



Технически Университет – София
В патньорство с **Минно-геоложки университет “св. Иван Рилски” /МГУ/** и **Химикотехнологичен и металургичен университет – София /XTMU/**

ПРОЕКТ

**Проучвания и анализ за възможностите
за улавяне, съхранение и преработка на въглероден
диоксид и плавна замяна на използването на високо
емисионни технологии с такива с ниски въглеродни емисии**



София
16.06.2022





Национални цели и приоритети за енергийно развитие до 2030 г. с хоризонт 2050 г.

В стратегически план:

- Да се гарантира енергийната сигурност на България в прехода към „зелена“ енергия;
- Да се запази максимално използването на Български енергийни ресурси;
- Плавен преход към зелена енергетика при спазване на изискванията за CO₂ на ЕС
 - **2025 год. – максимално 550 kg CO₂/MWh;**
 - **2030 год. – максимално 350 kg CO₂/MWh;**
- Осигуряване на конкурентоспособност на индустрията и качество на живота;
- Запазване и/или осигуряване на алтернативни работни места в регионите.

Възможности за Марица Изток (ЕКМИ) за трансформиране в „Територия на зелената енергия в региона“

- Най-големият енергиен комплекс в района;
- 3 основни електроцентрали на лигнит, общ производствен капацитет 3,3 GW;
- Сърцето на българската национална електрическа мрежа;
- Кръстопът на 3 транспортни коридора на ЕС - 4, 8 и 9;
- Намира се в близост до главния национален газов пръстен;
- По трасето на газовия интерконектор България-Гърция;



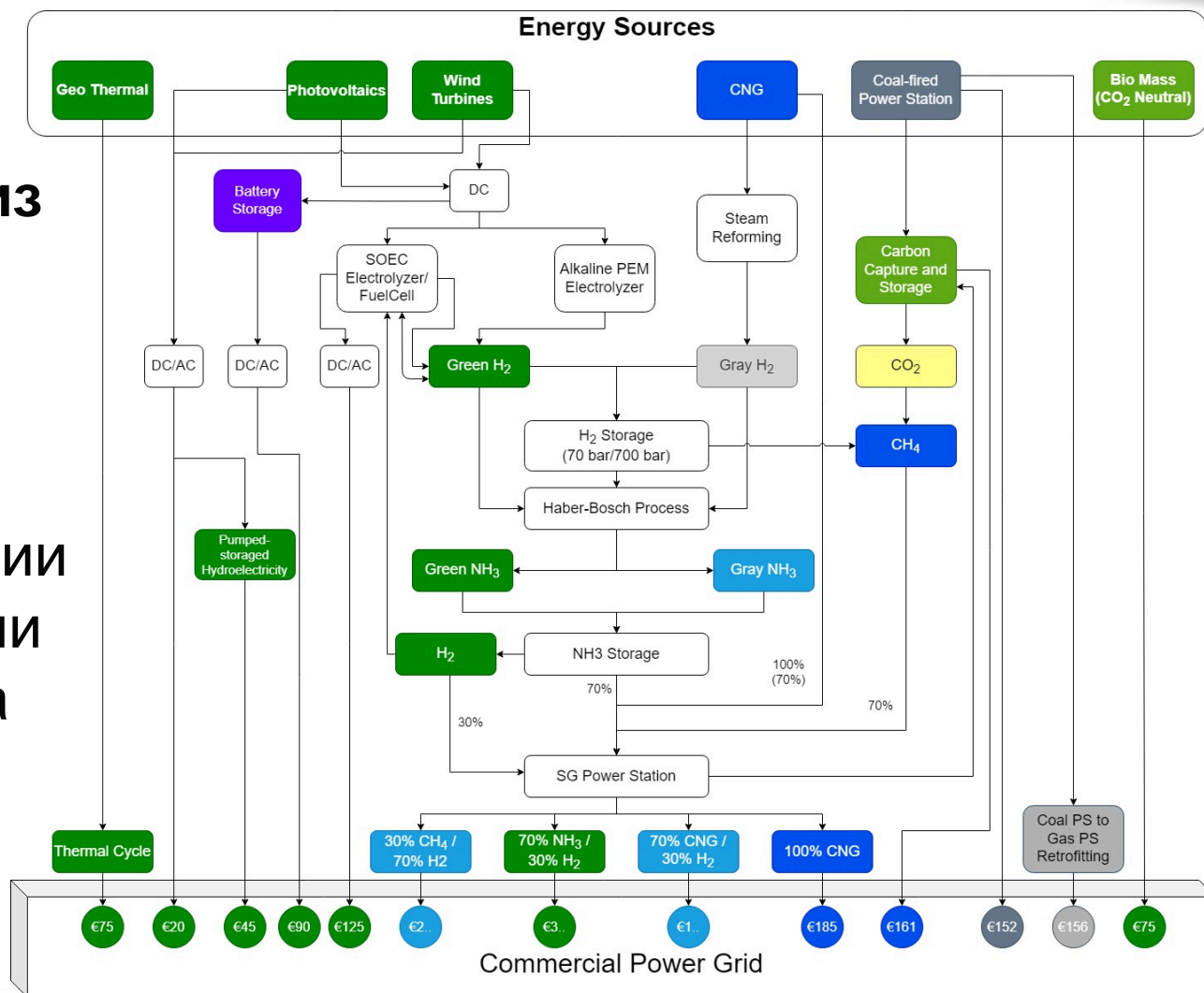
Възможности за Марица Изток (ЕКМИ) за трансформиране в „Територия на зелената енергия в региона“

ЕКМИ трябва да се запази като енергиен център с еволюция към нисковъглеродна и „зелена“ енергия :

- Съществуваща мощна енергопреносна и транспортна инфраструктура;
- Консолидирана територия (над 200 km²) с благоприятно слънчево греене, за изграждане на фотоволтаични мощности и подлежащи на рекултивация и добив на биомаса и др. култури;
- Възможности за масивен UPHES и съхранение на батерии на място;
- Местна геология на земните образувания, подходящи за съхранение на
 - ✓ улавяне и съхранение на CO₂;
 - ✓ съхранение на сгъстен водород;
 - ✓ **подземни резервоари за PHES;**
 - ✓ **съхранение на енергия от сгъстен въздух(CAES).**

Енергийни източници и енергийни цикли, приложими към условията на страната

Системен анализ
 на възможните
 Енергийни
 източници
 и
 Енергогенерирания
 цикли, приложими
 за условията на
 страната



Текущи приблизителни стойности на Енергийните източници и Енергогенериращи цикли за условията на страната

- Текуща цена на MWh от въглищна централа с 1180 нетни kg CO₂/MWh емисии – **152.3 €/MWh**;
- Текуща цена на MWh от преустроена въглищна централа на биомаса и **0 kg CO₂/MWh** емисии – **около 65 €/MWh**;
- Текуща цена на MWh от централа преустроена на метан с 56,5 % КПД и 356 kg CO₂/MWh емисии – **185,87 €/MWh**;
- Цена на MWh от въглищна централа + Улавяне и съхранение на CO₂ – **около 152 €/MWh**;
- Цена на MWh от въглищна централа + Улавяне и директна минерализация на CO₂ – **около 150 €/MWh**;
- Цена на MWh зелена енергия от фотоволтаици (PV) в ЕКМИ – **под 20€/MWh**;
- Цена на съхранение на зелена енергия в ПАВЕЦ – **под 45 €/MWh**;

Изчисленията са направени с цени - метан 160 лв/ MWh и квоти 89 €/тон CO₂



На база световния опит са селектирани доказани в практиката и директно приложими технологии с ниски и нулеви въглеродни емисии, съотнесими към условията на ЕКМИ и страната препоръчваме:

До достигане на технологична зрялост на технологиите с нулеви емисии **ПРЕПОРЪЧВАМЕ**, енергиен микс от наложени и икономически обосновани технологии с ниски емисии, които да осигурят необходимото време за прехода, като същевременно се предлагат технологични решения с дългосрочна перспектива за устойчиво „зелено“ развитие на енергодобива + краткосрочно съхранение на енергия в ПАВЕЦ – нов такъв в Горна Арда или алтернативно в региона на ЕКМИ .



Три са ключовите технологии, гарантиращи дългосрочна зелена перспектива, запазване на инвестициите, енергийна сигурност и независимост на страната:

1. Намаляване и/или неутрализация на емисиите CO₂ от ЕКМИ чрез:

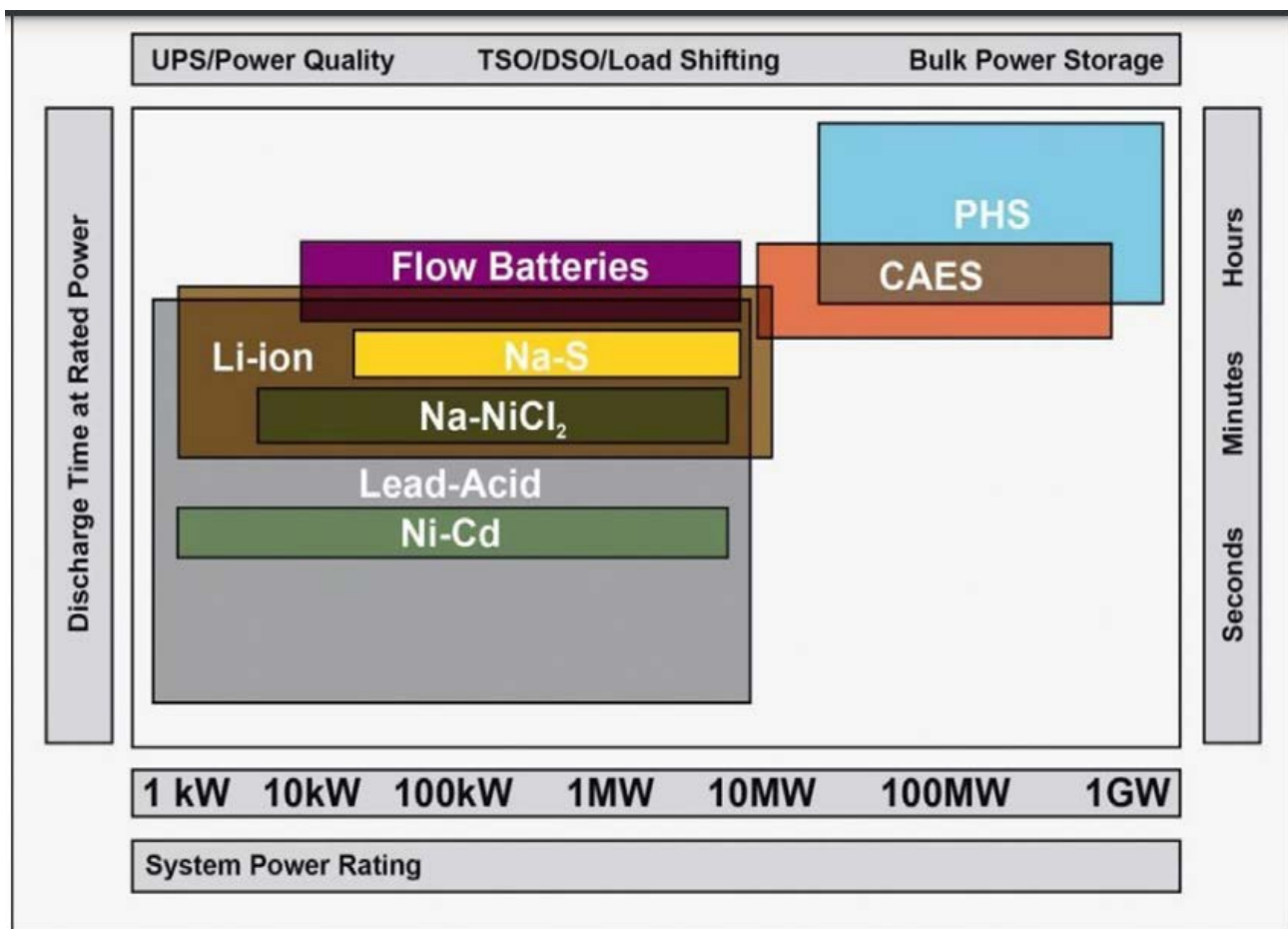
- Добавяне на високоефективни газови/парогазови модули;
- Улавяне на CO₂ и трайна трансформация във варовици;
- Опционално улавяне, геоложко съхранение и мониторинг на генерираните емисии CO₂.

2. Увеличаване на добива на зелена енергия от PV централи, основно на територията на ЕКМИ, покривни централи за локални цели, потопяеми ВЕЦ в р. Дунав и нови вятърни мощности (на сушата и офшорно);

3. Високоефективно съхранение на зелена енергия

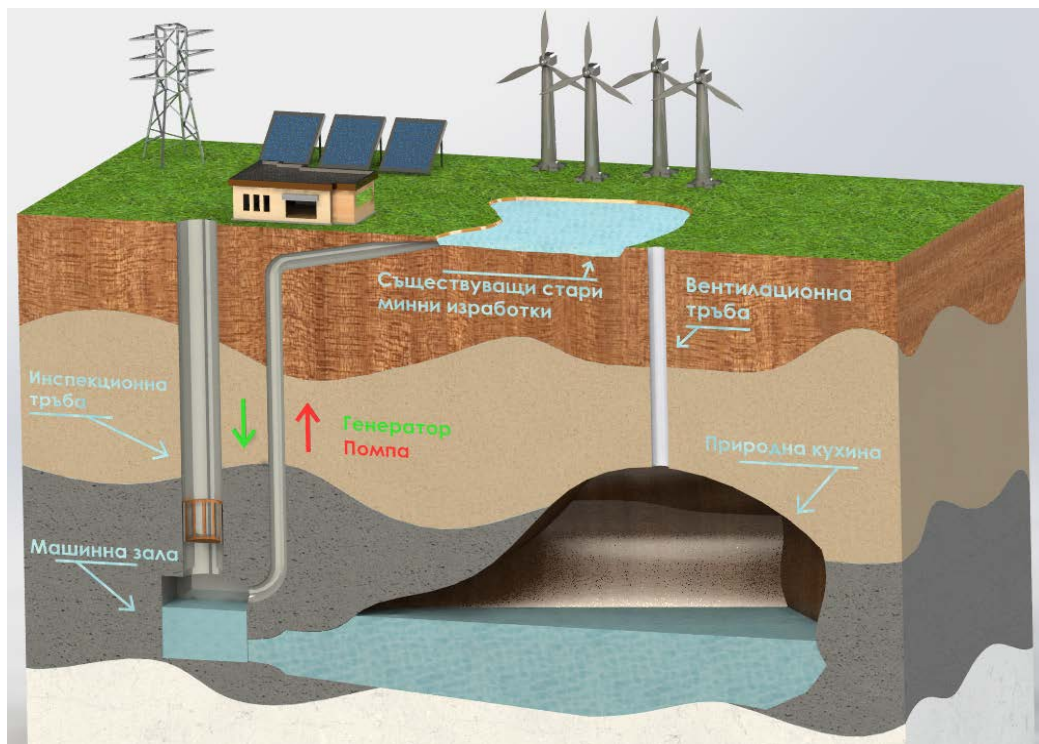
- Високоефективно краткосрочно съхранение на зелена енергия чрез ПАВЕЦ (вкл. Разширение на „Чаира“), съхранение на територията на ЕКМИ или нов капацитет – ПАВЕЦ „Горна Арда“;
- Високоефективно сезонно съхранение чрез Водород (вкл. съхранение на територията на ЕКМИ в каверни), чрез NH₃ или чрез Компресиран Въздух

Приложимо ефективно съхранение на зелена енергия - «Капацитет» към «Време»



Високоэффективно краткосрочно, съхранение на зелена енергия чрез подземен ПАВЕЦ

- Високоэффективно краткосрочно, съхранение на зелена енергия на територията на ЕКМИ чрез подземни ПАВЕЦ.
- За ПАВЕЦ с 1-1,5 GW с капацитет от около 12 GWh
- Оскъпяването е под 48 €/MWh



- CAPEX – 1800 €/kW, OPEX – 9€/MWh

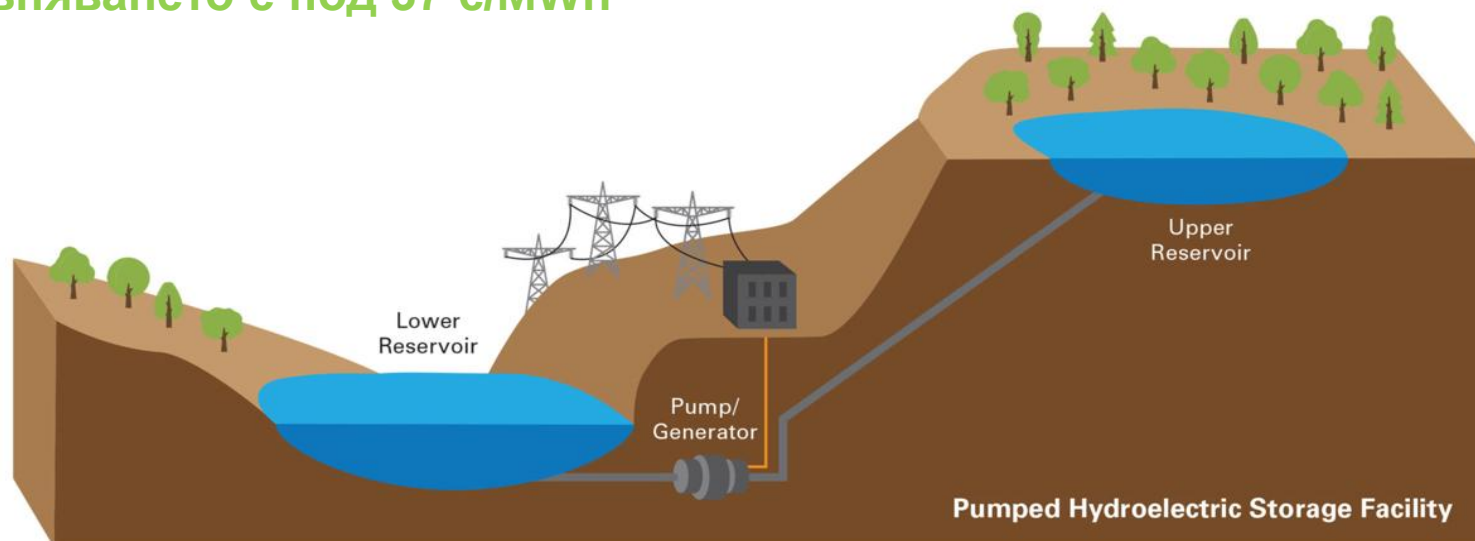
Високоэффективно краткосрочно съхранение на зелена енергия на територията на ЕКМИ

Основни параметри на пещерата Бенковски-Сърнево”.
(полезен капацитет около $60 \times 10^6 \text{ m}^3$)

№	Параметри	Мерна единица	Стойност						
1.	Абсолютна дълбочина от повърхността на земята	m	-875 / 1025						
2.	Размери на терена: LxB	km	3 x 3			5 x10			
3.	Терен	x10 ⁶ m ²	9.75			48.5			
4.	Обща дебелина на слоя	m	125						
5.	Средна дебелина на слоя	m	125						
6.	Общ обем	x10 ⁶ m ³	1219			6062			
7.	Ефективен обем	x10 ⁶ m ³	1219			6062			
8.	Обемен капацитет	%	2,5						
9.	Общ обем за употреба	x10 ⁶ m ³	30.48			151.6			
10.	Скорост на пълнене	%	80	60	40	80	60	40	
11.	Ефективен хидрообем	x10 ⁶ m ³	24.4	18.3	12.2	121. 3	90.9	60.6	
12.	Каверна ниско налягане на слоя	MPa	11.0						
13.	Каверна средна температура	°C	40						

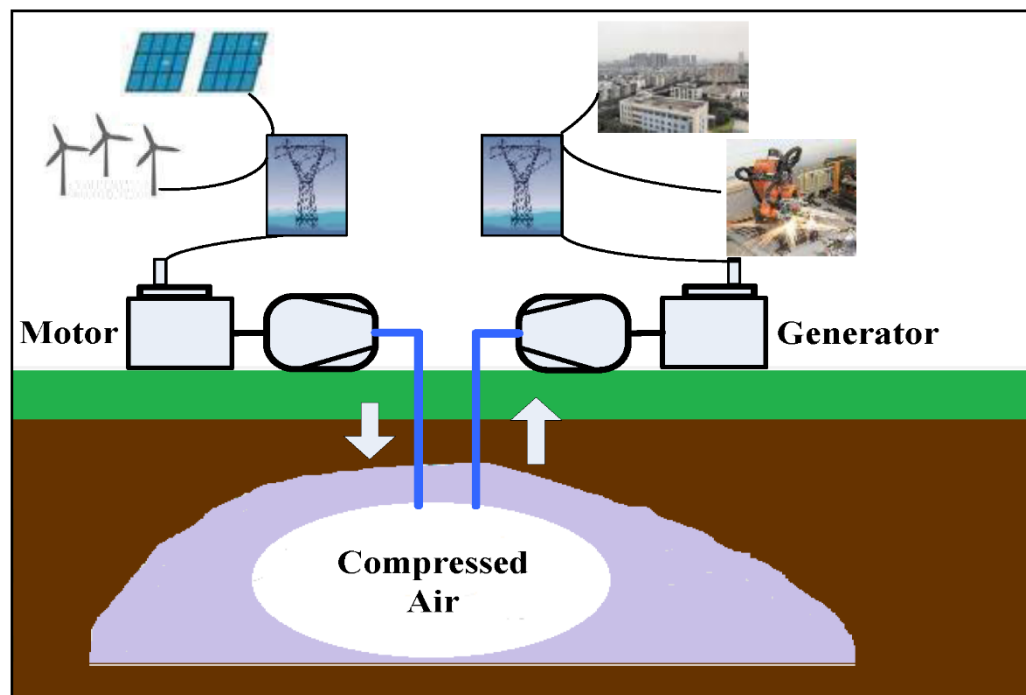
Високоэффективно краткосрочно, съхранение на зелена енергия чрез ПАВЕЦ – на примера „Горна Арда“ на пряко свързана с ЕКМИ чрез 400 KV

- Високоэффективно краткосрочно, съхранение на зелена енергия. - CAPEX – 1200€/kW, OPEX – 7€/MWh
- За ПАВЕЦ с 1-1,5 GW и капацитет от 12-18 GWh
- **Оскъпяването е под 37 €/MWh**



Сезонно съхранение на енергия със сгъстен въздух (CAES) на зелена енергия на територията на ЕКМИ

- Сезонно съхранение на енергия CAES в каверна
- 1,400 мил. m³, 140 bar на територията на ЕКМИ от CAES.
- Мощност 1.8 GW,
капацитет около 5 TWh
- Добавената цена за съхранение е по-малко от 45 € / MWh



- CAPEX – 1200€/kW, OPEX – 7€/MWh

Сезонно съхранение на зелена енергия под със сгъстен въздух (CAES) на територията на ЕКМИ

Основни параметри на каверна „Опан-Грудово“
(полезен капацитет около $1400 \times 10^6 \text{ m}^3$)

№	Параметри	Мерна единица	Стойност		
1.	Абсолютна дълбочина от повърхността на земята	m	-1700 / 2000		
2.	Размери на терена: LxB	km	6.6 x 17		
3.	Терен	x10 ⁶ m ²	113		
4.	Обща дебелина на слоя	m	700		
5.	Средна дебелина на слоя	m	175		
6.	Общ обем	x10 ⁶ m ³	79100		
7.	Ефективен обем	x10 ⁶ m ³	1219		
8.	Обемен капацитет	%	15		
9.	Общ обем за употреба	x10 ⁶ m ³	1483		
10.	Скорост на пълнене	%	60		40
11.	Ефективен хидрообем	x10 ⁶ m ³	1483		11860
12.	Каверна ниско налягане на слоя	MPa	19.5		
13.	Каверна средна температура	°C	60		

Очаквани индикативни стойности на енергийни източници и цикли на генериране на зелена енергия

- Индикативна цена на MWh от PV паркове (CAPEX 480€/kW) – **20 €/MWh**;
- Индикативна цена на един кг H₂ добит от PV чрез PEM електролизьори с 65% КПД (CAPEX 900 €/kW) – **3.3 €/kg**;
- Индикативна цена на един кг H₂ добит от PV чрез SOEC електролизьори с 82 % КПД (CAPEX 1200 €/kW) и – **2.8 €/kg**;
- Индикативна цена на MWh от PEM електролизьори с 65% КПД (CAPEX 900 €/kW) – **185 €/MWh**;
- Индикативна цена на MWh от SOEC електролизьори с 82% КПД (CAPEX 1200€/kW) – **150 €/MWh**;



Очаквани индикативни стойности за съхранение на зелена енергия

- Индикативна цена за краткосрочно съхранение на зелена енергия в литиево йонни (Li-Ion) в големи батерийни системи (4000 цикъла, CAPEX 480 €/kWh) - **оскъпяване с 174.7 €/MWh**;
- Индикативна цена за краткосрочно съхранение на зелена енергия в оловно кисели (Pb-Acid) големи батерийни системи (3000 цикъла, CAPEX 160 €/kWh) - **оскъпяване с около 133.28 €/MWh** ;
- Индикативна цена за краткосрочно съхранение на зелена енергия в ПАВЕЦ (120 000 цикъла, CAPEX около 1200 €/kWh) - **оскъпяване с около 37 €/MWh**;
- Индикативна цена за сезонно съхранение на H_2 в каверни в ЕКМИ при налягане 140 bar - **оскъпяване с около 56 €/MWh за 180 дни**;
- Индикативна цена за сезонно съхранение на CAES в каверни в ЕКМИ при налягане 140 bar - **оскъпяване с около 52 €/MWh за 180 дни.**



Основни експлоатационни и икономически параметри на **Li-Ion Tech**

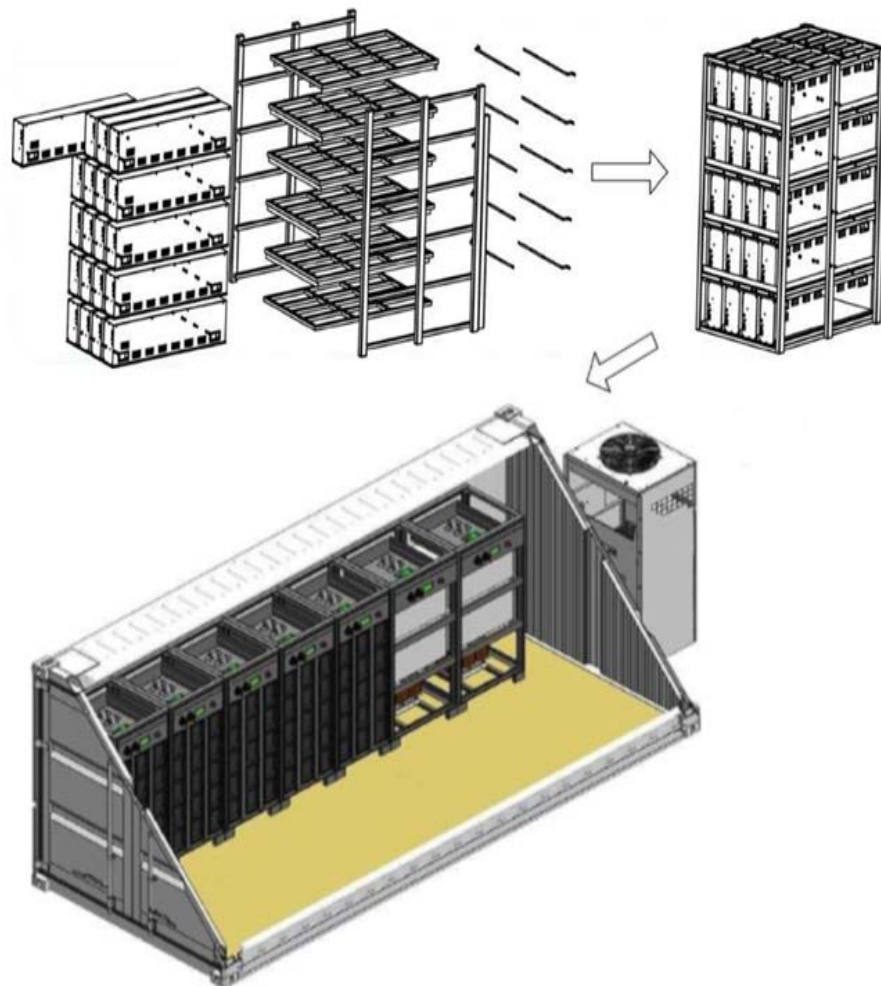
- **Предимствата на литиево-йонните батерии са:**
 - Висока обемна и гравиметрична енергийна плътност;
 - Разреждане до 80% от капацитета на батерията;
 - Възможност за зареждане и разреждане с големи токове;
 - Висок брой цикли - 3000-5000;
 - Ниско ниво на саморазряд.
- **Недостатъците на литиево-йонните батерии са:**
 - По-висока първоначална инвестиция;
 - Голямо търсене за използване в мобилни устройства;
 - Опасност от самозапалване;
 - Висока чувствителност при ниски температури;
 - Скъпо оборудване за зареждане;
 - Изискват чувствително управление на циклите на зареждане и разреждане;
 - Използване на редкоземни материали;
 - Дълъг срок за доставки;
 - Липса на технологии за рециклиране.

Основни експлоатационни и икономически параметри на **PbA Tech**

- **Предимствата на оловно-киселинните батерии са:**
 - Най-ниска инвестиция и по-ниски разходи за съхранение на енергия;
 - Напълно рециклируема технология – до 98%;
 - Произведен с местни (BG) суровини, добри утвърдени доставчици в България, което прави процеса предвидим и устойчив;
 - Инфраструктурата за зареждане е евтина и надеждна, не изисква специална електроника;
 - Широк температурен диапазон на работа - от -40°C до 38°C;
 - Добра ефективност в случай на често недозареждане;
 - Без редкоземни елементи, внесени от страни извън ЕС чрез дълги вериги за доставки;
 - Много узряла в практиката технология за производство и поддръжка.
- **Недостатъците на оловно-киселинните батерии:**
 - Ефективен при нива на разряд до 60% от капацитета на клетката;
 - При високи напрежения на зареждане може да предизвика "кипене" на киселина по време на екстремно зареждане;
 - Изисква вентилация или дренажна система;
 - По-високо ниво на саморазреждане сравнено с литиево йонните клетки.



Контейнерно решение за Оловно кисели Технологии



Заклучения

Възможен е хибриден подход за съставяне на технологии с плавен преход на ЕКМИ към нисковъглеродна и "зелена" енергия и максимално използване на местните енергийни ресурси, след:

- Въглища с енергийно ефективни цикли и улавяне/подземно съхранение на CO_2 ;
- Използване на биомаса;
- Производство на зелена енергия от фотоволтаични централи на територията на ЕКМИ - до 9 GWp;
- Краткосрочно съхранение на територията на ЕКМИ – подземни помпени водоелектрически централи 1,5 GW, 12 GWh или в ТЕЦ „Горна Арда” - 1,5 GW, мощност 12-18 GWh;
- Краткосрочно съхранение на зелена енергия в батерии (Li Xx, PbA).
- Технологии за сезонно съхранение CAES в пещера 1400 мил. m^3 (сгъстен въздух под налягане от 50-140 bar, енергиен капацитет около 5 TWh)
- Разработване на технологии за енергийни преобразувания От мощността към водород (PtH) и от мощност към амонак (PtA) и от водород към мощност (HtP) и от амонак към енергия (AtP). за сезонно съхранение;
- Технологии за **сезонно съхранение на водород** (компресиран водород с налягане 140 бара и енергийно съдържание 8 TWh - 240 хил. тона водород в обем 20 милиона m^3).

Композиционен модел на развитие на енергийната система за периода 2020-2050 г. в стойност

1. Инвестиционни разходи по видове енергийни източници

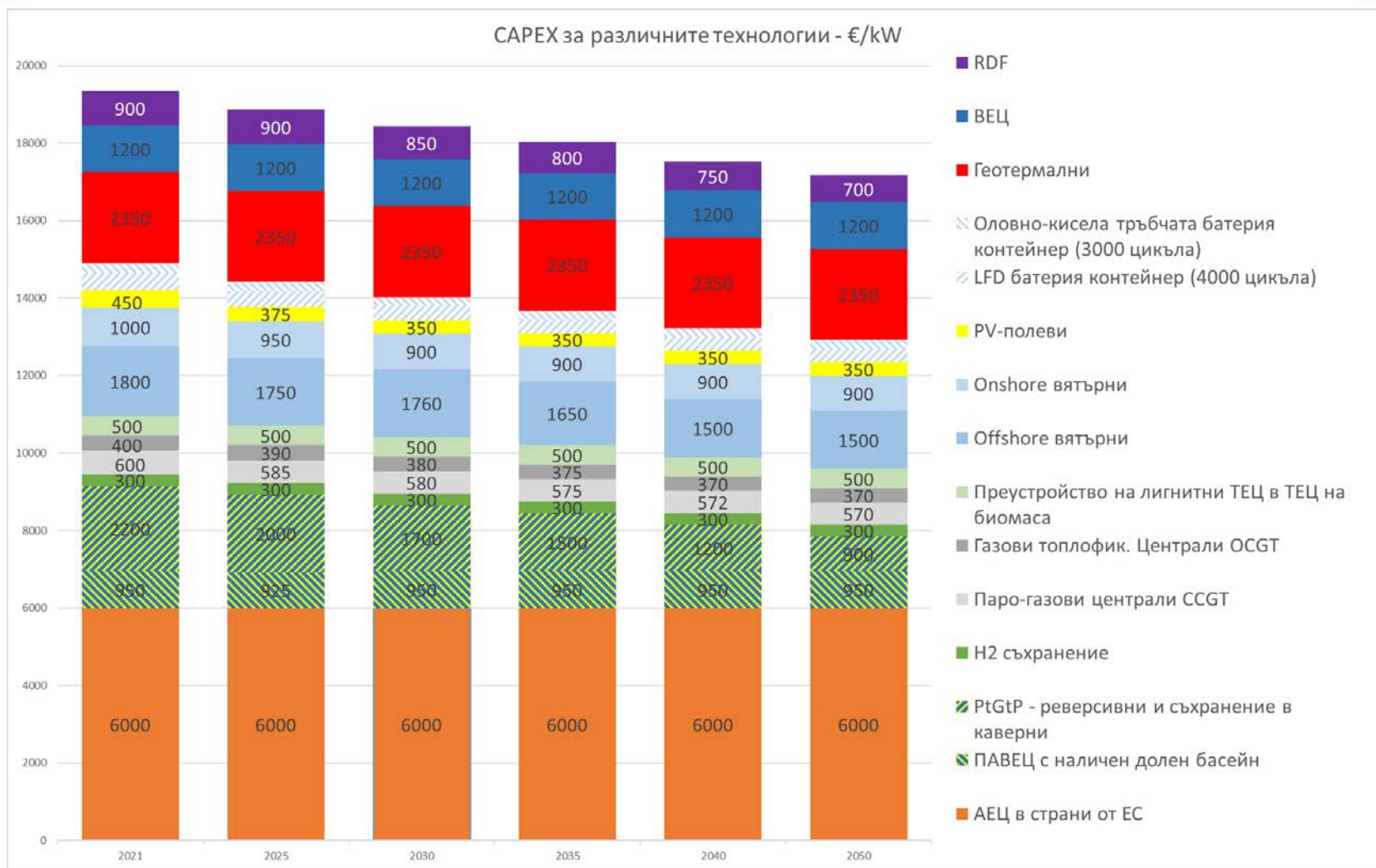
- Инвестиционните разходи по видове енергийни източници са представени графично на фигура 1.

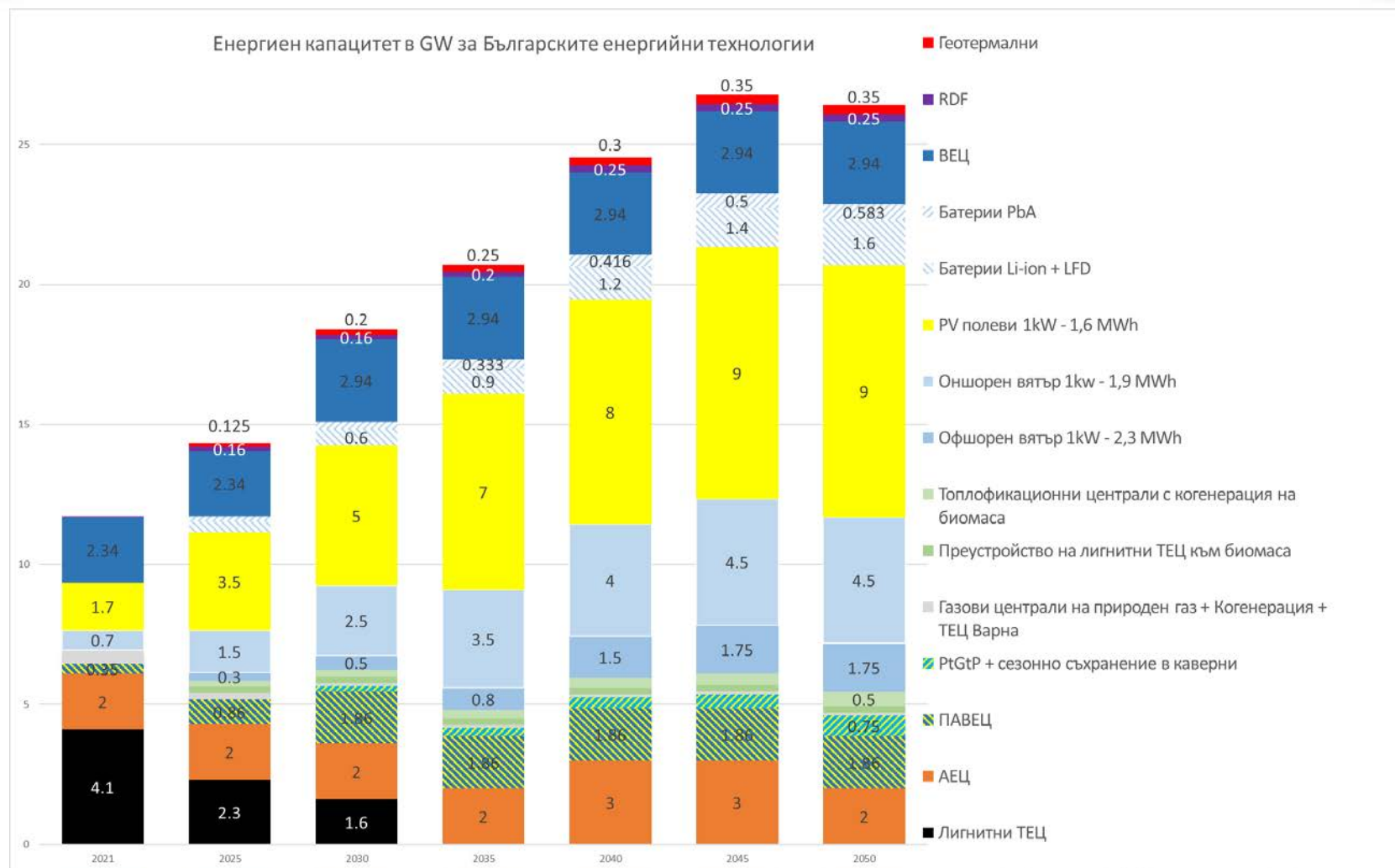
2. Енергиен капацитет в GW за енергийни технологии

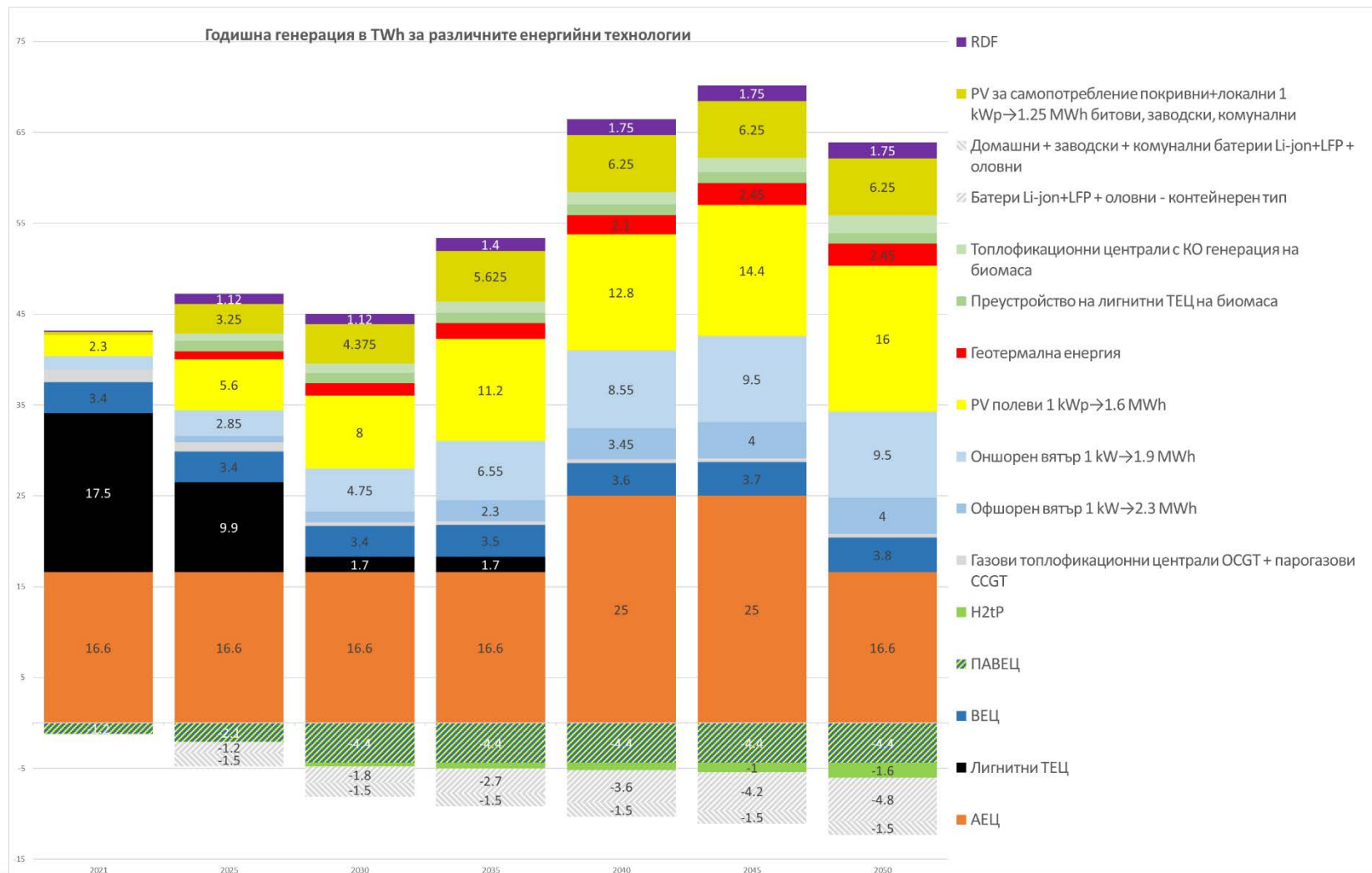
- Енергийният капацитет е представен графично на Фигура 2.
- Предвижда се инсталираната мощност на лигнитни ТЕЦ да бъде намалена с 1,5 GW до 2025 г. и с 1,9 GW до 2030 г. От 2030 г. два електроблока, работещи на лигнит с мощност 0,23 GW - общо 0,46 GW, ще се използва като резервиран капацитет). ТЕЦ с мощност 0,23 GW ще бъде преобразуван да работи на биомаса.

3. Годишно производство в TWh за различни енергийни технологии

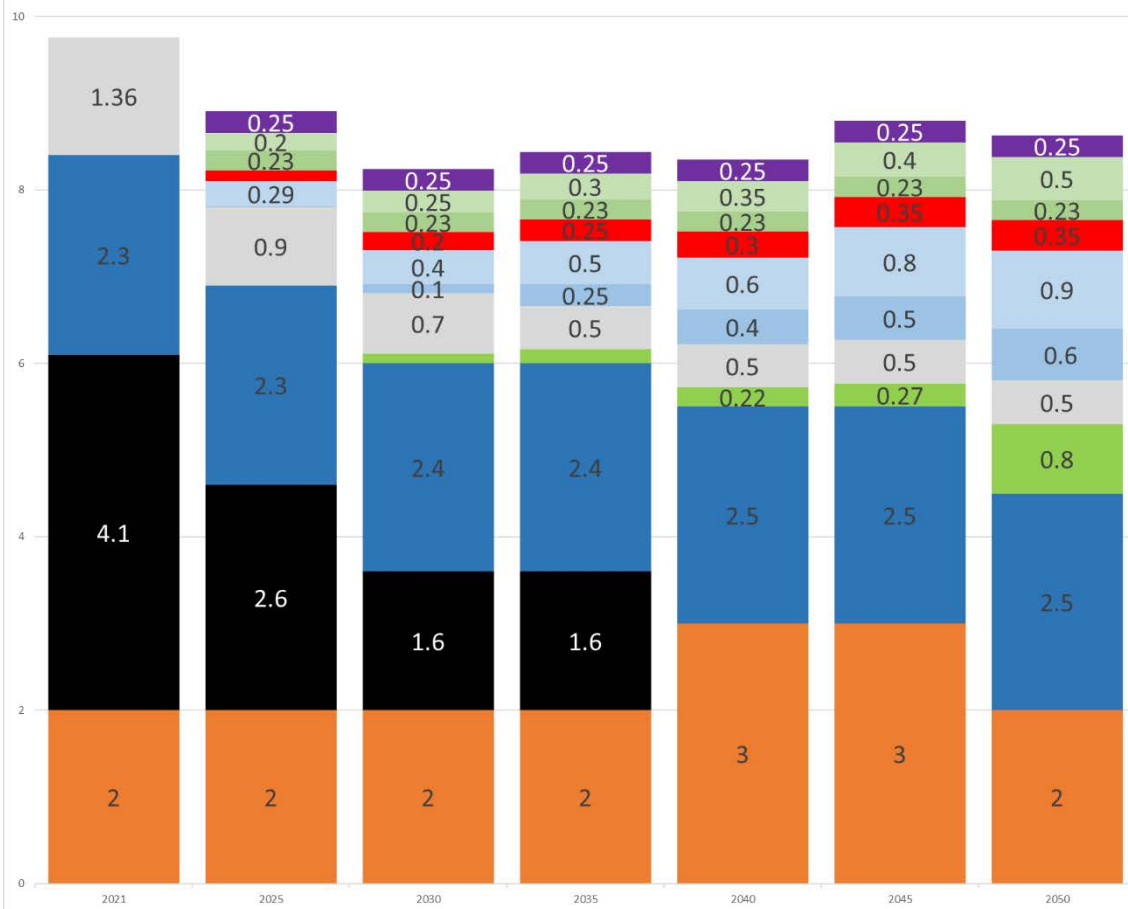
- Годишното производство е представено графично на Фигура 3.
- Генерацията от АЕЦ остава постоянна на 16,6 TWh/година, като след 2040 г. се пуска в експлоатация нов реактор и годишното производство достига 25 TWh. През 2045 г. ще бъде изведен от експлоатация реактор 5 на АЕЦ Козлодуй, като се въведе в експлоатация втори нов реактор. В периода след 2050 г. генерирането ще бъде приблизително 16,6 TWh.



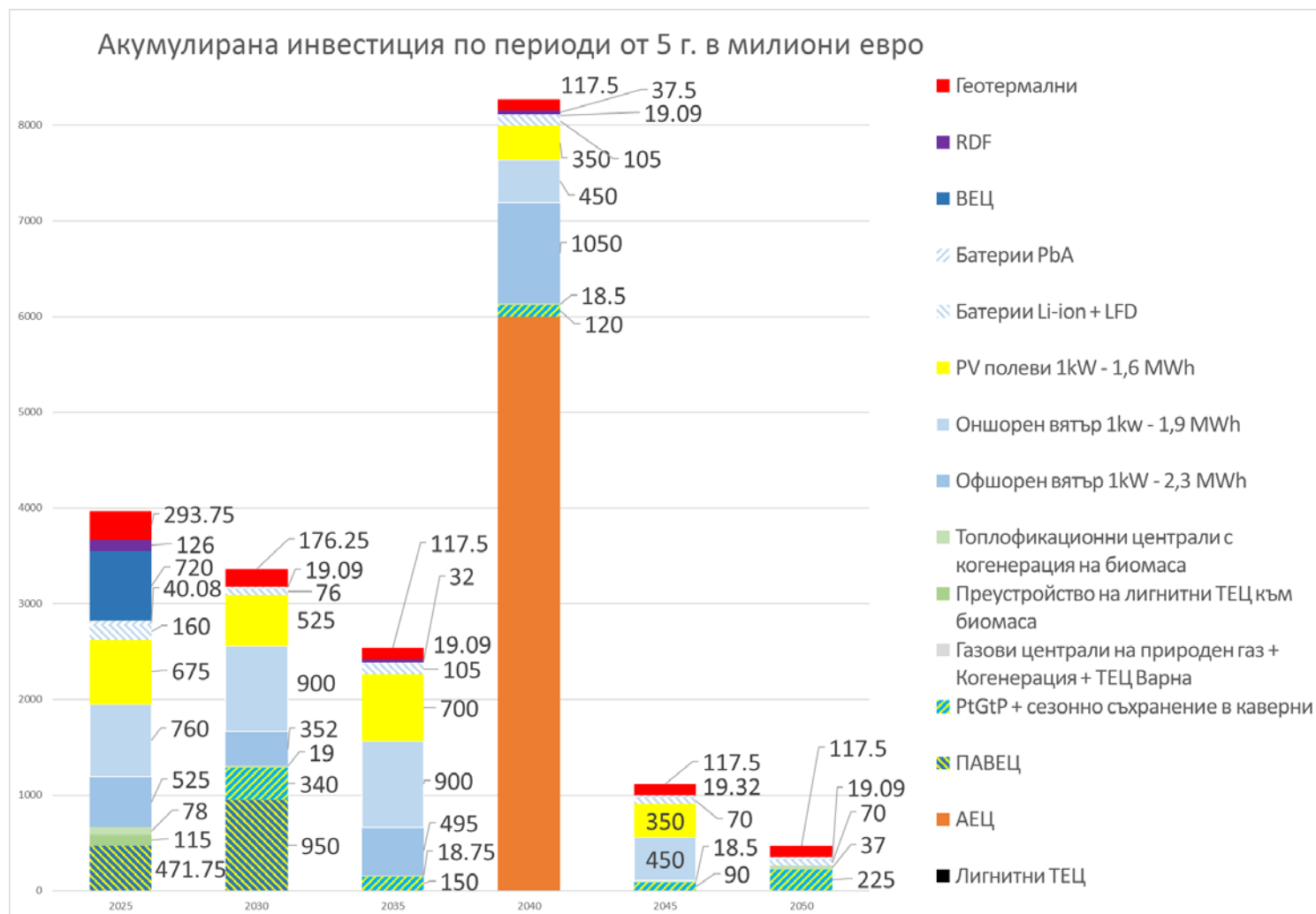




Устойчив капацитет в GW при екстремни метеор. Условия (януари 2017 и 25,26 януари 2022)

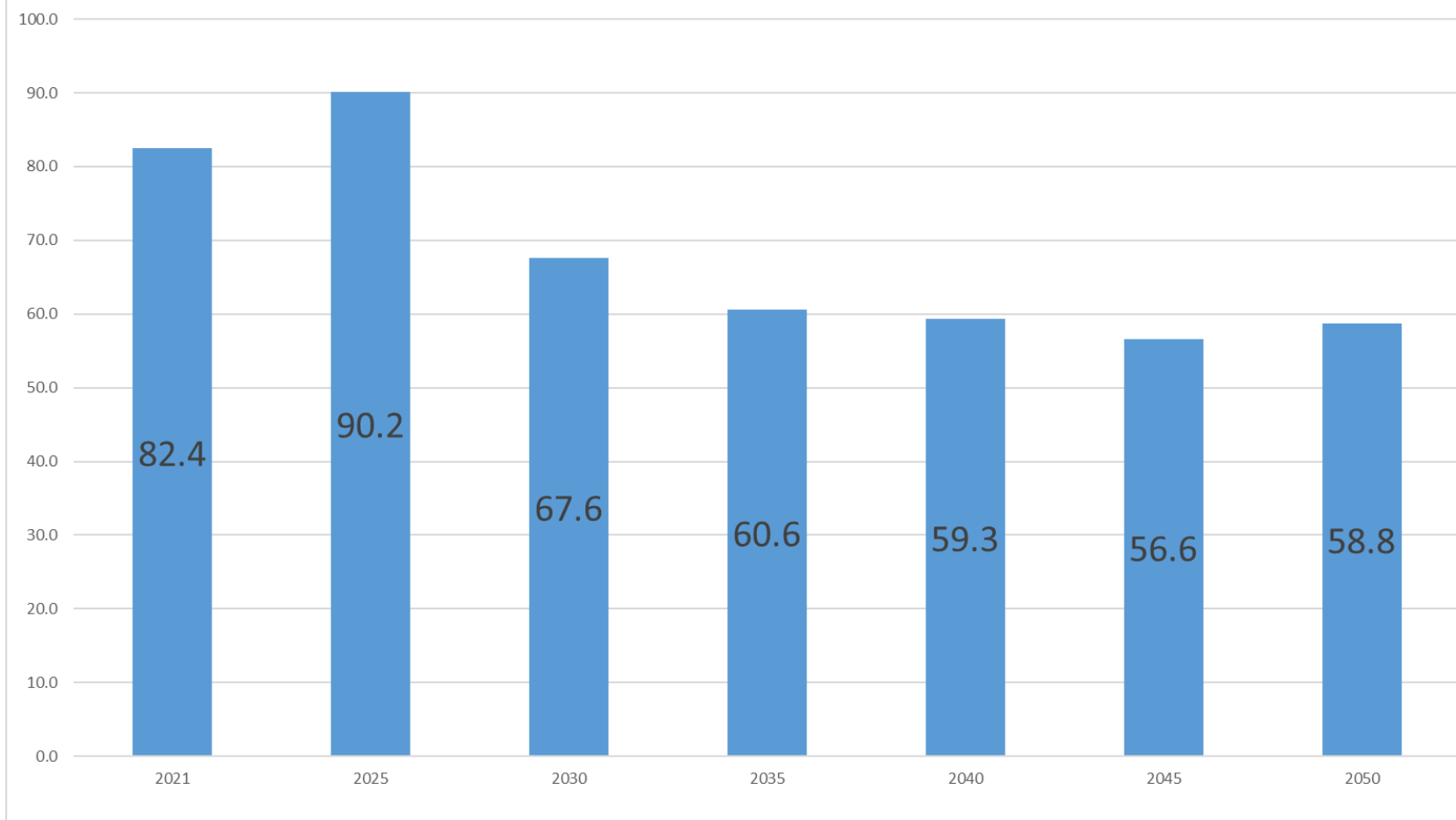


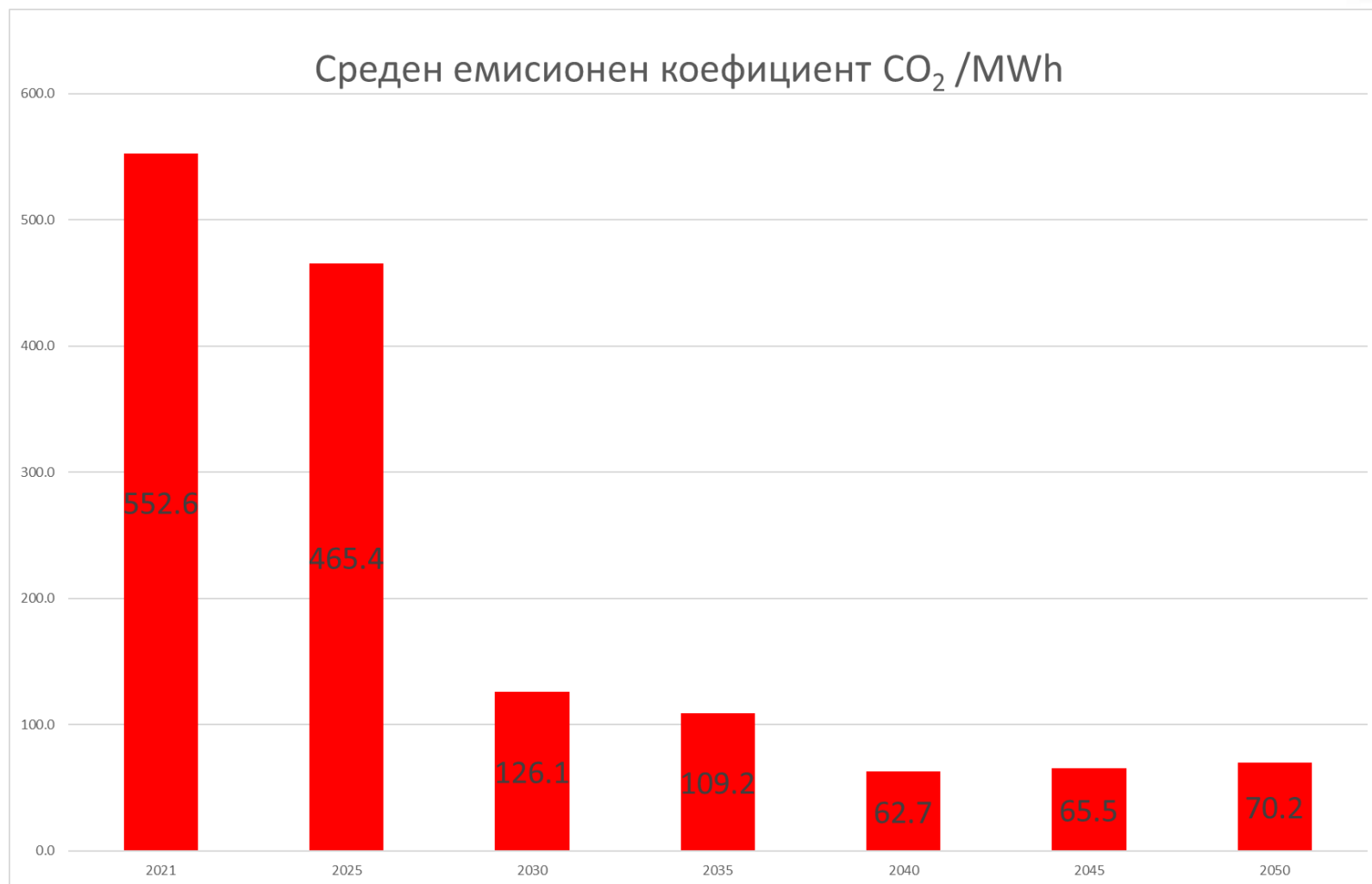
- RDF
- PV за самопотребление покривни+локални 1 kWp→1.25 MWh битови, заводски, комунални
- Домашни + заводски + комунални батерии Li-jon+LFP + оловни
- Батерии Li-jon+LFP + оловни - контейнерен тип
- Топлофикационни централи с КО генерация на биомаса
- Преустройство на лигнитни ТЕЦ на биомаса
- Геотермална енергия
- PV полета 1 kWp→1.6 MWh
- Оншорен вятър 1 kW→1.9 MWh
- Офшорен вятър 1 kW→2.3 MWh
- Газови топлофикационни централи CCGT + парогазови CCGT
- H2TP
- ПАВЕЦ
- БЕЦ
- Лигнитни ТЕЦ
- АЕЦ





Средна цена на енергийния микс по години, Евро/MWh







Благодаря!

