

## ГЛАВА 5: ВОДОРОДНИ И ГОРИВНИ КЛЕТКИ

### 5.1. Цели

След усвояване на лекционния материал, обучаемите трябва да:

- *знаят предимствата на горивната клетка;*
- *класифицират видовете горивни клетки според температурата;*
- *обяснят работата на горивната клетка;*
- *посочат как се осъществява водородното производство;*
- *класифицират водородните клетки по специални критерии;*
- *обяснят функционирането на горивните клетки.*

### 5.2. Увод. Предимства на водородното производство. Водородни технологии.

Горивната клетка е електрохимично устройство, което използва водород и кислород от въздуха, за да произвежда електрическа енергия, топлина и вода.

При работата на водородната клетка няма горивен процес, т.е. не се наблюдава замърсяване на околната среда. Тъй като горивото се превръща директно в електрическа енергия, горивната клетка работи с много по-висока ефективност от тази на двигателите с вътрешно горене.

Горивната клетка няма движещи се части, ето защо е тих и надежден енергиен източник. Тя е високоефективна при производството на електрическа енергия, благодарение на директно превръщане, без междинни процеси, с топлинна или механична енергия, с възможност за използване на остатъчна топлина.

По време на работа има малки емисии на азотни оксиди. Въздухът е един от многото газове, които могат да бъдат използвани в горивна клетка.

Принципа на работа на горивната сила на клетката (източника) се базира на явление обратно на електролизата. Два газа се пропускат на различни места, разделени от електролит.

Взаимодействието на електролита и водорода води до неговото разпадане, т.е. отделянето на електрона от водородния атом и привличането му към анода. Останалият положителен водороден йон мигрира през електролита и се комбинира с кислорода от катода, образувайки вода. Тъй като тази вода има дефицит от 1 електрон, той се извлича от катода. Като резултат се създава разлика между катодния и анодния потенциал, т. е. ако двата електрода се свържат с електрически консуматор, създаването на напрежение може да се подаде към потребител.

Така се получава постоянен ток. За получаването на променлив ток е необходим преобразувател. Горивната клетка работи безшумно, въздушните източници са независими, което я прави идеален заместител при задвижваните подводници с дизел-генератори.

През 1987 такава подводница е модернизирена с нова задвижваща система на база горивна клетка. Дизайнът и производството на горивна клетка-батерия са реализирани от Siemens. Разработването на горивна клетка, която да работи при високи и ниски температурни обхвати представя световната изследователска тенденция.

Голямото предимство на горивна клетка, която преобразува химичната енергия, е че енергията се получава без междинни процеси, т.е. тя не е предмет на установените ограничения за идеалната термична машина, както е показано в цикличния процес на Carnot. Горивната клетка на теория би трябвало да произвежда два пъти повече енергия от комбинацията на най-добрите термични машини със същото количество добивни горива.

За сравнение, една модерна парна турбина достига к.п.д. от порядъка на 45%. От една страна в горивната клетка няма движещи се части, което значително намалява разходите по поддръжката. От друга страна, работата е безшумна, остатъчният продукт от работата е вода, с ниски вредни емисии и оставя само слаба топлинна следа и което е по-важно, работи независимо само с кислорода от въздуха. Също така лесно се комплектоват по-големи енергийни съоръжения. Друго предимство е, че горивната клетка произвежда постоянен ток

(1 V). За прилагане в практиката се изисква обединяването на няколко клетки, формиращи батерия или агрегат. Предпоставката за употребата на горивни клетки е оптималният компромис между цена и ефективност, което е повлияно от енергийните нужди на потребителите, разходите за изграждане и горивните нужди. Според наблюдаваната тенденция в цените на добивните енергийни източници и за да се добие реална представа за съответната степен на ефективност на всички алтернативи, алтернативата горивна клетка, работеща при високотемпературни граници изглежда конкурентна и на най-добрите стандартни единици в момента.

В зависимост от работната температура се различават 3 типа клетки:

- работещи с ниска температура 150 °C;
- работещи със средна температура (150 -250) °C;
- работещи с висока температура (500-1100) °C.

Изброените системи имат предимства и недостатъци. Нискотемпературният вариант доставя по-ниска мощност в сравнение с другите два енергийни източника, веднага щом започнете добиването. Другите два пък първо трябва да достигнат работната си температура. Изглежда възможно само, ако първият се съчетае с другите два, в качеството му на енергиен източник за достигане на работна температура.

Горивната клетка работи като клетка с обратна електролиза. В електролитната клетка водата се превръща в кислород и водород с помощта на енергиен хранещ източник. Обратното, при горивната клетка кислорода и водорода при контролирани условия се комбинират, давайки като крайни продукти вода и енергия. Горивната клетка постоянно се хранва с гориво ( и с оксидиращ компонент), до получаване на реактивни продукти. За разлика от електрохимичния елемент (батерия) познат досега, капацитета на горивната клетка се ограничава единствено от количеството гориво. Бъдещето е на горивната клетка, която работи с кислород и водород.

Една такава клетка се състои от порест оксидантен електрод (катод-клетка) и порест горивен електрод (анод-клетка) между които има електролит. Зареждането с водород протича под налягане при анода, като той се разпада на водородни йони (протони) и електрони.

Докато електроните зареждат отрицателно анода, положително заредените протони се придвижват към катода. Тук внесения вече кислород, приемайки електрони се превръща в отрицателно зареден кислороден йон.

Докато кислородните и водородни йони се комбинират, първо в хидроксиден йон и после във вода, между различно заредените електроди ще е налице поток от електрически ток, в случай че са свързани във верига. Лесно се вижда, че чрез последователното им свързване се получава по-високо напрежение, а чрез паралелното им свързване - по-високи стойности на електрическия ток.

Така, чрез свързване на горивни клетки в серия се получават по-високи напрежения, а чрез паралелно свързване - по-високи стойности на тока. Горивните клетки, работещи на този принцип са атрактивни, но са неподходящи от други гледни точки. Има много видове клетки, диференцирани според температура, химична реакция, електролитни катализатори и др. За получаването на устойчива реакция, горивните електроди трябва също така да са и катализатори.

Проведени са успешни опити с електроди от керамичен оксид. Горивните клетки са ниско и средно температурно зависими от много чист водород и специални горива. В настоящата клетка се използва платина в електродната реакция, която служи и като катализатор. Ключов фактор е контактната повърхност между електрода и електролита. Това също така обяснява употребата на порести електроди.

Siemens разработи и конструира водород – кислород горивна клетка, работеща при ниска температура. Температурата е от 80 °C и налягане 2 bars и осигуряват плътност на тока 400 mA/cm<sup>2</sup> при 0,8 V. Като електролит се използва 30% разтвор на калиев хидроксид. Продуктите от течната и газова реакция се извличат с азбестова диафрагма. Анодът е

направен от Raney-nickel, а катодът - от сребро (обогатено). 60 клетки са свързани в батерия, която заедно с електрическият изпарител и елементите за електрически и електромеханичен контрол образуват горивно-клетъчен модул с мощност 6 kW, като за работата му са нужни почти чист кислород и водород. При клетки с подвижен електролит, порестите електроди с мембрана играят ролята на бариера между електролита и газа. Проблемът с опасното изтичане на газ в горивната клетка е разрешен, чрез хидростатична система, разработена от компанията Hoechst. Това е процес на "фотографска емулсия", който прави излишно наличието на газоразделна мембрана и електролит. Електролитът се подава и при двата електрода по такъв начин, че под въздействието на гравитационната сила, той приема формата на тънък филм, като разликите в налягането между газа и електролита могат да се поддържат постоянни за всички точки. Във връзка с това е възможно разстоянието между електродите да се намали до минимум. Алкалните горивни клетки се характеризират с минимално спадане на съпротивлението, което води до висока ефективност. Противно на други конструкции без врящ електролит или твърд такъв, не са нужди сложни газ-насочващи съоръжения или специални охлаждащи клетки.

### Производство на водород

Въпреки, че съществува в състава на водата, на практика в неограничени количества, водородът си остава скъпо гориво. Водородът като промишлен продукт се получава изключително от добивни носители с много голям разход на енергия. Единственият начин да се намали добивната цена е да се намери евтин метод за извличането му направо от водата. Измежду всички топлинни, химични или физикохимични методи и процеси, изпробвани досега, класическата електролиза се счита за най-ефективна. Алкалният процес протича при средно налягане и температура от 120°C, като ефективността е 25% по-висока от стандартната. Най-важната част е комплексът електрод-мембрана, базиран на керамичния оксид. Това, което е ново тук е комбинирането на анода и катода с твърд електролит в тънък "сандвич", който на свой ред е монтиран в устойчив на температурата и корозията полимер (електролиза при висока температура). В качеството си на функционален модел за опити, процесът "Hot Elly" се базира на това, че разпадането на пара на водород и кислород изисква по-малко енергия от това на водата. Системата работи с наситена пара при (120 – 250) °C, но може да доведе до по-висока ефективност, когато се ползва свръх загрята пара. Керамичният електролит съдържа циркониево-итриево сплав.

"Hot Elly" може да произведе водород при икономични стойности, за нуждите на който и да е промишлен процес.

При температури около 1000°C, 70% от енергията, съхраняваната във водорода се превръща в електрическа. Използването на въздуха като оксидант вместо чист кислород, още повече намалява производствените разходи. Използваната в реакцията свръх загрята пара също така, може да играе ролята на допълнителна турбина. Описаната клетка на теория може да работи при температури от 1200 °C, но тази температура има важни последствия при избора на изграждащи материали, съединения, проводници, дори и на самата клетка. За да отговори на нуждите на практическата употреба, електродите и електролита трябва да са по-евтини, да са с особено голяма корозионна устойчивост дори при високи температури и е нужно да поддържат достатъчна проводимост.

### Екологични предимства:

- Липса на емисии при употребата на възобновяеми горива за добиването на водород;
- Отпада необходимостта от употребата на петрол;
- По време на работа уредът, работещ с горивна клетка, отделя само водна пара.

### Предимства:

- Нулеви емисии;
- По-голяма енергийна ефективност от тази на двигателите с вътрешно горене;

- Използване и повторна употреба на произведената енергия.

**Недостатъци:**

- Големи разходи.
- Ниска надеждност и дълготрайност;
- Производство, разпределение, дозиране, и съхраняване на водорода на склад;
- Наличност и достъпност на зареждането с водород;
- Отсъствие на проекти за серийно производство;
- Необходимост от специално образование на потребителите.

**Тест за самоподготовка**

1. Горивно-клетъчни процеси са превръщания на:

- а. Химична в механична енергия;
- б. Механична енергия в електрическа;
- в. Химична енергия в електрическа.

*Отговор: в*

2. Във водород – кислород горивната клетка са монтирани:

- а. Два порести оксидиращи електрода (катод-клетка, анод и електролит-клетка);
- б. Средства за горивни и оксидиращи реакционни продукти;
- в. Елементи, чиято работа зависи от въздуха в атмосферата.

*Отговор: а, б*

3. Горивни клетки имат следните предимства:

- а. Работят безшумно и отпадния продукт е вода;
- б. Имат ниски емисии и оставят слаба топлинна следа;
- в. Работят независимо от зареждането с въздух.

*Отговор: а, б, в*

**Тест за оценяване**

1. Какви са предимствата от употребата на горивни клетки?
2. Опишете производството на водород!
3. Обяснете разликата между процеса в горивна клетка и процеса електролиза!

### 5.3. Горивни клетки. Основни сведения. Класификация на горивните клетки.

**Алкални горивни клетки (АГК). Горивни клетки с фосфорна киселина (ГКФК). Горивни клетки с разтопен карбонат (ГКРК). Горивни клетки на базата на твърди оксиди (ГКБТО)**

Горивните клетки се класифицират според типа на използвания електролит. Изключение е горивната клетка с директен метанол (ГКДМ), при която метанола се внася директно през анода. Електролита на тази горивна клетка не определя класа, към който тя спада. Електролитът определя устройството и материалите, от които ще се направи електрода.

Основните типове електролити са: алкални хидрооксиди (АГК – алкална горивна клетка), разтопен карбонат (ГКРК – горивна клетка с разтопен карбонат), фосфорна киселина (ГКФК – горивна клетка с фосфорна киселина), протонно обменна полимеризирана киселинна мембрана (ГКПОПКП – горивна клетка с протонно обменна полимеризирана киселинна мембрана) и твърд оксид (ГКТО – горивна клетка с твърд оксид). Първите три спадат към категорията на тези с течни електролити, докато последните две – към тези с твърди. Типът гориво също зависи от електролита. Някои клетки работят с чист водород и следователно се нуждаят от допълнително устройство, наречено "реформатор", което да пречиства водорода. Други типове клетки могат да търпят определени нива на примеси, но се нуждаят от по-висока температура за да работят ефикасно. Някои типове клетки изискват постоянна циркулация на течен електролит, чрез употребата на помпи.

Нискотемпературни горивни клетки са АГК, ГКПОМ, ГКДМ и ГКФК. Високотемпературните горивни клетки работят при температура (600-1000)°C. Те са два типа: ГКРК и ГКТО.

#### Алкални клетки

Работят с компресиран водород и кислород. Те ползват разтвор на калиев хидроксид във вода (KOH) като електролит. Те са сред най-ефикасните горивни клетки с ефективност от около 70%, работейки при температура (100 – 200)°C. Те позволяват употребата на евтини катализатори, като никел, тъй като ползвайки алкален електролит (високо pH) електрохимичния потенциал се покачва, намалявайки потенциала за активация. Особеност на тази клетка е, че има предимно йонна проводимост в електролита, на базата на OH групата, повече отколкото тази на по-малката протонна (H<sup>+</sup>). Електролитът е фиксиран в асбестова матрица или разтвор, където постоянно циркулира чрез помпи. Проблем, който може да възникне в този случай, като при всеки контейнер пълен с течност, е че може да има утечки. Друг сериозен проблем е слабата стабилност на въглеродния диоксид от въздуха. Той реагира с електролита, образувайки утайка от калиев карбонат. Ето защо, за тяхната употреба е нужен беден на въглероден диоксид въздух, ползвайки специален пречиствател. Те са предназначени за мощностен диапазон от 300 W до 150 KW и твърде добра енергийна плътност. Алкалните клетки се ползват за производство на електрическа енергия и питейна вода. В момента се използват основно в статични устройства, но намират приложение и в мобилни системи.

#### Горивни клетки с разтопен карбонат (ГКРК)

Те ползват като електролит комплекс от карбонати (CO<sub>3</sub>), литий, натрий, калий и/или магнезий и работят при високи температури, при които солта преминава в течност. Носителите на заряд в електролита са карбонатните йони (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Високата температура (над 650 ° C) ограничава негативните ефекти от насищането на клетката с въглеродни монооксиди, но остатъчната температура е твърде значителна. Тя може да бъде използвана и в завод с ко-генерация или за производство на допълнителна електрическа енергия с турбина. Използват се никелови катализатори, които са относително по-евтини от платиниевите.

Този тип горивно-клетъчен анод позволява пряко внасяне на природен газ или метанол заедно с водни пари, без да е необходимо някакво предварително превръщане. Превръщането възниква естествено във вътрешността на клетката, вследствие на високата температура. Полученият при превръщането на метана или метанола въглероден диоксид, оказва негативен ефект върху електролита, но пък е полезен за поддържането му. При хранване на клетката с водород, карбонатните йони, формиращи електролита, се използват при реакцията, която възниква и се налага внасянето на въглероден диоксид, за да се компенсират тези загуби. Ефективността е между (60-80)%. Има изградени инсталации с мощност от 2 MW, но има и проекти за 100 MW. Високата температура налага ограничения в използваните материали, а безопасността на този тип клетки (налага се наблюдение), особено при домашно или търговско приложение прави невъзможна, тяхната употреба в мобилни приложения.

### **Горивни клетки на базата на твърди оксиди (ГКБТО)**

Те използват като електролит сложни керамични оксиди ( $O_x$ ) метал (калций или цирконий). Тяхната ефективност е около 60%, а работната температура – около 1000°C. Също като при горивните клетки с разтопен карбонат, високата температура не е задължителна. Носителите на заряда са кислородните йони ( $O_2^-$ ), което прави възможна употребата въглеродни монооксиди като гориво.

Те не изискват употребата на скъпи катализатори. Твърдите електролити ограничават проблема с изтичанятия, съществуващи в други горивни клетки, но при тях пък може да се получат напуквания. Обикновено батериите се правят от такива клетки и са с мощност до 100 kW. Много високата температура и достатъчно големия размер ограничават употребата на такива клетки в домашни условия и в мобилния бизнес.

### **Фосфорно-киселинни горивни клетки**

Този тип горивни клетки са били първите елементи, достъпни за търговска употреба. Използвания електролит (фосфорна киселина) е разположен в химически неактивната матрица (например силициев карбид), което гарантира стабилността и механичната устойчивост на клетката и на киселината в клетката. Работната температура трябва да се поддържа между (150-200)°C. При температура под 100°C може да се появят проблеми, дължащи се на взаимодействието между фосфатните йони и кислородния електрод, намалявайки неговата каталитична способност. Нискотемпературната работа налага употребата на скъпи катализатори под формата на скъпи метали с концентрация 0,2 mg/cm<sup>2</sup> до 0,4 mg/cm<sup>2</sup> водороден електрод в кислорода.

Ефективността варира между (40-80)% при енергийни приложения, които се извършват между 5 и 200 KW. Такава клетка се характеризира с въглеродни монооксиди от (1-3)% (в зависимост от работната температура), което значително разширява избора на използваното гориво. По-високата концентрация на CO, газовите смеси, обикновено използвани за въглеводородната промяна, могат да повредят електродния катализатор. Предимство на работната температура 100°C е освобождаването на водна пара, получена при реакцията.

Основният недостатък е относително малката енергийна плътност - 3 пъти по-ниска от тази за други типове клетки. Друг недостатък е необходимостта да се поддържа клетката с температура от 45° C, при която фосфорната киселина замръзва и се разширява, което може да разруши електродите или керамичната матрица.

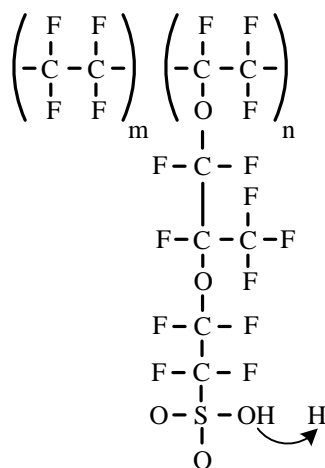
Тези два проблема са достатъчно сложни за употреба в домашни или мобилни приложения, затова и основната реализация е в конкретни промишлени приложения.

### **Горивни клетки, използващи протоннообменна мембрана (ГКПОМ)**

Те използват полимерен електролит под формата на много тънка и проникваема мембрана. Обикновено съдържат полимер, извлечен от използването на органична PFSA



(perfluorosulfonic acid) разположена във веригите от polytetrafluoroethylene (PTFE или Teflon). Тази верига съдържа неправилни химични структури, изпълнени с групите  $\text{SO}_3\text{H}$ . Водородът в тази група е дисоцииран от молекулата, когато е наситен и разтворът изглежда като протон. От друга страна анионите  $\text{SO}_3^-$  са по-скоро уловени в полимерната молекула, отколкото да са свободно пръснати в разтвора. Това е едно от основните предимства на полимерните киселини. Свободните протони в разтвора и тяхната подвижност може да доведе до така наречената „протонна проводимост“. Оттук и името на този вид клетки (РЕМ), от термина „протонно обменна мембрана“. Киселинните полимерни мембрани могат да бъдат направени като изключително тънки филми (по-малко от 50mm), правейки възможно намаляването размера на клетката, а оттам и получаване на по-високи енергийни плътности. Намаляването на дебелината на електролитния филм значително намалява устойчивостта на вътрешността на клетката, а оттам снижава загубите в нея. Един от най-използваните полимери е популярния "Nafion". Това е съполимер на PFSA( perfluorosulfonic acid) и PTFE в киселинна форма, направена от преди около 40 години. PFSA мембраните на Nafion са широко употребявани в горивните клетки с РЕМ. Мембраната действа като сепаратор и твърд електролит, който позволява контролираното преминаване на катиони в случаите на клетъчно обединяване. Полимерът е химически устойчив и надежден. Въпреки, че първоначалното приложение на Nafion е насочено в разработката на мембранни сепаратори в електрохимичната промишленост, особено при хлор-алкалните разделения, неговите следващи приложения предстоят, като реализирането на горивната клетка е най-важното.



Фиг. 5.1. Химична структура на Nafion

На фиг. 5.1 е представена химичната структура на Nafion, където  $n$  и  $m$  са съответно честотата на киселината и неутралните радикали в полимерната структура. Съотношението  $n / m$  е размерът, характеризиращ твърдият киселинен полимер. Nafion киселините са полимеризирани в категорията, известна в литературата, като „суперкиселини“ заради тяхната висока киселинност, по-висока от тази в чистата сярна киселина. Употребата на твърд полимер премахва необходимостта от непромукаеми отделения, нужни за течния електролит и всичките проблеми свързани с корозията и безопасността.

Употребата на катализатор е много важна, а използваните количества са по-високи от тези в други клетки, поради ниската работна температура ( $70\text{--}80^\circ\text{C}$ ). Температурата може да се повиши до над  $80^\circ\text{C}$ , а при по-високи температури има риск от водно изпарение от мембраната, когато има консумационни върхове - феномен, който може да разруши клетката. Обикновено се използва платина, в количества от поне  $0,4 \text{ mg/cm}^2$  за всеки електрод. По-високите количества увеличават устойчивостта на клетката на „насищане“ с въглероден монооксид или употребата на замърсен водород. В следствие на ниската температура, която е от ниско активните калатизатори, по-голямо количество катализатор е нужен при катода,

заради по-трудната йонизация на кислорода. С цел предпазването на анода от отравяне с СО, метода на каталитичната сплав използва Pt / Ru. Присъствието на рутениево катализаторна структура го променя и кара да абсорбира СО много по-трудно. Работата на тези клетки е все още чувствително затруднена, когато се използва резултата от превръщането на водород, съдържащ СО при концентрации по-големи от 50ppm. PEM на базата на Nafion обикновено работи при температура под (70-85)°C. Работата при ниска температура осигурява бърз старт и не изисква термоизолация за предпазване на състава. Средните работни условия са голямо предимство на тези клетки, в сравнение с другите модели, които изискват употребата на високо корозионна киселина, при високи температури на керамични или разтопени соли. От друга страна, клетки с протонна обмяна са особено уязвими към увеличаването на водата в мембраната; това може да възникне поради постоянното водно производство при катода и това може да блокира дифузията на реагиращите вещества. Следователно, при изграждането на такива клетки трябва да се вземат допълнителни мерки за отстраняването на излишната вода.

К.п.д. е между (40-50)%, а работната температура – около 80° C. Така произведените клетки са с мощност (50-200) kW. Твърдият електролит не дава отечки или напуквания, а работната температура е достатъчно малка, за да се използва в дома или колата. Но пък горивото трябва да се пречиства, а употребата на платиниев катализатори и от двете страни на мембраната повишава производствените разходи.

### **Горивни клетки с директен метанол - ГКДМ**

Този тип горивна клетка е изключение от класификацията на горивни клетки според електролита. Определящ елемент тук е горивото. Разределеният метанол се внася директно към анода, където той се разпада на протони, електрони и СО<sub>2</sub>. Това гориво е избрано, заради това че е широко разпространено и значително активно.

ГКПОМ и ГКДМ са много подобни и двете използват киселинната мембрана като полимерен електролит. За разлика от ГКПОМ, при ГКДМ анода сам извлича водорода от течния метанол, премахвайки необходимостта от реформатор, който да извлича водорода, както се получава при другите клетки.

Много изследователи фокусират своите усилия върху изследването и подобряването на този тип горивна клетка, защото употребата на течни горива предлага много практически предимства. Въпреки, че метанолът има енергийна плътност 5 пъти по-малка от тази на водорода, неговата употреба е много практична, тъй като е лесен за производство и пренасяне. По отношение на заемания обем, плътността на обемната енергия е 4 пъти по-висока от тази на водород, съгъстен до 250атмосфери.

Също така, тези клетки изискват употребата на катализатори, които понастоящем използват платина в количества по-високи от тези в ГКПОМ. СО в анода определя употребата на киселинни електролити, за да се избегнат нежелани реакции с електролита.

Важен въпрос е това, че обикновено оксидацията на метанол произвежда междинни продукти, които могат да разрушат анода. Друг проблем е че метанолните молекули са относително малки и имат ниска оксидираща стойност, създавайки опасността от преминаване на метанол през електролита към катода. Ето защо, в някои случаи има загуби от над 30%. Този проблем ще се разреши, чрез променяне структурата на електролита или други методи. Необходима е друг тип полимерна киселина и разработването на специфична мембрана, направена за употребата на енергийни системи с ГКДМ. С тази мембрана може да се увеличи енергийната плътност, да се намали водния поток, да се намали размера и разходите, в сравнение с други технологии. Няколко големи компании са обявили забележителни резултати, получени от ГКДМ. Ефективността на тези клетки е около 40%, при поддържана работна температура между (50-100)°C.

### ***Тест за самоподготовка***



1. Алкалните горивни клетки, работещи със състен водород и кислород, използват за електролит:

- а. Разтвор на сярна киселина и вода;
- б. Разтвор на калиев хидроксид и вода;
- в. Въглероден разтвор

*Отговор: б*

2. Горивните клетки с разтопен карбонат, които работят при висока температура:

- а. Ограничават отрицателните ефекти на въглеродния монооксид;
- б. Могат да се използват в смесено производство
- в. Приемат директно внасяне на метанов газ при анода или на метанол заедно с водна пара

*Отговор: а, б, в*

3. Горивните клетки с фосфорна киселина се характеризират с:

- а. Електролит (фосфорна киселина ) в керамична матрица, осигуряваща устойчивост и механична якост;
- б. Сложен керамичнооксиден електролит;
- в. Карбонатен електролит;

*Отговор: а*

#### **Тест за оценяване**

- 1. Как работят алкалните клетки?
- 2. Какви са различията между клетки с разтопен карбонат и тези с твърди оксиди?
- 3. Кои са типичните горивни клетки, използващи PEM?