

Европейский Союз – Туркменистан: Дни устойчивой энергетики

Лекции для профессоров, преподавателей и студентов Государственного энергетического института Туркменистана

Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, 15 декабря 2023 г.

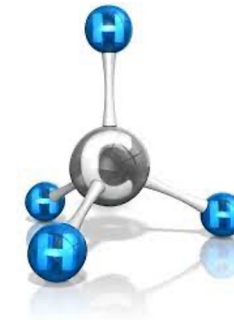
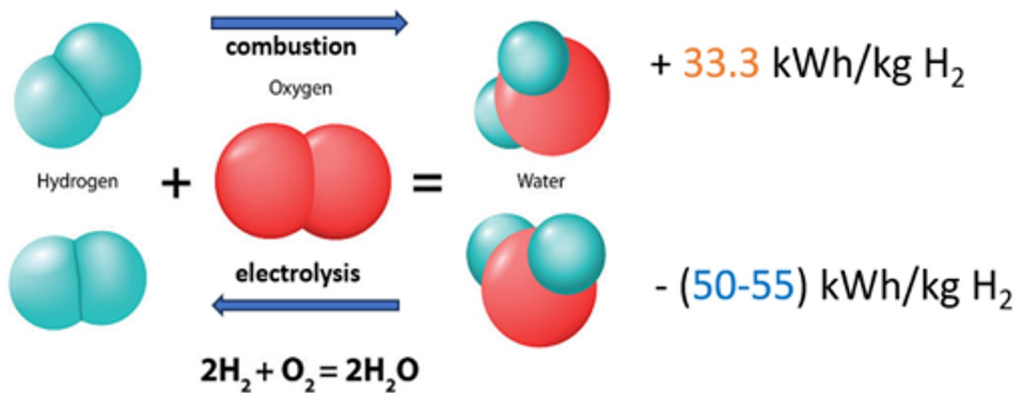
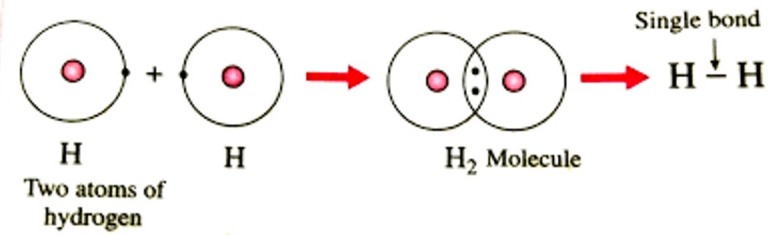
Перспективы и проблемы зеленого водорода

Мурман Маргвелашвили,

Мировой опыт для Грузии, WEG / Государственный университет Ильи

Физика и химия водорода

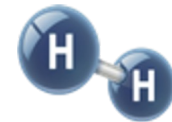
Periodic Table of the Elements



Метан CH₄ 9,8 кВтч/Нм³

Водород H₂ - 3 кВтч/Нм³

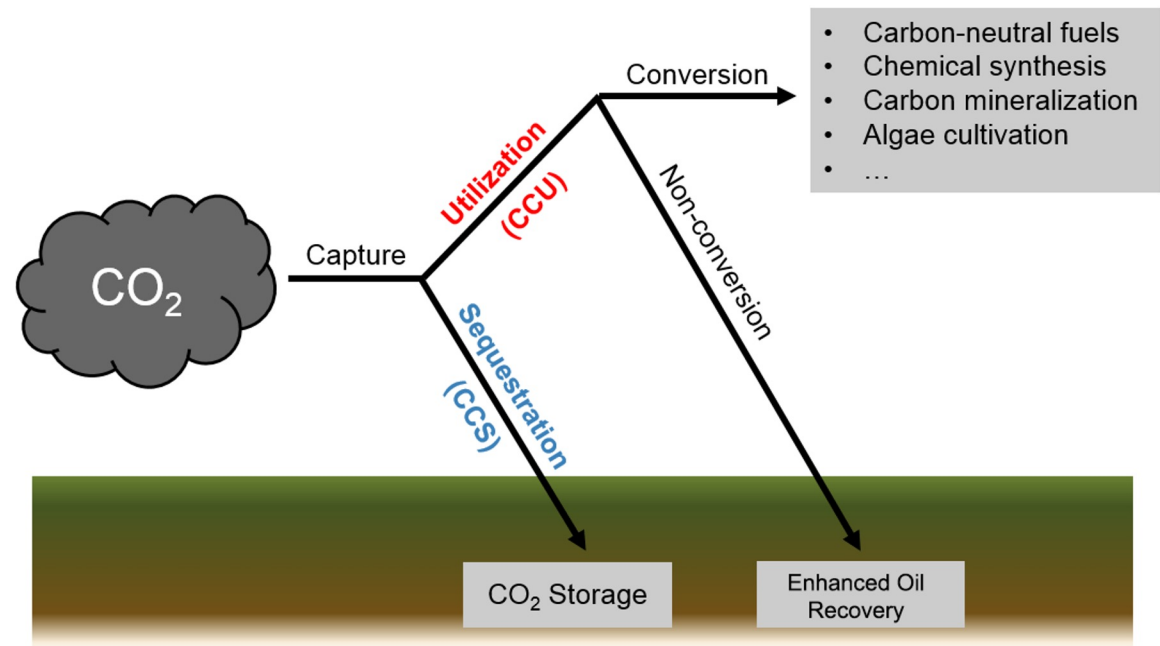
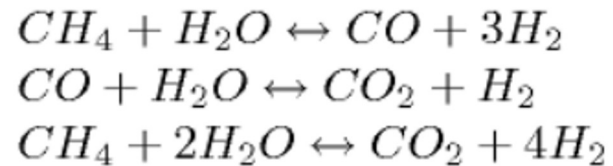
1/3 объемной плотности энергии по сравнению с природным газом



Паровой риформинг метана является основным современным источником водорода.

Произведенный CO₂ способствует изменению климата. Требуется улавливание и хранение углерода CCUS.

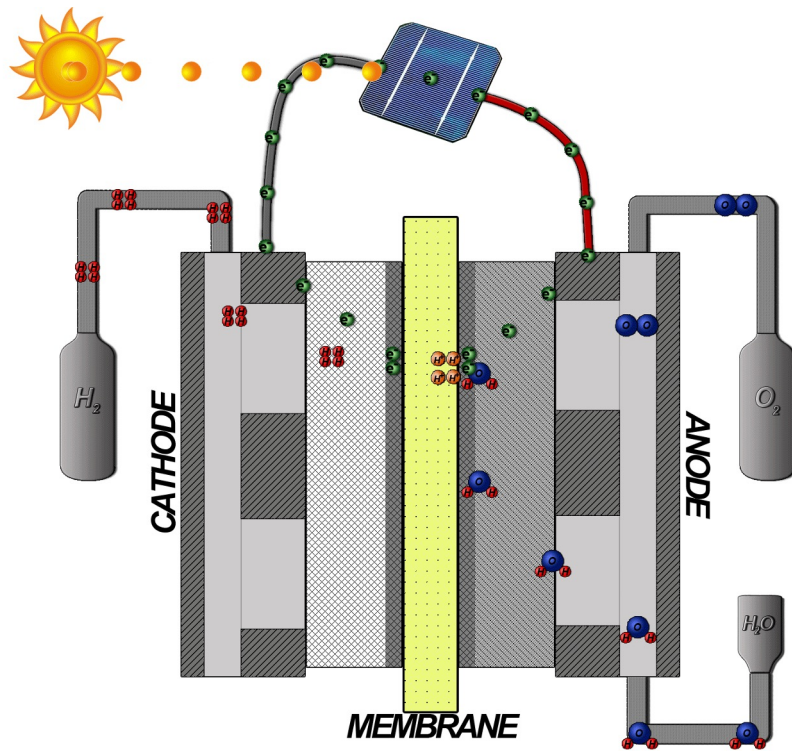
Паровой риформинг метана



Электролиз

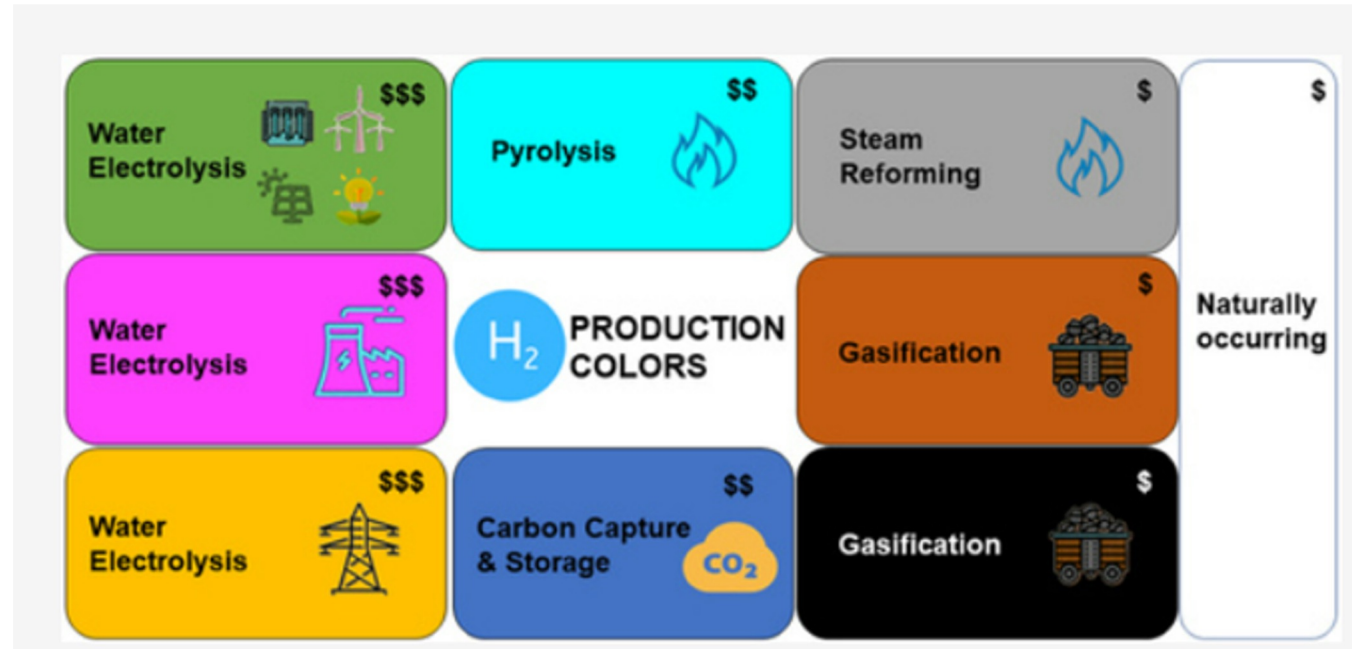
Щелочной Электролизер

Электролизер PEM



Методы получения водорода и водородная палитра

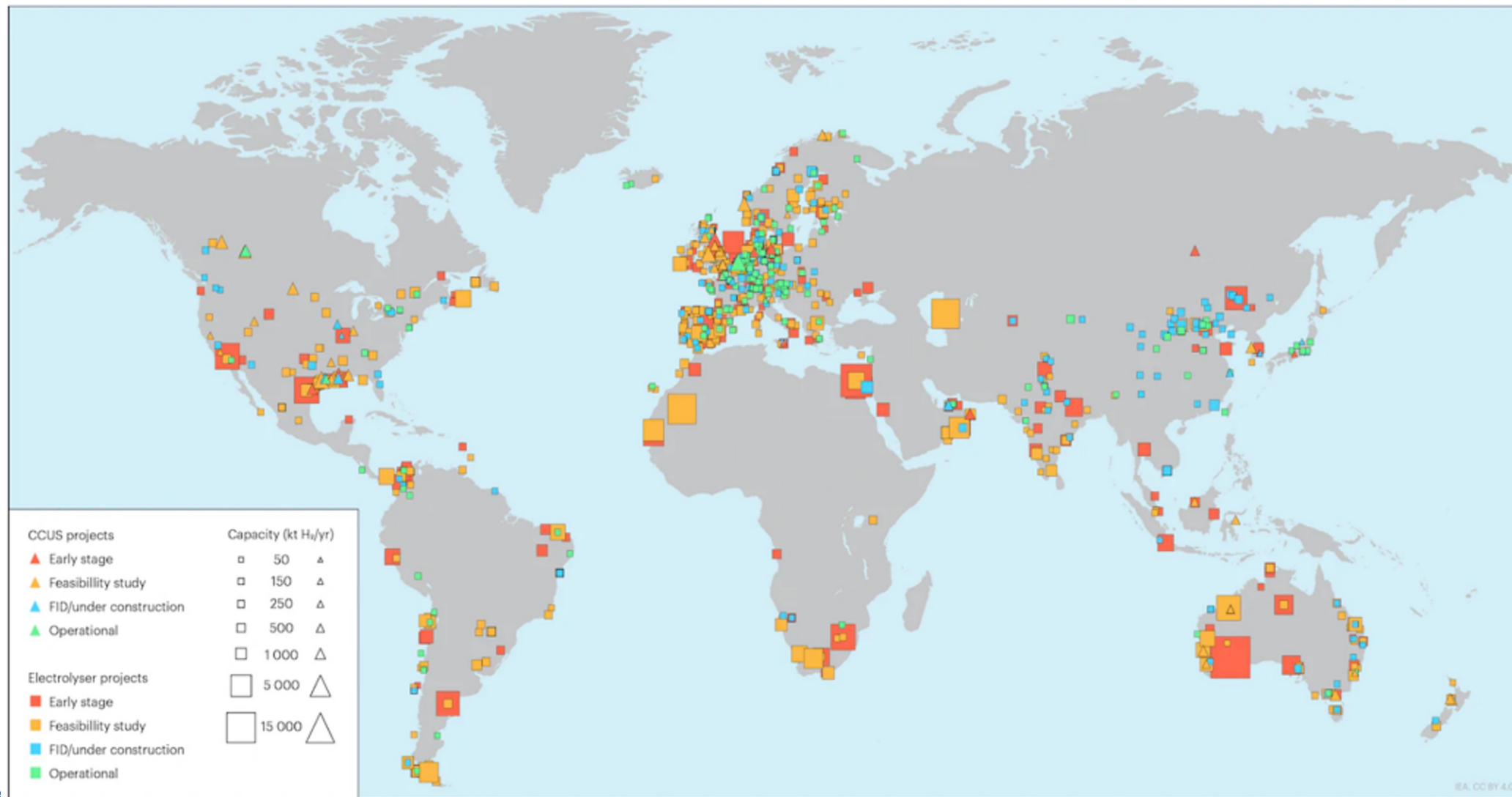
Colour	Fuel	Process	Products
Brown/Black	Coal	Steam reforming or gasification	H ₂ + CO ₂ (released)
White	N/A	Naturally occurring	H ₂
Grey	Natural Gas	Steam reforming	H ₂ + CO ₂ (released)
Blue	Natural Gas	Steam reforming	H ₂ + CO ₂ (% captured and stored)
Turquoise	Natural Gas	Pyrolysis	H ₂ + C (solid)
Red	Nuclear Power	Catalytic splitting	H ₂ + O ₂
Purple/Pink	Nuclear Power	Electrolysis	H ₂ + O ₂
Yellow	Solar Power	Electrolysis	H ₂ + O ₂
Green	Renewable Electricity	Electrolysis	H ₂ + O ₂



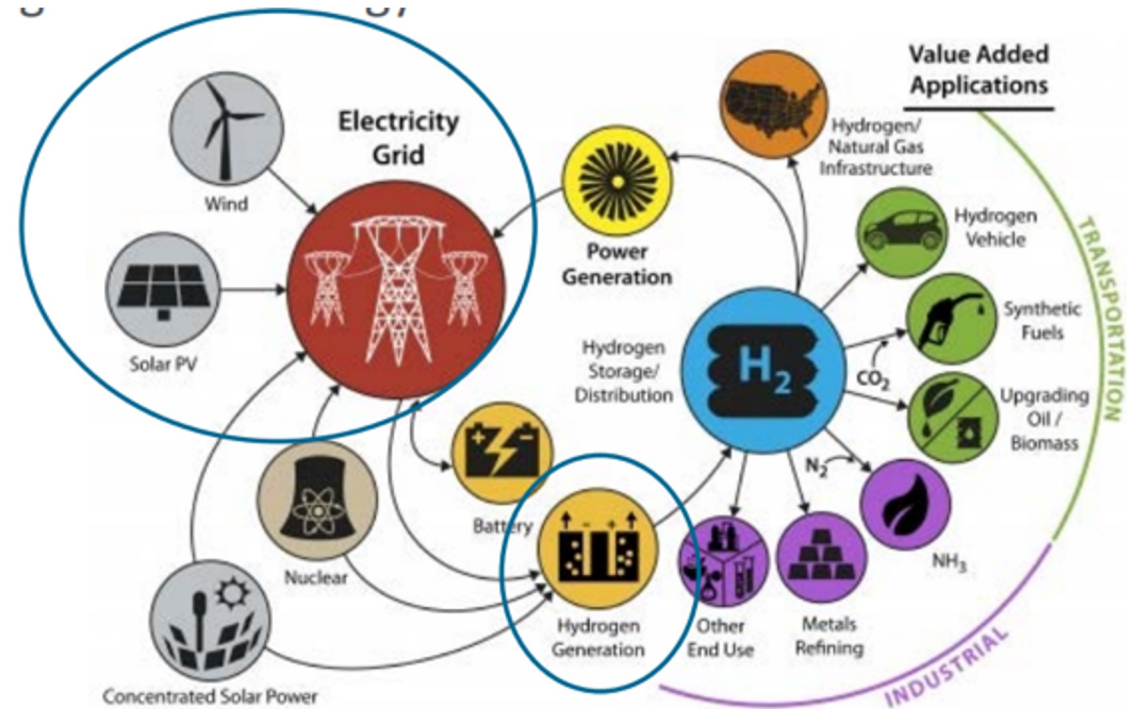
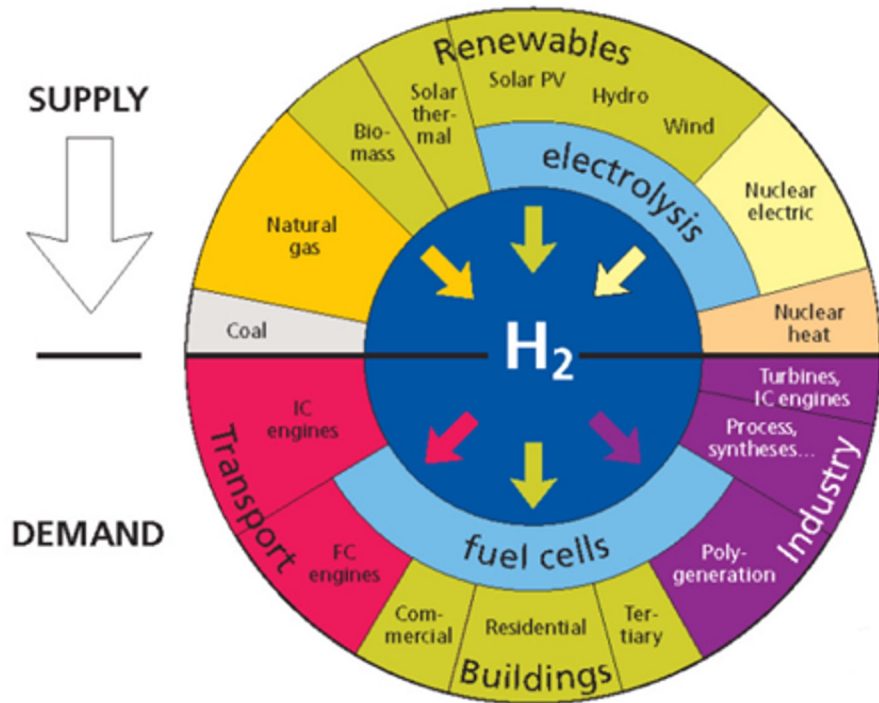
Источник: [Gases | Free Full-Text | The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production \(mdpi.com\)](#)

Источник: [The many colours of hydrogen | Sustainable NI](#)

Водородные проекты с низким уровнем выбросов во всем мире



Использование водорода для декарбонизации – системная задача



Хранение и транспортировка водорода



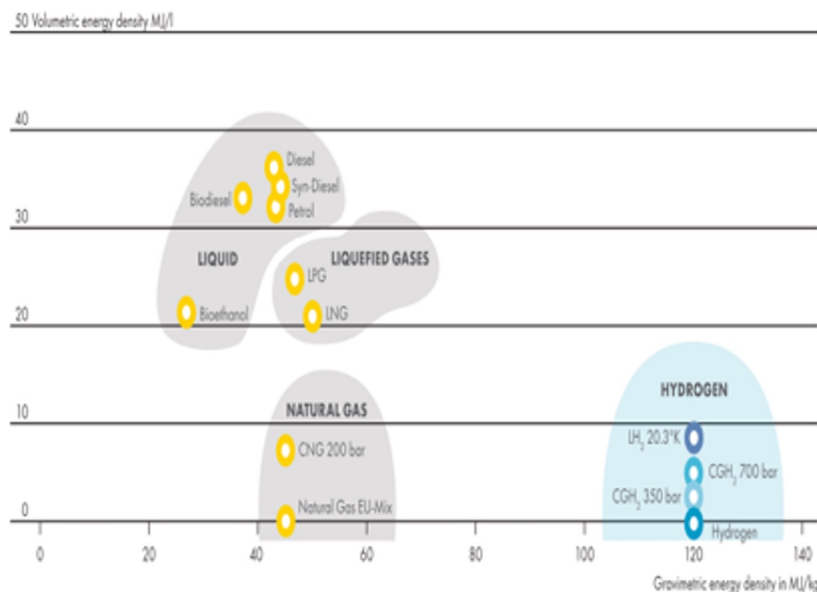
Геологическое хранилище (Соляные пещеры)

Хранение сжатого водорода 500-700бар

Водород сжиженный -253°C

Хранение химикатов -Палладий гидрид 900-кратный объем H₂

Аммиак и метанол



Транспортировка водорода

КОНТЕЙНЕРЫ СО СЖАТЫМ ГАЗОМ

При стандартных условиях (1,013 бар и 0 °C) плотность водорода составляет 0,0899 кг на кубический метр (м³). и 33 кг Н₂ / м³ при 500 бар.

Цель — 700 бар. Т.Гаорген

Транспортировка жидкого водорода

Температура -253⁰C низкое давл



Водородные трубопроводы



Достижимо 80-85% метанового эквивалента

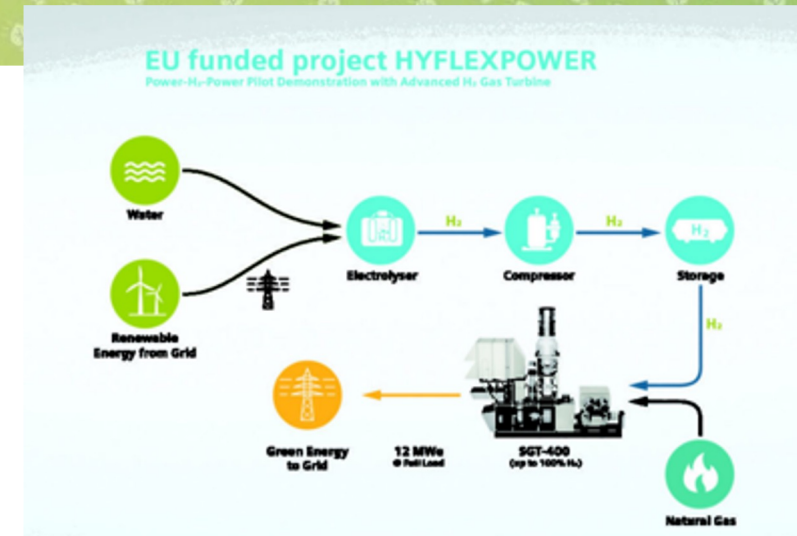
www.ebay.com

Использование водорода

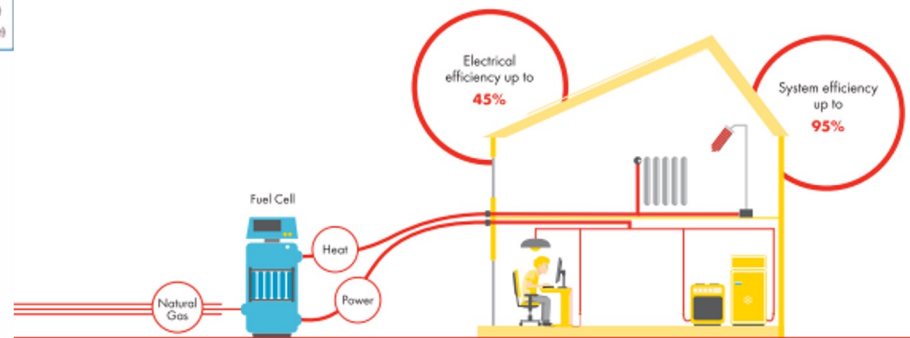
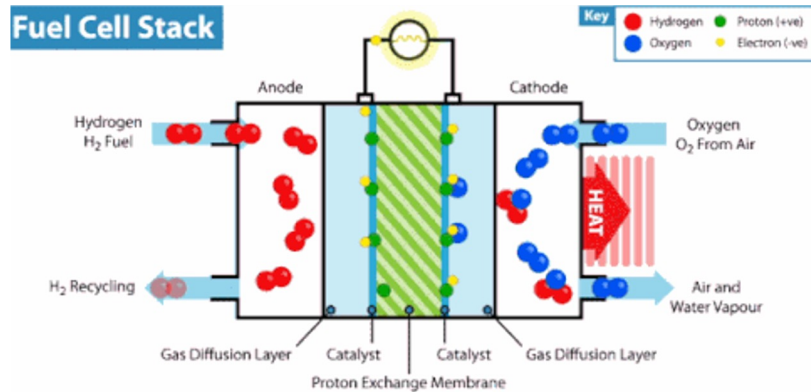
Производство электроэнергии

- Совместное сжигание газовых турбин и двигателей

Электричество и тепло для дома и промышленности



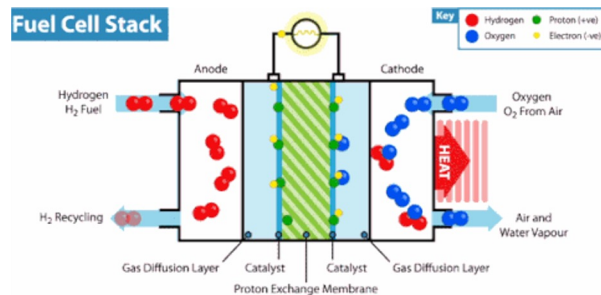
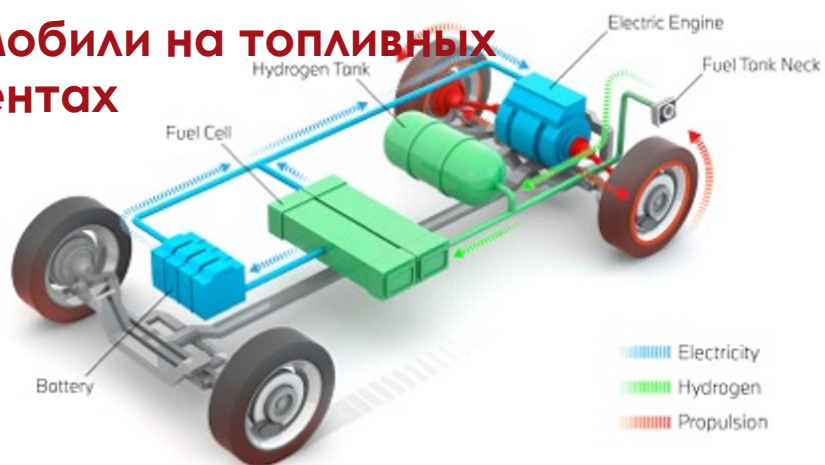
топливный элемент мощностью
1,4 МВт, Германия



Водород в транспорте



Автомобили на топливных элементах



Декарбонизация промышленности

Стальная промышленность

- DRI – прямое восстановление железа
- Водород для отопления

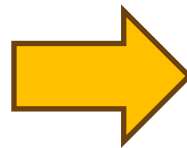
Цементная промышленность

- Совместное сжигание
- Улавливание и утилизация углерода CCU – производство синтез-газа и других видов топлива

Переработка

- Использование GH_2 для расщепления молекул нефтяных соединений

Промышленность зеленых удобрений



Производные водорода

Аммиак

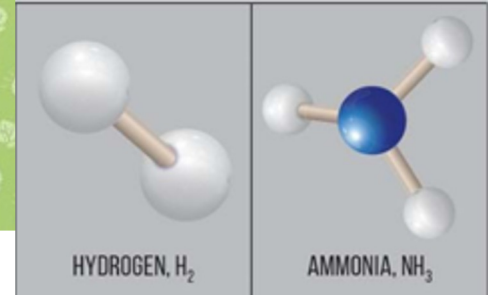
- сырье для удобрений - 20 млн.тонн в год (млн тонн в год) и 195 терминалов по переработке аммиака в более чем 120 портах.
- Совместное сжигание угля на угольных станциях
- Доставка топлива
- Дробление – использует 30% энергии.



Метанол

- Сырье для химических процессов 15 млн т/год -2021.
- Может использоваться в качестве автомобильного топлива.

Аммиак (NH₃) переносчик для GH₂



Преимущества:

Высокое содержание водорода: - Аммиак содержит высокий процент водорода по массе (около 17,6%). означает, что значительное количество водорода можно хранить и транспортировать в виде жидкого аммиака.

Легкое хранение и транспортировка: - Аммиак можно хранить и транспортировать при относительно низких давлениях и умеренных температурах. Это делает его более простым и безопасным в обращении и транспортировке на большие расстояния.

Развитая инфраструктура: - Существует глобальная инфраструктура для производства, хранения и транспортировки аммиака, что делает его практически выбором для масштабного использования и распространения зеленого водорода. Эту инфраструктуру можно перепрофилировать для приложений, связанных с водородом.

Плотность энергии: более высокая плотность энергии, чем у жидкого водорода. Больше энергии можно хранить и транспортировать в том же объеме.

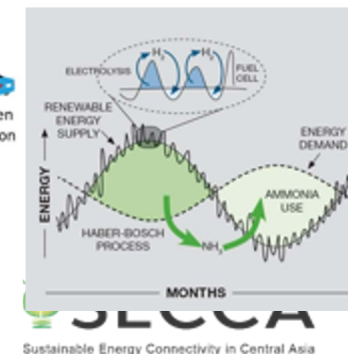
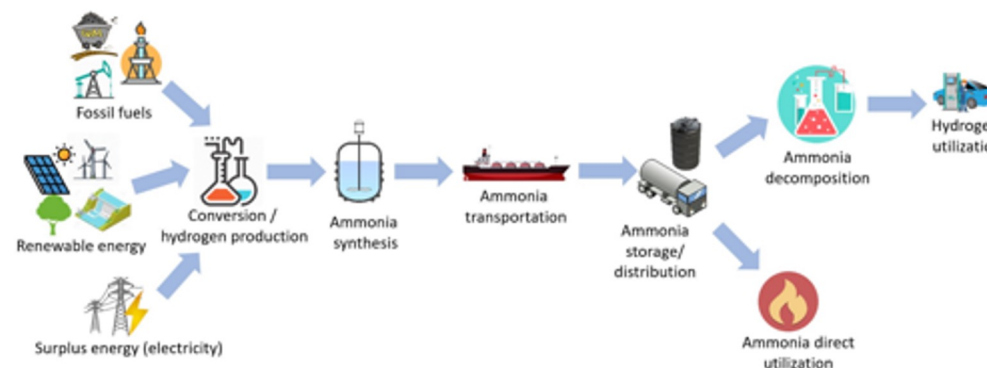
Безуглеродное производство: - Аммиак может быть полностью безуглеродным, если его производить с использованием возобновляемой электроэнергии.

Приложения для конечных пользователей:

- Аммиак широко используется в сельском хозяйстве в качестве сырья для удобрений.
- Аммиак можно превратить обратно в водород посредством «крекинга» и использовать для различных целей, включая топливные элементы для производства электроэнергии и водородные заправочные станции для транспортных средств.

Проблемы:

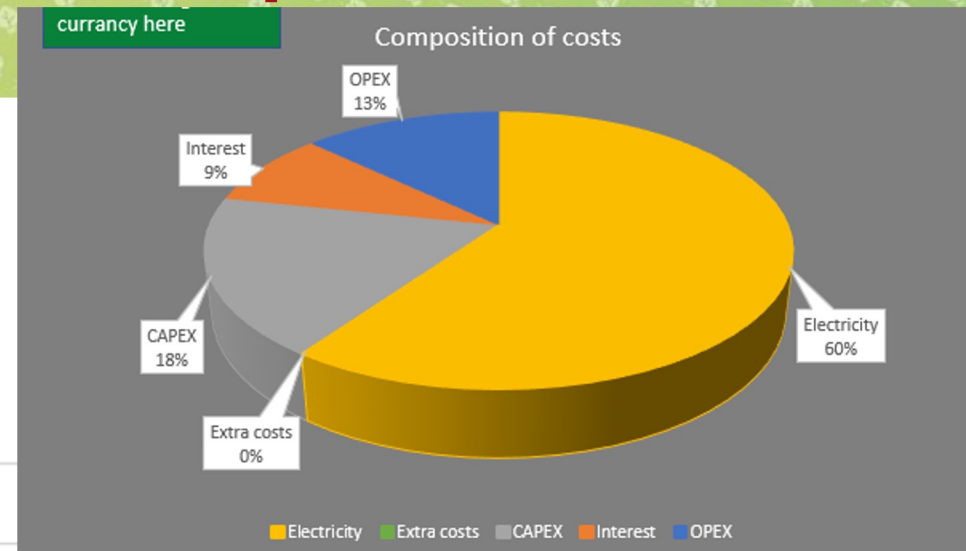
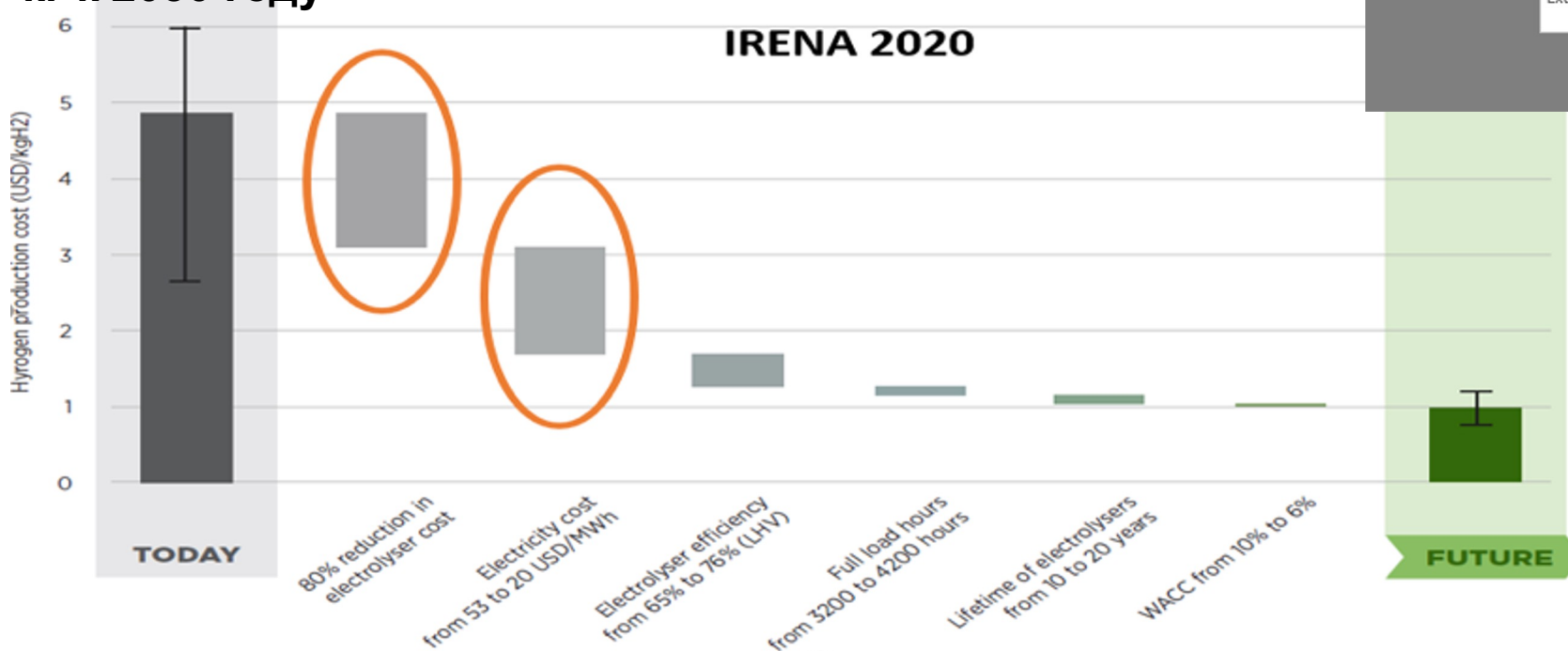
- Потребность в эффективных и экономичных технологиях крекинга,
- Соображения безопасности,
- Потенциал выбросов оксидов азота.



Стоимость зеленого водорода

- ❖ Текущая стоимость зеленого водорода 3-8 евро/кг.
- ❖ Стоимость серого водорода 1-2 евро/кг.
- ❖ Министерство энергетики США – достичь 1 доллара за

кг к 2030 году



Источник: grinix.de

Параметры:

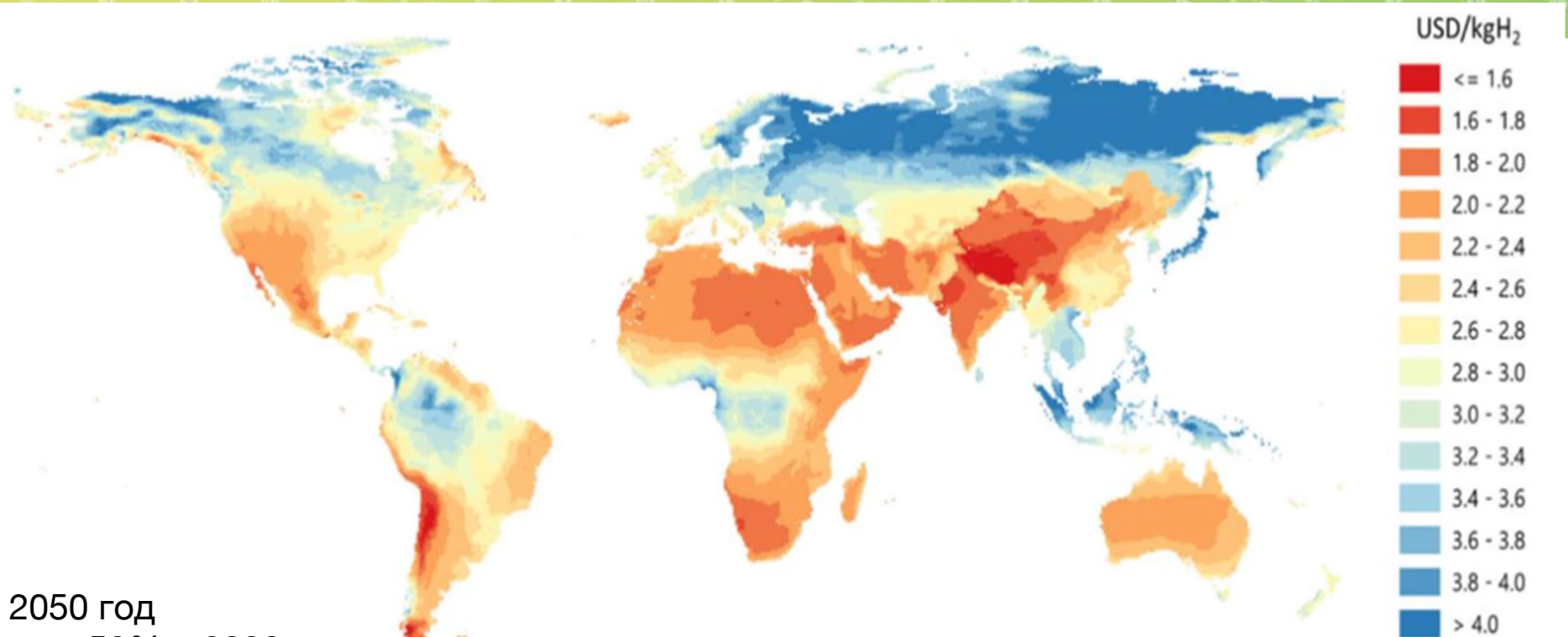
электричество € 50/МВтч

Время работы 6000ч/год

Процент -3%

Амортизация – 20 лет.

Предполагаемая цена h_2



Прогноз PwC на 2050 год

- Снижение затрат на 50% к 2030 году, а затем постепенное снижение до ставки 1 евро/кг до 2050 года.
- К 2050 году затраты на производство зеленого водорода в некоторых частях Ближнего Востока, Африки, России, Китая, США и Австралии будут находиться в пределах 1 евро/килограмм.

Источник : [Analysing the future cost of green hydrogen |](#)

Геополитика водорода и Центральной Азии



SOURCE: IRENA

The Green Hydrogen disruption: what nations, firms and investors are doing to reshape global energy
Energy Post
Central Asia decarbonizing the Southern Gas Corridor
WWW.WEG.ge



Funded by
the European Union





www.weg.ge

СПАСИБО



Funded by
the European Union

Электролизеры

Щелочные электролизеры

- Доказаны

Протонообменная мембрана PEM

- Гибкие реверсивные

Топливные элементы на основе оксида натрия

- Высокая температура
- Более высокая эффективность