

# Системи за енергийно моделиране в сектор „Транспорт“

Владимир Зиновиев\*,  
Силвия Николова\*\*

**Резюме:** Проучването на моделите и системите за повишаване на енергийната ефективност в транспортния сектор и развитието до 2050-а година е от стратегическо значение за икономиката на България. В детайли се изследват ролята и влиянието на различните модели за електрозахранване, като в частност се разглежда ролята на системите за съхранение на енергия, както и тяхната еволюция в транспортния сектор.

Изследвани са модели и сценарии, които имат за цел да проучат въздействието от внедряването на системи за съхранение на енергия, както и приноса при интеграцията на променлива възобновяема енергия в електроенергийната система и оползотворяването ѝ за нуждите на електрическата мобилност. Използвани са подходи за моделиране на почасови транспортно-енергийни разходи на база пет сценария, които представляват възможни решения за осигуряване на необходимото енергоснабдяване в сектора в дългосрочна перспектива.

**Ключови думи:** ВЕИ, електрическа мобилност, съхранение на енергия.

**JEL:** O3, Q2.

## Въведение

Развитието на възобновяеми източници на електроенергия, основно фотоволтаична и вятърна, нараства значително в последните години, което се дължи на необходимостта от нови енергийни мощности, които да заменят тези на база фосилни горива. Този процес е обусловен от дългосрочната визия за декарбонизацията най-вече на секторите енергетика и транспорт. Успоредно с него, развитието на модерни технологии при производството на батерии води и до все по-интензивно внедряване на технологии за съхранение на енергия и предоставяне на иновативни мрежови услуги. Очаква се през текущото и следващото десетилетие съхранението на електроенергия да се превърне във важен фактор в общата електроенергийна система, достигайки повече от 25% от общия електроенергиен потенциал в България, региона и Европа. Внедряването на технологии за съхранение на електроенергия е и допълнително стимулирано от „стойността на енергията“ (изместване на периода на генериране-консумиране на енергийна мощност) и „стойността на капацитета“ (осигуряване на капацитет на електроенергия по време на нужда).

\* Владимир Зиновиев е доктор, доцент в катедра „Икономика на транспорта и енергетиката“ на УНСС.

\*\* Силвия Николова е докторант в катедра „Икономика на транспорта и енергетиката“ на УНСС.

При внедряването на тези технологии в транспортната енергийна система, съхранението на енергия може да осигури множество предимства, включително пренасочване на енергия, отпадане необходимостта от стартиране и спиране на конвенционални енергийни източници, предоставяне на спомагателни услуги, които биха допринесли за определяне на съответствието на ресурсите на системата, възможно отлагане на предаването или други надстройки на съществуващите мрежи (Denholm и гр., 2013) (Bistline и гр., 2021).

Съоръжението за съхранение отдава енергия, когато пазарната цена е по-висока, и се зарежда на по-ниска цена. С оглед продължаващото нарастване на дела на непостоянни източници на енергия към преносната и разпределителната мрежи, един добре планиран алгоритъм за запълване във времето на свръхгенериране и отдаване по време на дефицит може да бъде полезен за цялата система (Denholm и гр., 2015).

Друга полза от съхранението на енергия е нейната оптимална реализация, с което да се избегне използването на допълнителни балансиращи мощности с цел генерация. Чрез съхранението на енергия може да се осигури наличието на спомагателни източници и оперативни резерви, които да обезпечат капацитет на системата по време на пиково вечерно/сутрешно натоварване (Frazier и гр., 2020).

И въпреки това, моделите за планиране често не могат да вземат предвид подробни оперативни параметри или да обхванат напълно всички услуги, които могат да бъдат предоставяни при съхранението и отдаването на

електроенергия. Оперативният анализ изисква използването на множество модели с различни функции и времеви решения. Моделирането на производствените разходи е инструмент, който може да даде подробна информация за работата на електрическата мрежа, включително хипотетични бъдещи системи, които може да са силно променени в сравнение с настоящата система. С правилно моделиране, може да се отговори на въпроса как изглежда работата на една бъдеща система за съхранение? Как тази връзка между съхранение, потребление и генерация в транспортния сектор се променя според сезона, сценария и конфигурацията за съхранение? Какви показатели за електрическите превозни средства биха стимулирали този процес в положителна посока?

Сценариите се базират на очакването потенциалният капацитет за съхранение да се увеличи с повече от 20% през това десетилетие и с повече от 100% до 2050 г. (Frazier и гр., 2021). Тези сценарии изискват и подробно моделиране на производствените капацитети с цел наблюдаване на почасовите, ежедневните и годишните потребности, както и свързаната с това стойност на разходите за съхранение.

Изводът е, че енергийна система трябва да разполага с голям капацитет за съхранение с оглед голямо разнообразие от източници на генерации. От своя страна сценариите следва да проектират оперативна работа без загуба на капацитет за генерация и без сериозни пропуски при почасовото балансиране на натоварването.

При анализ на дневния баланс става видно, че операциите по съхранение са

силно свързани с наличието на фотоволтаици (PV), които имат по-предвидим ежедневен цикъл на включване и изключване, който обуславя и двупосочно съхранение – за зареждане и разреждане.

Въпреки, от друга страна, има по-трудно предвидим дневен цикъл и често има дълги периоди на свръхгенерация, продължаващи много часове или дни, което надхвърля наличния капацитет за съхранение.

Въпреки че съхранението може да играе ключова роля при използването на енергия както от слънце, така и от вятър, синергиите на системите за съхранение на електроенергия са по-достъпни при фотоволтаичната електрогенерация. На годишна база съхранението ефективно предоставя услуги за намаляване на пиковото натоварване в конфигурации и миксове от мрежи. Съхранението има нисък коефициент на годишен капацитет, който по своята същност е ограничен с оглед необходимостта от зареждане, но въпреки това показва силно адекватен принос към ресурсите на системата.

Съхранението също повишава ефективността на много видове активи на енергийната система. Така в бъдещите мрежови модели, съхранението ще намали емисиите на въглероден диоксид от електроенергийната система чрез използване на свръхгенерация от източници с нулеви въглеродни емисии – като вятър и слънце, и ще измести генерацията, базирана на въглища, природен газ или ядрени източници.

В допълнение, съхранението може да преустанови необходимостта от въвеждане на помощни мощности при пикови натоварвания, като по този начин допълнително се намалят вредните емисии,

които могат да засегнат хората с високо здраве и ниски доходи, особено тези, живеещи в близост до топлоелектрически централи. По този начин може и да се допринесе за постигане и стратегическия подход за справедлив преход на ЕК.

Въвеждането на технологии за съхранение и отдаване в електроенергийната мрежа също би оказало влияние върху работата на преносната инфраструктура. Оценката на влиянието на технологиите за съхранение е строго зависимо от подхода за тяхната реализация, като възможностите биха могли да се обобщят в три основни направления:

- A) Локализация на съоръжения за съхранение в рамките на централи за генерация на електроенергия.
- B) Локализация на съоръжения за съхранение по географски принцип, съобразен с дислокацията между източници и потребители на електроенергия.
- B) Локализация на съоръжение за съхранение, базирано по географски принцип, съобразен с почасовите потребности на специфични индустриални и битови потребители на електроенергия.

Вариант A) би оказал пряко влияние върху времето натоварване на преносните линии. Чрез изграждане на съоръжения за съхранение, локализиращи пряко до източниците, би могло да се постигне целодневен баланс на натоварване, което да не зависи от моментното количество генерирана мощност. С подобни технологии би могло да се въведе целодневен баланс на достъпната (генерирана) и необходимата (консумирана) електроенергия. Допълнително, при добра развита инфраструктура за пренос – предоставяща възможност за паралелизация на връзките източник-потребител – подобен подход

би спомогнал за цялостно намаление на претовареността на дадени линии – дори в пикови часови зони, независимо от конкретния вид локален източник на електроенергия (конвенционален или възобновяем).

Вариант Б) би оказал пряко влияние върху намаляването на натовареността на основни далекопроводи и би имал изключително висок принос върху намаляването на техногочините загуби в преносната мрежа. Разполагането на множество потенциални опорни генераторни точки в пространството на енергийна мрежа би намалило влиянието на разстоянието от големи генераторни центрове (АЕЦ, ТЕЦ). При подобно технологично развитие, електропреносната мрежа би придобила по-скоро MESH отколкото STAR структура на източник – потребител.

Вариант В) също така би спомогнал за баланса върху натовареността на електропреносната мрежа – но по различен способ спрямо другите варианти. Чрез разполагане на буфери за съхранение на електроенергия в близост до самите потребители – електропреносната мрежа ще бъде практически лишена от пикови явления на потребление, тъй като в тези периоди би се ползвала енергия, съхранена в периоди на липса на потребление. Пряката близост на съхранената електроенергия до самия консуматор (големи градове, индустриални центрове) би усреднило кривата на натовареността почти до права линия през денонощието, спазвайки презумпцията, че банките за съхранение са с достатъчен обем за поемане на минимум 24-часов потребителски обем на консумация.

Редно е да се спомене, че и при трите основни направления за локализация на инфраструктури за съхранение, тяхното присъствие би имало изключително благоприятно влияние върху уравновесяването на кривата на натоварването на електроенергийните мрежи – и времево, и количествено. Контролираното съхранение и отдаване на електроенергия би на практика означавало създаването на активно буфериране между генерация и потребление, които са в момента в пряка връзка и зависимост. Подобно буфериране би спомогнало и за по-оптималното цялостно потребление на електроенергия – с оглед връзката търсене-предлагане – но и в чисто технологичен аспект, включително:

- Значително намаляване на пусковите загуби, присъщи за конвенционалните източници в необходимите периоди на енергийно балансиране
- Значително намаляване на текущите балансиращи загуби, генерирани от ВЕЦ през нощните периоди поради тяхното ползване като балансиращи товари
- Значително увеличаване на ефективността на централи с възобновяеми източници на електроенергия – н.п. 24-часовата генерация от ВЕИ или удължената дневна генерация на соларни инсталации.

Горните констатации показват, че по-нататъшният анализ трябва да вземе предвид взаимодействието на съхранение и отдаване, когато активите се експлоатират заедно. Тема за допълнително изследване би било изследването на ролята на технологиите за съхранение на електроенергия

с по-голяма продължителност, не часове – а дни, седмици или месеци.

### Методология за оценка

Основната цел на това изследване е да се проучат бъдещите пътища за развитие на електроенергията и да се определят системите, в които се предвиждат значително и устойчиво внедряване на системи за съхранение на енергия. Ключово в този контекст е и развитието на концепцията за електрическа мобилност, включваща сериозен обхват от зарядна инфраструктура и обезпечаването ѝ с енергия от ВЕИ до електрически превозни средства. В основата на проучването е разбирането на начина, по който може да се развие преносната, разпределителната и генераторна система в голям мащаб с помощта на съхранението на енергия и подпомагане работата ѝ чрез електрическата мобилност. Целта на това моделиране е да се определят и оценят разходите и ползите от различните енергийни системи. Като се има предвид сложността на енергийната система, това не може да бъде постигнато с един-единствен модел на масовата система. За тази цел ние използваме два модела на система, които в комбинация (1) определят пътищата за инвестиции с най-малки разходи и (2) симулират подробно работата на прогнозираните бъдещи системи.

На първия етап от анализа използваме модел за разширяване на капацитета, по този начин се идентифицира наборът от инвестиции в активи за пренос и генериране, с най-ниска цена при различни промени в технологичните разходи и производителността. Регионалното генериране на мощност се използва за

планиране на енергийната система, посредством анализ на различните инвестиционни възможности. То е събирателно с най-различни ограничения и двигатели на промяната, както и инвестиции в енергийния сектор, включително цени на технологиите и горивата, политики и разпоредби, производителност и ограничения на технологиите, доставки на гориво, ограничения и промени във формата на товара и общото търсене.

Този анализ се основава на няколко сценария, генерирани от модела за разширяване на капацитета. Моделът е базиран основно върху взаимодействието между вида бъдещи източници и тяхната свързаност с агрегирани преносни коридори, като целта е да се извърши евтина системна оптимизация на остарялата електроенергийна система чрез инвестиции в мощности за производство, пренос и съхранение до 2050 г. Тези сценарии са взимани от трудовете, предоставени от (Brown и др., 2020) (Frazier и др., 2021), като техните емпирични данни са пренесени към реалността на електроенергийна система в страната и нейното развитие през следващите три десетилетия.

Моделът оптимизира инвестициите в електроенергийната система, включително работата на електроенергийната система във всяка стъпка с ограничена времева резолюция.

**Референтен сценарий (Ref):** Този сценарий следва всички референтни допускания за разходите и технологичното развитие до 2050 г.

**Сценарий за евтини батерии (Low-Cost Batt):** Този сценарий приема най-ниската цена за батерии (Augustine, Blair и др., 2021).

**Сценарий за евтина фотоволтаична енергия (Low-Cost PV):** Този сценарий възприема траекторията с най-ниски разходи за фотоволтаици (PV) (NREL 2020).

**Сценарий с висока цена на природния газ и ниска цена на батериите (High NG Cost/Low-Cost Batt):** Този сценарий приема траекторията на високи разходи за гориво от природен газ (EIA 2019) и технологии за батерии (Augustine, Blair и гр., 2021).

**Сценарий – Нулеви въглеродни емисии:** Този сценарий отразява сценария с нулева въглеродна енергия от възобновяеми енергийни източници, в които се разглеждат технологиите за съхранение (в мегавати) в сравнение с четирите сценария по-горе.

На фигура 1 са показани капацитетът и годишното производство, разпределени по видове генератори за всеки от петте сценария за периода 2020-2050 г. за конкретната енергийна система в САЩ. Близки, с разлики в дала основно на ядрената енергетика, са и показателите за ЕС. Всички сценарии показват увеличение на фотоволтаиците, вятъра и капацитета за съхранение, което се дължи до голяма степен на намаляващите технологични разходи за тези три ресурса.

Тези източници заместват производството на електроенергия от ядрени и въглищни източници, а в някои случаи и от газ. Изместването на производството и капацитета на газ е най-очевидно в сценария „Висока цена на природния газ/ниска цена на батерии“, който използва висока траектория на цената на природния газ, както и в сценария „Нулеви въглеродни емисии“, който изисква замяна

на цялото производство на енергия от въглища и природен газ до края на 2050 г.

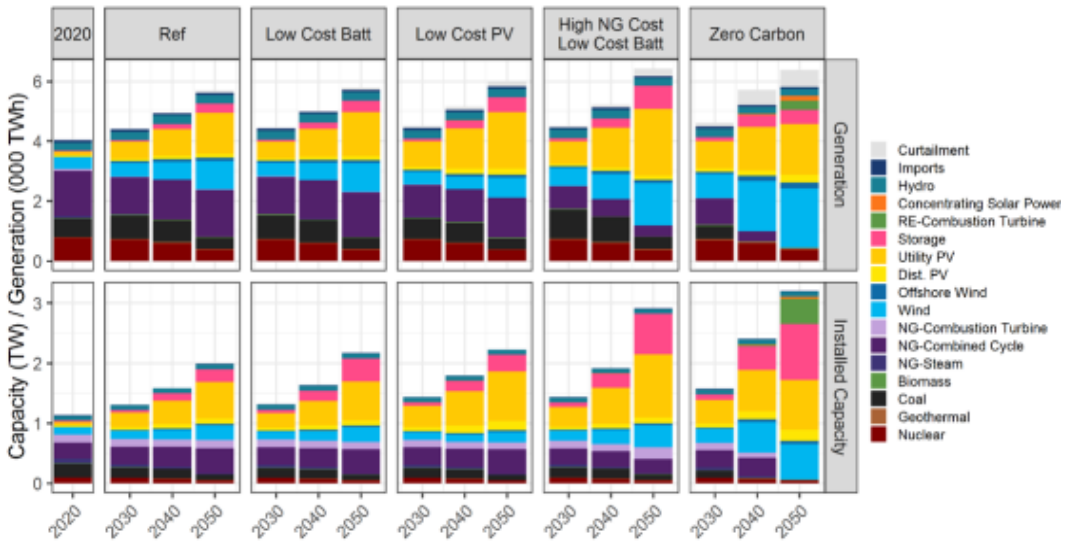
Другите три сценария (Ref, Low-Cost Batt и Low-Cost PV) следват осреднен сценарий за цената на природния газ, което води до запазване на значително производство и капацитет на природен газ до 2050 г.

Фигура 1 показва очакванията за инсталирания капацитет за съхранение, разпределен по тип технология за същите години и сценарии. През 2020 г. почти цялото съхранение е от съществуваща помпено-акмулираща водноелектрическа енергия. До 2030 г. виждаме драстично увеличение на внедряването на акумулаторни системи за съхранение с по-ниска продължителност на работа (2- и 4-часови конфигурации на батерии), тъй като се предполага, че те имат най-ниска цена предвид по-малкия им енергиен капацитет.

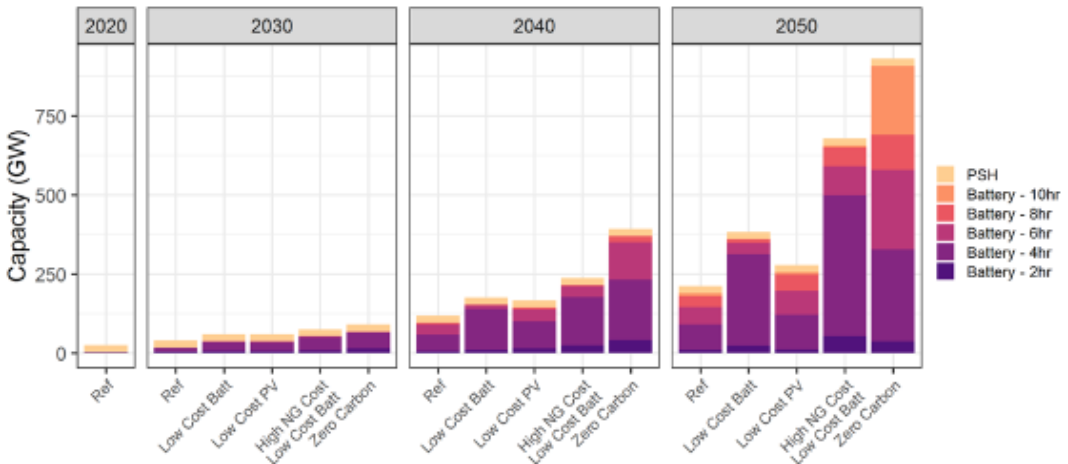
В 2040 г. 4-часовите батерии продължават да доминират, но започва да се наблюдава внедряване на технологии за 6-часови батерии. До 2050 г. 4-часовите батерии все още са най-доминиращата технология за съхранение на енергия във всички сценарии, но някои сценарии (особено сценарият с нулеви въглеродни емисии) показват внедряване на по-дълъг период на работа батерии, като например 8- и 10-часови батерии.

Батериите с по-дълъг срок на експлоатация стават по-конкурентни по отношение на разходите през следващите години в резултат на спада на цените. При сценария с нулеви емисии на въглероден диоксид батериите с по-дълъг срок на експлоатация са по-ценни и поради способността им да прехвърлят енергия





Фигура 1. Общо производство и микс от мощности в петте оценявани сценария (Frazier et al., 2021; U.S. Department of Energy, 2021)



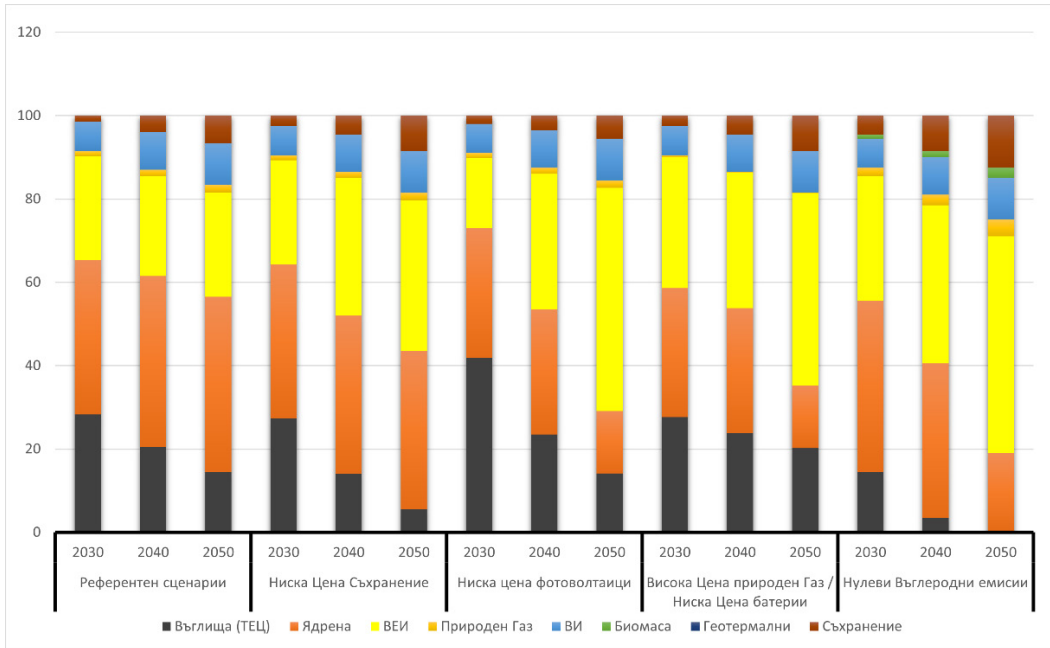
Фигура 2. Капацитет за съхранение по вид технология във времето, разгледани в пет сценария (Frazier et al., 2021)

за по-дълги периоди и да осигуряват по-висок капацитет (фигура 2).

Важно е да се направи анализ и да се даде оценка на развитието на конкретните сценарии с оглед на текущата ситуация в България. Фигура 3 представя обобщен изглед върху петте сценария,

конкретно развити спрямо текущата енергийна инфраструктура на страната.

Основен фокус при този анализ е фактът, че конвенционалните източници на електроенергия в България (съгласно Бюлетин за състоянието и развитието на енергетиката на Р.



Фигура 3. Общо производство и микс от мощности в петте сценария за България (разработена от автора)

България – издадено от Министерство на икономиката през 2017 г. – [https://www.me.government.bg/files/useruploads/files/buletin\\_energy\\_2017.pdf](https://www.me.government.bg/files/useruploads/files/buletin_energy_2017.pdf)) представляват към момента над 84% от общия енергиен микс на страната. Ролята на ТЕЦ е основна и представлява над 50% от общата генерация на енергия – като това се очаква рязко да бъде променено през следващите десетилетия, с основно преминаване към ВЕИ и усилване на дела на ядрените мощности (фигура 4).

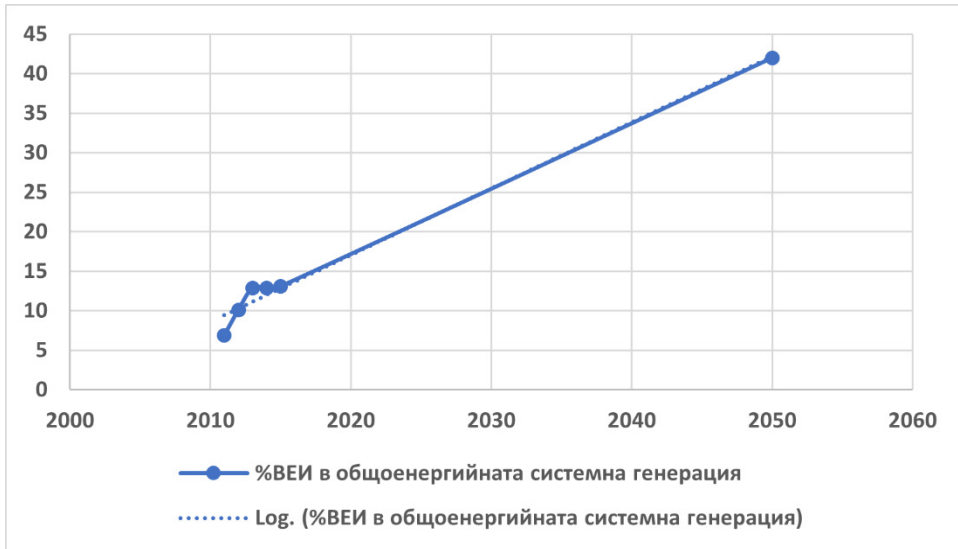
### Ролята на съхранението на енергия в годишните операции

По своята същност съхранението на енергия се различава от повечето генератори в електроенергийната система, тъй като технически не е производствен

ресурс. За да осигури енергия на системата, той първо трябва да консумира енергия, за да я съхрани, като преобразуването води до загуба на ефективност. Важно място в този процес играе и все по-сериозното навлизане на електрическата мобилност. Поради изискването за зареждане и свързаните с това загуби на ефективност на съхранението, коефициентът на капацитет на съхранението е изначално ограничен.

- Ресурс за смяна на енергията: Съхранението с дневен цикъл извършва енергиен арбитраж, особено при нарастващи количества евтини ресурси за зареждане, като например фотоволтаични системи. И тъй като цените на батериите намаляват, все повече възможности за смяна на енергията стават икономически изгодни.





**Фигура 4.** Процентно разпределение на ВЕИ в общоенергийната системна генерация за България (разработена от автора)

- Ресурс на капацитета: Съхранението на енергия е надежен ресурс, който помага за посрещане на пиковите периоди на потребление и търсене. Коефициентът на капацитет леко се увеличава с времето в някои сценарии (Ref и Low-Cost PV), като в резултат от (1) относително увеличаване на внедряването на батерии с по-дълъг живот, които могат да се разреждат за по-дълго време, което дава и по-висок среден фактор на капацитета, както и (2) по-голямо разгръщане на ресурси с нулеви пределни разходи (PV и вятър).

В другите случаи (Low-Cost Batt и High NG Cost/Low-Cost Batt) коефициентът на средния капацитет за съхранение спада след 2030 г. Въпреки (в някои случаи) увеличеното внедряване на батерии с по-дълъг живот; това се случва в сценариите, които имат предположения за ниска цена на батерията, тъй като батериите с

по-ниска цена могат да бъдат икономични дори и с по-малко възможности.

В тези четири сценария тенденциите на коефициента на капацитет се определят до голяма степен от ролята на съхранението – като устройство за прехвърляне на енергия. Петият сценарий (нулеви въглеродни емисии) показва коефициентите на годишен капацитет, които са най-ниски до 2050 г. При този сценарий в края на 2050 г. има почти 200 дни с ограничаване на потреблението през всичките 24 часа, в сравнение с около само 55 дни при сценария „Високи разходи за природен газ/ниски разходи за батерии“. Като се има предвид значителното денонощно ограничаване в сценария с нулеви въглеродни емисии, съхранението има по-ниска функционалност на дневна база, което намалява средния фактор на капацитета. В този случай съхранението изпълнява предимно вторична роля на – като ресурс за капацитет – погодно

на пикова газова централа, която рядко работи. Разбира се, в този случай съхранението все още изпълнява първостепенна роля (пренасочване на енергия). Възможностите за баланс при нулевите въглеродни емисии, въпреки че се срещат по-рядко, са изгодни, тъй като съхранението се зарежда при свръхпроизводство с нулеви пределни разходи и измества скъпото производство чрез турбини за изгаряне на енергия от възобновяеми източници (чиито пределни разходи са около 200 USD/MWh).

### Ролята на съхранението на енергия при почасови и сезонни операции

Така бързото внедряване на фотоволтаични и вятърни технологии има важна роля в променящия се пейзаж на технологиите за генериране на енергия. През 2020 г. се наблюдава характерна крива на натоварване, която обикновено е най-ниска през нощта и най-висока в ранната вечер през лятото. До 2030 г. значителното внедряване на фотоволтаични системи ще промени формата на кривата на нетното натоварване, като намали нетното натоварване в средата на деня и измести вечерния пик по-късно през деня, след като слънцето е залязло (Paul Denholm et al., 2015). При всички сезони се наблюдава вторичен сутрешен пик, който настъпва точно преди изгрев слънце. Тези характеристики ще се запазят и засилват и през 2040 г. и 2050 г., тъй като приносът на PV прогължава да нараства съответно до 20% и 23%. В този контекст е изключително важно и задълбоченото проучване на ролята, която електрическата мобилност и посредством нея сектор транспорт могат да

окажат в дългосрочното моделиране на електроенергийния пазар в България.

### Резултати

Тъй като нетното натоварване се променя през годините, съответно и работата на хранилището също се променя (фигура 5). До 2020 г. съхранението се зарежда предимно през нощта, което съответства на най-ниските нива на нетния товар и следователно на най-ниските пределни производствени разходи.

През всички сезони до 2020 г. хранилището се разтоварва предимно следобед и в ранната вечер по време на пиковия нетен товар. До 2030 г. обаче съхранението ще се преориентира към почти пълно зареждане в средата на деня, за да съответства на генерирането на фотоволтаичните централи. Съхранението се разтоварва вечер, но често малко по-късно вечер в сравнение с 2030 г., тъй като слънчевата енергия измества пика по-късно през деня. Започва да се наблюдава и известно производство по време на сутрешния пик. Същият модел се запазва и се засилва през 2040 г. и 2050 г., като съоръжението за съхранение се зарежда в средата на деня и се разрежда преди включването на слънчевата енергия и след като слънцето залезе за деня.

Трябва също да се отбележи, че до 2030 г. използването на хранилищата е най-ниско през летните месеци. Нетното натоварване в средата на деня е високо поради по-високото общо търсене, обусловено от допълнителните товари за охлаждане. Тези товари в средата на деня и следобеда до голяма степен съпадат с наличието на слънчева енергия, което води до по-ниско свръхпроизводство за зареждане на съоръжението за

зареждане и отдаване. Необходима е и по-малка нужда от генериране на енергия за съхранение в сутрешните часове в сравнение със зимния период, като почти цялото разреждане на хранилището се случва по време на вечерния пик.

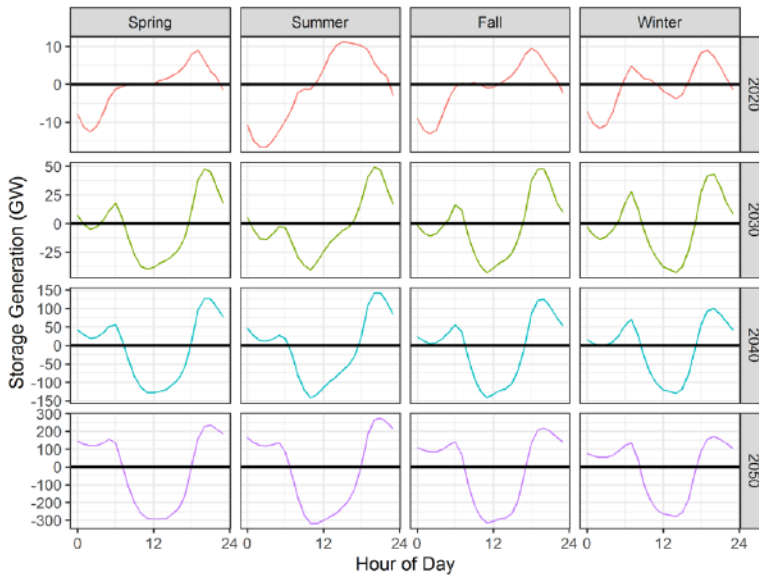
Като цяло дневните профили на работата показват, че работата на хранилището е тясно обвързана с наличността на фотоволтаици и в по-малка степен с производството на вятърна енергия. Това заключение остава при различните сценарии, комбинации от ресурси и сезони. Фотоволтаиците имат предвидими дневни цикли на включване и изключване, които са добре съгласувани с необходимостта от зареждане и разреждане на хранилището. Вятърът, от друга страна, има по-малко очевиден дневен цикъл и често се сблъсква с дълги периоди на свръхпроизводство, за часове или дни,

много по-дълги от продължителността на съхранението, което разглеждаме тук.

### Обсъждане

Масовото съхранение на енергия може не само да увеличи използването на свръхгенерация от променливи технологии, но също така и да увеличи ефективността им.

Избегнатите пускове намаляват общите разходи за осигуряване на енергия в микса и могат да окажат също и значително въздействие върху общите емисии от енергийния сектор (Cochran and Denholm, 2021). Това твърдение е пряко свързано с технологията на източниците, използвани за баланс в енергийната система. Такива източници – и в международната, и в конкретно Българската енергийна система са най-вече



**Фигура 5.** Среден дневен профил на генериране на енергия от хранилището за 2020, 2030, 2040 и 2050 г. при сценарий „Висока цена на природния газ/ниска цена на батерии“ (Jennie Jorgenson, A. Will Frazier, Paul Denholm, and Nate Blair (2022). *Grid Operational Impacts of Widespread Storage Deployment*)

източници, базирани на конвенционални енергийни източници (въглища, ТЕЦ), или най-общо казано източници, използващи ресурси, съхраняващи енергия потенциално, които могат да бъдат активирани при технологично поискване, без конкретно природно влияние (слънце, вятър и т.н.). И ако с добавени технологии за контрол на емисиите към генератори на електронергия от конвенционални източници могат значително да се намалят емисиите на прахови и други частици по време на нормална експлоатация, то много по-трудно е да се намалят емисиите, свързани с краткосрочното пускане на подобни източници. Тази характеристика е пряко свързана с работните режими и методите за обработка на твърди частици в съвременните електроцентрали, базирани на въглища, където достигането на работни и температурни режими за пречистване е пряко свързано с продължителността на работата и на процесите.

Намаляването на стартирането на генератори е един от начините за трайно намаляване на емисиите, свързани с вредни за здравето на човека въздействия, като например тези, причинени от азотни оксиди и серен диоксид. Причината за това твърдение се крие в основните технологични методи, използвани за пречистване и пурификация на отделените замърсители в топлоелектроцентралите, базирани на въглища, където стабилизацията на процесите на пречистване се постига с температурни режими в пълно работно натоварване. Подобни режими трудно се постигат при постоянни включения и изключения за пикови периоди на натоварване – които

могат да са в рамките на няколко часа в генерирането.

Друг сериозен замърсител е въглеродният диоксид (CO<sub>2</sub>). Съхранението също може да има измеримо въздействие върху емисиите на CO<sub>2</sub> в енергийния сектор. И при двата сценария емисиите на CO<sub>2</sub> намаляват с нарастване на съхранението, поради намаленото свръхпроизводство от източници на производство с нулеви въглеродни емисии.

Като цяло, тези колебания показват важната роля, която съхранението може да играе в бъдещите енергийни системи – чрез намаляване на стартирането на генератори (и свързаните с това емисии) и чрез увеличаване използването на ресурси с нулеви въглеродни емисии, като фотоволтаично или вятърно производство.

Същият принцип е приложим и по отношение на замяната на двигателите с вътрешно горене с електродвигатели за нуждите на транспортния сектор – автомобили, автобуси, камиони, тежка механизация, кораби, самолети и други. Намаляването на CO<sub>2</sub> посредством електроенергия, добита от ВЕИ и оползворена от транспортния сектор, може да играе съществена роля за баланса на електроенергийната система на страната. Използването на батерийните съоръжения, част от електрическите мобилни единици, може и съществено да намали инвестициите в батерийни съоръжения в дългосрочен план. Този подход е приложим и с настъпването на технологии за реверсивно хранване от батериите на електромобилите към разпределителната мрежа, като технологиите vehicle-to-grid в зарядните колонки и електрическите превозни средства от най-ново поколение.

## Заключения

В настоящия анализ се използват оптимизирани по отношение на разходите сценарии като отправна точка за проучване на оперативните въздействия от внедряването на мрежово съхранение и връзките между това внедряване и приноса на променливото производство, отчитайки ролята на електрическата мобилност. Използвана е информация за търговските производствени разходи, за да се направи оценка на почасовата работа за пет сценария до 2050 г. Може да се направят следните изводи:

1. **Разработените сценарии за високо ниво на съхранение не показват липса на неизползвана енергия и ниски нарушения на резервите**, което показва, че няма опасения за почасово балансиране на товара до края на 2050 г., особено ако се вземе под внимание и допълнителният потенциал от включването на електромобилите като допълнителен буфер.
2. **Съхранението предоставя услуги за намаляване на пиковото натоварване във всички конфигурации и комбинации от мрежи**. Въпреки че съхранението има нисък годишен коефициент на капацитет, който по своята същност е ограничен от необходимостта от зареждане, то има много висока степен на използване (в много случаи над 75%) по време на 10 часа с най-голям нетен товар в различните сценарии и години, когато системата се нуждае от капацитет и енергия.
3. **Денонощната работа за съхранение е тясно съобразена с наличността на фотоволтаична енергия и по-малко с вятъра**. Фотоволтаиците имат

предвидим дневен цикъл на включване и изключване, който е добре съгласуван с необходимостта от зареждане и разреждане както на съоръжения за съхранение, така и на електрически превозни средства. Вятърът, от друга страна, има по-малко предвидим дневен цикъл и често има дълги периоди на свръхпроизводство, които продължават с часове или дни, като тази енергия е трудно да бъде пълноценно съхранена само от съоръжения и затова електромобилите биха играли съществена роля и тук.

4. **Съхранението повишава ефективността на различните видове производствени активи, като намалява свръхпроизводството на фотоволтаици и вятърни генератори**. Може да се каже, че при тези сценарии за бъдещата мрежа съхранението намалява общия възлероден диоксид в електроенергийната система чрез използване на свръхпроизводството от източници с нулеви емисии, като вятърна и слънчева енергия, за да се измести производството от въглища и природен газ. По-сериозното внедряване на електромобили и съхранението може да предотврати стартирането на фосилни генератори, намалявайки емисиите от критични замърсители.
5. **Съхранението увеличава използването на преносната и разпределителната мрежа**. Като подобрява баланса между регионите, съхранението в съоръжения и електрическа мобилност може да оптимизира потока по трасетата между регионите, като по този начин се дава възможност да се използва най-евтиният набор от ресурси. Съхранението може да

## Управление на ресурси и разходи

намали претоварване на преносната и разпределителна мрежа и на база дъпусочна зарядна инфраструктура за нуждите на електрическата мобилност. Съхранението, преносът и разпределението може да подпомогнат интеграцията на променливото производство на електроенергия от ВЕИ и също така да се допълват. Взаимовръзката между съхранението, преноса, разпределението и електрическата мобилност както по отношение на инвестициите, така и при експлоатацията и поддръжката, е сложна и заслужава допълнително проучване.

На база на показаните в доклада резултати, направата на обобщаващ модел за оптимизация на разходите за бъдещото развитие на енергоснабдяването, както и произтичащия от това енергиен микс – е комплексна задача.

Производството, преработката и доставката на електроенергия е сложен процес, който на световно ниво зависи от множество фактори, немалка част от които са геополитически. Достъпността до източници, различни от ВЕИ (най-бого казани фосилни горива), е процес, който трудно може да бъде методизиран. До известна степен същото се отнася и за достъпността до технологии за съхранение, най-вече с оглед на факта, че най-ефективните съществуващи към момента технологии се базират на материали и суровини – достъпни само на някои държави (н.п. литий и базирани на него разновидности на литиево-йонните батерии). Не на последно място стои и дискусиата за самите технологии на съхранение – и по-конкретно техният отпечатък върху природата по време на тяхната утилизация в края на

експлоатационния период – рециклиращи технологии за литиево-йонни батерии все още не са достъпни, а рециклируемите на 99% батерии на база оловно-киселинни технологии имат сериозни производствено-технологични несъответствия с политиките за запазване на природата в САЩ и ЕС.

Въпреки това, няколко са сигурните фактори в определянето на посоката на развитие на енергийната генерация, пренос и доставка в бъдеще. Тези фактори могат до известна степен да сформират рамка, в която да се насочат усилията за развитието на сектора.

Очакванията от Бъдещите електроенергийни системи е те да осигуряват:

- Минимални технологични загуби от преноса
- Максимална достъпност до потребителя (битов, индустриален, електропревозен сектор)
- Минимална цена
- Максимална природосъобразност и възобновяемост
- Сигурност на услугата – дълготрайна независимост от външни фактори и постоянна достъпност до източниците на енергия

За всяка държава и конкретно геополитическо разпределение, пътищата за постигането на горните цели са много. Редно е разглеждането на методите и разработката на конкретна методика за постигането на тези цели за България. Като част от ЕС и с оглед на достъпните източници на енергия в държавата – сигурно е бъдещето на няколко енергийни ресурса, върху които политиката за развитие и инвестиции в сектора трябва да фокусира. Те са видими и от



предоставените разработки на сценарии за България (фигура 3).

- ВЕИ и Атомната енергетика ще имат постоянно присъствие и основно значение в енергийния микс на страната. Технологиите, стоящи зад тези два стълба на енергетиката, са природосъобразни и до много широка степен вече разработени и внедрени към 2023-а година в енергийния микс на държавата.
- Конвенционални (ТЕЦ) източници на електроенергия, базиращи производство на фосилни горива (въглища) – ще имат усокрено затихваща функция, най-вече поради политиките за вредни емисии, поставени от ЕС.
- Водо и Геотермални производства не се очаква да претърпят съществени развития във времето, най-вече поради свързаните с това инвестиции и ограничените географски възможности за приложение в България.
- Други (газови) източници на електроенергия се очаква да имат слабо развитие през следващите десетилетия,

най-вече поради липсата на суровина както в България, така и в рамките на ЕС.

Съхранението и отдаването на електроенергия, от друга страна, е елемент, върху който следва сериозно да се погледне за бъдещи инвестиции и развитие. И при двата бъдещи основни източника на електроенергия в страната, наличието на технологии и системи за съхранение се вписват идеално в настоящия енергиен сектор в България.

С оглед наличието на една, или евентуално в бъдеще – два, АЕЦ-а в страната, транспортните загуби от преноса в цялата държава са значителни. Осигуряването на локални станции за съхранение би спомогнало с всички предимства, изброени в статията. Едновременно с това, наличието на госта значителни към 2023-а година енергийни мощности, базирани на преобразуването на соларна (и вятърна) енергия в електрическа – водят със себе си пряката и ясна необходимост от наличието на системи за съхранение в бъдеще.

## Цитирани източници (References):

1. Bistline, John E.T., R. Bedilion, N. Srujana Goteti, N. Kern (2021). Implications of variations in renewable cost projections for electric sector decarbonization in the United States.
2. Brown, M.A., A. Soni, M.V. Lapsa, K. Southworth, M. Cox (2020). High energy burden and low-income energy affordability: conclusions from a literature review. *IOP Journal*, DOI 10.1088/2516-1083
3. Denholm, P., J. Jorgenson, T. Jenkin, D. Palchak (2013). The Value of Energy Storage for Grid Applications.
4. Denholm, P., T. Mai (2015). Timescales of Energy Storage Needed for Reducing Renewable Energy Curtailment, National Renewable Energy Laboratory.
5. Frazier, A. Will, J. Jorgenson, P. Denholm, and N. Blair (2020). Storage Futures Study Grid Operational Impacts of Widespread Storage Deployment [online] Available at: <<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/80688.pdf>> [accessed March 2023].
6. Frazier, W., W. Cole (2020). Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2020 Update, National Renewable Energy Laboratory.
7. Frazier, W., W. Cole, P. Denholm (2021). Economic Potential of Diurnal Storage in the U.S. Power Sector [online] Available at: <<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77449.pdf>> [accessed February 2023].
8. Jorgenson, J., A. Will Frazier, P. Denholm, and N. Blair (2022). Grid Operational Impacts of Widespread Storage Deployment. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A40-80688

## Sistemi za energiyno modelirane v sektor „Transport“

Vladimir Zinoviev, Silviya Nikolova

## Systems for Energy Modeling in the Transport Sector

Vladimir Zinoviev, Silviya Nikolova

**Abstract:** The study of models and systems for increasing energy efficiency in the transport sector and development up to 2050 is of strategic importance for the Bulgarian economy. The role and impact of different electricity supply models are examined in detail, in particular the role of energy storage systems and their evolution in the transport sector. Models and scenarios are explored to investigate the impact of the deployment of energy storage systems as well as the contribution in the integration of variable renewable energy in the electricity system. Approaches are used to model hourly transport-energy costs based on five scenarios that represent possible solutions to provide the necessary energy supply in the sector in the long run.

**Key words:** RES, e-mobility, energy storage.

**JEL:** O3, Q2.