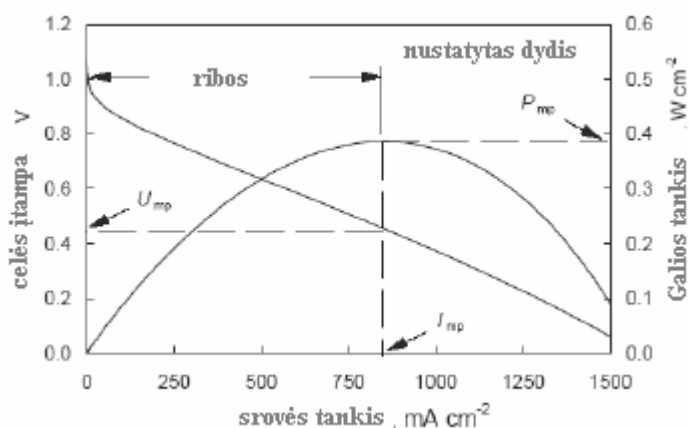
22 pav. PEM įtampos srovės priklausomybės

PEMFC kuro celės naudingumo koeficientas apskaičiuojamas.

$$\eta_e = \frac{U}{U_m} \quad ; \quad (7.9)$$

čia: U - kuro celės atiduodama įtampa;

U_{th} - vidaus įtampa.



23 pav. Maksimalios galios taško charakteristika tipinėje PEMFC dirbančioje prie nustatyto dydžio reikšmės

Kompresorius

Kompresorius dirba dviem režimais – suspaudimo režimu ir vėdinimo režimu.

Kompresoriaus darbas yra aprašomas:

$$W_{comp} = \eta_{gas} \frac{(w_1 + w_2)}{\eta_{comp}} ; \quad (7.10)$$

čia:

$$w_1 = \frac{nRT}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_x}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (7.11)$$

$$w_2 = \frac{nRT}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_x} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (7.12)$$

čia: W - kompresoriaus darbas,

η_{gas} - dujų tekėjimas (mol s^{-1}),

w_1, w_2 - darbas (J mol^{-1}),

η_{comp} - kompresoriaus efektyvumas,

n - koeficientas,

R - universalioji dujų konstanta ($8.314 \text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$),

T - dujų įėjimo temperatūra (K),

p_i - suspaudimo laipsnis (Pa).

Dujų saugykla

Vandenilio laikymo modelis yra pagrįstas idealių dujų būseną ir Van der Waalso lygtimi realioms dujom. Pagal idealių dujų būseną, slėgis p saugykloje gali būti apskaičiuojamas:

$$p = \frac{nRT}{V} \quad (7.13)$$

Pagal Van der Waalso lygtį, slėgį p realioms sąlygom galima apskaičiuoti:

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - a \frac{n^2}{V^2} ; \quad (7.14)$$

čia:

$$a = \frac{27R^2T_c^2}{64p_c} \quad (7.15)$$

$$b = \frac{RT_c}{8p_c} \quad (7.16)$$

čia: p - slėgis (Pa);

n - molių kiekis(mol);

T - dujų temperatūra (K);

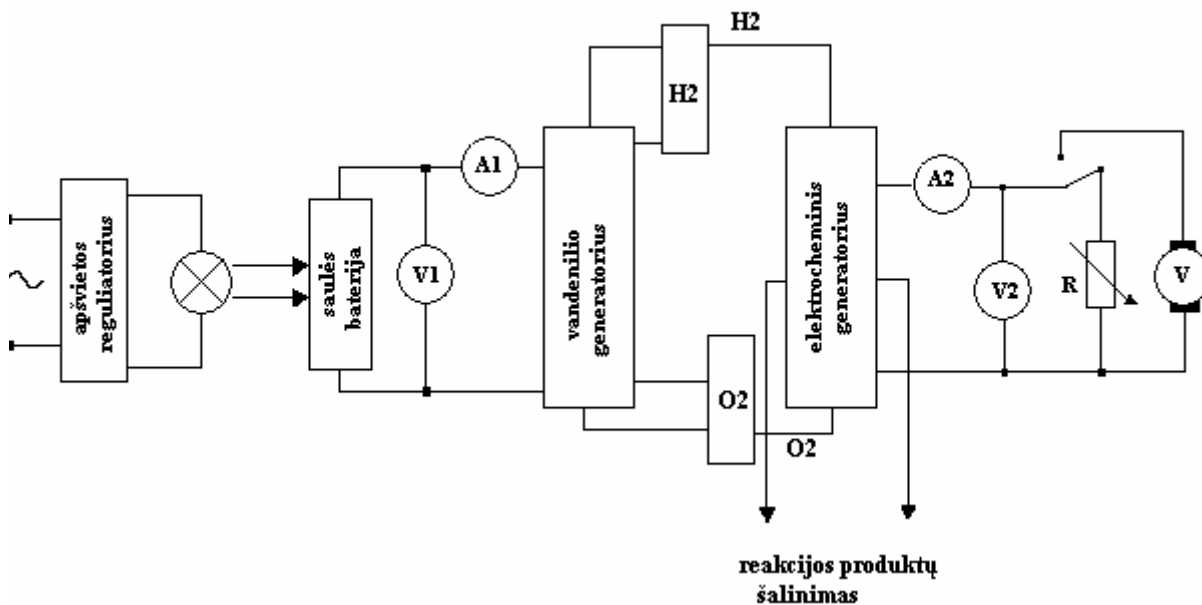
V - saugyklos talpa(m^3);

T_{er} - kritinė temperatūra;

P_{er} - kritinis slėgis(Pa).

8. FOTO VANDENILINĖS JĖGAINĖS EFEKTYVUMO TYRIMAS

Foto vandenilinių tyrimų stendo struktūrinė schema pavaizduota 24 paveikslėlyje.



24 pav. Foto vandenilinio tyrimų stendo struktūrinė schema

Schemos veikimo principas :

Saulės baterijos nuolatinė srovė, kuri sukuriama gavus šviesos srautą iš šviestuvo, vandens generatoriuje suskaldo vandenį į vandenilį ir deguonį, kurie atskirai surenkami H₂ ir O₂ rezervuaruose. Iš rezervuaro vandenilis ir deguonis yra paduodamas į elektros generatorių kuris vykstančių procesų metu sukuria nuolatinę elektros srovę.

Naudojant dirbtinį apšvietimą nustatoma ir išmatuojama apšvieta apšviestame foto elektriniame modulyje, sudarytame iš tarpusavyje elektriškai sujungtų foto elementų. Vyksta šviesos spindulinės energijos į elektros energiją konversijos procesas.

Stendo foto nuotraukos žr. 3, 4 priedus.

Šviesos energijos galią foto modulyje galima apskaičiuoti įvertinus jo apšvietą E_{ap} (W/m²) ir aktyvųjį plotą S_{mod} (m²):

$$P_{\text{š}} = E_{ap} \cdot S_{mod} ; \quad (8.1)$$

Modulio generuojama elektros energijos galia apskaičiuojama įvertinus tuščios veikos režimo įtampą U_0 (V), ir apkrovos srovę I_a (A):

$$P_e = U_0 \cdot I_a ; \quad (8.2)$$

Modulio tiekiamos elektros energijos apkrovai galia apskaičiuojama įvertinus apkrovos srovę I_a (A) ir įtampą U_a (V):

$$P_a = U_a \cdot I_a; \quad (8.3)$$

Šviesos energijos konversijos į elektros energiją naudingumo koeficientas $\eta_{\check{s}}$ yra lygus:

$$\eta_{\check{s}} = P_e / P_{\check{s}}; \quad (8.4)$$

Elektros energijos konversijos naudingumo koeficientas η_e lygus :

$$\eta_e = P_a / P_e; \quad (8.5)$$

Bendras naudingumo koeficientas η apskaičiuojamas:

$$\eta = \eta_{\check{s}} \cdot \eta_e; \quad (8.6)$$

Bandymam naudojamo foto elementų plotas $S = 0,03 \text{ m}^2$

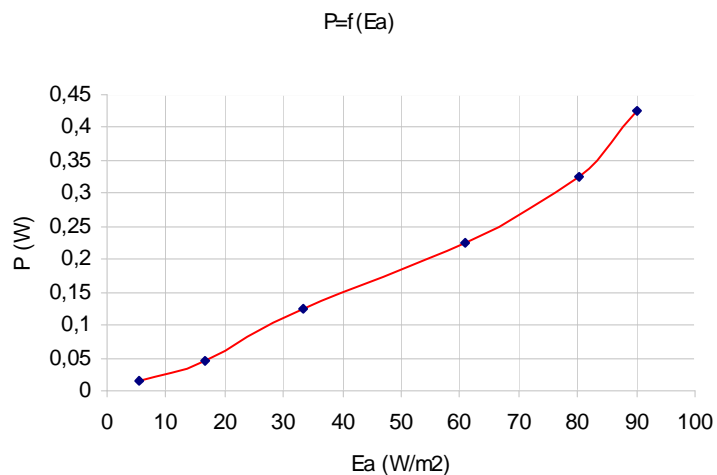
Yra užduodami tuščios veiklos, trumpo jungimo režimai, duomenys yra surašomi į 6 lentelę.

6 lentelė

Saulės modulio charakteristikos

Saulės lelementai						Vandenilio generatorius	
E_a W/m ²	U , V	U_o , V	I , A	I_k , A	P , W	U , V	I , A
5,59	1,5	1,7	0,01	0,03	0,015	1,5	0,01
16,66	1,54	1,76	0,03	0,05	0,0462	1,54	0,03
33,32	1,57	1,79	0,08	0,1	0,1256	1,57	0,08
60,77	1,6	1,83	0,14	0,17	0,224	1,6	0,14
80,37	1,62	1,84	0,2	0,3	0,324	1,62	0,2
90,17	1,64	1,85	0,26	0,35	0,4264	1,64	0,26

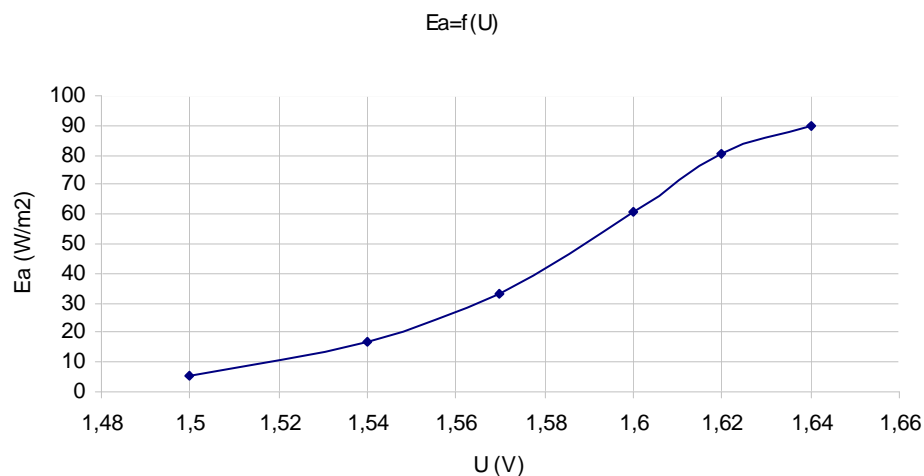
Pagal gautus duomenis yra sudaromos charakteristikos. Galios priklausomybė nuo apšvietos $P = f(E_a)$ pavaizduota 25 paveiksle, o apšvietos priklausomybė nuo įtampos $E_a = f(I_a)$ pavaizduota 26 paveikslėlyje.



25 pav. Galios priklausomybė nuo apšvietos

Išvada :

Iš charakteristikos matosi, kad didėjant šaltinio apšvietai, didėja ir jo atiduodama galia.



26 pav. Įtampos priklausomybė nuo apšvietos

Išvada:

Iš 26 paveikslėlyje pavaizduotos priklausomybės, matosi, jog didėjant apšviestumui didėja ir šaltinio įtampa iki maksimalaus taško.

Pagal šiame skyriuje pateiktas formules yra apskaičiuojamas saulės elemento gaunamos ir atiduodamos galios santykis (naudingumo koeficientas) duomenys yra surašyti į 7 lentelę.

Saulės modulio elementų gaunamos ir atiduodamos galios santykis

Pš	Pe	Pa	$\eta_{\text{š}}$	η_e	$\eta\%$
0,167	0,017	0,015	0,1	0,88	8
0,49	0,052	0,0462	0,11	0,88	8
0,99	0,14	0,125	0,139	0,89	12
1,82	0,25	0,224	0,14	0,89	12
2,4	0,36	0,324	0,15	0,9	13
2,7	0,48	0,464	0,17	0,96	16

Vandenilio generatoriaus savybes parodo jo efektyvumo kriterijaus eksperimentinis tyrimas pagal šio tyrimo duomenis galima sudaryti sukaupto vandenilio tūrio V_{H_2} priklausomybę nuo veikimo laike ir apskaičiuoti energetinio efektyvumo kriterijų η_e .

Šis bandymas buvo atliktas sekančiai:

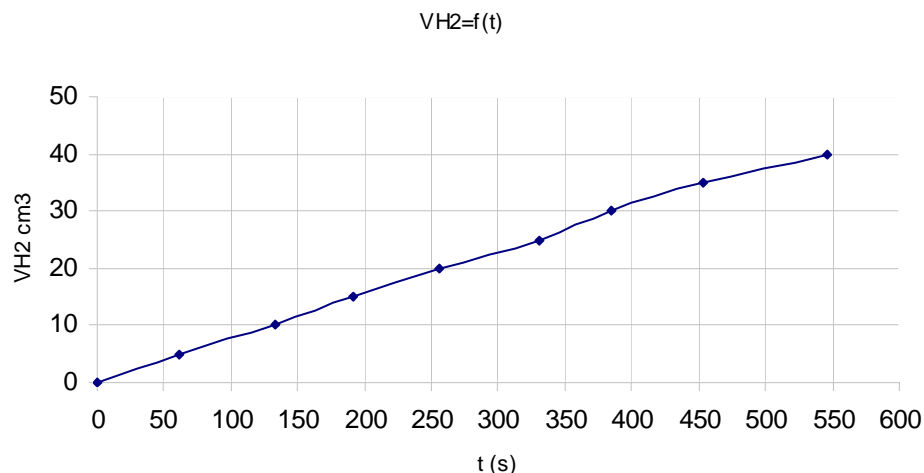
- Prieš pradėdant eksperimentą vandenilio generatorius turi veikti 10min su pastovaus stiprio 1A srove, neviršijant 1,9V įtampos didumo.
- Po to užpildomi dujų kaupikliai 3 priedas, distiliuotu vandeniu iki 0cm³ žymos.
- Prijungiamas vandenilio generatorius prie foto elektrinio modulio ir reguliuojant apšvietą nustatomas pastovaus didumo srovės stipris, su sekundometru pradėdama laiko atskaita fiksuojant I, U, ir vandenilio tūrį dujų kaupiklyje.

Tyrimų rezultatai surašyti į 8 lentelę.

Vandenilio generatoriaus pagaminamo vandenilio kiekis

E_h , W/m ²	U, V	I, A	t, s	V_{H_2} , cm ³	T, °K	p, Pa	η_e
13,08	1,6	0,8	0	0	298	$1,013 \cdot 10^5$	
13,08	1,6	0,8	61,8	5	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,73
13,08	1,6	0,8	133,8	10	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,68
13,08	1,6	0,8	191,4	15	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,71
13,08	1,6	0,8	255,4	20	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,71
13,08	1,6	0,8	330	25	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,69
13,08	1,6	0,8	385,2	30	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,71
13,08	1,6	0,8	453	35	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,69
13,08	1,6	0,8	546	40	298	$1,013 \cdot 10^5$	0,67

Efektyvumo kriterijus yra apskaičiuojamas pagal formules pateiktas 6.2 skyriuje.



27 pav. Pagaminto vandenilio tūrio priklausomybė nuo laiko

Išvada:

Vandenilio tūris didėja priklausomai nuo praėjusio laiko intervalo.

Elektrocheminio generatoriaus savybes parodo jo teorinio ir energetinio efektyvumo kriterijai, o taip pat būdingų charakteristikų eksperimentinis tyrimas. Kuris yra atliekamas sekančiai:

- Prisikaupus vandenilio kaupiklyje dujų iki 20cm³ yra atjungiamas foto elektrinis modulis ir prijungiama apkrova prie elektrocheminio generatoriaus kuri naudoja elektros energiją susidariusią elektrocheminiame generatoriuje.
- Laikas sekundometru yra pradamas skaičiuoti, kai pradeda kristi vandens lygis.

Duomenys yra surašyti į 9 lentelę.

9 lentelė

Elektrocheminio generatoriaus vandenilio sunaudojimas

Vandenilio sunaudojimas cm ³	t, (s)	U _a ,(V)	I _a ,(A)	η _F	η _e
0	0	0,813	0,128		
5	281	0,77	0,12	0,42	0,04
10	605	0,745	0,1179	0,89	0,5
15	1004	0,47	0,07	0,87	0,2

Efektyvumo kriterijus yra apskaičiuojamas pagal formules pateiktas 6.2 skyriuje.

Elektrocheminio generatoriaus būdingiausios charakteristikos yra $U_a = f(I_a)$ ir $P = f(I_a)$ parodo jo efektyvaus praktinio panaudojimo galimybes. Jos gaunamos atlikus eksperimentinį apkrovos tyrimą.

Norint atlikti šį tyrimą reikia:

- įjungti saulės energijos modulyną;
- palaukti kol elektrocheminis generatorius pagamins 20cm³ vandenilio dujų;
- atjungti vandenilio generatorių.

Eksperimentas pradamas nuo tuščios veikos tyrimo, kai apkrova R_a atjungta, o apkrovos srovė $I_a = 0$. Fiksuojamos tuščios veikos įtampos reikšmės.

Prijungti varžą R_A reguliuojant nuo 30Ω iki $0,3\Omega$. Fiksuojamos R_a , I_a , U_a reikšmės.

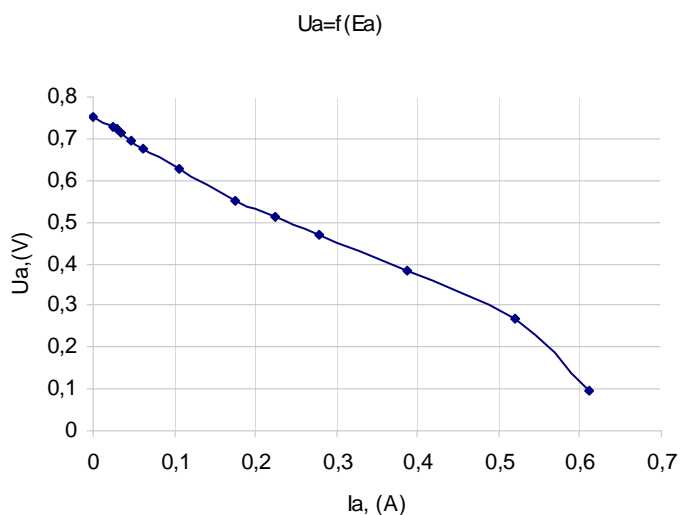
Duomenys surašyti į 10 lentelę.

10 lentelė

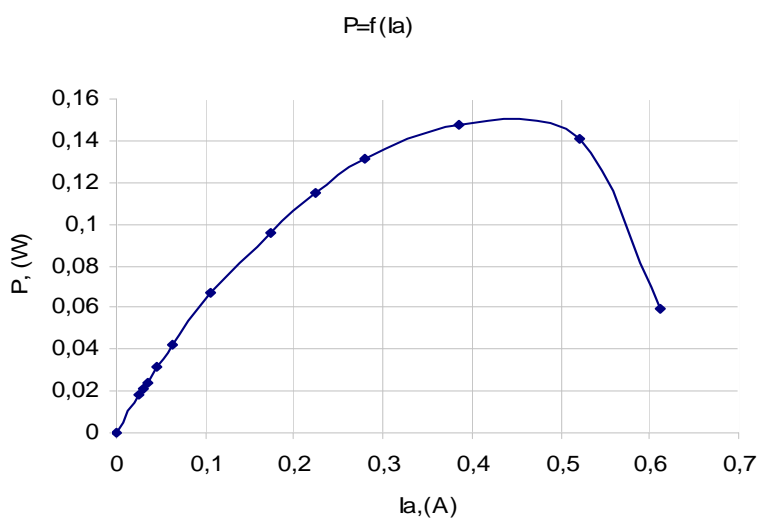
Elektrocheminio generatoriaus voltamperinių charakteristikų duomenys

$R_a,(\Omega)$	$U_a,(V)$	$I_a,(A)$	$P,(W)$
∞	0,75	0	0
30	0,73	0,024	0,018
25	0,724	0,029	0,021
20	0,715	0,034	0,024
15	0,695	0,046	0,032
10	0,676	0,062	0,042
5	0,628	0,107	0,067
3	0,552	0,174	0,096
2	0,512	0,224	0,115
1,8	0,469	0,279	0,131
1,0	0,383	0,386	0,148
0,7	0,27	0,521	0,141
0,3	0,096	0,611	0,059

28 ir 29 paveikslėliuose atitinkamai pateikiamos elektrocheminio generatoriaus voltamperinė galios charakteristikos.



28 pav. Elektrocheminio generatoriaus voltamperinė charakteristika



29 pav. Elektrocheminio generatoriaus galios charakteristika

Bendras visų įrenginių naudingumo koeficientas yra apskaičiuojamas:

$$\eta = \eta_{se} \cdot \eta_{vg} \cdot \eta_{eg} \quad (8.7)$$

Apskaičiavus bendras naudingumo koeficientas yra lygus 10,3%

6.1 Vandenilio saugojimas

Ne mažesnė yra vandenilio saugojimo problema. Dujiniam vandeniliui laikyti reikia labai didelių indų, o jį suskystinti sunku. Vandenilis užverda - 253°C temperatūroje, vadinasi, indus su skystu vandeniliu reikia labai atšaldyti. Reikia nepamiršti dar ir to, kad vandenilis su deguonimi ir oru sudaro sprogiuosius mišinius. Kai kurie mokslininkai siūlo ištirpinti vandenilį metaluose arba jų lydiniuose, pavyzdžiui, geležies ir titano lydinyje, o po to išskirti silpnai pašildžius. Ateities automobilyje vietoj benzino bako galėtų būti vandenilį sugeriančio metalo luitas. Vandenilio išskyrimui būtų panaudojama išmetamųjų dujų šiluma.

Jeigu pavyktų išspręsti visas paminėtas problemas, vandenilis galėtų pakeisti būstui apšildyti naudojamas gamtines dujas, metalurgijoje - akmens anglį ir koksą. Be abejo, kaip dabar, taip ir ateityje milžiniški vandenilio kiekiai būtų naudojami amoniakui sintetinti. Sukūrus ekonomiškai naudingus vandenilio gavimo būdus, žmonijos gyvenimas stipriai pasikeistų, prasidėtų vandenilio amžius.

Yra du būdai, kuriais gali būti saugomas vandenilis:

- cheminis saugojimo būdas;
- fizikinis saugojimo būdas.

Saugant vandenilį šiuo būdu vandenilis sudarytas iš H₂ molekulių, kuris mažai sąveikauja su saugoma aplinka.

Šiandien yra žinomi šie fizikiniai *vandenilio saugojimo būdai*:

- Suspaustas dujinės būsenos vandenilis;
- Dujiniai balionai,
- Stacionarios saugojimo sistemos įskaitant požeminius rezervuarus,
- Saugojimas vamzdynuose,
- Stiklinėse mikrosferose.
- Skystas vandenilis : stacionariuose ir transporto kriogeniniuose konteineriuose.

Cheminiuose vandenilio saugojimo būduose vandenilio saugojimas yra pagrįstas cheminiais procesais kurie sąveikauja su kai kuriomis medžiagomis. Šie metodai apsakomi stipria molekuline arba atumine vandenilio sąveika su saugoma medžiaga.

Metodai yra šie:

- Absorbinis metodas;
- Ceolitai ir jam giminingi junginiai;
- Aktyvuota anglis;

- Angliavandeniliniai nanojunginiai;
- Metalų absorbcija (metalų hidridai).

Cheminei sąveikai:

- Alonatai;
- Organiniai hidridai;
- Amoniakas;
- Porėtasis metalas;
- su vandeniliu reaguojantys junginiai aliuminio pagrindu.

Dujinės būsenos vandenilio saugojimas nėra didesnė problema negu gamtinių dujų saugojimas.

Praktikoje gali būti naudojamos požeminės talpyklos.

Saugant vandenilį esant spaudimui iki 100 MPa gali būti naudojamos suvirintos talpos iš dviejų arba daugiau sluoksnių. Vidinė tokios talpos sienelė turi būti pagaminta iš austenitinio nerūdijančio plieno arba panašios medžiagos kuri turi tenkinti suspaustam vandeniliui keliamus reikalavimus, išorinis sluoksnis iš plienų turinčių aukštas atsparumo savybes.

Labai paplitęs vandenilio saugojimas yra saugyklose su vandens pasauga (šlapio tipo), cilindrinėse saugyklose, kuriose pastovus slėgis (sausos tipo), saugyklose pastovaus tūrio (aukšto slėgio indai). Mažo kiekio vandenilio saugojimui yra naudojami paprasti balonai.

Sausos ir šlapio tipo cilindrinės talpyklos kurios yra suvirintos konstrukcijos, pagal technines sąlygas yra leistinas vandenilio nuotėkis prie normalių darbo sąlygų:

Šlapio tipo saugyklose kurių talpa iki 3000m^3 – apie 1,65% ,jeigu talpa didesnė negu 3000m^3 apie 1,1% į parą.

Vienu iš labiausiai perspektyviu didelių kiekių vandenilio saugojimo būdu yra laikomas jo laikymas žemes vandeninguose sluoksniuose. Šiuo būdu laikant vandenilį metiniai saugojimo nuostoliai sudaro 1-3%.

Dujinį vandenilį galima saugoti ir transportuoti plieninėse talpose su slėgiu iki 20MPa. Tokias talpas galima atgabenti iki vartojimo vietos transportu arba geležinkeliu.

Vandenilio saugojimui nuo -50 iki 60°C naudojami plieniniai besiūliai balonai talpa iki 12dm^3 , ir vidutinės talpos $20-50\text{dm}^3$, kuriuose spaudimas 20MPa.

Balonai vandenilio saugojimui yra paprasti ir nesudėtingos konstrukcijos .tačiau norint saugoti 2kg H₂ reikia balono kurio masė 33kg. Naujų medžiagų kūrimas leidžia sumažinti balono masę iki 20kg 1kg vandenilio saugoti. Perspektyvoje planuojama sumažinti iki 8-10kg .Šiuo metu vandenilio masė balone sudaro 2-3% nuo pačio balono masės.

Didelius vandenilio kiekius galima laikyti talpyklose po spaudimu, talpyklos pagamintos iš anglinio plieno. Spaudimas darbo metu ne didesnis kaip 10MPa.

Dujinės būsenos vandenilis labai dideliais kiekiais gali būti laikomas druskos kasyklose 365m gylyje spaudimas 5MPa . Porėtose vandeninguose sluoksniuose talpinančiuose $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vandenilio.

6.1.1 Skysto vandenilio saugojimas

Vandenilis saugojamas skystame būvyje gali būti labai siaurame intervale, virimo taškas 20K - užšalimo taškas 17K. Jeigu temperatūra pakyla aukščiau virimo taško, jis virsta dujomis.

Kad neįvyktų perkaitimas indus su H₂ reikia atšaldyti iki temperatūros artimos virimo taškui, tiksliai po to galima juos užpildyti skystu vandeniliu. Dėl to per sistemą yra leidžiamos atšaldančios dujos, susidaro dideli nuostoliai.

Pereinant vandeniliui iš skystos būsenos į dujinę neišvengiamai susidaro nuostoliai dėl garavimo.

Pagal saugumo reikalavimus pasiekus maksimalų darbo slėgį inde dujinė būsena sudarytų ne daugiau kaip 5%.

Skysto vandenilio saugojimui keliami reikalavimai:

- Rezervuaro konstrukcija turi užtikrinti ilgalaikę eksploataciją.
- Skysto vandenilio išeiga sistemai prieš užpildymą atšaldyti turi būti minimali.
- Rezervuaras vandenilio saugojimui turi turėti įrangą greitam skysto vandenilio užpildymui ir jo atidavimui.
- Skysto vandenilio laikymo talpos masė 4-5 kartus mažesnė 1kg vandenilio saugoti negu dujinio vandenilio saugojimui. 1kg vandenilio 6-8 kg masės talpa. Talpų dydžiai esant 40MPa slėgiui vienodi.

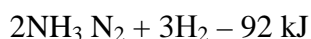
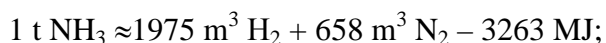
6.1.2 Cheminės būsenos vandenilio transportavimas ir saugojimas

Pirmenybė yra teikiama vandeniliui kuris yra sudėtyje amoniako, metanolio, etanolio. Esant normaliai temperatūrai amoniaką galima transportuoti vamzdžiais ir saugoti jį skystame būvyje. Tačiau toks vandenilio laikymas galimas tik vieną kartą.

Pagrindiniai dydžiai:

$$1 \text{ m}^3 \text{ H}_2 \text{ (d)} \approx 0,66 \text{ m}^3 \text{ NH}_3 \approx 0,75 \text{ dm}^3 \text{ H}_2 \text{ (s)};$$

d- dujinis, s- suspaustas.



6.1.3 Vandenilio saugojimas hidrituose

Laikant vandenilį hidrituose nebereikia gremėzdiškos įrangos reikalingos dujinės būsenos vandenilio saugojimui arba sudėtingos įrangos kaip skysto būvio vandenilio laikymui. Laikant tokios būsenos vandenilį sistemos apimtis sumažėja apie 3 kartus lyginant su laikymu balonuose. Palengvėja transportavimas. Nebelieka nuostolių konversijai .

Vandenilį išgauti iš metalų hidritų galima hidrolizės ir disociacijos pagalba. Hidrolizės pagalba galima gauti dvigubai daugiau vandenilio negu jo randasi metalo hidrite, tačiau šis procesas yra negrįžtamas.

Vandenilio gavimas terminės disociacijos būdu sudaro galimybę akumuliuoti vandenilį.

Stacionarūs įrenginiai H₂ saugojimui metalo hidrituose neturi griežtai apibrėžtų masės ir dydžio apribojimų, todėl pagrindinį faktorių dėl jų panaudojimo lemia kaina taip pat vieno arba kito hidrido panaudojimo būtinybė.

Vieniems tinka naudoti tik vanadžio hidridas todėl kad jis gerai disocijuoja prie temperatūros 270K. Magnio hidritas yra sąlyginai nebrangus, tačiau turi aukštą disociacijos temperatūra 560-570K. Metalo titano hidritas palyginti nebrangus, disocijuoja prie temperatūros 320-370K su žema panaudojimo temperatūra.

Hidritų panaudojimas yra privalumas saugumo technikos sumetimais. Pažeistas indas su hidritu kelia žymiai mažesnę pavojų negu vandenilio talpykla užpildyta vandenilio.

IŠVADOS

- Saulės energijos pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje metų bėgyje yra labai netolygus, todėl labai prailgėja saulės baterijų atsipirkimo laikas.
- Saulės baterijų efektyvumo rodiklis labai priklauso nuo pačio fotoelemento sandaros ir puslaidininkio medžiagos, iš kurios jis pagamintas.
- Kiekvienas saulės elementas turi maksimalų darbo tašką, kuriame jo galia yra maksimali.
- Norint, kad saulės elementas dirbtų efektyviai, reikia statyti galios maksimizatorius.
- Saulės elementų votamperines charakteristikas įtakoja aplinkos temperatūra. Didėjant temperatūrai elektrovara mažėja, o trumpo jungimo srovė didėja.
- Kuro elementas - tai elektros variklis, neturintis statoriaus ir rotorius, tačiau galintis dirbti generatoriaus ir variklio režimuose.
- Kuro elementas gamina ekologiškai švarią energiją.
- Energija iš cheminės į elektros paverčiama be tarpinių keitiklių.
- Kuro elementas gali dirbti su organinės ir neorganinės kilmės kuru, kuris turi angliavandenilio.
- Kuro elemento efektyvumą įtakoja sistemos slėgis.
- Kuro elementas, kaip ir saulės elementas, turi maksimalios galios tašką, nuo kurio galia pradeda mažėti.
- PEM kuro elementui turi įtakos proceso vyksmo temperatūra.
- PEM kuro elementų tarnavimo laikas priklauso nuo tiekiamo kuro kokybės.
- Naudojamų kuro elementų naudingumo koeficientas priklauso nuo kuro elemento tipo ir jo darbo režimų.
- Kuro elementai yra labai perspektyvi ir progresuojanti mokslo šaka.
- Vandenilio generatoriuje proceso metu susidaro nuostoliai. Dėl jo viduje vykstančių procesų.
- Dujų kaupiklio arba saugyklos tipas priklauso nuo saugomos medžiagos būsenos ir pasirenkamo saugyklos tipo.
- Foto vandenilinės elektrinės suminį efektyvumą įtakoja kiekvienos grandies efektyvumo rodiklis.
- Šiuo metu tokia elektrinė gali veikti nebent laboratorinėmis sąlygomis, nes bendras jos efektyvumo rodiklis pagal mano bandymų rezultatus tik 10,3%. Nors kai kurių modulių efektyvumas siekia: vandenilio generatoriaus 73%, elektrocheminio generatoriaus 89%, tačiau saulės elementų efektyvumas tesiekia tik 16%. Šis parametras turi didelę įtaką bendram visos elektrinės naudingo veikimo koeficientui. Kadangi atliekant skaičiavimus

nebuvo įvertinta modulių, netiesiogiai susijusių su vandenilio gamyba ir elektros energijos gamyba, naudingumo koeficientai, tai juos įvertinus, koeficientas dar ženkliai sumažėtų.

- Kadangi šiame darbe aprašyti įrenginiai kainuoja labai daug, tai tokios elektrinės ekonominį atsiperkamumą, esant dabartiniai situacijai, sunku prognozuoti.

LITERATŪRA

1. Алиевский Б.Л., (1993). *Специальные электрические машины*. М. Энергоатомиздат.
2. *Atsinaujinančių šaltinių energijos technologijų centras*. Laboratoriniai darbai. Kaunas, KTU, 2005.
3. Balčiūnas P., Janušonienė V, Janušonis S. (1999). *Kaip saulės šviesą paversti elektra*. Mokslininkų sąjungos institutas.
4. *Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use*, National Research Council, 2004.
5. Э.Э. Шпильрайн, А.П. Севастьянов, (1985). «*Электрохимические генераторы и фотоэлектрические преобразователи*», Москва.
6. *H-teh Hydrogen Energy Systems*, 2003
7. Hurley, P., (2005). *Build a Solar Hydrogen Fuel Cell System. E-book*.
8. Коровин, Н.В., Филиппов, Э.Л. (1973). «*Электрохимические процессы*», Москва.
9. Pyle W., (2005). *Solar Hydrogen Chronicles. E-book*.
10. S.Milčiuvienė, D. Milčius, L.Pranevičius, A. Vasys, (2005). *Vandenilio energetikos vystymosi perspektyvos*.
11. Udomi fuel cell models & accessories catalog, 2005.
12. The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs.
13. Prieiga per internetą <http://www.aet.eaf.ktu.lt/se/moduliai.php>.
14. Prieiga per internetą www.elsevier.com.
15. Prieiga per internetą <http://rtn.elektronik.lt/rtn/9904/saulelem.html>.
16. Prieiga per internetą http://www.ff.vu.lt/biophotonics/knyga3/knyga1_13.html.
17. Prieiga per internetą <http://www.eere.energy.gov/ba/pdfs/appendix.pdf>.
18. Prieiga per internetą <http://www.ekostrategija.lt>
19. Prieiga per internetą <http://www.chf.vu.lt/Elementai/AElem/vandenilis.htm>.
20. Prieiga per internetą <http://www.rebresearch.com/Me/Me100paper.html>.
21. Prieiga per internetą <http://www.solarbuzz.com/>.
22. Prieiga per internetą <http://isjaee.hydrogen.ru/?pid=572>.
23. Prieiga per internetą <http://ekb.ru/ru/publikatsii>.
24. Prieiga per internetą <http://www.inventors.ru/index.asp?mode=5234>.
25. Prieiga per internetą http://www.energy.ru/rus/articles/hydro_c1.pdf.
26. Prieiga per internetą <http://solstice.crest.org/renewables/bioenergy-list-archive/msg02548.html>.
27. Prieiga per internetą <http://ultimate-free.info/index.php?to=fuel-cells>.

28. Prieiga per internetą <http://www.all-info-on.net/index.php?to=fuel-cells>.

PRIEDAI

1 priedas	Įvairių elektrinių tipų CO ₂ , SO ₂ , NO _x emisijų palyginimas.....	58
2 priedas	Saulės elemento techninis pasas.....	59
3 priedas	Foto vandeniliniu eksperimentų standas.....	60
4 priedas	Vandenilio energijos sistemos modelis.....	61

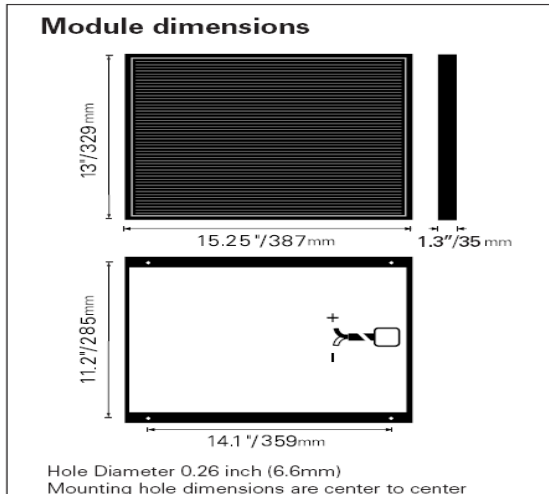
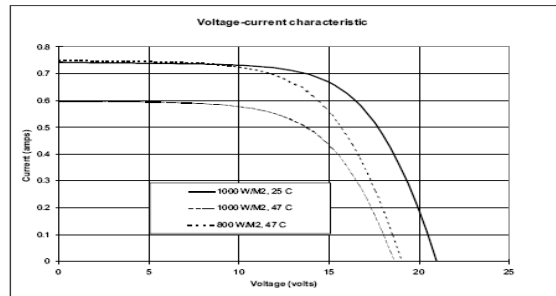
Įvairių elektrinių tipų CO₂, SO₂, NO_x emisijų palyginimas

Elektrinės tipas, kuras	Instaliuota galia, (kW)	Efektyvumas, %	Instaliacijos kaina, \$/kW	CO ₂ , Emisijos t/TWh	SO ₂ , Emisijos t/TWh	NO _x Emisijos t/TWh
HE				1	1	10
Mazuto elektrinė				778	8013	100
AE				15	3	10
Miško atliekų				-	26	1400
Dyzelinė elektrinė	8-10000	38-45	300-900	778	1285	12000
Anglies elektrinė	300-400	32-35	900-1300	974	5274	52000
Gamtinių dujų	1000-50000	21-42	650-900	511	384	1600
Saulės elektrinė	1-100	-	1000-6000	-	-	-
Vėjo elektrinė	700-5000	-	1200-1500	-	-	-

Saulės elemento techninis pasas

Solar module ST10		
Electrical parameters		
Maximum power rating P_{max} [Wp] ¹⁾		10
Rated current I_{MPP} [A]		0.64
Rated voltage V_{MPP} [V]		15.6
Short circuit current I_{SC} [A]		0.74
Open circuit voltage V_{OC} [V]		21.0
Thermal parameters		
NOCT ²⁾ [°C]		47±2
Temp. coefficient: short-circuit current		0.26mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.1V/ °C
Qualification test parameters		
Temperature cycling range [°C]		-40 to +85
Maximum system voltage [V]		25.0
Wind Loading PSF [N/m ²]		50 [2400]
Maximum distortion ³⁾ [°]		1.2
Hailstone impact Inches [mm]		1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight Pounds [kg]		5.2 [2.4]

1) Wp (Watt peak) = Peak power
(Minimum Wp = 9 Watts)
Under standard test conditions:
Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C
2) Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_a = 20 °C
Wind Speed v_w = 1 m/s
3) Diagonal lifting of module plane.



Your address for photovoltaics from Siemens Solar

Foto vandeniliniu eksperimentų standas

3priedas

Vandenilio energijos sistemos modelis

4 priedas

