

SUMMARY

To analyse the applicability and usability of fuel cells in industry, the experiments were conducted to assess the efficiency of fuel cells and their energy output rating. It was also important to inspect the impact of elevated temperatures on work of fuel cell. Although, there exist multiple types of fuel cells, each with their own technologies, operating conditions and "trump cards", only one was chosen for the experimental part. A fuel cell with proton exchange membrane were considered best choice for its relative low cost, compared to other fuel cells, compact and simple design, that allowed to observe the working regimes and estimate fuel cell behaviour to a certain degree. Together with PEM fuel cell, the PEM reversible fuel cell of the same manufacturer, designed to work as both galvanic and electrolytic cell, was tested. RFC tests were conducted in order to analyse how different membrane reaction catalyst would affect the efficiency of cell.

Polarization current-voltage curves of PEM FC and RFC, constructed with the help of decade resistor, showed that the power output peaks are situated approximately at resistance of 3 Ω . This fact proved that both fuel cells were working according to the norms indicated in the literature.

The efficiency of both fuel cells at equilibrium temperature and pressure showed that around 40% of heat energy stored in hydrogen was converted into electrical energy. Both PEM fuel cell allow production on both pure oxygen and air. The power and efficiency on air mode was proven smaller due reduced oxygen concentration. According to electrochemical and thermodynamic relations, the efficiency is expected to increase with temperature. It was proved empirically, however due to spontaneous nature of electrochemical reaction and inability to accurately measure internal parameters of fuel cell, such as pressure and temperature, the results can be merely an estimation of how elevated temperatures affect PEM fuel cell.

Tests on the reversible fuel cell as electrolyser allowed better understanding of the properties of fuel cell (particularly efficiency) at high temperature. Although the tests showed the average efficiency of 80% on the electrolyser, a deeper research is required for better understanding of non-spontaneous nature of water decomposition reaction.

In real conditions, internal properties of unique design of PEM fuel cell could be the main source of issues related to optimization of fuel cell. The water management of proton exchange membrane was deemed the most problematic part. Because of specific working principle, proton exchange membrane, in order to conduct protons, must always be supplied with H_2O molecules to sustain humidity level. The dehydration of

membrane can lead to conducting stop. On the other hand, excessive water on the membrane would form droplets on its surface. It can reduce actual reaction area and lead to production falter, as well.

The choice of catalyst for reaction has also impact on performance. The catalyst should have enough activity, stability, selectivity and poisoning resistance. The catalyst is necessary to increase the speed of oxygen half-reaction. The platinum would be perfect choice as a catalyst as it provides enough energy for that. However, reversible fuel cell has iridium/ruthenium combination to support the water decomposition reaction in electrolysis mode. Iridium-based catalysts have weaker binding energy for adsorption of oxygen molecules, than platinum catalysts; hence, reversible fuel had an increased ratio of by-products, compared to regular fuel cell.

The effect of internal problems is seen in the lower efficiency results of reversible fuel cell, which are more unstable than regular ones. This happens at the cost of fact, that reversible fuel cell can work in both ways. The instability of PEM fuel cells might be the main reason why it is still not widely used technology. The use of automated systems and fuel cell stacks could level out reoccurring difficulties but greatly increase the production and maintenance costs.

At the end, we think that the aim of work on optimization of working cycles of fuel cells at elevated temperatures was achieved. Even if the efficiency of different types of fuel cells is changing from time to time, used methods and rules can be used at any time to estimate the behaviour of any fuel cell. We believe, in right hands and with proper theoretical and material base, fuel cells can be brought to their maximum potential so that they will be a respectable alternative source of energy that will bring to zero-emission society.

KOKKUVÕTE

Kütuseelementide rakendatavuse ja kasutatavuse analüüsimiseks tööstuses viidi läbi katsed kütuseelementide efektiivsuse ja nende energiavõimsuse hindamiseks. Samuti oli oluline kontrollida kõrgendatud temperatuuride mõju kütuseelemendi tööle. Kuigi on olemas mitut tüüpi kütuseelemente, millest igaühel on oma tehnoloogiad, töötingimused ja "trumbid", valiti eksperimentaalseks osaks vaid üks. Prootonvahetusmembraaniga kütuseelementi peeti parimaks valikuks selle suhteliselt madala hinna tõttu, võrreldes teiste kütuseelementidega, kompaktses ja lihtsa disainiga, mis võimaldas jälgida töörežiime ja hinnata kütuseelemendi käitumist teatud määral. Koos PEM-kütuseelemendiga katsetati sama tootja PEM-pöördkütuseelementi, mis on mõeldud töötama nii galvaaniliste kui elektrolüütiliste elementidena. RFC testid viidi läbi selleks, et analüüsida, kuidas erinevad membraanireaktsiooni katalüsaatorid mõjutaksid raku efektiivsust.

Dekaadtakisti abil konstrueeritud PEM FC ja RFC polarisatsioonivoolu-pinge kõverad näitasid, et väljundvõimsus peaks asuma ligikaudu 3Ω takistusel. See asjaolu tõestas, et mõlemad kütuseelemendid töötasid vastavalt kirjanduses toodud normidele.

Mõlema kütuseelemendi efektiivsus tasakaalutemperatuuril ja rõhul näitas, et umbes 40% vesinikus salvestatud soojusenergiast muudeti elektrienergiaks. Mõlemad PEM-kütuseelemendid võimaldavad toota nii puhast hapnikku kui ka õhku. Õhurežiimi võimsus ja tõhusus osutusid hapnikusisalduse vähenemise tõttu väiksemaks. Elektrokeemiliste ja termodünaamiliste suhete järgi eeldatakse, et efektiivsus tõuseb temperatuuri tõustes. See tõestati empiiriliselt, kuid elektrokeemilise reaktsiooni spontaanse olemuse ja suutmatuse tõttu täpselt mõõta kütuseelemendi sisemisi parameetreid, nagu rõhk ja temperatuur, võivad tulemused olla pelgalt hinnangud selle kohta, kuidas kõrge temperatuur mõjutab PEM kütuseelementi. .

Katsed pööratava kütuseelemendiga elektrolüüsiseadmena võimaldasid paremini mõista kütuseelemendi omadusi (eriti tõhusust) kõrgel temperatuuril. Kuigi katsed näitasid elektrolüsaatori keskmiseks efektiivsuseks 80%, on vee lagunemisreaktsiooni mittespontaanse olemuse paremaks mõistmiseks vaja põhjalikumaid uurimistöid.

Reaalsetes tingimustes võivad kütuseelemendi optimeerimisega seotud probleemide peamiseks allikaks olla PEM-kütuseelemendi ainulaadse disaini sisemised omadused. Prootonivahetusmembraani veemajandust peeti kõige problemaatilisemaks osaks. Spetsiifilise tööpõhimõtte tõttu tuleb prootonivahetusmembraani prootonite juhtimiseks niiskustaseme säilitamiseks alati varustada H₂O molekulidega. Membraani dehüdratsioon võib põhjustada juhtivuse katkemise. Teisest küljest tekiks membraanile

liigne vesi selle pinnal olevate tilkade tõttu. See võib vähendada tegelikke reaktsioone ja põhjustada ka tootmise vähenemist.

Reaktsiooni katalüsaatori valik mõjutab ka jõudlust. Katalüsaatoril peaks olema piisav aktiivsus, stabiilsus, selektiivsus ja mürgistuskindlus. Katalüsaator on vajalik hapniku poolreaktsiooni kiiruse suurendamiseks. Plaatina oleks ideaalne valik katalüsaatorina, kuna see annab selleks piisavalt energiat. Pööratavas kütuseelemendis on aga iriidiumi/ruteeniumi kombinatsioon, mis toetab vee lagunemisreaktsiooni elektrolüüsirežiimis. Iriidiumipõhistel katalüsaatoritel on hapnikumolekulide adsorptsiooniks nõrgem sidumisenergia kui plaatina katalüsaatoritel; seega oli pöördkütusel tavalise kütuseelemendiga võrreldes suurem kõrvalsaaduste suhe.

Siseprobleemide mõju ilmneb pööratava kütuseelemendi madalama efektiivsuse tulemustes, mis on tavalistest ebastabiilsemad. See juhtub selle hinnaga, et pööratav kütuseelement võib töötada mõlemal viisil. PEM-kütuseelementide ebastabiilsus võib olla peamine põhjus, miks seda tehnoloogiat ikka veel laialdaselt ei kasutata. Automatiseeritud süsteemide ja kütuseelementide korstnate kasutamine võib tasandada korduvaid raskusi, kuid suurendada oluliselt tootmis- ja hoolduskulusid.

Lõppkokkuvõttes arvame, et töö eesmärk on kütuseelementide töötsükli optimeerimine kõrgel temperatuuril saavutatud. Isegi kui erinevat tüüpi kütuseelementide efektiivsus aeg-ajalt muutub, saab kasutatavaid meetodeid ja reegleid kasutada igal ajal mis tahes kütuseelemendi käitumise hindamiseks. Usume, et õigetes kätes ning korraliku teoreetilise ja materiaalse baasiga saab kütuseelementid viia maksimaalse potentsiaalini, nii et neist saab arvestatav alternatiivne energiaallikas, mis toob kaasa nullheitega ühiskonna.