

## ЗЕЛЕНАТА ВОДОРОДНА ЕНЕРГЕТИКА, НЕРАЗДЕЛНА ЧАСТ ОТ ЕНЕРГИЙНИЯ ПРЕХОД

Проф. д-р инж. Христо Василев

Водородът е химичен елемент, отбелязан със символа H и има атомен номер 1 в периодичната система. При стандартни температура и налягане водородът е безцветен, нетоксичен и лесно запалим двуатомен газ с молекулна формула  $H_2$ . Основната част от водорода на земята е свързан с молекули, като тези на водата и органичните съединения, тъй-като той лесно образува ковалентни съединения с повечето неметални елементи. В таблица 1 са представени енергийните съдържания на основните енергоносители.

Табл. 1

№	Енергоносител	Енергийно съдържание (калоричност) /kg	Плътност	Енергийна калоричност на $m^3$ или на l	Топлинна калоричност
1.	Водород	39.39 kWh/kg	0.09 kg/ $m^3$	3.54 kWh/ $m^3$	~85% ≈ 33.33 kWh/kg
2.	Метан $CH_4$	13.9 kWh/kg	0.72 kg/ $m^3$	10 kWh/ $m^3$	~90% ≈ 9.0 kWh/ $m^3$
3.	Природен газ	13.9 kWh/kg	0.8 kg/ $m^3$	11.1 kWh/ $m^3$	~90% ≈ 10 kWh/ $m^3$
4.	Дизел	12.5 kWh/kg	0.83 kg/l	10.5 kWh/l	~94% ≈ 9.8 kWh/l
5.	Бензин	12.0 kWh/kg	0.75 kg/l	9.0 kWh/l	~94% ≈ 8.5 kWh/l

От представените данни става видно, че водородът е с около 8 пъти по-малка плътност от природния газ и с около три пъти по високо енергийно съдържание на килограм спрямо основната част от енергоносителите, намиращи се на пазара. Точката му на втечняване е чувствително по ниска ( $-258^{\circ}C$  в сравнение с природния газ  $-161^{\circ}C$ ), което изисква повече енергия при втечняването и при транспортирането и специална инфраструктура.

Водородът има едно съществено преимущество пред останалите енергоносители, а именно: при неговата трансформация в електричество (Gas to Power) се отделят нулеви емисии на  $CO_2$ . Чрез трансформацията

Power to Gas електрическата енергия се преобразува във водород и може да се съхранява сезонно (в солни пещери, изчерпани газови находища, бутилки и др.). Поради екологичната неутралност на водорода, високата калоричност 39.39 kWh/kg и възможността електрическата енергия да се трансформира с висока ефективност във водород, през последните две десетилетия се формира едно ниво направление в енергетиката, а именно: водородната енергетика. Когато водорода се произвежда от възобновяема енергия, той се нарича зелен водород [1], [4]. В комбинация с възобновяемата енергетика постепенно ще се формира енергетиката на бъдещето, която ще осигурява към 2050 година над 60 000 TWh електрическа енергия.

Генерирането на водород по принцип е просто. Електролизата е известна от 1800-та година. Методът, известен като алкална електролиза (АЕ), е в търговска употреба от средата на 20-ти век.

## **1. Алкална електролиза - АЕ**

Използва се клетка с катод, анод и електролит на базата на разтвор с каустични соли. Когато се приложи напрежение върху катода и анода, водата се разлага в алкалния разтвор. Водородът се отделя на катода, а кислородът – на анода. Между двата електрода е разположена мембрана, която позволява само на отрицателно заредените йони на кислород и водород (ОН<sup>-</sup>) да преминат през мембраната, като по този начин се отделят газовете. По време на реакцията се отделя топлина, която, ако се използва, се повишава общата ефективност на процеса. След това водород трябва да бъде почистен, изсушен и ако е необходимо-компресиран.

Електролитът е течен, което означава, че алкалният електролизер изисква повече допълнително оборудване, като например помпи за електролита, промиване с разтвор и др. Въпреки че в момента тази технология е с най-ниски първоначални инвестиции, тя има сравнително високи експлоатационни разходи.

## **2. Протонна обемна мембрана - (PEM)**

Принципът на действие е обратен на горивните клетки (т.е. чрез електричество получаваме водород, докато при горивните клетки чрез водород се получава електричество). При тази технология не се изисква течен електролит. Използват се два електрода и полимерна мембрана, през която могат да преминат само положително заредени водородни протони. В

сравнение с алкалната електролиза, PEM електролизата има предимство, че бързо реагира на колебанията, характерни за производството на възобновяема енергия. Тази технология често се използва за разпределени енергийни системи, тъй-като оборудването е с ниски експлоатационни разходи и същевременно доставя висококачествен водород.

### **3. Електролизери с аниообменна мембрана - (АЕМ)**

Подобно на алкалната електролиза, тази технология позволява отрицателно заредените йони (OH-) да преминат през мембраната. АЕМ не се нуждае от използване на скъпи метали, необходими като катализатори при PEM електролизата. Процесът е ефективен при по малки мащаби, което го прави подходящ за децентрализирани приложения.

Основателят и изпълнителен директор на компанията Enapter, С. Юстус Шмит работи върху революционна технология във водородната енергетика, а именно да създаде миниатюрен АЕМ електролизер с размерите на домашна микровълнова фурна [ 1 ]. Първите разработени устройства могат да произвеждат водород с цена под 7 €/kg. Към 2030 година г-н Шмит възнамерява да намали тази цифра до 1.5 €/kg. Възможно ли е това? Той не е първия ентузиаст. Мнозина преди него са се опитвали да реализират тази идея, но не са успели. Ако той успее, това означава, че ще произвежда водород за самостоятелно потребление и за сезонното съхранение и по този начин може да се достигне пълна енергийна самодостатъчност !! Капиталовите разходи са обещаващи и при условие, че има евтино зелено електричество за захранване на електролизерите, целта на Шмит е достижима. А такова електричество ще осигурят PV и вятърните централи в близкото бъдеще.

### **4. Високотемпературна електролиза - НТЕ**

Тази технология използва малко по-различна концепция чрез керамични мембрани, които произвеждат йони при много високи температури, като отделят прегрялата пара с температура от 600 до 800<sup>0</sup> С и водород и кислород. Тъй-като по-голямата част от енергията, необходима за този процес, се осигурява от топлината, необходимостта от електрическа енергия намалява, когато се използва топлинна енергия от промишлени отпадъци, която струва малко или нищо. Този метод може да бъде много ефективен по отношение на електрическото захранване, като неговата ефективност е по-висока, отколкото при другите методи (АЕ, PEM, АЕМ).

## 5. Електролизер + горивна клетка в едно устройство – rSOC

В този случай се комбинират две устройства в едно, т.е. високотемпературната горивна клетка е реверсивна rSOK и тя не само може да произвежда електричество, но може да произвежда и водород чрез електролиза [2]. Произведеният зелен водород може да се съхранява сезонно и по-късно (примерно през отоплителния сезон) да се преобразува водорода в електричество. Изследователи от Forschungs -zentrum Jülich са разработили реверсивна високотемпературна горивна клетка rSOK, която постига електрическа ефективност 60%. До този момент такава ефективност не е постигана в световен мащаб. При необходимост с тази система могат да се компенсират колебанията при производството на възобновяема енергия и да се противодейства на различията между търсенето и предлагането.

## 6. Колко ще струва произведения чрез електролиза водород?

При формирането цената на водорода се включват следните компоненти:

- капиталови разходи за електролиза;
- разходи за поддръжка и подмяна на износени мембрани;
- разходи за сушене, почистване, компресия на водорода и транспорт от мястото на производство до мястото на консумация;
- разходи за електроенергия, необходима при производството на водород.

### *Определяне цената на водорода, произведен от АЕМ електролизер*

При настояща цена на АЕМ електролизер 7000 € (в Китай) с производителност  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> водород на час или 1 kg водород на 24 часа и експлоатационен живот от 30 000 часа на електролизера, се постига цена от 5.2 €/kg, което съответства на 0.132 €/kWh. При ефективност на електролизера 73% са необходими 54 kWh зелена енергия за производството на 1 kg зелен водород. При цена на PV енергия + съхранение от 0.04 €/kWh, това ще осъществи цената на зеления водород с около 2.2 €/kg или с 0.056 €/kWh водород. Сумарната цена на водорода ще бъде 0.188 €/kWh.

Каква би била цената на зеления водород при следните изходни условия:

- относителна цена на АЕМ електролизера 2 500 € за производителност 1 kg водород за 24 часа;

- експлоатационен живот на АЕМ електролизера 45000 часа;
- цена PV енергия + съхранение след 2030 год. около 0.02 €/kWh;
- ефективност на електролизера 80% или разход от 49.3 kWh за 1 kg зелен водород.

Капиталовата компонента ще бъде 1.238 €/kg или 0.031 €/kWh. Енергийната компонента ще бъде 0.986 €/kg или 0.025 €/kWh. Крайните цени ще бъдат:

- 2.224 €/kg H<sub>2</sub>
- 0.056 €/kWh H<sub>2</sub>

## **7. Възможно ли е на територията на България към 2035 година да се произвежда зелен водород с цена под 1.5 €/kg ?**

За да се отговори на този въпрос, е необходимо да се изследва изменението на основните показатели, които оказват влияние върху цената на зеления водород.

**7.1.** Относителна цена на електролизерите с производителност 1 тон водород за 24 часа

Цената на алкалните електролизери, произведени на Запад, падна с 40% в периода от 2014 до 2019 г., а цените на електролизерите, произведени в Китай, са до 80% по ниски от тези, произведени на Запад. След обобщен анализ на изменението на цените през последните години в различни страни по света и отчитайки новите технологични решения, новите материали и предстоящата автоматизация на производствените процеси, следствие очакваното нарастване на пазарния дял на електролизерите, очакваната цена към 2035 година е 1.3 мил. € за производителност 1 тон водород за 24 часа [3], [10].

**7.2.** Цена на PV енергията към 2035 година за полева PV централа с мощност около 15 MWp, която е изградена в близост до голям потребител на водород и може да произведе необходимата електрическа енергия за производството на 365 - 400 тона водород годишно

От началото на 2020 година се получиха следните ценови рекорди на PV енергията в различни страни по света :

- 0.0157 \$/kWh за проект от 0.8 GWp в Катар с период на изкупуване на енергията от 25 години [5];
- 0.0161 \$/kWh за проект от 1.47 GWp в Саудитска Арабия с период на изкупуване на енергията от 25 години [6];
- 0.01859 \$/kWh за проект от 1.3 GWp в щата Ню Йорк-САЩ с период на изкупуване на енергията от 20 години [7];
- 0.0335 €/kWh за проект в Германия през март 2020 година. Рекорд

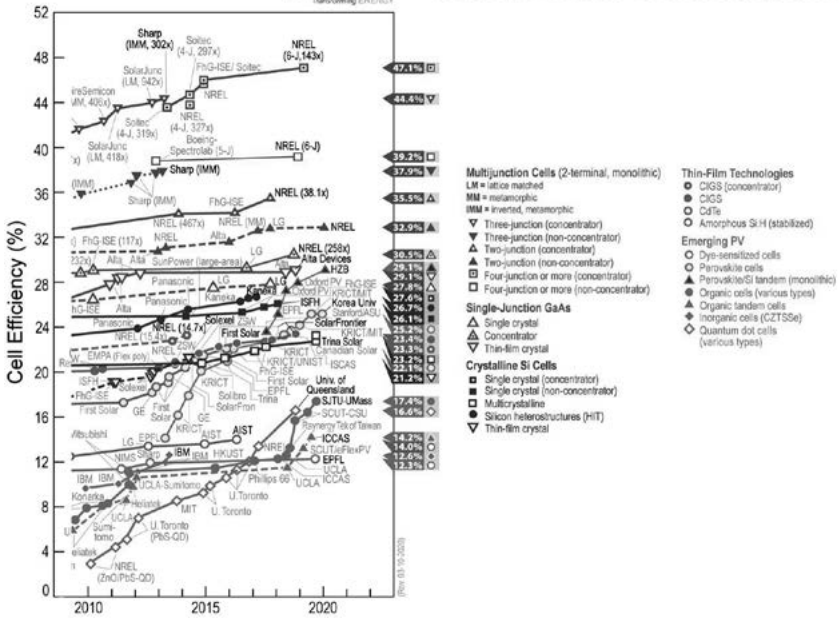
на Германия [8].

В Абу Даби поради COVID-19 беше отменен търг за PV централа от 1.5 GWp. За този търг очакванията бяха за печеливша оферта с цена под \$0.015 /kWh [9].

Посочените ценови рекорди показват, че цената на PV енергията в определени страни по света спада към 0.015 \$/kWh. Възможно ли е цената на PV енергията да спадне до 0.01 \$/kWh? През 2015 год. в Дубай на търг за изграждане на PV централи беше достигната цена на енергията 0.03 \$/kWh. След обявяването на цената имаше коментари, че това е възможно най-ниската цена на PV енергията и че едва ли този ценови рекорд ще бъде подобрен. През последните няколко месеца сме свидетели на непрекъснато намаляващи цени на PV енергията. Ако се апроксимират кривите на изменение на цените на PV панелите и инверторите (които са формирани от реалното изменение на цените през последните 40 години), към 2025 година се получават апрокси мирани цени на панелите под 0.12 \$/Wp. Тази цена и повишената ефективност са предпоставки за получаване цена на PV енергията под \$0.01/kWh в екваториалните райони на света с пазарна икономика!!

За период от 6 години (2015 – 2020) глобалните минимални цени на PV енергията спаднаха около 2 пъти (от \$0.03 на \$0.015). Направената прогноза за периода до 2025 година, предвижда цените да спаднат до \$0.01. т.е. с 33%. Като се отчете факта че PV индустрията излиза от „детската си възраст и навлиза в младо юношеската възраст“, трябва да се очаква и преодоляване на следващата ценова бариера от \$0.01/kWh. Намаляването на цените на PV енергията ще продължи и следващата ценова бариера за преодоляване ще бъде \$0.0075/kWh!!

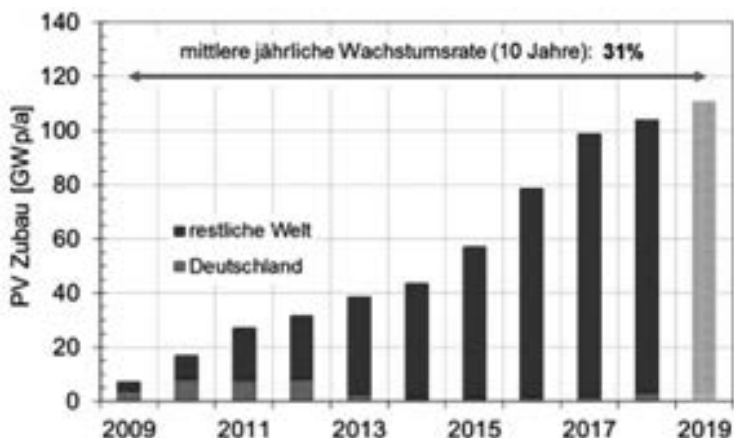
На фиг. 1 е представено нарастването на ефективността на лабораторни образци на PV клетки за съществуващите и нововъзникващи PV технологии. От фигурата става видно, че през последните 10 години се забелязва непрекъснат ръст на ефективността на PV клетките. Именно увеличената ефективност на PV клетките стои в основата на постоянно намаляване на цените на PV панелите и в крайна сметка в намаляване на цените на PV енергията. Непрекъснато съкращаване на времето за преход от лабораторни образци към серийно производство оказва влияние върху намаляването на цените на PV енергията. Годишният ръст на PV инсталираните мощности в глобален мащаб за периода от 2009 до 2019 е представено на фиг. 2, като средно годишният ръст на нарастване на инсталираните мощности е 31% [16]. Ако годишният темп на нарастване през следващите 10 години постепенно спадне до 22%, се очаква през 2028 година годишните глобални инсталирани PV мощности да достигат



Фиг. 1

1 TW, а глобалното годишното нарастване на генерираната енергия от ново-изградените PV централи да достигне 1200 TWh, което е еквивалентно на годишното производство на 150 броя атомни реактора, всеки с мощност от 1 GW. За изграждането на 150 реактора ще са необходими над 1 трилион долара и период на строителство от минимум 10 години, докато за изграждането на PV централи с мощност 1 TW ще са необходими под 300 милиарда долара (към 2028 година) и срок за строителство 18 месеца, при това с нулеви емисии на CO<sub>2</sub> и нулеви радиоактивни отпадъци. Това сравнение поставя много въпроси за бъдещето на атомната енергетика в България. Въпрос на който до този момент няма отговор е следния: При наличието на либерализиран регионален и европейски електроенергиен пазар и на децентрализирано произведена PV енергия + съхранение с цена под 0.02€/kWh в непосредствена близост до потребителите, на кого ще продава енергията си АЕЦ Белене с цена около 0.1€/kWh плюс мрежови такси от 0.02€/kWh ?? Това е основния въпрос който си поставя всеки един инвеститор. При строителството и експлоатацията на децентрализиран PV централи + съхранение и инсталации POWER to

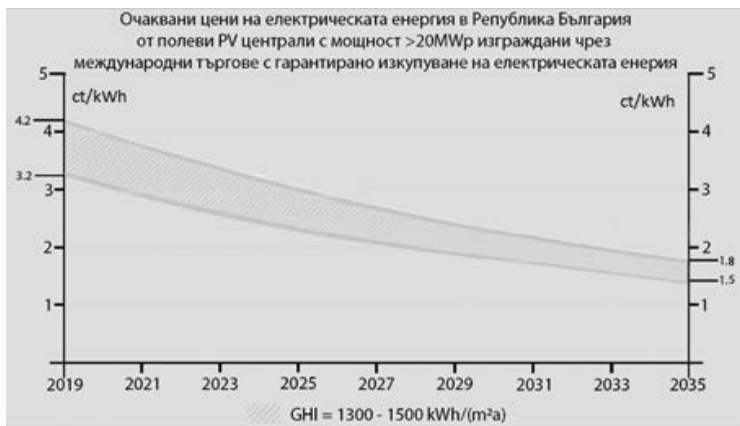
GAS за производство на водород, ще бъдат създадени повече работни места в сравнение със строителството на АЕЦ "Белене". Като се добави и възможността за локално сезонно съхранение на зелена енергия чрез зелен водород, това обезсмисля строителството на нова ядена мощност в България.



Фиг. 2

Представените данни за ценовите рекорди, повишаването на ефективността на PV клетките и годишното нарастване на инсталираните мощности в глобален мащаб поставят въпроса как ще се изменя цената на енергията от PV централи в България през годините до 2035 година. За да се отговори на този въпрос, е използвана методиката на Fraunhofer ISE, чрез която е определено изменението на цената на PV енергията за период до 2035 година. Получените резултати са представени на фиг. 3. Очакваната минимална цена на енергията към 2035 година в България се очаква да бъде 0.015 €/kWh. По същата методика е определено изменението на цените на енергията в Германия. За южния германски град Фрайбург е получена цена от 0.0205 €/kWh към 2035 година. Цените са определени на основата на публични търгове, като се приема офертата с най-ниска цена на енергията за период от 25 години. Получения ценови рекорд в Германия от 0.0335 € през март 2020, показва, че прогнозата от 0.0205€ за 2035 година, ще се окаже консервативна и вероятно тази цена ще се получи между 2025 и 2030 година. Определена част от оптимистичните прогнози за развитието на PV технологията впоследствие се оказваха консервативни.





Фиг. 3

**7.3.** Очакваното нарастване на годишните производства на електро-зери ще повиши тяхната енергийна ефективност до 85% и експлоатационният им живот до 60 000 часа. Повишената ефективност ще намали енергийните разходи за производството на един килограм водород до 46.4 kWh/kg H<sub>2</sub>.

**7.4.** Изследване, проведено от учени на Масачузетския Технологичен Институт (MIT) доказва, че цените на батериите за краткосрочно съхранение на енергия след 2030 година ще спаднат под 20 \$/kWh [11].

Това означава, че при режим на работа на батерията „заряд-разряд“, два пъти дневно, цената на енергията от батерията ще се оскъпява не повече от 0.005 \$/kWh.

### 7.5. Заключение

При цена на електролизера с производителност 1 тон водород на 24 часа от 1.3 мил. €, цена на PV енергията от локална централа 0.015 €/kWh, ефективност 85%, експлоатационен живот от 60 000 часа и цена на батерията за краткосрочно съхранение на енергията от 20 \$/kWh, към 2035 година цената на зеления водород, произведен в България, ще бъде с цена под 1.5 €/kg. С тази цена на водорода ще бъдат заменени фосилните енергоносители, използвани при производството на стомана, цимент, алуминий, амоняк, течни горива при тежкият товарен автомобилен транспорт (ТИП) ще бъде заменено дизеловото гориво с водород. В табл. 2 са представени енергийните разходи на следните три технологии за тежкотоварен автомобилен транспорт : водородна, ДВГ и чисто електрическа.

Табл. 2.

№	Показател	Вид на технологията		
		Водородна	ДВГ	Електрическа
1.	Енергийни разходи за пробег от 1200 km	80 kg H <sub>2</sub> 3151 kWh	360 l дизел 3780 kWh	1200 kWh
2.	Брой на зарежданията и продължителност	1 брой ~ 15 min	1 брой ~ 15 min	2 броя по 2.5 часа
3.	Увеличение на теглото на автомобила	~ 800 kg	400 kg	5.0 тона
4.	Вредни емисии	нулеви	значителни	нулеви
5.	Разходи за гориво към 2030 г.	При цена 1.5 €/kg 120 €	При цена 1.3 €/l 468 €	При цена 0.08 €/kWh 96 €

Водородната технология ще се наложи в тежкотоварния автомобилен транспорт вследствие нулевите емисии, дългия пробег с едно зареждане и ниската цена на водорода към 2030 година. Електрическата технология при тежкотоварния автомобилен транспорт на този етап на развитие отстъпва на водородната поради удълженото време за зареждане, увеличеното собствено тегло на влекача и намалената дължина на пробега с едно зареждане. За останалите видове транспорт (леки автомобили, автобуси, лекотоварен транспорт) бъдещето е на електрическата технология.

Екип от учени от университета Куисланд- Австралия, комбинира два процеса, които поотделно подобряват незначително ефективността на електролизерите, а когато се комбинират подобряват значително ефективността и по този начин могат да постигнат максималната гранична ефективност за процеса „Електролиза“ [12]. Това откритие ще създаде предпоставки за намаляване цената на зеления водород и крайна сметка до увеличаване относителния дял на зеления водород.

Германските компании UNIPER и SIEMENS си сътрудничат в съвместни проекти за насърчаване на използването на зелен водород. Конвенционалните газови инсталации за производство на водород ще бъдат постепенно трансформирани в инсталации за зелен водород. UNIPER планира да преустрои своите енергийни инсталации за производство на водород (най-често от природен газ) в такива за производство на зелен водород в следващите 5 години [13]. Това решение поставя определени въпроси и пред българската газова индустрия, като се има предвид че

зеления водород произведен в България ще бъде с по-ниска цена от тази в Германия. Възможно ли е в следващите 5-10 години поради икономически съображения зеления водород в България да замени природния газ ?

Американския инвеститор в слънчева енергия Джим Спано смята, че правителствения стимул за справяне с последствията от COVID-19, не само може да подпомогне слънчевата индустрия да се възстанови но да я доведе до нови висоти. По този начин ще се открият нови работни места и ще се реализират програмите на отделните щати за 100% възобновяема енергия RE100 [14].

Водородът може да замени изкопаемите горива в трудно усвоимите сектори на икономиката (стоманодобив, производство на амоняк и химически торове, алуминий и цимент и гориво за тежкотоварните камиони) и да се намалят с една трета глобалните емисии от изкопаеми горива. Най-голямата нефтена рафинерия в Германия разположена в град Уеслинг, близо до Кьолн – използва 180000 тона водород годишно с енергийно съдържание около 7 TWh. Shell планира на площадката на рафинерията да построи най-голямата в света инсталация за производство на зелен водород [ 1 ]. За захранване на електролизерите с възобновяема енергия към 2050 година ще са необходими около 31000 TWh електроенергия т.е. повече, отколкото в момента се произвежда в световен мащаб от всички източници [ 3].

През последните няколко години в петролната индустрия се приема, че възобновяемата енергия в крайна сметка ще доминира на енергийните пазари. Остава дискуссионен въпроса, кога ще се извърши преминаването от нефт към възобновяеми енергийни източници и по-точно кога ще бъде пиковото потребление на нефт? Съществуват различни прогнози, че това ще се случи между 2030 и 2040 година. Има една много смела прогноза на Kingsmill Bond от „Carbon Traker“ [15], че смяната може да бъде през 2021 година. По-долу е описана философията в прогнозата на Bond.

Пазарите са задвижвани от върхови технологии и инвеститорите търсят къде се крие нов растеж. Bond нарича това правило от 3%, казвайки: Всеки бързо развиващ се пазар бързо ще поеме целия растеж на бавно растящия пазар. Като правило, сегашните продажби ще достигнат максимум, когато иновативния пазар достигне около 3% пазарен дял. В доклада на Carbon Traker „Myths of the Transition“ той посочва следните три примера:

1. Броят на конете в САЩ достига максимум, когато броят на автомобилите достига 3% от броя на конете.

2. Приложението на парни машини в обединеното кралство достига максимум, когато електрическата енергия достига относителен дял от 3% от енергоснабдяването.

3. Търсенето на газ за осветление достига максимум, когато електричес- твото, използвано за осветление, достига относителен дял от 2%.

Основните фактори, които ще подържат растежа на потреблението на петрол в глобален мащаб, са:

- увеличаване на средната класа в световен мащаб;
- икономически растеж на развиващите се държави.

Факторите, които ще водят до намаляването на потреблението на петрол в глобален мащаб, са следните:

- Ускорено навлизане на електроомобилите;
- Ограничаване на пластмасови изделия за еднократна употреба.

Прогнозите на BP показват, че търсенето на петрол достига връх веднага след 2020 година, ако правителствата въвеждат ограничения за използването им.

- Използване на домашни работни технологии, които ще ограничат пътуването до офисите и обратно. COVID -19 ще ускори процеса за приложението на тези технологии.

- Последният „гвоздей в ковчега“ на петролната ера ще бъде „Зелената нова сделка“ на ЕС.

- Ако прогнозата на Bond за петрола през 2021 година се сбъдне, следва да се направи прогноза за навлизането на зеления водород на пазара и да се определи годината в която производството на кафяв водород ще достигне своя пик?

В настоящия момент кафяв водород се произвежда от природен газ, въглища и кафява електрическа енергия. Съществуват следните предпоставки за навлизането на зеления водород на пазара:

- Намаляване цената на възобновяемата енергия;
- Подобряване ефективността при производството на зелен водород и намаляване цената на електролизерите;

- Разширяване на „стандарта“ RE100, чрез който фирмите удостоверяват, че произведените от тях стоки и услуги са произведени със 100% възобновяема енергия. Такива стандарти възприеха основната част от световните икономически гиганти, в това число и петролните гиганти, които произвеждат течни горива със 100% възобновяема енергия;

- В начален стадий са стандартите за зелени стоки: зелена стомана, зелен цимент, зелен алуминий, зелени транспортни услуги, зелена топлинна енергия.

Зелената сделка на ЕС ще спомогне за бързото навлизане на зеления водород в енергетиката на ЕС. Зеленият водород ще доведе до създаването на „зелена водородна икономика“. Германия предвижда зеле-

ната водородна икономика да формира годишно 38 млрд. евро добавена стойност, нови работни места, чист въздух, чувствително намаляване на емисиите на CO<sub>2</sub>.

Колкото по-бързо България тръгне в посоката на зелената водородна икономика, толкова по-бързо ще бъдат решени следните хронични проблеми:

- Повишаване чистотата на въздуха и удължаване на средната продължителност на живота;
- Намаляване на емисиите от CO<sub>2</sub> в енергетиката, транспорта и индустрията;
- Намаляване на енергийната бедност и намаляване на енергийните разходи на българските домакинства и българската икономика;
- Увеличаване на работните места в сектор в сектор „Енергетика“;
- Създаване на потенциална възможност за формиране на значителна добавена стойност в сектор Енергетика.

За да се постигнат горепосочените цели, е необходимо в кратки срокове да бъде разработена национална програма за „Зелена водородна икономика“.

В областта на PV технологиите през последните няколко години има десетки научни открития които са в процес на комерсиализация. Следните три научни открития имат изключителен потенциал за повишаване ефективността на PV технологията.

## **1. PV панел с теоретична ефективност 80 %**

Учени от университета „Райс“ в Тексас са разработили устройство, което преобразува нископотенциална топлина в светлинно излъчване в много тясна честотна лента [17]. Устройството е наречено „Хиперболичен термичен излъчвател“. Отпадъчната топлина е гореща тема сред научните изследвания в областта на PV-технологията. Учените са нанесли под силициевия слой на фотоволтаика въглеродни нанотръби за преобразуване на отпадъчната топлина в светлина. Получената светлина в много тясна честотна лента се преобразува в електричество посредством компактна PV клетка. Съгласно изчисленията на екипа, ефективността на панела ще се повиши до 80 %, т.е. повече от 4 пъти спрямо съществуващите панели на пазара от 330 Wp до 1300 Wp (ват пик). С покривна PV централа от подобни 10 броя панели (16 m<sup>2</sup>) на едно домакинство ще може да се произвежда годишно над 15 MWh електрическа енергия, достатъчна да задоволи енергийните нужди на еднофамилна къща на 4-членно семейство с 2 броя електромобили. Един подобен панел с тегло 18 kg, за целия си жизнен цикъл от 30 години, ще генерира около 50 MWh

енергия. За производството на това количество енергия в една термична централа на лигнитни въглища ще са необходими около 110 тона въглища, като при изгарянето им ще се изхвърлят в атмосферата 65 тона CO<sub>2</sub>, сернисти и азотни окиси, фини прахови частици (ФПЧ), 110 грама живак, шлака и сгурия. Появата на подобни панели на пазара ще доведе до революция в глобалната енергетика.

## **2. Един светлинен фотон - два електрона**

Докато конвенционалните силициеви PV клетки имат теоретична максимална ефективност от около 29,1 %, то с разработеният от MIT (Масачузетски технологичен институт) нов модел на PV клетка, при който един светлинен фотон избива два електрона [18], тази граница може да бъде преодоляна и да се повиши ефективността на PV клетките.

## **3. Повишаване ефективността на PV клетки**

Екип от MIT с ръководител Аммар Найфех е разработил PV клетка с теоретична ефективност 40 % и очаквана практическа ефективност 35 % [19]. Това е постигнато посредством два различни слоя материал, поглъщащ слънчевата енергия в по-широк спектрален диапазон в сравнение с конвенционалните (еднослойни) клетки. Търси се стартираща компания, която да се заеме с производството.

### **Информационни източници:**

- [1] PV Magazine - 21.03.2020 Hydrogen is getting cheaper
- [2] Fuel Cells Works – 31.12.2018 Efficiency Record Forschungszentrum Jülich
- [3] Bloomberg NEF,s Hydrogen Economy Outlook says stronger policies needed for hydrogen succeed
- [4] PV Magazine - 16.03.2020 hydrogen is the first
- [5] Qatar,s „800 MW tender draws world record solar power price of \$0,01567/kWh „– 23.01.2020
- [6] PV Magazine - 03.04.2020 - Lowest shortlisted big in Saudi 1,47 GW tender was \$ 0,0161/kWh
- [7] PV Magazine - 24.03.2020 New York allocates 1 GW as renewable auction delivers \$18,59/MWh average price
- [8] German PV tender delivers record low solar power price of € 0,0335/kWh

- [9] PV Magazine - 19.03.2020 COVID 19 reportedly delays of solar world record
- [10] PV Magazine - 28.01.2020 Green hydrogen costs projected to decrease by up to 60% by 2030
- [11] Energyjobline – 13.08.2019 New study finds renewable energy storage cost needs to drop 90%
- [12] Nature Communications „Approaching the activity limit of  $\text{CoCe}_2$  for oxygen evolution via Fe doping and Co vacancy
- [13] PV magazine-09.04.20 Bringing hydrogen to market
- [14] PV Magazine, 09.04 20- COVID-19 will provide a significant enhancement to the renewable industry.
- [15] PV Magazine, 08.04.20 – Is in the end of the oil era ?
- [16] PV Magazine, 09.04.20 – Enormous solar PV success with 20 years of EEG
- [17] PV – Magazine -29.07.2019 Harnessing heat for 80% theoretical efficiency
- [18] MIT News – 03.07.2019- Experiments show dramatic increase in solar cell output
- [19] MIT News New solar cell is more efficient, costs, less than its counterparts