

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETO  
GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETO  
FIZIKOS KATEDRA**

**DIANA KUPRYTĖ  
ELEKTROS ENERGIJOS KONVERSIJOS Į ŠILUMINĘ  
ŠALTĄJĄ VANDENILIO PLAZMA TYRIMAS**

Fizikos studijų programos  
MAGISTRO DARBAS

Darbo vadovė: doc. J. Ščiukaitė

Šiauliai, 2012

## **Anotacija**

Magistro darbą „Elektros energijos konversija į šiluminę: vandenilio plazmos celės tyrimai“ sudaro įvadas, 2 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, 1 kompaktinis diskas. Darbo apimtis 43 lapai. Darbe pateikiami 24 paveikslai, 26 grafikai ir 2 lentelės.

Darbe analizuotas šaltosios branduolių sintezės darbas statiniu ir dinaminiu režimu, norint rasti efektyviausią būdą elektros energijos gamybai, išanalizuota literatūra, skirta vandenilio plazmos elemento elektrodų, elektrolitų ir plazmos švytėjimo tyrimams, pateikta atliktų bandymų analizė.

Įvade iškeliami darbo problema, tikslai ir uždaviniai. Pirmame skyriuje pateikta, šiuo metu visame pasaulyje išdarsėję, Andrea Rossi reaktoriaus bandymai, pateikiamas teorinis reaktoriaus veikimas, skaičiavimai, rezultatai. Taip pat šiame skyriuje, trumpai apžvelgiamas elektrodų paviršių tyrimas.

Antrame skyriuje pateikiama vandenilio plazmos elemento tyrimų metodika, aprašomi naudoti prietaisai, taip pat pateikiami atlikti tyrimų rezultatai. Tyrimai atlikti statiniu ir dinaminiu režimu, naudojant skirtingas celes, elektrolitus. Pateikiami skaičiavimai, rezultatų analizė, grafikai.

## **Summary**

Master's work, "Electric energy conversion into heat: hydrogen plasma cell research" consists of an introduction, two chapters, conclusions, references and a one CD. Working volume 43 pages. The work presents 24 paintings, 26 charts and 2 tables.

The paper analyzed cold fusion work of static and dynamic mode, in order to find the most efficient way of producing electricity and analyzed the literature for hydrogen plasma cell electrodes, electrolytes and plasma glow analysis, analysis of the tests.

The introduction raises the problem of work, goals and objectives. The first chapter on the current worldwide išdarsėję, Andrea Rossi reactor tests the theoretical reactor operation, the calculations are presented. Also in this section, a brief overview of the surface electrode study.

The second section contains the element hydrogen plasma research methodology, describes the use of devices, as well as to perform the tests. Investigations were carried out under static and dynamic mode, using different cells, electrolytes. Calculations are presented the results of analysis of the charts.

# Turinys

<b>IVADAS</b> .....	5
<b>1. PLAZMAELEKTROLITINIO PROCESO TYRIMŲ REZULTATŲ APŽVALGA</b> .....	7
1.1. <i>ANDREA ROSSI REAKTORIUS (E-Cat)</i> .....	7
1.1.1. <i>Rossi reaktoriaus (E-Cat) teorija ir jo pagrindinių parametru skaičiavimas</i> .....	8
1.1.2. <i>Rossi reaktoriaus (E-Cat) struktūra, atlikto eksperimento rezultatai</i> .....	11
1.1.3. <i>Garai – temperatūra – entalpijos diagrama</i> .....	14
1.2. <i>ELEKTRODŲ PAVIRŠIŲ STRUKTŪROS KITIMAS DEGANT PLAZMAI</i> .....	17
1.3. <i>MIUONŲ KATALIZĖ</i> .....	20
<b>2. EKSPERIMENTINIS TYRIMAS</b> .....	24
2.1. <i>TYRIMŲ METODIKA IR REZULTATAI</i> .....	24
2.2. <i>VANDENILIO PLAZMOS ELEMENTO DARBO STATINIŲ IR DINAMINIŲ RĖŽIMŲ TYRIMAS, REZULTATAI</i> .....	26
2.3. <i>VANDENILIO PLAZMOS CELĖS EFEKTYVUMO RODIKLIO NUSTATYMAS</i> .....	35
<b>IŠVADOS, PROBLEMAS, PASIŪLYMAI</b> .....	41
<b>LITERATŪRA</b> .....	42

## Ivadas

Nuo 1989-ųjų JAV karinėse laboratorijose ir kitur buvo atlikta šimtai eksperimentų, tiriant, ar kambario temperatūroje vykdant atomines reakcijas galima gauti daugiau energijos nei jos sunaudojama. Daug mokslininkų tuo tiki. Ir viltims pasiteisinus, išnyktų nemažai pasaulio energetikos problemų [1].

Esminis šaltosios branduolių sintezės teiginys: panardinus paladžio elektrodus į sunkųjų vandenį, kurį sudaro paprastas deguonis ir vandenilio izotopas deuteris, galima gauti didžiulį energijos kiekį. Tarp elektrodų atsiradus įtampai, deuterio branduoliai teoriškai turėtų judėti į paladžio molekulių tinklelį. Tokiu būdu, būtų galima peržengti natūralią molekulių tarpusavio stūmą ir priversti molekulių branduolius susijungti, o proceso metu išsiskirtų didžiulis energijos kiekis. Šaltoji branduolių sintezė nesukelia žymesnio radiacijos padidėjimo ir nereikia laidoti radioaktyvių atliekų. Tai galėtų būti pigios ir švarios, praktiškai neišsenkančios energijos šaltinis. Tačiau, pagal visas priimtinas teorijas, branduolių sintezė kambario temperatūroje laikoma neįmanomu dalyku [2].

Visame pasaulyje yra atliekami šaltosios branduolių sintezės tyrimai. 18 branduolinės fizikos mokslininkų iš JAV, elektro-chemikų ir kietojo kūno fizikų išnagrino Hagelstein'o pateiktą medžiagą. Ruošiant 2004 metų gruodžio mėnesio ataskaitą nuomonės pasidalijo beveik po lygiai. Specialistai nurodė nemažai netikslumų tyrimų metoduose ir duomenų interpretacijoje. Tačiau net skeptikai pažymėjo, kad reikalingi tyrimai. Tai padidino šaltosios branduolių sintezės šalininkų optimizmą.

Lietuvos energetikos institutas (LEI) taip pat atlieka panašius tyrimus. Pastaruoju metu laboratorijoje kuriami mažesnės nei 150 kW galios plazmos generatoriai. Kuriant įvairių konstrukcijų ir galių linijinius plazmotronus vadovaujamosi žiniomis apie procesus, vykstančius reakcinėse iškrovos kamerose, pasitelkiant plazminių procesų panašumo teoriją, apibendrinant plazmotronų voltamperines ir šilumines charakteristikas, nustatytas elektros lankui kaitinant įvairias dujas, esant įvairiems slėgiams. Gautieji rezultatai lyginami tarpusavyje ir su kitų autorių darbų rezultatais [3].

Šiaulių universitetas taip pat yra atlikęs ne vieną tyrimą šioje srityje. Kadangi bandymai dar kelia daug klausimų, tai šis magistro darbas skirtas tęsti pradėtus eksperimentus [4, 5, 6, 7].

**Darbo tikslas** – teoriškai ir eksperimentiškai išnagrinėti plazmaelektrolitinio proceso metodus, išskirti efektyviausią, įvertinti taikomų metodų naudingumą.

**Uždaviniai:**

Padaryti pasaulyje atliktų plazma elektrolitinių procesų tyrimų apžvalgą.

Teoriškai apžvelgti vandenilio plazmos elemente vykstančius procesus elektrolizės srityje, šaltosios plazmos srityje, branduolinių kitimų srityje.

Ištirti vandenilio plazmos darbą statiniu ir dinaminiu režimu.

**Laukiami rezultatai:**

Kadangi nėra nustatytos tikslios „formulės“, kaip plazmaelektrolitinis procesas dirbtų maksimaliai, todėl šio darbo tikslas yra ištirti ir galbūt surasti šią „formulę“, eksperimentą atliekant statiniu ir dinaminiu režimu, keičiant katodo ir anodo padėtis elemente, naudojant įvairiausius elektrolitus.

# 1. Plazmaelektrolitinio proceso tyrimo rezultatų apžvalga

## 1.1. *Andrea Rossi reaktorius (E-Cat)*

Mokslininkas iš Italijos Andrea Rossi išrado šaltosios branduolinės energijos reaktorių. 2011 metais, kartu su Bolonijos profesoriumi Sergio Focardi, pademonstravo šaltosios branduolinės sintezės reaktorių (dabar siūlonas terminas LERN – žemų temperatūrų branduolinės reakcijos). 2012 metų sausio 11 dieną pademonstravo bandomąjį pavyzdį. Mokslininkas A. Rossi lankėsi Masačusetso valstijoje JAV bei susitiko su valstijos senatoriumi ir keliais mokslininkais, su kuriais aptarė galimybę šioje valstijoje gaminti šaltosios termobranduolinės sintezės reaktorių.

Nepaisant labai skeptiško mokslinės visuomenės požiūrio jo darbų atžvilgiu, A. Rossi į JAV atvyko Masačusetso senato mažumos vadovo respublikono Bruce'o Tarro kvietimu. Šis politikas yra aktyvus alternatyviųjų energijos šaltinių šalininkas.

A. Rossi tvirtina, kad jo energijos katalizatorius, trumpai vadinamas „E-Cat“, panaudodamas nedidelį kiekį energijos, sukelia vandenilio ir nikelio atomų jungimosi reakciją, kurios metu išskiriamas milžiniškas kiekis šilumos. Šilumos perteklius, daugiau nei dešimteriopai viršijantis sunaudojamos energijos kiekį, gali būti panaudojamas vandens užvirinimui, garų gavimui, kurie panaudojami elektros energijos generavimui.

Tokia galimybė energetiniu požiūriu yra patraukli dėl dviejų priežasčių: skirtingai nei vykstant branduolines reakcijas, termobranduolinės sintezės metu neišskiriama pavojinga radiacija. Ir, skirtingai nei standartinių termobranduolinių reakcijų atveju, šaltosios sintezės vykdymui nereikalinga milžiniško dydžio temperatūra [8].

Visgi per du dešimtmečius nuo to laiko, kai eksperimentatoriai pirmą kartą pademonstravo keistąją reakciją, didžioji dalis jų mokslo buvo diskredituota. Dauguma fizikų įsitikinę, kad šaltoji termobranduolinė sintezė yra neįmanoma teoriškai, o įrenginiai, kurie demonstruoja tokias reakcijas, paprastai susimauna išsamaus patikrinimo metu. Šiuo metu JAV energetikos departamentas, recenzuojami energetikos žurnalai ir JAV Patentų biuras šaltosios termobranduolinės sintezės aparatus vertina kaip apgavystes.

### ***1.1.1. A. Rossi reaktoriaus (E-Cat) teorija ir jo pagrindinių parametrų skaičiavimai***

Patikimos ir visų pripažintos teorijos, kuri paaikšintų Rossi reaktoriaus veikimą, nėra [9]. Panagrinėsime reaktoriaus teoriją, kuri pagrįsta elektronų kvarkų analogija ir multielektronine teorija [10,11]. Metodas pagrįstas tuo, kad elektroai, kaip ir kvarkai, turi skirtis spalviniu krūviu (QCD). Skaičiavimų algoritmas pateikiamas:

1. Jukavos potencialo, išcentrinio ir Kulono barjeras:

$$f(r) := -\frac{Cue^{(-\frac{r}{Ru})}}{r} + \frac{M}{r^2} + \frac{q^2}{r}, \quad (1.1)$$

kur  $\frac{q^2}{r}$  – Kulono (elektrostatinių) jėgų energija,  $\frac{M}{r^2}$  – sukimosi energija,  $\frac{Cue^{(-\frac{r}{Ru})}}{r}$  – Jukavos potencialas.

2. Lygties išvestinė (1):

$$f_1(r) := \frac{Cue^{(-\frac{r}{Ru})}}{r^2} + \frac{Cue^{(-\frac{r}{Ru})}}{rRu} - \frac{2M}{r^3} - \frac{q^2}{r^2} \quad (1.2)$$

3. Smulkiosios struktūrinės konstantos:

$$\alpha := .007297352533. \quad (1.3)$$

4. Rydbergo konstanta:

$$Ry := 27.19492787 \quad (1.4)$$

5. Boro spindulys, cm:

$$Rb = 0,529177 \cdot 10^{-8} \quad (1.5)$$

6. QCD – kvantinės chromodinamikos konstanta, dviejų atspalvių elektrono-gliuono chromoplazmai (šaknis iš Planko krūvio):

$$Nconst := 8 * Pi / (22-2 * 2) / alfa; Nconst := 191,3383723. \quad (1.6)$$



$$Cu = Nconst / \ln((2 * \alpha)^2 / \alpha^2), Cu: = 138,0214604 \quad (1.7.)$$

7. Jukavo spindulys = Komptono spindulys  $R_{compt,u}$  (atominiais masės vienetais):

$$Ru: = \alpha. Ru: = 0,007297352533 \quad (1.8.)$$

8. Kampinis multielektrono momentas, kuris susidaro dėl elektrono  $e^-$  vibracijų ir išsklaidymo  $L = R_{compt} \cdot M_{me} \cdot c$ , čia  $M_{me}$  – multielektrono redukuotoji masė,  $R_{compt}$  – taikymo nuotolis,  $c$  – greitis. Tuomet  $M = L^2 / 2m_{me}$  ( $2 \dots 4e^-$ ).

$$\text{Vidutinė } M \text{ reikšmė multielektronui } \hbar = \frac{h}{2\pi}, M = 0,18.$$

9. Multidalelės, sudarytos iš dviejų elektronų Kulono krūvio  $q = q_{me}^2 = 0,25$  elementariojo elektros krūvio.

10. Multidalelių klasikinis spindulys, atominiais vienetais:

$$\text{Minr:} = \text{fsolve}(Ry * (Cu / r^2 * \exp(-r/Ru) + Cu / r / En * \exp(-r/Ru) - 2 * M / r^3 - q^2 / (r^2)) = 0, r, 0..1/120); \text{Minr:} = 0,002764225971. \quad (1.9.)$$

11. Tas pats, cm:

$$Rme1: = \text{Minr} * Rb; Rme1. = 0,1462764807 \cdot 10^{-10} \text{ cm} \quad (1.10.)$$

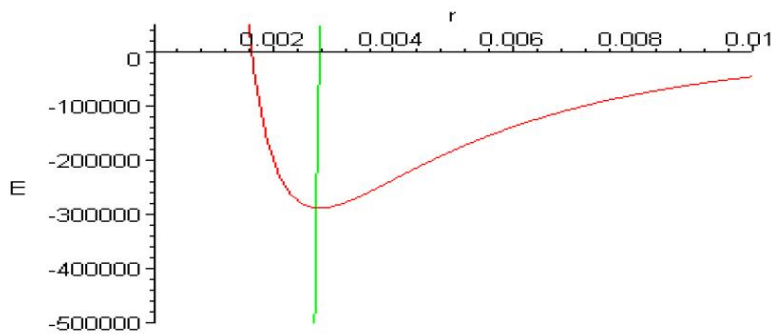
12. Multidalelės ryšio energija, eV:

$$\text{Esv:} = Ry * (-Cu / \text{Minr} * \exp(-\text{Minr}/Ru), + M / \text{Minr}^2 + q^2 / (\text{Minr})); \quad (1.11.)$$

$$\text{Esv:} = -288463,4552 \text{ eV}$$

13. Sąveikos potencialo lygtis (1):

$$f(r): = -3753,483660 \frac{e^{(-137,035998r)}}{r} + \frac{4,895087017}{r^2} + \frac{1,699682992}{r} \quad (1.12.)$$



1.1 pav. Multidalelės ryšio energijos

Multidalelė (multielektronas) susidaro dėl spalvinės (1.1 pav.) vandenilio  $H_2$  ir valentinių  $Ni$  kristalinės gardelės elektronų sąveikos. Kai multidalelė disocijuoja, ši energija yra išspinduliuojama. Pagal atliktus skaičiavimus ši ryšio energija  $E = 288,5 \text{ ke}$ . Dirbant Rossi reaktoriui išspinduliuota  $\gamma$  energija buvo pamatuota apie  $300 \text{ keV}$ . Skaičiavimo paklaida yra:  $\delta = (300 - 288,5) / 300 * 100 = 3,8\%$ .

Tokia paklaidos reikšmė nurodo gerų teorinių ir eksperimentinių duomenų sutapimą.

Multidalelės turi kampinį pagreitį, kuris lygus  $\dots \sim 1/2\hbar$ , todėl multidaleles galima laikyti fermijonais. Multidalelės turi Fermio savybes, todėl galima jų surišta būseną su fermijonais ir egzistuoja vandenilio multiatomų  $H$  ir multimolekulių  $H_2$  susidarymo galimybė.

Vandenilio neutraliosios multimolekulės pasižymi didele skvarba į kristalinę gardelę ir sąveika su aktyviais kristalinės gardelės atomais.

Multimolekulės dydis  $2R_{me} = 0,292 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$ , kuris atitinka muoninę mezo atomą 1 ( $R_{\mu} = 0,256 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$ ).

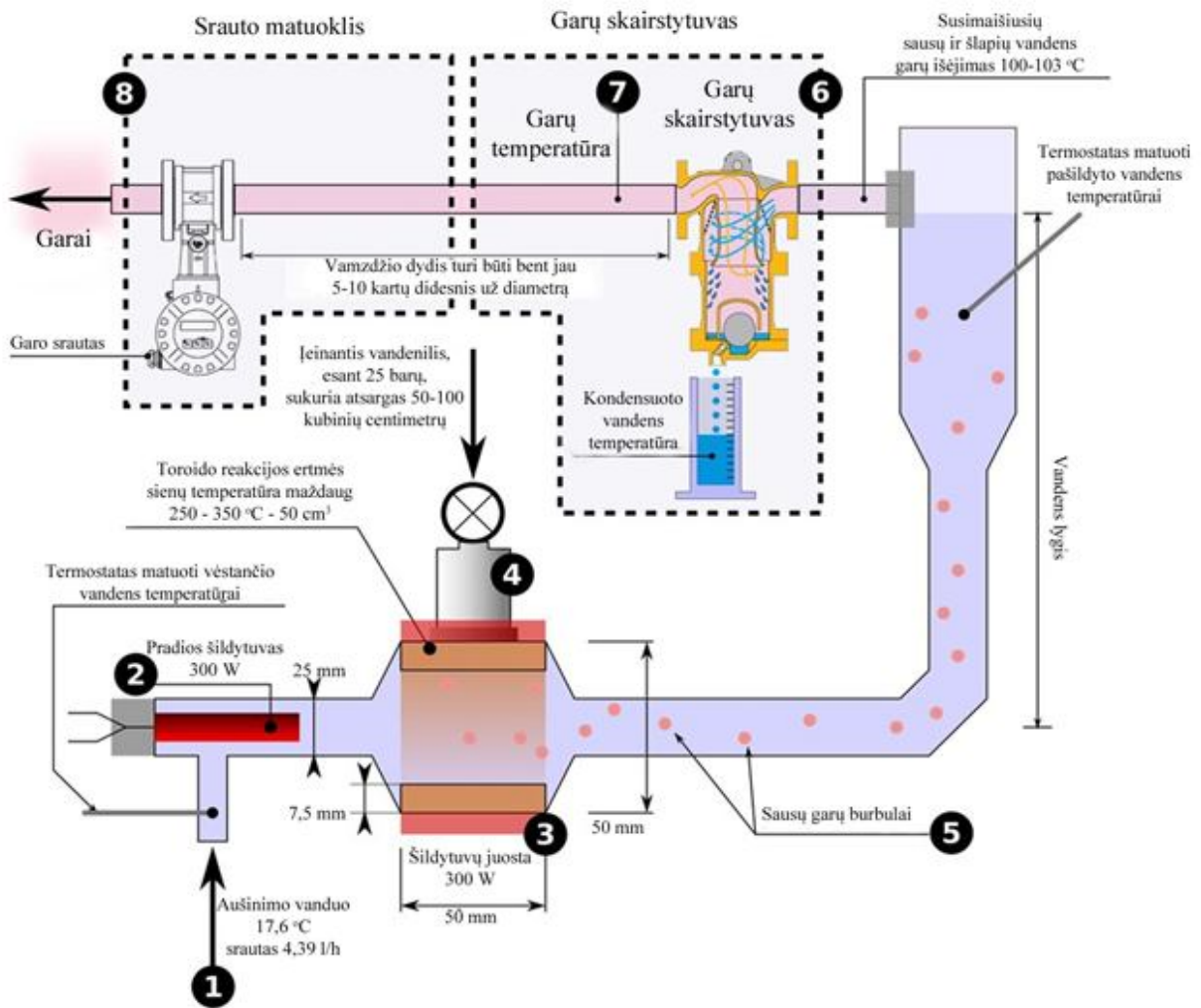
Miuonų-katalizės sintezė buvo gerai ištirta [12], taigi kiti Rossi reaktoriaus parametrai (tikimybė, reakcijos skerspjūvis, išeiga ir t.t.) gali nesuklysti, būti nerastas uždavinys, kurį atlieka žinomais metodais. Vykstant multielektronų katalizei Rossi reaktoriuje, kaip ir Miuonų-katalizė kėlė reikalavimus ir kriterijus jai įgyvendinti:

- Galimybė pereiti kulono barjerų;
- Pakankamas branduolinių procesų skerspjūvis;
- Pakankama tarpdalelinė susidūrimų tikimybė;

Ši sukurta teorija leidžia atlikti naudojamų katalizatorių ir reaktoriaus matmenų optimizaciją, enat pasirinktai galiai.

## 1.1.2. Andrea Rossi reaktoriaus (E-Cat) struktūra, atlikto eksperimento rezultatai

Išmatuoti galią ir energiją, naudota ši diagrama E-Cat [13].



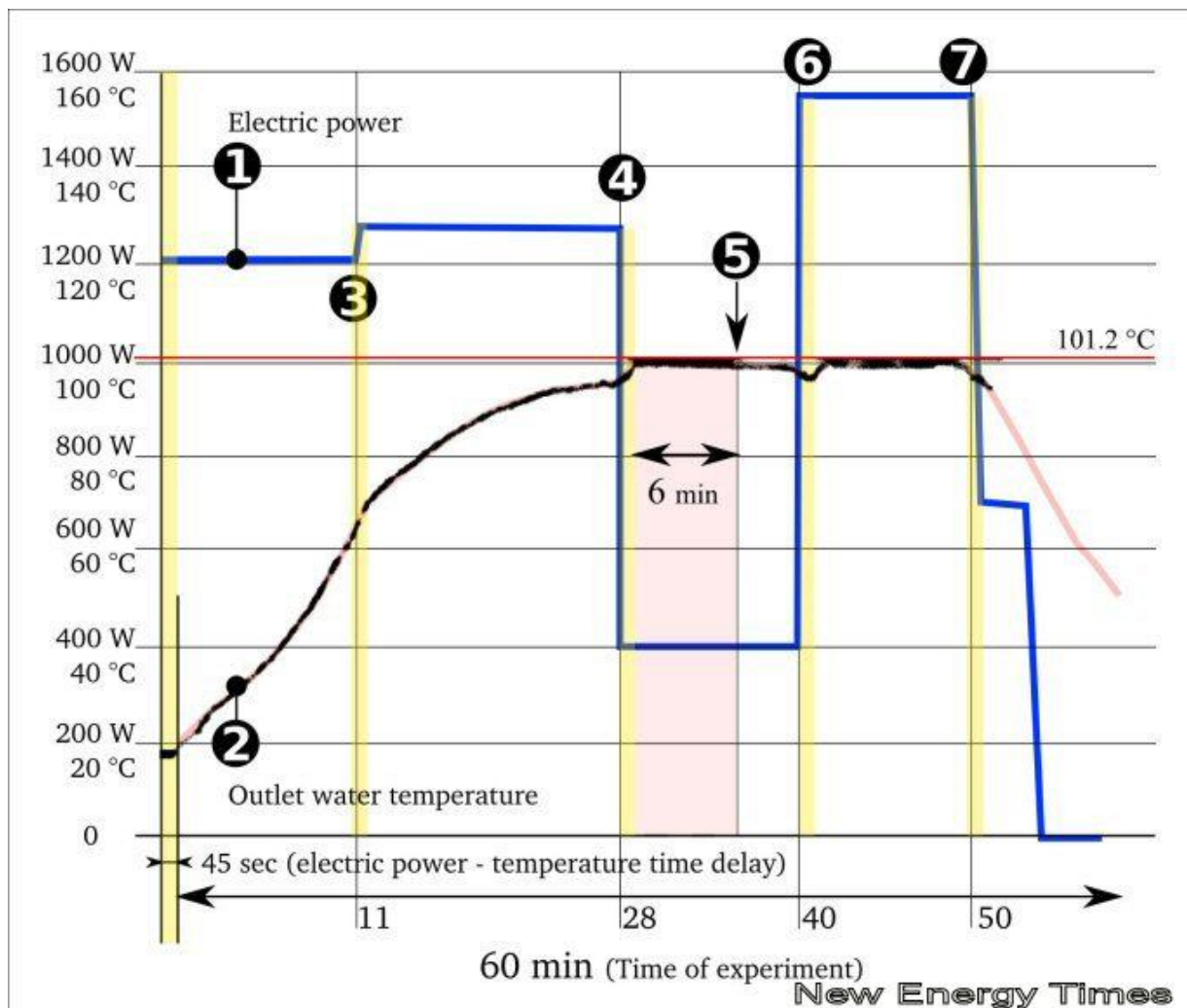
1.2. E-Cat veikimo schema

1. Aušinimo vanduo pumpuojamas.
2. "Pradžiai" šildytuvas (daugiau nei 300W) pakelia vandens temperatūrą.
3. Šildytuvo juosta supa reaktoriaus aktyviasias zonas.

4. Vandeniis yra įtraukiamas į reaktoriaus aktyviąją zoną.
5. Jei E-Cat yra reali, papildomas šildymas yra gama spinduliais, kurie yra variniame vamzdyje, juos sugeria švino ekranavimas aplink. Ši sekcija iš esmės veikia kaip vamzdžio katilas.
6. Vandens išėjimas horizontaliu reaktoriaus vamzdžiu. Šiame skyriuje srautas priklauso nuo garų kokybės. (Skystas vanduo, burbuliukai, strypeliai, žiedai, lašai ..).
7. Išėjimo vamzdelis vertikalus. Srauto struktūros palaikymas yra priklausomas nuo garų kokybės.
8. Vamzdis po to plečiasi į kaminą. Strypeliai arba garų burbuliukai gali tapti atskirti nuo bet kokio skysčio.
9. Priemonė prasiskverbia pro kamino liuką, žemiau išėjimo signalo lygio.
10. Išėjimas iš E-Cat yra mišinys skysčių vandens, vandens garų ir vandens lašų.
11. Vanduo išeina per žarnas [15].

Pagal šią E-Cat scemą surinktu modeliu buvo atlikti keli bandymai, kurie pateikti grafiškai 1.3 paveikslėlyje, elektros energijos sąnaudų ir temperatūros išeiga, matuojant vertikalaus vamzdžio Rossi prietaiso palyginimui demonstravimo metu grafikas. Šis eksperimentas buvo atliktas Andrea Rossi, Giuseppe Levi ir keletas kitų profesorių iš Bolonijos universiteto. Rossi ir Levi niekada nepristatė integruotą elektros energijos sąnaudų ir išeigos temperatūros grafikų. Pasak jų, duomenys buvo prarasti.

Negalima teigti, kad buvo garo ar vandens temperatūros matavimai. Visi mes žinome, kur buvo atlikti temperatūros matavimai. Šio reiškinių priežastys yra: a) stebimas vertikalus vamzdis ir slėgio matavimų duomenys, dėl nuolataus spaudimo verčių, b) optinė kontrolė vertikalaus vamzdžio viduje buvo neįmanoma, ir c) termodinaminės sąlygos, kaip paaiškinta, kad vanduo pripildė vertikalų vamzdį virš lygio, kuriam esant buvo pateiktas šis temperatūros jutiklis. Todėl netikslinga vadinti vertikalų vamzdį "kaminu", kaip pasiūlė Rossi.



1.3 pav. Temperatūrų kitimo nuo laiko grafikas

Čia yra žingsnis po žingsnio, ką mes galime matyti iš faktinių aplinkybių analizės.

1) taikoma galia yra iš pradžių 1200 vatų. Elektros energijos įvesties duomenų šaltinis yra iš Levi sausis 21, 2011, ataskaitos diagramoje.

2) temperatūra iš pradžių apie 20 ° C temperatūros. Temperatūros duomenų šaltinis ateina iš vaizdo ekrane, vaizdas pateiktas realiu laiku iš to eksperimento.

3) Šiuo metu yra tik 70 vatų galios padidėjimas, tačiau tuo pačiu metu, temperatūros padidėjimo norma mažėja.

Hipotezė, kuri paaiškintų šį nenormalų pokytį (temperatūros rampos nuolydį) yra įmanomas. Apsvarstyta, kad eksperimento pradžioje, Rossi galėjo sustabdyti vandens srautą. Prisiminkite, ką Celani savo pranešime rašė: "eksperimentas, pradžioje nebuvo tinkamai

paleistas, nes pagrindinis šildytuvas turėjo katastrofišką nesėkmę." Iš pradžių, aparatas turi būti pašildomas, ir pradėtas šildymas aparatu be vandens srauto gali būti efektyvi procedūra. Tada, kai vandens temperatūra pasiekia 60 °C, vandens srautas gali būti pradėtas.

Rossi kiti eksperimentai nerodo jokios temperatūros barjero nuolydžio kaitos įrodymus.

4) Rossi sumažina galia iki 400 vatų. Nėra grįžtamojo ryšio arba kontrolės jutiklių eksperimento; šildytuvai valdomi rankiniu būdu naudojami artimosios šviesos jungikliai.

Ateinančias šešias minutes, temperatūra lieka 101,2 °C.

5) temperatūra pradeda mažėti, galbūt dėl neįprasto reiškinio pabaigos.

6) Rossi smarkiai padidina taikomąją galią iki 1550 vatų. Temperatūra kyka iki 101,2 °C.

7) seka negali suteikti aiškių rezultatų, ir po 50 minučių, eksperimentas nutraukiamas.

Todėl galima nustatyti du laikotarpius:

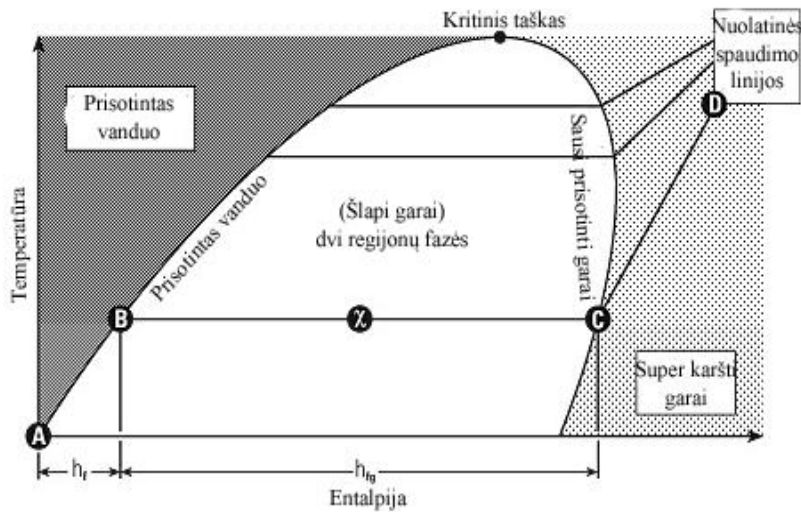
1. Darbas galimas su šilumos kiekio pertekliu per laikotarpį tarp taškų (4) ir (6). Stebint diagramą ji rodo, kad eksperimentas tikriausiai buvo sėkmingas, galimo perteklinio šilumos poveikio, 200% iki 300% tik per pirmąsias šešias minutes po to, kai pasiekė virimo temperatūra 101,2 °C.

2. Operacija be jokios neįprastos emisijos energijos (5) - (7). Per šį laikotarpį, Rossi neproporcingai padidino elektrinį galingumą (1550 W). Per šį laikotarpį, tikinama, kad sistema gamina šilumos perteklių, nes mažinimas (7) nerodo laipsniškai mažėjančios temperatūros. Nėra greitai sumažinta temperatūra, kuri patvirtina, kad šiame etape, prietaisas gamina elektrą tik šildymui [18].

### ***1.1.3. Garai – temperatūra – entalpijos diagrama***

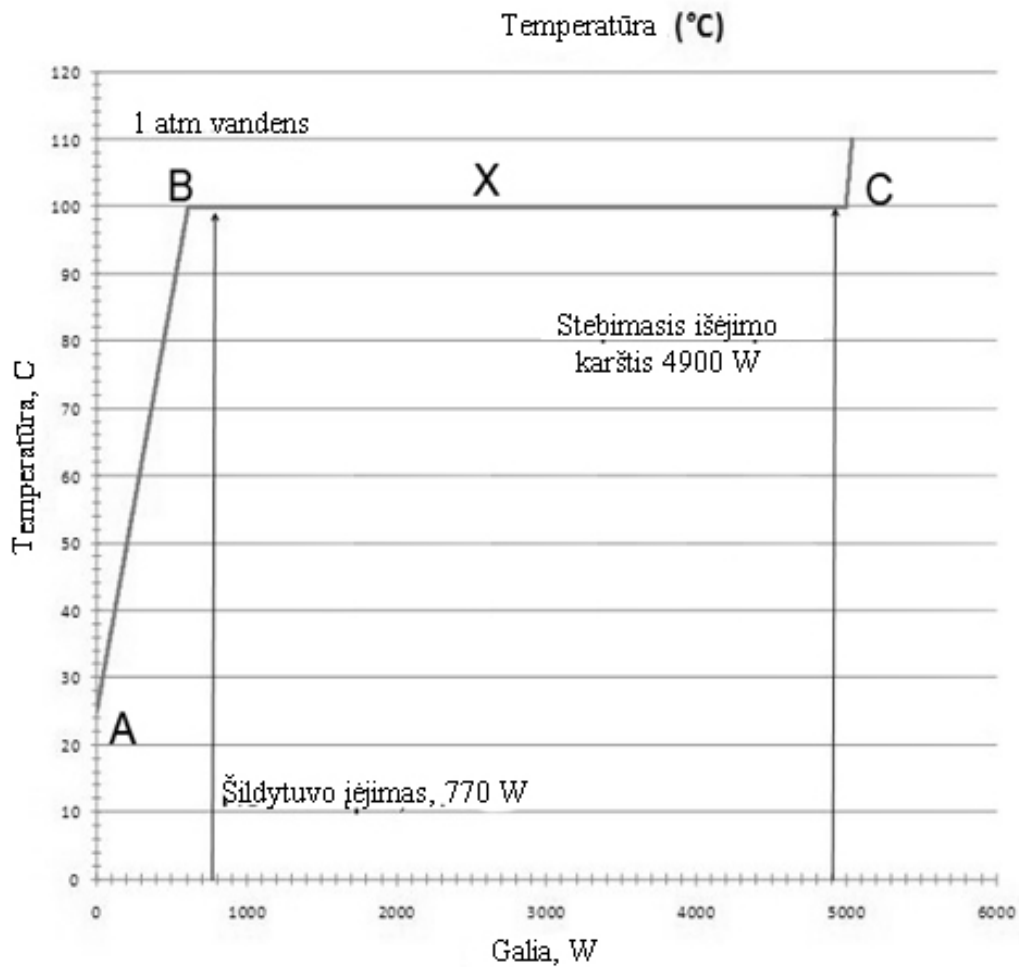
Garai yra sudėtinga medžiaga.

Tiesiog nustatyti etapą, apsvarstyti, kas atsitinka, kai vanduo verda uždaroje sistemoje, vertinama kaip temperatūros - entalpijos diagramos. Temperatūrinės entalpijos diagrama pavaizduota 1.4 paveikslėlyje. Vertikali ašis yra temperatūra, o horizontali ašis reiškia entalpija.



1.4 pav. Temperatūrinės entalpijos fazių diagrama

- Pradžia taške A, su sunkiuoju vandeniu. Kai pradeda šildyti, vanduo įkaista, ir grafikas pasilenka į tašką B.
- Kas bus toliau, priklauso nuo slėgio. Kai taške B bus pasiektas tam tikras slėgis, vanduo bus pradėti virti.
- Kai pridedama daugiau karščio, temperatūra nesikeičia, ir taškas X pasislinks horizontaliai taško C. Išilgai šios linijos, turėsime vandens garų ir kietojo vandens mišinį. Garų masės ir visos masės santykis, išreikštas vandens garais, X, kuri varijuoja nuo 0 (taškas B). Kokybė yra išreiškiamas trupmena, 0,95 arba kartais procentais - pvz., "95% sausos" ar net 5% skysto vandens procentas "šlapias".
- Kad pasiekti tašką C, kietas vanduo ir garas turi būti visiškai sausas: Kokybė 1.0 "100% sausos" arba "0% šlapias".
- Po taško C temperatūra pradės vėl didėti, link taško D.



1.5 pav. Galios identifikavimo grafikas

Pažiūrėkime NASA diagramoje (1.5 pav.).

Kaip ir anksčiau, vertikaliąją ašį yra temperatūra, tačiau NASA sugradavo X energijos ašį identifikuoti galiai (W), reikalingą padidinti žinomą kiekį vandens (7 litrų per valandą) nurodytoje temperatūroje.

Įėjimo galia 770 W (Krivit'o demonstracija) yra pakankama padidinti vandens virimo temperatūrą, kas atrodo (iš akies) yra apie 5% sausos. Rossi apskaičiavo energiją, paremtą kokybe daugiau kaip 95%, ir tai yra 4900 W.

Vėlgi, kai vanduo pradeda virti ir garai pradeda gamintis, yra platus diapazonas įvesties lygčiai, kuris bus išlaikyti garo srove tarp 0 ir 100%.

Matuojama garo išėjimo temperatūra yra prie virimo temperatūros. Taigi dar neįvedėme labai karštų garų regiono (C į D pirmoje diagramoje.). Iš viso energijos sąnaudos 770 W įeina

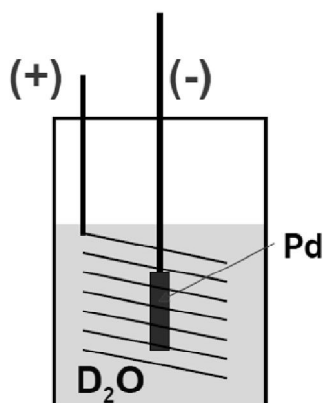


30W (vertinant kai kuriuos eksperimentus) įjungus valdymo dėžę, nepaisant bet kokių nustolių viduje E-Cat, kur Rossi įvertinimai 80 W (darant prielaidą, kad 4900 W) [14].

NASA teigia, kad taškas X gali būti bet kur tarp 770W ženklų (elektros įvesties energija), ir 5000W ženklas. Remiantis teoriniu pagrindu, tai yra tiesa. Faktinis išėjimo į E-Cat gali būti rimta abejonė.

## 1.2. **Elektrodų paviršių struktūros kitimas degant plazmai**

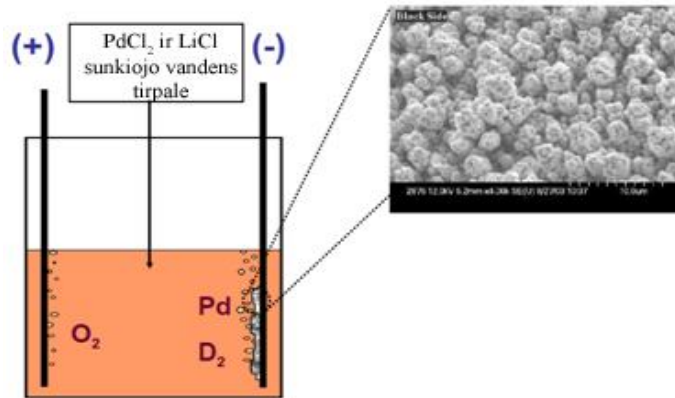
Šiame eksperimente mokslininkai tokie, kaip Melvin Miles, Stan Szpak ir kiti, naudoja celę, kuri pripildyta kietuoju vandeniu ir į ją panardintas paladžio katodas. Degant plazmai, ant katodo kaupiasi dalelės, kurias prijungus kamerą buvo galima fiksuoti ir tirti katodo paviršius degant plazmai. Plazmos degimo metu vyko reakcijos [15]:



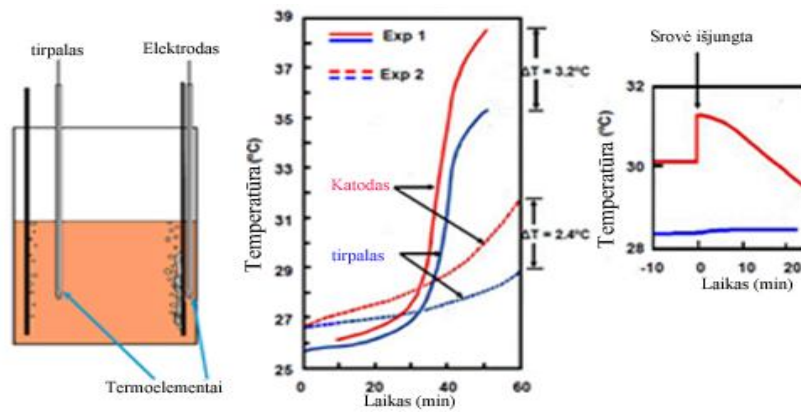
1.6 pav. Celės tipas

Rezultatas yra toks, jog ant metalo *Pd*, kaupiasi  $D_2$ .

Mokslininkai sugalvojo būdą tirti elektrodų paviršius, pasitelkiant video kamerą (parodo paviršių struktūras, naudojamas makro objektyvas), detektorius (spinduliuočių fiksavimui). 1.7 paveiklėse parodomas, nuosėdų kaupimasis ant elektrodų ir pateikiama pavyzdinė paviršiaus nuotrauka.

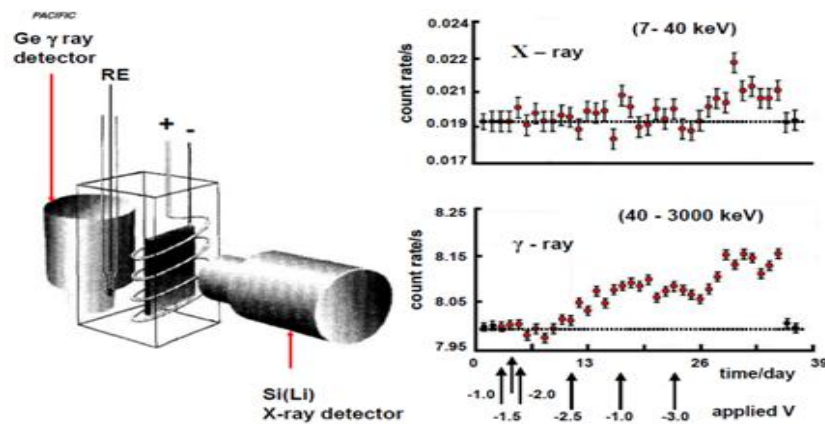


1.7 pav. Nuosėdų ant elektrodo makro fotografija.



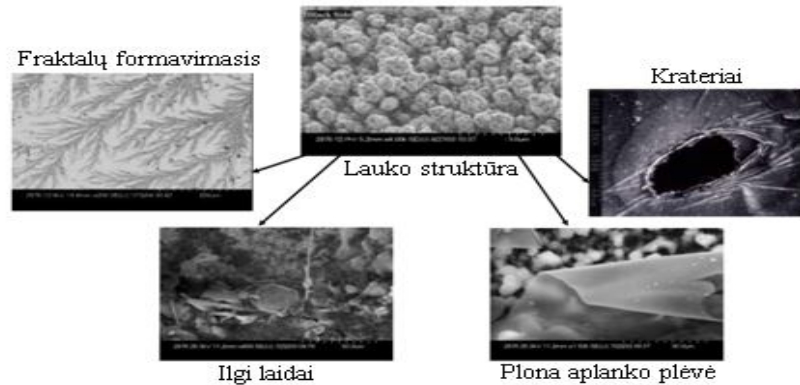
1.8 pav. Temperatūrų grafikai.

Panaudojus termoelementus buvo matuojamos elektrodų ir elektrolito temperatūros (1.8 pav.). Iš grafikų matyti, jog elektrodų temperatūra yra didesnė negu tirpalo.



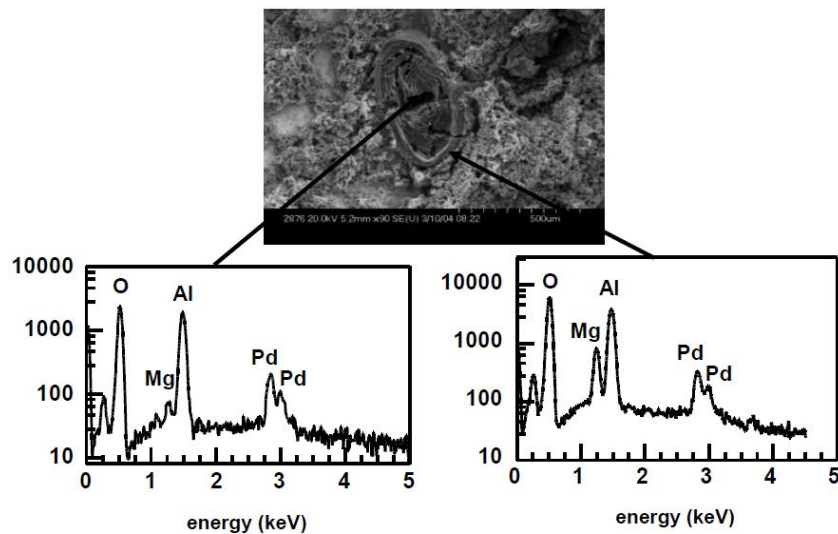
1.9 pav. Detektorių ir kamerų išsidėstymas, spinduliuotės fiksavimas.

Darytas tyrimas detektoriu fiksuojant gama ir rentgeno spindulius. Abi spinduliuotės užfiksuotos ir pateikti grafikai (1.9 pav.). Matyti, jog gama spinduliuote kur kas stipresnė. Buvo daromos elektrodo paviršiaus nuotraukos, kur po to išdidinus paviršių, buvo rasti kelių struktūrų paviršiai. Paviršių įvairovė pademonstruojama 1.10 paveikslėlyje. Rasti kelių tipų paviršiai: fraktalų formos, ilgi laidai, plona aplanko plėvė, krateriai.

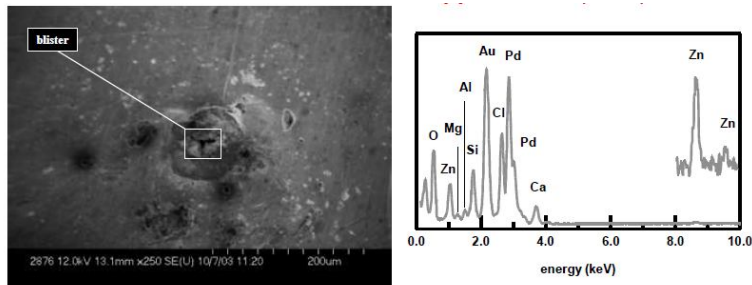


1.10 pav. Elektrodo paviršiaus tyrimas.

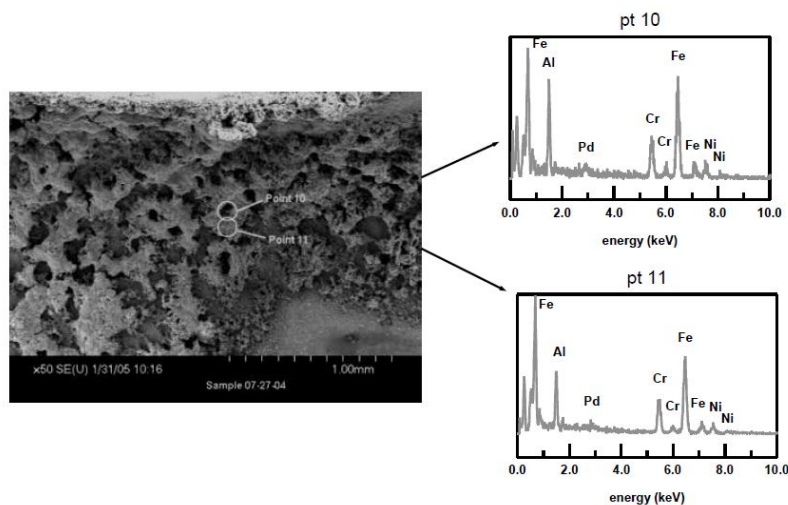
Konferencijoje apie mažos energijos branduolines reakcijas, vykusioje San Diege, konferencijos dalyviai aiškino kaip išskiriami krateriai iš bendros lauko struktūros ir tiriama, kokių naujų dalelių atsiranda po plazmos degimo.



1.11 pav. Kraterio spektriniai tyrimai.



1.12 pav. Kraterio spektriniai tyrimai



1.13 pav. Kraterio spektriniai tyrimai

Autoriai, nagrinėję paviršių, teigė jog atsiradavo naujų cheminių element po šaltosios branduolių sintezės.

### 1.3. Miuonų katalizė

Jau praėjo apie penkiasdešimt metų nuo to laiko kai buvo teoriškai numatyta ir apie trisdešimt kai buvo eksperimentiškai atrasta vandenilio ir deuterio branduolių sintezės reakcija, dalyvaujant miuonui. Miuonas atliko reakcijos katalizatoriaus vaidmenį. Nemažai fizikų mano, kad miuonų katalizė (mezokatalizė) yra viena iš perspektyvių šaltosios branduolių sintezės problemų tyrimo krypčių [16].

Miuonus ( $\mu$ ), tirdami kosminius spindulius, 1936 metais atrado amerikiečių mokslininkai K. Andersonas ir S. Nedermejeris. Jų rimties masė

$$m_{\mu} = 206,8m_e , \quad (1.14)$$

čia:  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  - elektrono rimties masė.

Yra teigiamieji ( $\mu^+$ ) ir neigiamieji ( $\mu^-$ ) miuonai, vienų ir kitų elektros krūvio modulis:

$$q_{\mu^+} = q_{\mu^-} = e, \quad (1.15)$$

čia:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$  - elementarusis elektros krūvis.

Dėl silpnųjų sąveikų miuonai yra nestabilūs, vakuume jų vidutinė gyvavimo trukmė lygi  $2,2 \cdot 10^{-6} s$ . Miuonų skilimo reakcijos:



čia:  $e^+$ ,  $e^-$  - atitinkamai pozitronas ir elektronas,  $\nu_e, \tilde{\nu}_e$  - elektroninis neutrinas ir antineutrinas,  $\nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu$  - miuoninis neutrinas ir antineutrinas.

Gamtinis miuonų šaltinis yra kosminiai spinduliai. Jūros lygyje miuonai sudaro maždaug 80 % visų kosminių spindulių dalelių. Čia jie susidaro, susiduriant pirminių kosminių spindulių dalelėms suviršutinių žemės atmosferos sluoksnių branduoliais. Dirbtiniu būdu miuonai sukuriama apšaudant taikinių branduolius (pvz., anglies) greitaisiais protonais ar elektronais. Taip gaunami pionai ( $\pi$ ).

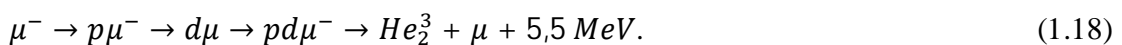
Elektrintieji pionai ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) dėl silpnųjų sąveikų yra nestabilūs, jų vidutinė gyvavimo trukmė  $2,55 \cdot 10^{-8} s$  ir jie patiria tokius virsmus:



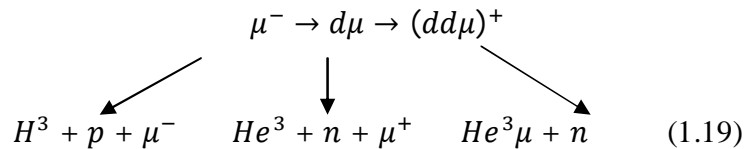
Tokiu būdu galima gauti miuonų pluoštelio intensyvumą iki  $10^9$  dalelių/s.

Sklindant miuonui medžiaga, jo energija gali labai sumažėti ir tuomet atomas gali jį pagauti, t.y.  $\mu^-$  mezonas gali užimti atome elektrono vietą. Taip susidaro mezoatomai. Jie gali susidaryti lengvuose atomuose. Paprasčiausias toks atomas ( $p\mu^-$ ) sudarytas iš protono ir apie jį besisukančio miuono. Sunkesnieji negu elektronai mezonai yra maždaug 200 kartų arčiau branduolio negu elektronai, todėl tokio nesužadinto mezoatomo spindulys yra  $10^{-13} m$  eilės dydis. Kadangi mezoatomų matmenys yra maži, tai jie lengvai prasiskverbia į kitų atomų vidinius elektroninius sluoksnius ir sukelia mezoatominius procesus: mezomolekulių susidarymą, branduolinių reakcijų katalizę [17].

Pirmą kartą miuonų katalizuojamą  $pd$  sintezės reakcija buvo stebėta 1956 metais Berkly universitete USA;



Yra žinoma, kad miuonas gali surišti du deuterio atomus, sudarydamas mezodeuterio joną [22]. Tuomet deutonai yra tiek arti vienas kito, kad yra galimas jų susiliejimas. Šio proceso metu susidarę miuonai gali būti naujų branduolinių reakcijų katalizatoriai. Miuonų katalizuojamos  $dd$  – sintezės reakcijos:

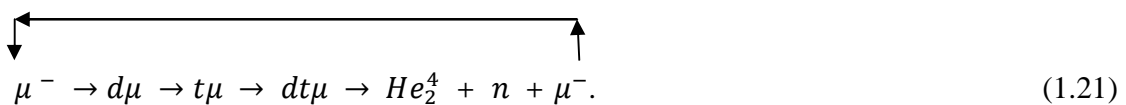


Atlikti paskutiniųjų metų tyrimai parodė, kad vienas miuonas gali katalizuoti apie šimtą naujų sintezės reakcijų. Tačiau tik vienas iš dešimties miuonų vandenilio ir deuterio mišinyje suspėdavo įvykdyti sintezės reakciją. Mezomolekulių susidarymo tikimybė pasirodė labai maža. Susidarant mezomolekulei energija yra perduodama atomo elektronui. Bet ši išsilaisvinusi energija gali būti neperduodama ir miuonas gali neišsilaisvinti, o pasilikti susidariusiame  $He$  atome. Toks miuonas jau nedalyvauja katalizės procese. Helio mezoatomas, skirtingai negu vandenilio arba deuterio, yra įelektrintas, todėl iš jų nesusidaro mezomolekulės. Ir dėl to miuonų pagavimas  $He$  atomais labia sumažina vandenilio ir deuterio mezomolekulių susidarymo tikimybę.

Didesnė mezomolekulių susidarymo tikimybė yra vandenilio, deuterio ir tričio mišinyje (turi būti mišinyje apie 30 %). Tuomet vyksta toks mezokatalizės ciklas - pirmiausia susidaro tričio mezoatomai, po to mezomolekuliniai jonai ir helio  $He^5$  atomai (galutinis branduolių sintezės produktas).  $He^5$  suskyla į neutroną ir  $\alpha$  dalelę:



Šio skilimo metu yra išlaisvinamas miuonas, kuris vėl gali dalyvauti katalizės procese:



Vykstant deuterio ir tričio sintezei išsiskiria  $17,6 MeV$  energijos:



Vienas miuonas gali įvykdyti 300 katalizės aktų, todėl galima gauti energetiškai naudingą procesą. Jeigu tričio koncentracija mišinyje sudaro apie 30 %, tuomet pasireiškia proceso aktyvumo priklausomybė nuo temperatūros. Kritiniai tokio mezokatalizės generatoriaus parametrai:  $\sim 500$  °C temperatūra ir  $\sim 3000 atm.$  slėgis. Todėl, norint realizuoti tokias branduolių sintezės reakcijas, reikia išspręsti svarbias technologines problemas – gauti „pigius“ miuonų

srautus, sumažinti miuonų prilipimo prie helio atomų tikimybę, išlaikyti pastovią tričio koncentraciją mišinyje ypač aukštose temperatūrose ir dideliuose slėgiuose.

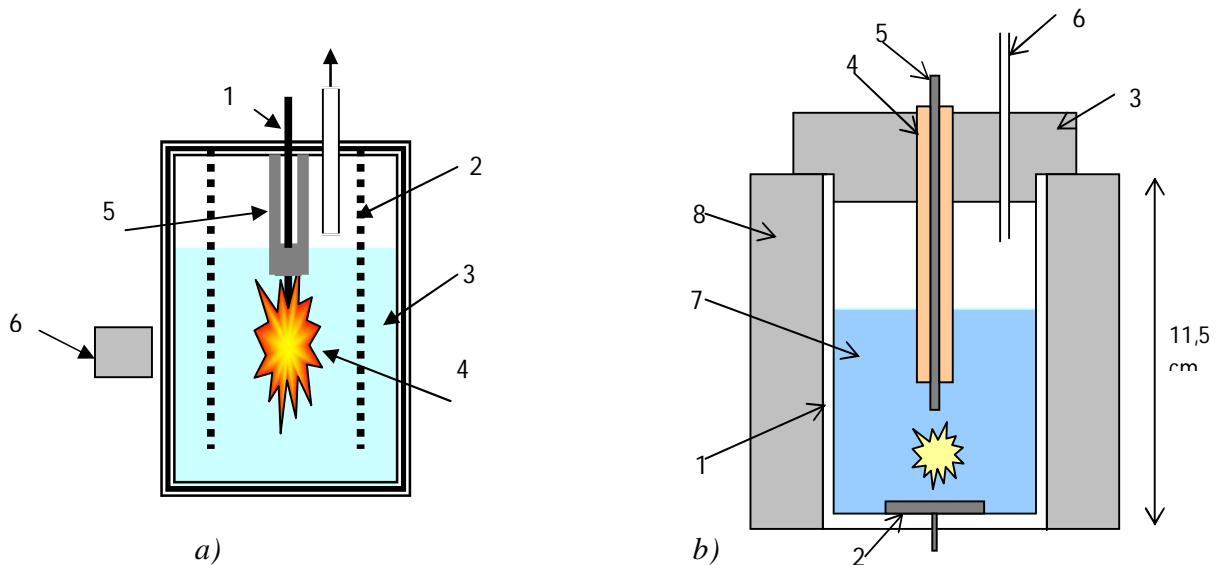
## **2. Eksperimentinis tyrimas**

Šiaulių universiteto Gamtos mokslų fakultete Vandenilio energetikos laboratorijoje jau keletą metų atliekami vandenilio energetikos technologijų tyrimai. Tyrimų tikslas – nustatyti vandenilio kaip alternatyvaus energijos nešiklio efektyvumą ir jo kaip alternatyvaus energijos šaltinio panaudojimo galimybes. Atlikti tyrimai parodė [19], kad energijos efektyvumo rodiklis vandenilio plazmos celėje gaunamas didesnis už vieneta. Be to, nustatyta, kad vandenilio celėje yra nesunku uždegti plazmą, bet gana sudėtinga nustatyti optimalias energijos išgavimo sąlygas.

### **2.1. Tyrimo metodika**

Šiame darbe pateikti elektrinės energijos konversijos į šiluminę vandenilio plazmos celėje tyrimų rezultatai. Pristatomi eksperimentų rezultatai, kuriuose vandenilio plazmos celės darbo statiniame ir dinaminuose režimuose charakteristikos nustatomos, derinant įvairias plazmos celės konstrukcinius elementus ir plazminės vandens elektrolizės proceso parametrus. Siekiant nustatyti optimalias darbo sąlygas eksperimentai atlikti su įvairių formų ir medžiagų elektrodais ir įvairios cheminės sudėties bei koncentracijos elektrolitais. 2.1 paveiksle pateikti vandenilio plazmos celių struktūrinių schemų pavyzdžiai.





2.1 pav. Vandenilio plazmos celių struktūrinės schemos: a) vandenilio plazmos celės schema su jonizuojančios spinduliuotės registatoriumi: 1 - katodas, 2 – anodas, 3 – elektrolitas, 4 – plazmos sritis, 5 – keraminis izoliatorius, 6 – jonizuojančios spinduliuotės registраторius; b) vandenilio plazmos celės, naudotos dinamiame darbo režime. struktūrinė schema: 1 – 110 cm<sup>3</sup> organinio stiklo indas, 2 – nerūdijančio plieno 30 mm skersmens skritulio formos anodas, 3 – izoliacinis kamštis, 4 – keraminis izoliatorius, 5 – katodas, 6 – stiklinis vamzdelis išeiti garams, 7 – elektrolitas, 8 – putplasčio gaubtas.

Elektros energijos konversijos į šiluminę efektyvumo įvertinimui nustatytas efektyvumo rodiklis

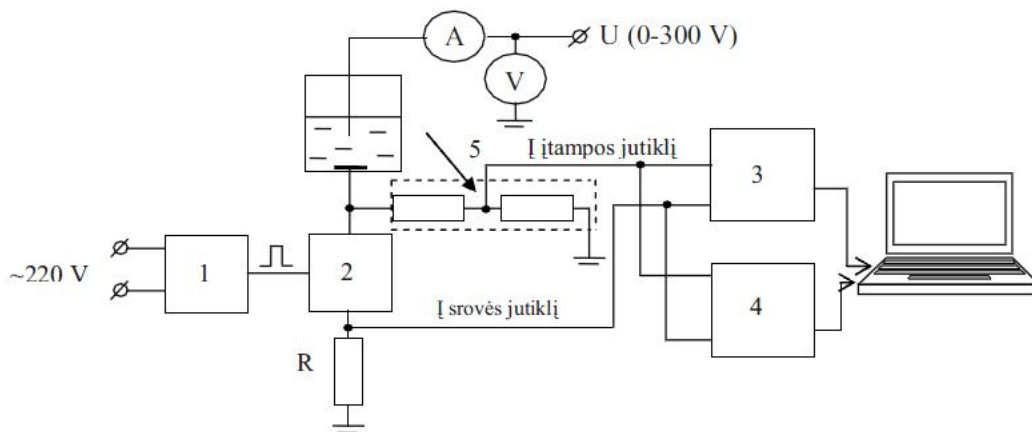
$$k = \frac{Q}{W}, \quad (2.1)$$

čia:  $Q$  - išsiskyręs celėje šilumos kiekis,  $W$  - sunaudota elektros energija.

Šio rodiklio nustatymui atlikti kalorimetriniai bandymai vandens virimo temperatūroje ir temperatūroje žemesnėje už virimo temperatūrą. Tiriamoje celėje generuojama šiluminė energija yra sukaupiama elektrolite, vandens garuose, plazminės elektrolizės procese išsiskiriančiose vandenilio, deguonies ir ozono dujose. Taip pat yra išskiriama šviesos ir garso energija. Šiame darbe, įvertinant energijos efektyvumą, buvo matuojama tik šiluminė energija, sukaupta elektrolite.

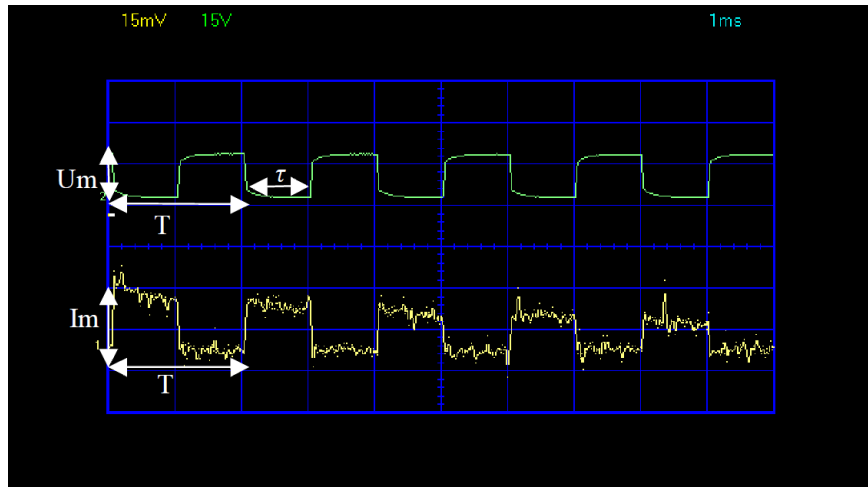
## 2.2. *Vandenilio plazmos celės darbo, statiniu ir dinaminu režimu, tyrimas, rezultatai*

Darbe pristatomi vandenilio plazmos celės darbo dinaminiam režimui eksperimentinių tyrimų rezultatai. Šiuose bandymuose vandenilio plazmos celės maitinimui buvo naudojami įvairaus dažnio, amplitudės ir skvarbos stačiakampiai impulsai. Tam tikslui buvo sukonstruotas įrenginys, kurio struktūrinė schema pateikta 2.2, o suformuotų įtampos ir srovės impulsų oscilogramų pavyzdžiai – 2.3 paveiksluose. Elemento maitinimo impulsų sunaudota galia buvo įvertinta pagal voltmetro, ampermetro ir oscilografo parodymus, kai kurie matavimų rezultatai buvo dubliuojami, naudojant Data-Studio programą. Atliekant matavimus srovės stipris buvo nestabilus, todėl norint nustatyti vidutinę srovių, tekančių vandenilio plazmos celėje, reikšmę matavimai buvo atlikti kas kelios sekundės ir apskaičiuota vidutinė reikšmė (2.4 pav.).

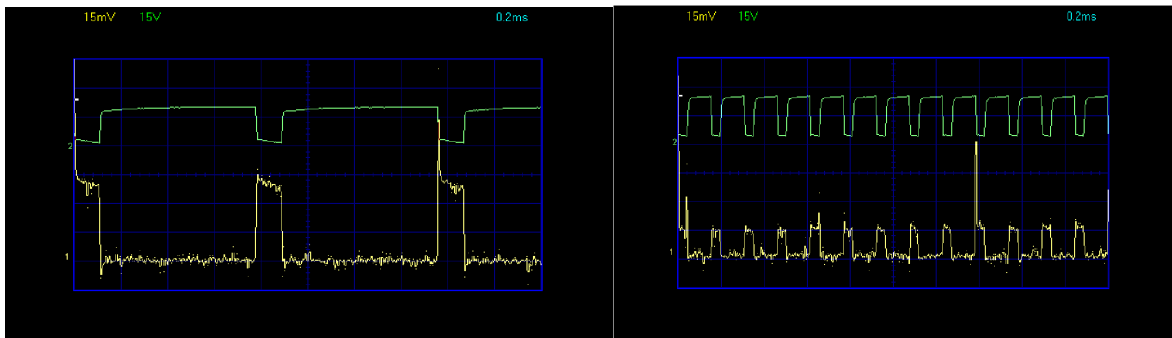


2.2 pav. *Vandenilio plazmos elemento maitinimo įrenginio struktūrinė schema: 1 – stačiakampių impulsų generatorius, 2 – raktas, 3, 4 – sąsajos su kompiuteriu (LAB ir Data Studio), 5 – įtampos daliklis 1:10*

Atlikta serija eksperimentų su cilindrinės formos vario (skersmuo  $\varnothing = 3,45 \text{ mm}$ ) bei volframo ( $\varnothing = 2,77 \text{ mm}$ ) katodais ir nerūdijančio plieno 316 T anodu (elektrodų padidintos katodų nuotraukos pateiktos 2.5 paveiksle) elektrolitai – kalio ( $KOH$ ) ir natrio ( $NaOH$ ) šarmių bei geriamosios sodos ( $NaHCO_3$ ) įvairių koncentracijų tirpalai vandenyje



a)



b)

c)

2.3 pav. Maitinimo signalų, oscilogramų pavyzdžiai

Pateiktose oscilogramose (2.3 pav.)  $U_m$  - maitinimo impulsų įtampos amplitudė (1:10),  $T$  - impulsų pasikartojimo periodas,  $\tau$  - impulsų trukmė,  $U_{mR}$  - maksimali įtampos kritimo varžoje  $R = 0,05 \Omega$  vertė, tuomet srovės, tekančios celėje amplitudė  $I_m = \frac{U_{mR}}{R}$ . Voltmetras  $V$  matuoja maitinimo impulso įtampos amplitudę, ampermetras  $A$  vidutinę srovės, tekančios celėje, reikšmę.

Vandenilio plazmos celės maitinimui naudojamų įvairaus dažnio, amplitudės ir skvarbos stačiakampių impulsų, oscilogramų pavyzdžiai pateikti 2.3 a, b, c paveiksluose.

Skaičiuojant vandenilio plazmos celės energijos efektyvumą, reikia įvertinti maitinimo signal energetines charakteristikas: galią  $P$  ir sunaudotą per celės darbo laiką  $t$  energiją  $W$ .

$$W = \int_{\tau_1}^{\tau_2} p(t) dt, \quad (2.1)$$

čia:  $p(t)$  - momentinė galia,  $\tau_2 - \tau_1 = \tau$  - impulso trukmė.

Periodiniam signalui apibūdinti skaičiuojami pagrindinių dydžių vidutinės reikšmės per periodą:

• vidutinė įtampa:

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} U(t) dt; \quad (2.2)$$

• vidutinė srovė:

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I(t) dt; \quad (2.3)$$

• vidutinė galia (išsiskyrusi vieno omo varžoje):

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} s^2(t) dt = \overline{s^2(t)}, \quad (2.4)$$

čia:  $s(t)$  - srovės stiprio arba įtampos momentinė vertė.

Periodinių signalų apdorojimui, signalai dažniausiai skleidžiami Furjė eilute .

Bet kokį periodinį signalą  $s(t) = s(\tau + T)$  galima išskleisti Furjė eilute [20]:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n \omega t + b_n \sin n \omega t), \quad (2.5)$$

čia:  $\frac{a_0}{2}$ - nuolatinė dedamoji, o  $a_n$  ir  $b_n$  - funkcijos  $s(t)$  atskirų harmonikų amplitudės (Furjė koeficientai),  $n = 1, 2, 3, \dots \omega$  - ciklinis dažnis.

Furjė koeficientai apskaičiuojami tokiu būdu:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) dt, \quad (2.6)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{t+T}{2}} s(t) \cos n \omega t dt, \quad (2.7)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} s(t) \sin n \omega t dt. \quad (2.8)$$

Jeigu  $s(t)$  lyginė funkcija, tai visi  $b_n = 0$  tuomet pagal (2.5)

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n \omega t \quad (2.9)$$

ir

$$\overline{s^2(t)} = \left(\frac{a_0}{2}\right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^2. \quad (2.10)$$

Jeigu funkcija  $s(t)$  yra srovės stipris  $(t)$ , tuomet vidutinė galia varžoje  $R$ :

$$\bar{P} = \overline{RI^2(t)} = R \left( I_0^2 + \frac{I_1^2}{2} + \frac{I_2^2}{2} + \dots \right), \quad (2.11)$$

čia:  $I_0$  - srovės pastovioji dedamoji,  $I_n$  - srovės  $n$ -tosios harmonikos amplitudė.

Stačiakampiems impulsams  $s(t)$ , kurių amplitudė  $A$ , trukmė  $\tau$ , pasikartojimo periodas  $T$ :

Furjė koeficientai

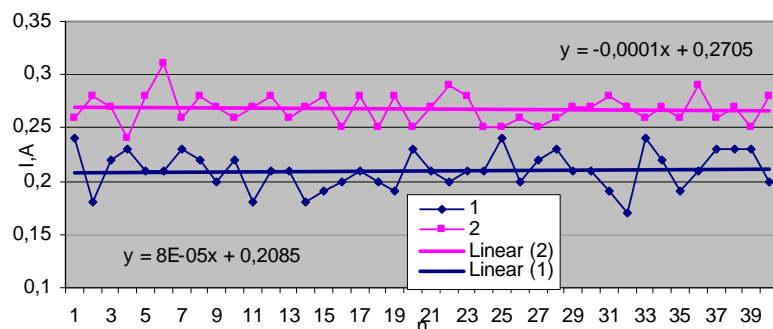
$$a_n = \frac{2A}{n\pi} \sin \frac{n\pi\tau}{T} = \frac{2A}{n\pi} \sin \frac{n\omega\tau}{2}, n = 1, 2, 3, \dots; \quad (2.12)$$

vidutinė reikšmė

$$\overline{s(t)} = \frac{a_0}{2} = A \frac{\tau}{T}, \quad (2.13)$$

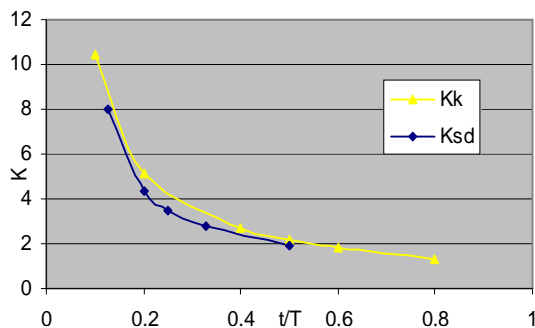
vidutinė kvadratinė reikšmė:

$$\overline{s(t)^2} = A^2 \frac{\tau}{T}. \quad (2.14)$$

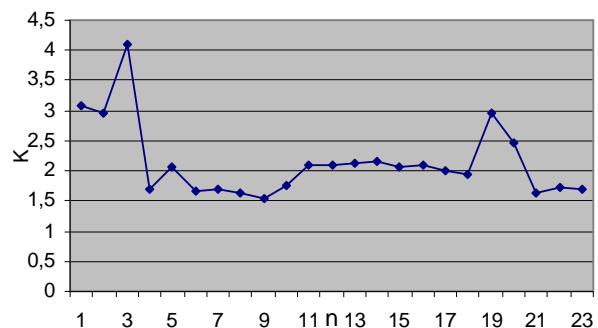


2.4 pav. Vidutinių srovių vandenilio plazmos elemente sklaida: elektrolitas 5 %  $\text{NaHCO}_3$ , impulsų amplitudė  $U = 150\text{V}$ , dažnis  $f = 500\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,5$ ; 1 – katodas volframas (srovių stiprių vidurkis  $\bar{I} = 0,210\text{A}$ , standartinis nuokrypis  $\sigma = 0,0179\text{ A}$ ); 2 – katodas varis ( $\bar{I} = 0,268\text{A}$ ,  $\sigma = 0,0142\text{ A}$ )

Vandenilio plazmos celės energijos efektyvumo įvertinimui buvo atlikti kolorimetriniai bandymai virimo temperatūroje. 2.5 ir 2.6 paveiksluose pateiktos nustatytų energijos efektyvumo rodiklių  $k$  reikšmės, keičiant vandenilio plazmos celės darbo sąlygas.

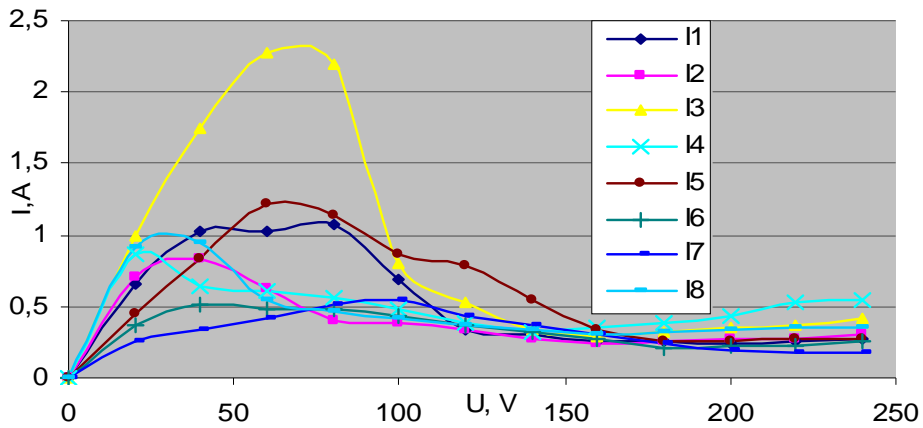


2.5 pav. Efektyvumo koeficientai  $K = f(t/T)$  (katodas  $\text{Cu}$ ):  $K_k$  - elektrolitas 2%  $\text{KOH}$  tirpalas,  $U = 140\text{V}$ ;  $K_{sd}$  - 2%  $\text{NaHCO}_3$ ,  $U = 220\text{V}$

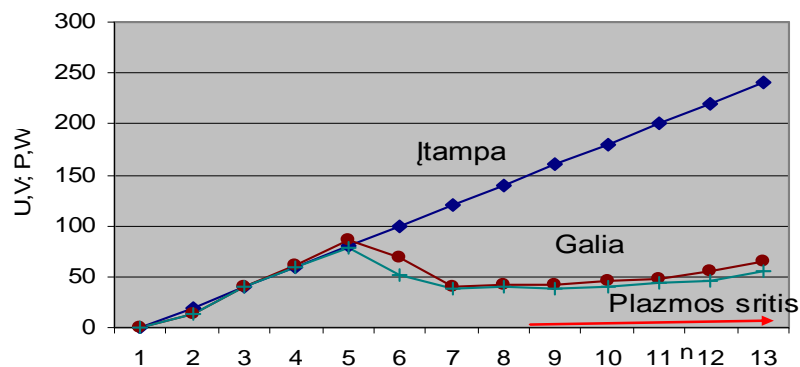


2.6 pav. Energijos efektyvumo koeficientų sklaida, kai  $t/T = 0,5$

Tiriant vandenilio plazmos celės darbo efektyvumą dinaminiam režime nustatytos (esant įvairiems elektrodams bei elektrolitams) plazmos egzistavimo sritys, voltamperinės charakteristikos, maitinimo impulsų pasikartojimo dažnių ir užpildymo koeficientų įtaka elemento darbo efektyvumui. Gautų eksperimentų rezultatų pavyzdžiai pateikti 2.7 – 2.9 paveiksluose.

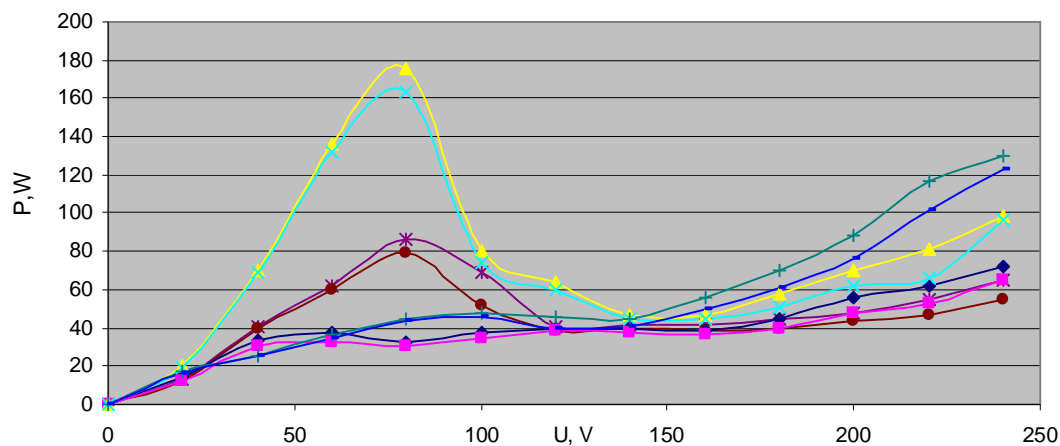


2.7 pav. Voltamperinių charakteristikų  $I_d = f(U)$  šeima, naudojant vario katodą ir 5%  $\text{NaHCO}_3$  elektrolitą, (elektrolito masė  $m = 45\text{g}$ ): 1 – 7 nustatytos, kai maitinimo impulsų amplitudės  $U = 220\text{V}$  ir  $1 - f = 125\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,25$ ; 2 –  $f = 167\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,33$ ; 3 –  $f = 250\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,50$ ; 4 –  $f = 333\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,17$ ; 5 –  $f = 100\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,20$ ; 6 –  $f = 83\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,17$ ; 7 –  $f = 125\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,06$ ; 8 –  $U = 150\text{V}$ ,  $f = 100\text{Hz}$ ,  $t/T = 0,50$



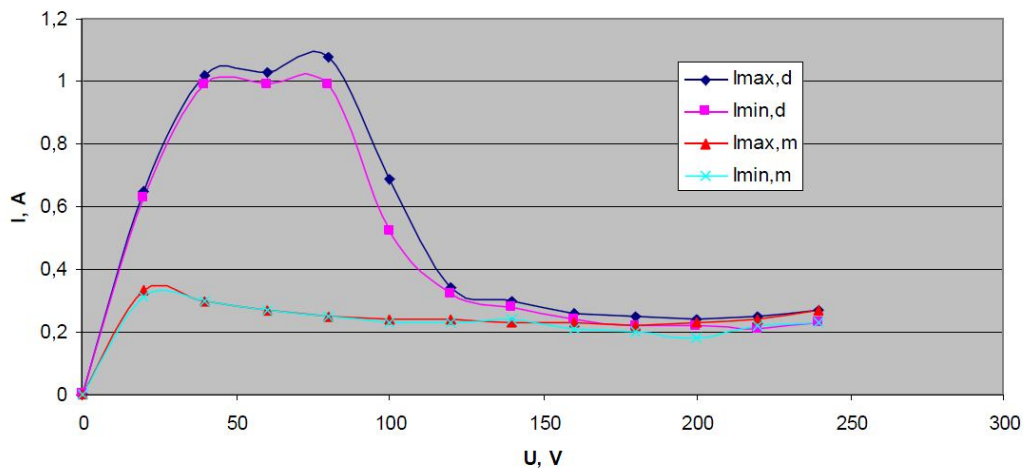
2.8 pav. Naudojamos galios vandenilio plazmos celėje kitimas:  $P_{d \max.}$ ,  $P_{d \min.}$  - maksimali ir minimali galia, didinant įtampą tarp elektrodų,  $P_{d \max.}$ ,  $P_{d \min.}$  - mažinant įtampą (bandymai

atlikti su vario elektrodu ir 5% koncentracijos  $\text{NaHCO}_3$  elektrolitu), didinant įtampą tarp elektrodų plazmos užsidegimo  $U_d = 160\text{V}$ , mažinant įtampą -  $U_g = 140\text{V}$



2.9 pav. Vandenilio plazmos celėje naudojamos galios kitimas (bandymai atlikti su įvairiais elektrolitais)

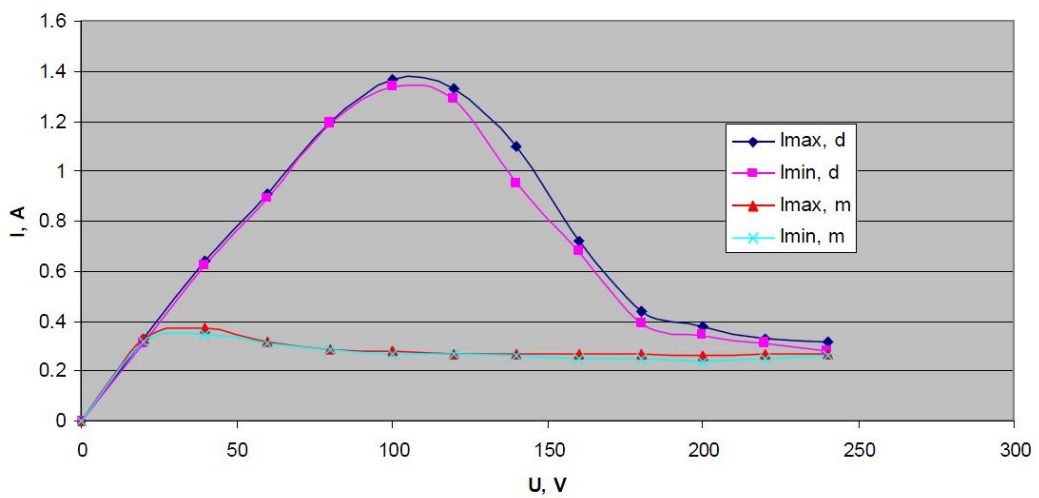
2.9 pav. Grafike matyti, jog galia kyla didinant įtampą iki 80 V, o po to krenta ir pasiekus apie 140 V, celė naudoja mažiausiai galios. Galiam teigti, jog reikia dirbti ties 140 V nepriklausomai nuo elektrolito rūšies. Dar labiau didinant įtampą, galia vėl pradeda didėti.



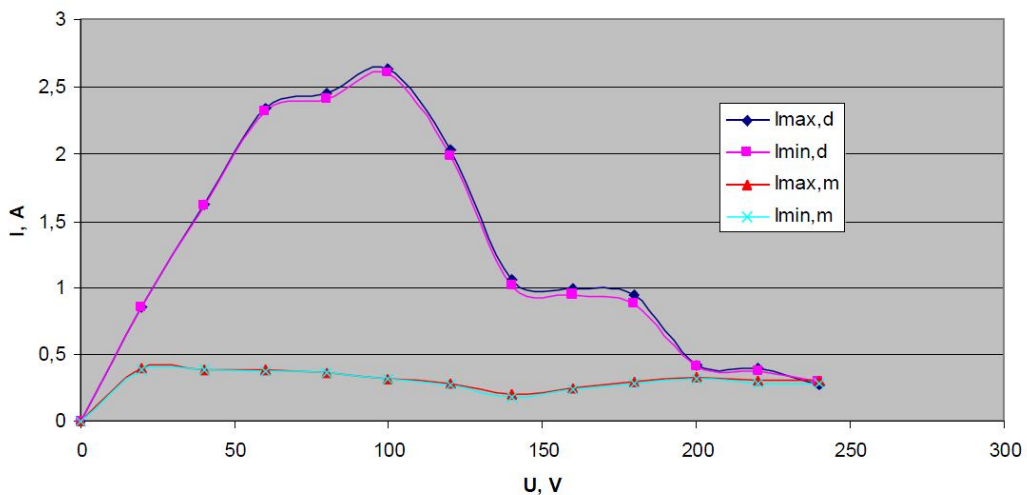
2.10 pav. Voltamperinė charakteristika naudojant  $\text{NaHCO}_3$  5% tirpalą

Voltamperinė charakteristika yra individuali kiekvienam vandenilio plazmos celės darbo režimui, priklausanti nuo elektrolito cheminės sudėties bei koncentracijos. Keičiant įtampą tarp

elektrodų srovė kinta tam tikrose ribose, dėl to yra užrašomos didžiausios ir mažiausios srovės vertės didinant bei mažinant įtampą. Eksperimentų metu buvo nustatytos voltamperinės charakteristikos, atliekant bandymus su įvairiais elektrolitais, elektrodais ir skirtingais maitinimo impulsų parametrais. Gautųjų voltamperinių charakteristikų pavyzdžiai pateikti 2.10 – 2.13 paveiksluose. Iš pateiktų voltamperinių charakteristikų matome, kad didinant įtampą srovė smarkiai didėja ir ji kinta nepastoviai, nes skiriasi  $I_{max}$  ir  $I_{min}$  reikšmės, o mažinant įtampą srovė kinta pastoviai, nes didžiausios ir mažiausios reikšmių kreivės beveik sutampa.

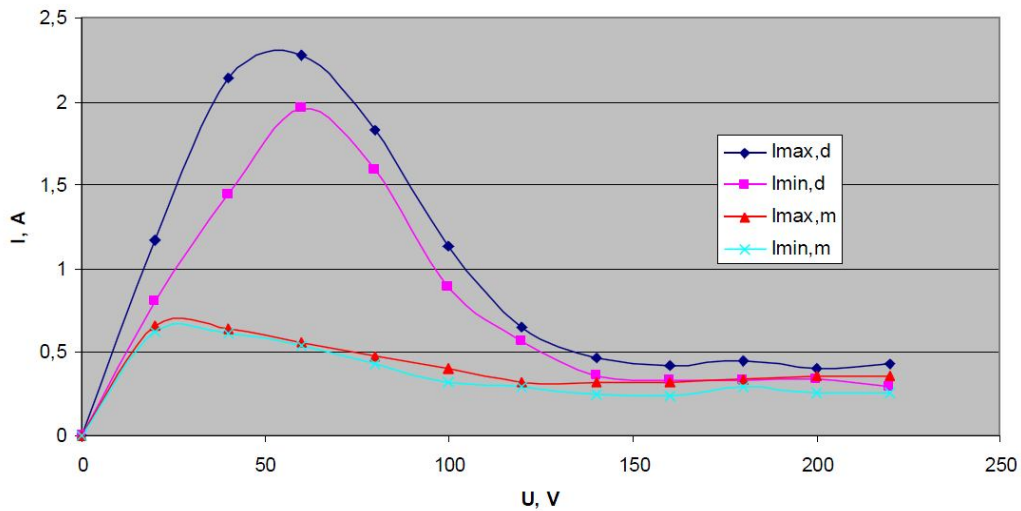


2.11 pav. Voltamperinė charakteristika naudojant  $\text{NaHCO}_3$  2% tirpalą



2.12 pav. Voltamperinė charakteristika naudojant  $\text{NaOH}$  2% tirpalą





2.13 pav. Voltamperinė charakteristika naudojant KOH 2% tirpalą

Iš pateiktų voltamperinių charakteristikų matome kokiai įtampai esant užsidega plazma ir kokia elektros srovė tuo metu yra naudojama, bandymus atliekant su įvairiais tirpalais ir jų koncentracijomis:  $\text{NaHCO}_3$  5% ( $U_{ef} = 80 \text{ V}$ ,  $I = 1,08 \text{ A}$ ),  $\text{NaHCO}_3$  2% ( $U_{ef} = 100 \text{ V}$ ,  $I = 1,37 \text{ A}$ ),  $\text{NaOH}$  2% ( $U_{ef} = 100 \text{ V}$ ,  $I = 2,63 \text{ A}$ ),  $\text{KOH}$  2% ( $U_{ef} = 60 \text{ V}$ ,  $I = 2,28 \text{ A}$ ). Iš duomenų galima teigti, kad prie mažiausios įtampos plazma užsidega naudojant  $\text{KOH}$  2% tirpalą, tai lemia cheminės elektrolito savybės.

Atliekant bandymus vandenilio plazmos kuro celėje naudoti cilindro formos volframo ir vario elektrodus. 2.14 paveiksle parodyta, kaip keitėsi šie elektrodai darbo metu (matome, kad vario elektrodas įgavo „kepurėlės“ formą, o volframo – „strėlės“).



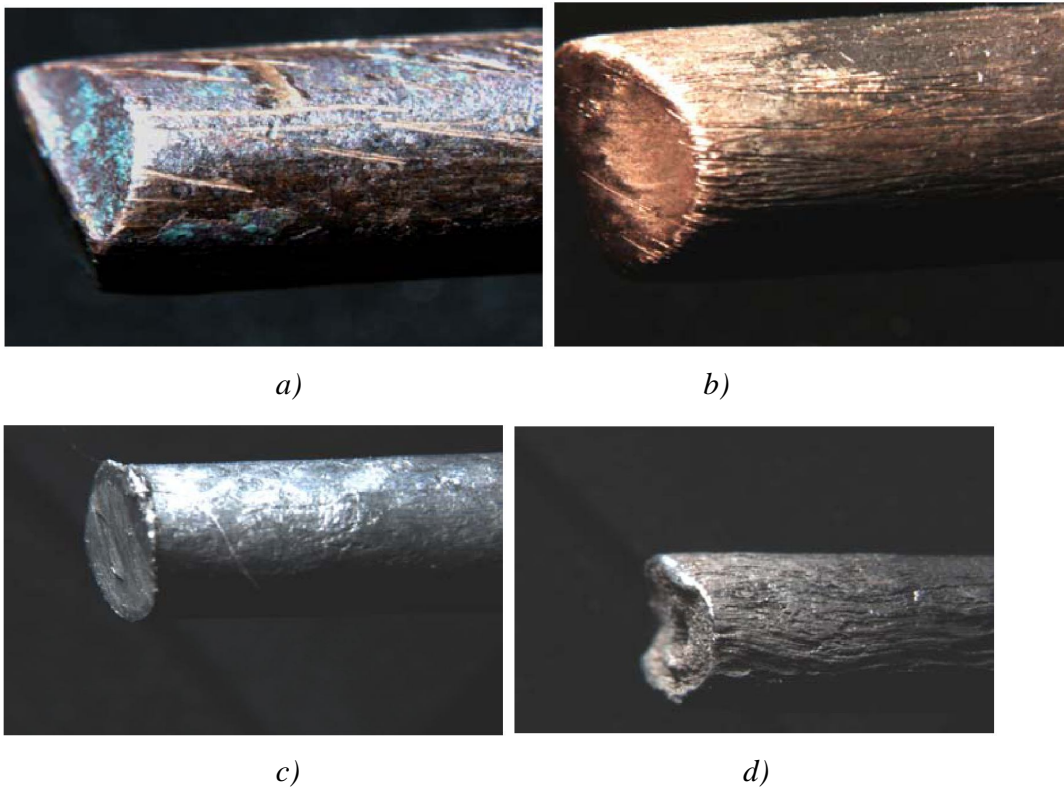
a)



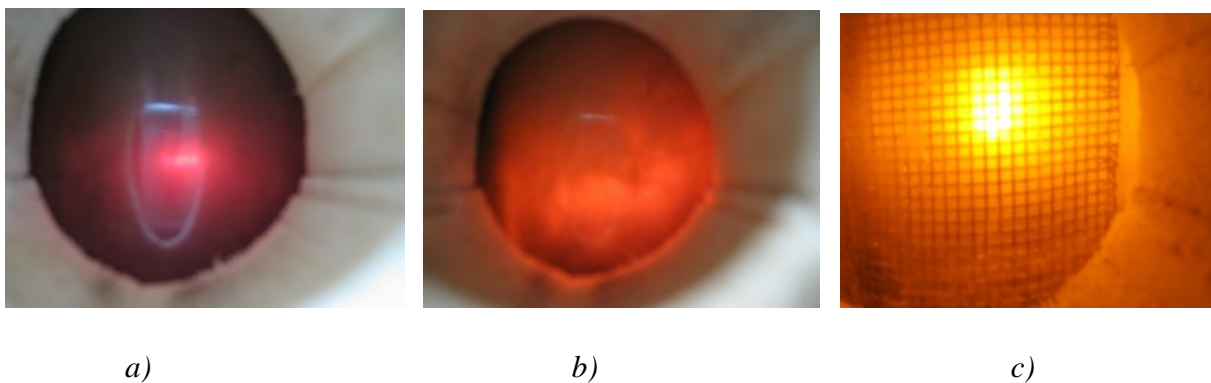
b)

2.14 pav. Elektrodo formos pokyčiai vandenilio plazmos kuro celėje: a) - vario elektrodas; b) – volframo elektrodas.

Bandymų eigoje naudojamų elektrodo formos keitėsi, jų nuotraukos prieš tyrimus ir po jų pateiktos 2.15 paveiksle.



2.15 pav. Elektrodo formos pokyčiai vandenilio plazmos elemente: a, b – vario elektrodas atitinkamai nenaudotas ir atlikus seriją bandymų, b, c – volframo elektrodas



2.16 pav. Plazmos stadija, naudojant elektrolitus: a)  $\text{LiOH}$ , b)  $\text{KOH}$ , c)  $\text{NaHCO}_3$

Atlikti matavimai leidžia padaryti išvadą, kad procesus, vykstančius vandenilio plazmos kuro celėje, sąlyginai galima suskirstyti į tris stadijas: I – elektrolizės, II – vandenilio šaltosios plazmos, III – branduolių kitimų. Pateiktame bandyme, pasiekus tarp katodo ir anodo  $U_{ef} = 120V$ , prasideda degimas – tai šaltosios vandenilio plazmos stadija (2.16 pav.). Prie  $U_{ef} = 300V$  jonizuojančios spinduliuotės intensyvumas staigiai šuoliu išauga 150 ÷ 200 kartų (2.7 pav.). Panašūs rezultatai stebimi naudojant kitus elektrolitus ir elektrodus volframas – chromas. Tokių ryškų jonizuojančios spinduliuotės intensyvumo šuolį būtų galima paaiškinti tik procesais, vykstančiais branduoliuose.

### **3.3 Vandenilio plazmos celės efektyvumo rodiklio nustatymas**

Vandenilio plazmos celės vienas svarbiausių dydžių yra jos efektyvumas, tai celėje išsiskyrusios ir celės veikimui sunaudotos elektros energijų santykis.

Energijos efektyvumo rodikliui nustatyti naudojame formulę:

$$k = \frac{Q}{W}, \quad (2.15)$$

čia  $Q$  - išsiskyręs celėje šilumos kiekis,  $W$  - sunaudota elektros energija.

Bandymus atlikome vandens virimo temperatūroje, šiuo atveju išsiskyręs šilumos kiekis celėje yra:

$$Q = r \cdot \Delta m, \quad (2.16)$$

čia  $r$  - vandens savitoji garavimo šiluma virimo temperatūroje,  $\Delta m$  - išgaravusio vandens masė.

Vandenilio plazmos celėje sunaudotą per periodą vidutinę galią apskaičiuojame pagal formulę:

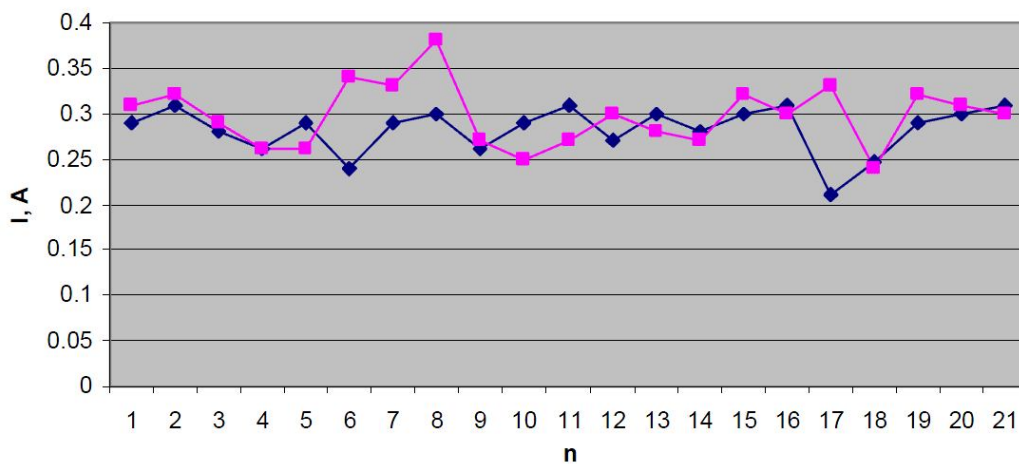
$$\bar{P} = \bar{U} \cdot \bar{I}, \quad (2.17)$$

čia:  $\bar{U}$  ir  $\bar{I}$  - vidutinės įtampos ir srovės stiprio reikšmės per periodą. Tuomet sunaudotą celės elektros energiją per laiką  $t$  apskaičiuojame:

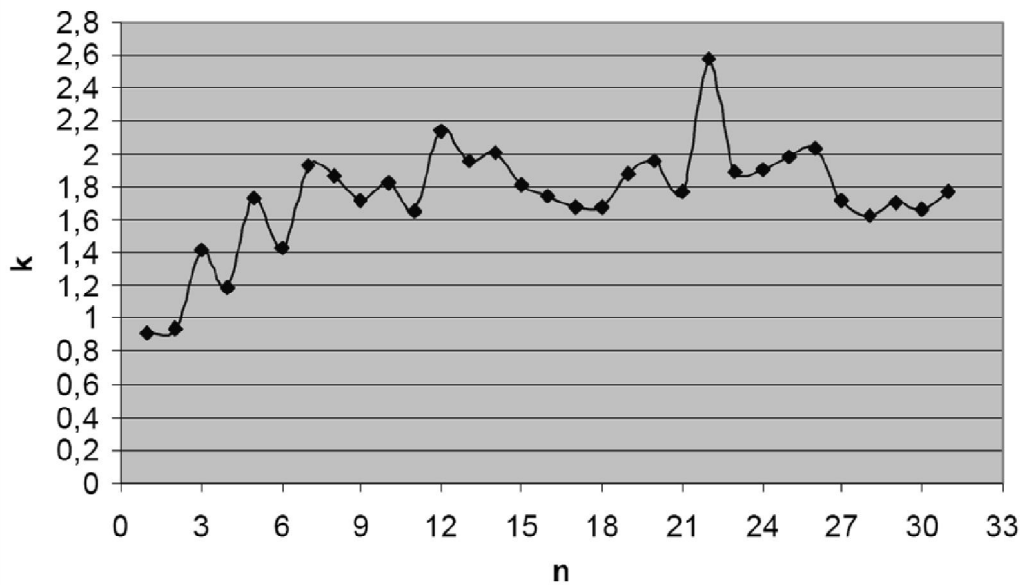
$$W = \bar{P} \cdot t. \quad (2.18)$$

Bandymų atlikimo tvarka buvo tokia: prieš bandymą buvo pasveriami celė su joje esančiu elektrolitu ir užrašoma masė  $m_1$ , po to impulsų generatoriumi suformuojami norimo periodo ir trukmės maitinimo impulsai. Tada įtampa palaipsniui padidinama iki darbinės įtampos ir laukiama, kol elektrolitas pradės virti ir garuoti. Toliau skystis buvo garinamas 10 minučių. Vandenilio plazmos celės veikimo metu srovės stipris yra nestabilus dėl to srovės reikšmės išmatuotos kas kelios sekundės ir apskaičiuojama vidutinė reikšmė (2.17 pav.) Praėjus laikui celė yra atjungiamą ir pasveriamą, taip sužinome masę  $m_2$ , tuomet išgaravusio vandens masę  $\Delta m = m_1 - m_2$ . Vandenilio plazmos celės efektyvumo rodiklis buvo išmatuotas įvairiose darbo sąlygose – naudojant įvairius elektrolitus, keičiant elektrodus ir maitinimo impulsų parametrus. Bandymų rezultatai pateikti 2.18 paveiksle.

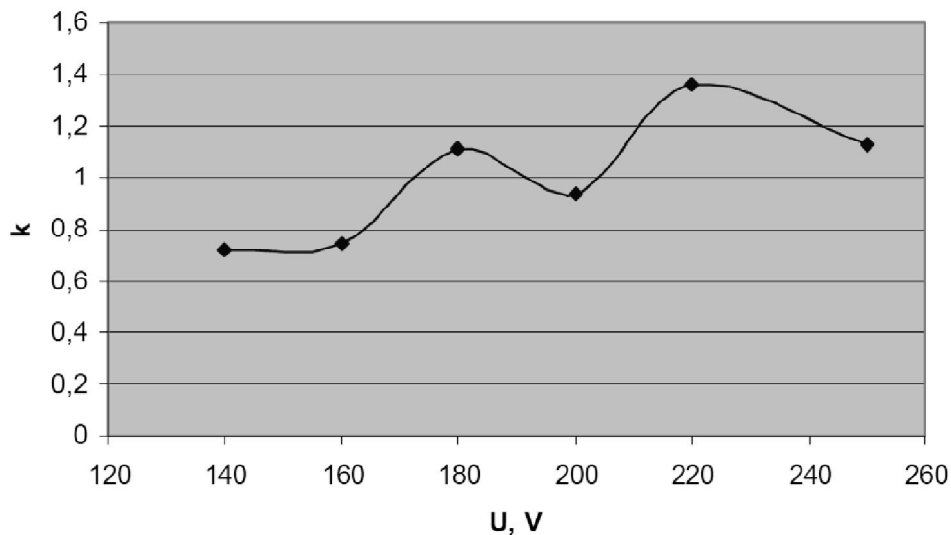
Norint išsiaiškinti kaip priklauso energijos efektyvumo rodiklis nuo įtampos, buvo atlikta keletas bandymų prie įvairių įtampos reikšmių (gautieji rezultatai pateikti 2.19 paveiksle). Iš šių rezultatų seka, kad didėjant maitinimo įtampai garavimas vyksta sparčiau, tačiau didėja sunaudota elektros srovės energija. Naudojant vario katodą ir elektrolitą – 5 % koncentracijos sodos tirpalą vandenyje – didėjant įtampai energijos efektyvumo rodiklis auga. Kiekvienu atveju, keičiant vandenilio plazmos celės parametrus (elektrolitų sudėtį ir koncentraciją, elektrodus ir jų matmenis) reikėtų ieškoti optimalios darbo įtampos, prie kurios energijos efektyvumas gaunamas didžiausias.



2.17 pav. Srovės stiprio kitimas vandenio plazmos celėje, srovės vidurkis  $\bar{I} = 0,29 A$



2.18 pav. Energijos efektyvumo rodiklio sklaida,  $n$  – matavimo eilės numeris



2.19 pav. Santykinio energijos efektyvumo rodiklio  $k = \frac{k_i}{k_v}$  ( $k_v$  – vidutinė reikšmė) priklausomybė nuo įtampos, naudojamas vario katodas ir  $\text{NaHCO}_3$  5% tirpalas

Tyrimų metu atlikome vandenilio plazmos celės efektyvumo rodiklio įvertinimą. Iš šių oscilogramų surandame vidutines įtampų ir srovių reikšmes. Impulsų generatoriumi nustatydavome įvairių (10, 8, 6, 4 ir 2 milisekundžių) trukmės period impulsus, tada naudojome 0,5 ir 0,4 impulsų užpildymo koeficientus. Didžiausią energijos efektyvumo koeficientą gavome

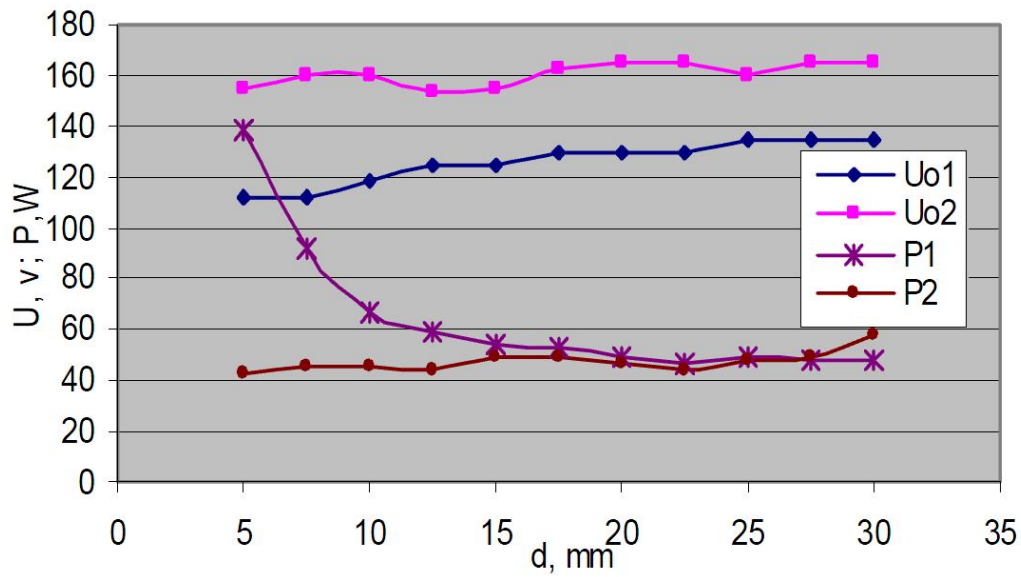
esant darbiniai įtampai  $U = 150 \text{ V}$ , periodui  $T = 10 \text{ ms}$ , prie impulsų užpildymo koeficiento  $\frac{\tau}{T} = 0,4$ .

Norint įvertinti vandenilio plazmos celės parametrų įtaką plazmos užsidegimui, buvo nustatyta plazmos užsidegimo įtampos  $U_0$  ir srovės  $I_0$  priklausomybės nuo atstumo  $d$  tarp elektrodų. Apskaičiuota maitinimo šaltinio užsidegimo momentu naudojama galia  $P_0 = U_0 I_0$ . Bandymai atlikti su variniu katodu ir 5 % koncentracijos sodos elektrolitu, impulsų pasikartojimo periodas  $T = 10 \text{ ms}$ , dažnis  $f = 100 \text{ Hz}$ , esant impulsų trukmėms  $\tau_1 = 5 \text{ ms}$  (plazmos užsidegimo parametrai  $U_{01}, I_{01}, P_{01}$ ) ir  $\tau_2 = 2 \text{ ms}$  ( $U_{02}, I_{02}, P_{02}$ ). Gautieji rezultatai pateikti 1 lentelėje ir 2.20 paveiksle.

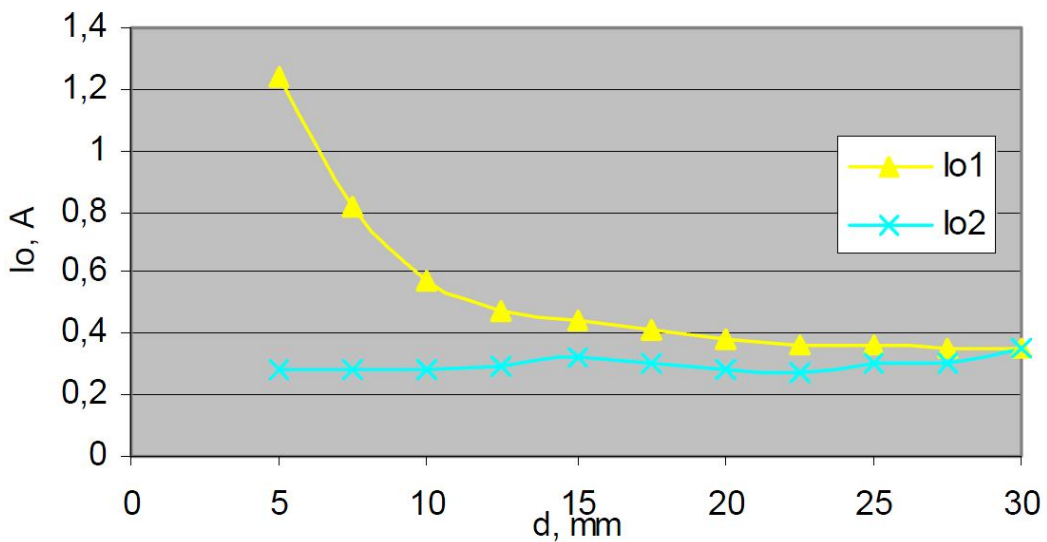
1 lentelė

$d, \text{mm}$	$U_{01}, \text{V}$	$U_{02}, \text{V}$	$I_{01}, \text{A}$	$I_{02}, \text{A}$	$P_{01}, \text{W}$	$P_{02}, \text{W}$
30,0	135	165	0,35	0,35	47,25	57,75
27,5	135	165	0,35	0,30	47,25	49,50
25,0	135	160	0,36	0,30	48,60	48,00
22,5	130	165	0,36	0,27	46,80	44,55
20,0	130	165	0,38	0,28	49,40	46,20
17,5	130	162	0,41	0,30	53,30	48,60
15,0	124	155	0,44	0,32	54,56	49,60
12,5	125	154	0,47	0,29	58,75	44,66
10,0	118	160	0,57	0,28	67,26	44,80
7,5	112	160	0,82	0,28	91,84	44,80
5,0	112	155	1,24	0,28	138,88	43,4

*Plazmos užsidegimo parametrų priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų*



a)



b)

2.20 pav. Plazmos užsidegimo parametrų: a) – įtampos ir galios; b) – srovės stiprio, priklausomybė nuo atstumo tarp elektrodų

Iš gautų rezultatų matome, kad atstumas tarp elektrodų plazmos užsidegimo parametrams neturi didelės įtakos, didesnę įtaką turi maitinimo impulsų užpildymo koeficientai.

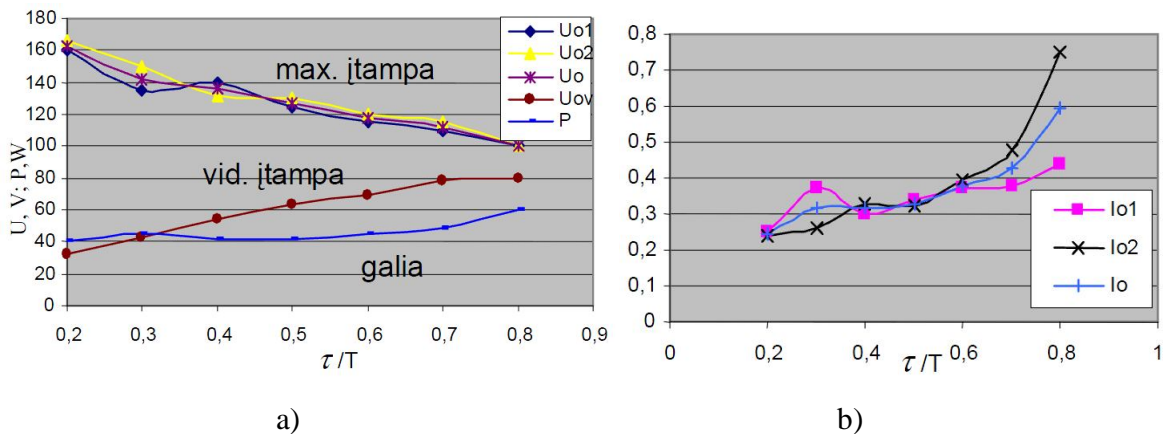
2 lentelėje ir 2.21 a) ir b) paveiksluose pateikta plazmos užsidegimo parametrų priklausomybė nuo impulsų užpildymo koeficientų bandymas tose pačiose sąlygose buvo

pakartotas du kartus ir apskaičiuotos vidutinės vertės):  $U_{01}$ ,  $U_{02}$  - atskirų matavimų plazmos užsidegimo įtampų amplitudės,  $U_0 = \frac{U_{01}+U_{02}}{2}$  - vidutinė įtampos amplitudė,  $U_{0v} = U_0 \frac{\tau}{T}$  - vidutinė įtampa per periodą,  $I_{01}$ ,  $I_{02}$  - atskirų matavimų vidutiniai srovės stipriai plazmos užsidegimo momentu,  $I_0 = \frac{I_{01}+I_{02}}{2}$  - vidutinė reikšmė,  $P$  - maitinimo šaltinio naudojama galia plazmos užsidegimo momentu.

2 lentelė

$\tau/T$	$U_{01}, V$	$I_{01}, A$	$U_{02}, V$	$I_{02}, A$	$U_0, V$	$U_{0v}, V$	$I_0, A$	$P, W$
0,2	160	0,25	166	0,24	163	32,6	0,245	39,9
0,3	135	0,37	150	0,26	142,5	42,75	0,315	44,9
0,4	140	0,3	132	0,33	136	54,4	0,315	41,6
0,5	125	0,34	130	0,32	127,5	63,75	0,33	42,1
0,6	115	0,37	120	0,395	117,5	69	0,38	44,9
0,7	110	0,38	115	0,48	112,5	78,75	0,43	48,4
0,8	100	0,44	100	0,75	100	80	0,595	59,5

Vandenilio plazmos užsidegimo parametrų priklausomybė nuo impulsų užpildymo koeficientų



2.21 pav. Plazmos užsidegimo parametrų: a) – įtampos ir galios; b) – srovės stiprio, priklausomybė nuo impulsų užpildymo koeficientų



## **Išvados, problemos, pasiūlymai**

Atlikta literatūros analizė padorė, jog šaltoji branduolių sintezė sparčiai žengia į priekį. Tai parodo Andrea Rossi sukurtas reaktorius, kurio bandomoji versija jau statomas Amerikoje.

Ekperimentiniai vandenilio plazmos celės tyrimai atlikti Šiaulių universiteto Gamtos mokslų fakultete, naudojant vario, volframo ir chromo elektrodus (panašiuose eksperimentuose dažniausiai naudojami brangiųjų metalų – paladžio ir platinos elektrodai). Energijos efektyvumo rodiklis gautas iki 300 procentų. Didinant įtampą tarp elektrodų užfiksuota vandenilio plazma bei staigus jonizuojančios spinduliuotės šuolis.

Atlikti eksperimentai parodė, kad uždegti plazmą yra lengva, tačiau sunku išgauti maksimalią joje sukauptą energiją. Elektros energijos konversijos į šiluminę efektyvumo rodikliai priklauso nuo vandenilio plazmos celės konstrukcijos, elektrodų medžiagos ir formos, elektrolitų cheminės sudėties ir koncentracijos, maitinimo impulsų amplitudės, dažnio, skvarbos. Be to, celėje vykstantys procesai dažnai yra sporadiniai, priklausantys nuo įvairių atsitiktinių poveikių. Todėl, norint įvertinti optimalias darbo sąlygas, reikia atlikti didelį skaičių eksperimentų.

Tiek literatūros analizė, tiek atlikti eksperimentiniai tyrimai leidžia daryti prielaidą, kad vandenilio plazmos celėje energijos perteklius gaunamas dėl plazminės elektrolizės metu vykstančių branduolinių procesų.

## Literatūra

1. <http://www.nso.lt/science/fusion.htm> <žiūrėta: 2011-05-13>.
2. <http://mokslas.delfi.lt/science/13-nesuvokiamu-dalyku.d?id=6305717> <žiūrėta: 2011-05-13>.
3. <http://www.lei.lt/main.php?m=134&k=1> <žiūrėta: 2011-05-13>.
4. Pranešimas Lankauskas, Alfredas, Ščiukaitė, Janė, Pelanskienė, Aurelija, Elektros energijos konversija į šiluminę energiją šaltąja vandenilio plazma / 39-oji Lietuvos nacionalinė fizikos konferencija : programa ir pranešimų tezės, Vilnius, 2011 m. spalio 6-8 d. ISBN 9789955634645 p. 151.
5. Straipsnis Gečas, Andrius, Ščiukaitė, Janė, Pelanskienė, Aurelija, Lankauskas, Alfredas, Vandenilio plazmos elemento darbo dinaminio režimu tyrimai / Jaunųjų mokslininkų darbai. 2010, nr.3(28). ISSN 1648-8776 p. 126-130.
6. Straipsnis Ščiukaitė, Janė, Lankauskas, Alfredas, Pelanskienė, Aurelija, Экспериментальные исследование водородного электролизера / Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование. Том 2. Сборник трудов седьмой международно p. 236-239.
7. Straipsnis Lankauskas, Alfredas, Ščiukaitė, Janina, Pelanskienė, Aurelija, Vandenilio plazmos celės eksperimentiniai tyrimai / Jaunųjų mokslininkų darbai. 2008, nr.3(19). ISSN 1648-8776 p. 177-181.
8. <http://mokslas.delfi.lt/science/italas-termobranduolinius-reaktorius-namams-ruosiasi-gaminti-jav.d?id=52579227> <žiūrėta: 2011-05-13>.
9. <http://www.journal-of-nuclear-physics.com/> <žiūrėta: 2012-02-10>
10. United science journal (USJ), Num 17, 2007, p. 48.
11. <http://viktor19451.narod.ru/> <žiūrėta: 2012-02-10>
12. Ratis Yu.L. Manageable thermonuclear reaction or cold synthesis? The drama of ideas. Samara. Samara scientific centre of the Russian academy of sciences, 2009, p. 92.
13. <http://newenergytimes.com/v2/news/2011/37/3724appendixc8.shtml> <žiūrėta: 2012-02-10>
14. [http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2010~D\\_20100907\\_095637-23537/DS.005.0.01.ETD](http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2010~D_20100907_095637-23537/DS.005.0.01.ETD) <žiūrėta: 2012-02-10>
15. Twenty Year History in LENR Research Using Pd/D Co-depositio

16. Poškus A. Atomo fizika ir branduolio fizikos eksperimentiniai metodai. Vilnius, 2008. ISBN 978-9955-33-295-4.
17. Карнаков Б. М. Мюонный катализ ядерного синтеза. Соросовский образовательный журнал No 12 1999. с. 62-67.
18. <http://newenergytimes.com/v2/news/2011/37/3722appendixc7.shtml> <žiūrėta: 2012-03-28>
19. T. Ohmori, T. Mizuno. Strong Excess Energy Evolution, New Element Production and Electromagnetic Wave and/or Neutron Emission in the Light Water Electrolysis with a Tungsten Cathode. *In the Seventh International Conference on Cold Fusion. 1998. Vancouver, Canada: ENECO, Inc., Salt Lake City, UT. (ICCF-7).*
20. [http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/an\\_sk/furjel.pdf](http://www.techmat.vgtu.lt/konspektai/an_sk/furjel.pdf) <žiūrėta: 2012-03-28>
21. Green Paper – Towards a European Strategy for the security of energy supply, 2000. COM (2000)769
22. D. Cirillo, V. Iorio. Transmutation of metal at low energy in a confined plasma in water. In Eleventh International Conference on Condensed Matter Nuclear Science. 2004. Marseille, France.
23. Storms E., 2007, The Science of Low Energy Nuclear Reaction. World Scientific Publishing Co.