МИКРО МРЕЖИТЕ КАТО СТРАТЕГИЧЕСКО РЕШЕНИЕ ЗА ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ НА НОВИ СМАРТ КВАРТАЛИ

Доц. д-р Михаил Симеонов Чиприянов
СА „Д. А. Ценов“ - Свищов
Докторант Пламена Мирчева Николова[1]
СА „Д. А. Ценов“ - Свищов

Резюме: В настоящата статия се изследва икономическата ефективност от внедряването на микромрежи като стратегически инструмент за децентрализация на нови жилищни квартали в интелигентните градове. Доказано е намаляването на оперативните разходи и увеличаването степента на енергийна независимост. Това е постигнато чрез симулационен модел за съпоставяне на традиционното електроенергийно присъединяване спрямо децентрализирана фотоволтаична инсталация със системи за съхранение на енергия. На градските плановици, общинските структури и строителните предприемачи са предложени практически решения за включване на тези системи още на ранен етап от пространственото и идейното проектиране на съвременната градска среда.

Ключови думи: микромрежи, смарт градове, интелигентни градове, ВЕИ, стратегическо планиране

JEL: Q42, O18

DOI: https://doi.org/10.58861/tae.di.2026.2.02

MICROGRIDS AS A STRATEGIC SOLUTION FOR DECENTRALIZATION OF NEW SMART QUARTERS

Assoc. Prof. Mihail Simeonov Chipriyanov, PhD
D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov
Plamena Mircheva Nikolova, PhD student
D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov

Abstract: This article examines the economic efficiency of implementing microgrids as a strategic tool for decentralizing new residential neighborhoods in smart cities. The reduction of operating costs and the increase in the degree of energy independence are proven. This was achieved through a simulation model for comparing the traditional electricity connection with a decentralized photovoltaic installation with energy storage systems. Urban planners, municipal structures and construction developers are offered practical solutions for including these systems at an early stage of the spatial and conceptual design of the modern urban environment.

Keywords: microgrids, smart cities, intelligent cities, renewable energy, strategic planning

[1] Разпределението на авторството е както следва: доц. д-р Михаил Чиприянов – т. 2, 3, 4 и 5; докторант Пламена Николова – резюме, въведение (т. 1) и заключение и препоръки (т. 6)

JEL: Q42, O18

DOI: https://doi.org/10.58861/tae.di.2026.2.02

1. Въведение

Протичащите процеси на урбанизация през XXI век и необходимостта от преосмисляне на градската среда наложиха концепцията за „смарт градовете“. Тя стана водеща при съвременното градско развитие и пространствено планиране. Водещ е вече стремежът към изграждане на технологично напреднали жилищни квартали. Те се проектират въз основа на принципите за устойчиво развитие (УР), дигитализация и ефективност. (Веселинова, 2017, 10)

Едновременно с това днешната икономика е подчинена на изискването за декарбонизация. Процесът се осъществява чрез:

- възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) - изграждане на децентрализирани мощности (покривни и фасадни фотоволтаични системи) в дизайна на сградите;
- зарядни станции за електромобили - създаване на инфраструктура за електромобилност;
- термопомпени системи - прилагат се ефективни решения за климатизация и отопление с локален характер.

Посочената електрификация превръща новите жилищни комплекси в активни енергийни системи. Те се отличават със сложни профили на потребление и производство. От гледна точка на стратегическото управление на смарт градовете изпъква необходимостта от обвързване на градското планиране и енергийното осигуряване.

Основното научно и практическо предизвикателство произтича от несъответствието между иновативния характер на смарт кварталите и ограниченията на традиционния енергиен модел. Настоящата електроенергийна система е проектирана за еднопосочен пренос на енергия. По-конкретно - от големи производствени мощности към крайните потребители. Прилагането на този подход към новите градски райони поражда структурни и икономически аспекти на несигурност:

- Технологични рискове и инфраструктурен натиск. Масовото и едновременно включване на зарядни станции и термопомпи създава критични пикове в потреблението. Това води до реални рискове от претоварване на разпределителната мрежа. Активите практически са подложени на бърза амортизация. Като цяло се появява заплаха за системната стабилност.
- Високи капиталови разходи (CAPEX). За присъединяването на подобни мащабни обекти електроенергийните оператори изискват големи такси. Всичко това е съпроводено със значителни инвестиции за разширяване на капацитета на външната инфраструктура. Изграждат се нови подстанции, трафопостове и кабелни трасета. Посочените разходи утежняват работата на строителните предприемачи и забавят реализацията на проектите.
- Пазарна несигурност и ценови риск (респ. отражението им върху оперативните разходи OPEX). Нарастващата волатилност на цените на електроенергията на свободните пазари излага крайните потребители на финансов риск.

По този начин се създава едно управленско противоречие. Стремежът към технологичен прогрес бива задържан от икономическата и физическата ограниченост на централизираната инфраструктура.

За разрешаването на дефинирания научен проблем, настоящото изследване се разполага в следните граници:

- Обект на изследването са новите жилищни квартали с елементи на интелигентно управление.
- Предмет на изследването са проблемите на стратегическото планиране и управленските модели при внедряването на микромрежи.
- Цел на изследването е да се аргументира теоретично и да се потвърди икономически, че децентрализацията на енергийните потоци чрез изграждане на умни микромрежи се явява стратегически по-устойчиво, финансово по-ефективно и оперативно по-сигурно решение за развитието на новите градски пространства.

2. Литературен преглед

2.1. Концепцията за „микромрежа“ в градската среда

Еволюцията на научното разбиране за микромрежите отразява структурните промени в енергийната доктрина. Първоначално, в края на XX век и началото на XXI век, концепцията се развива предимно в рамките на индустриални и военни сфери. В този ранен етап научната литература разглежда микромрежата като технологично решение за осигуряване на непрекъсваемост на захранването на важни обекти. Касае се за такива, които са в изолирани райони или тежки промишлени комплекси със специфични изисквания към качеството на напрежението. (Elkholy, 2024, 224) (Solanki, Nasiri, Bhavaraju, Familiant, & Fu, 2026) Водещ мотив в тези изследвания е постигането на физическа автономност и техническа надеждност при извънредни ситуации.

С навлизането на дигиталните технологии и концепцията за смарт градовете теоретичната рамка претърпява голяма промяна. Международната практика измества фокуса вече към вплитане на микромрежите в градската тъкан. В частност, това се случва в новите жилищни общности. В съвременната градска среда микромрежата се дефинира като интелигентна социално-икономическа платформа. Обединява битовите консуматори, споделените пространства и локалните зелени мощности. Налице е взаимодействие с пазара. (Guerrero-Sánchez, 2024, 54) (Arevalo-Cordero, et al., 2025, 18 (&)) Преходът към жилищни смарт общности променя ролята на гражданите. Те вече стават активни участници в енергийното управление на местно ниво.

2.2. Икономически изследвания в областта на децентрализацията

Икономическата наука отделя съществено внимание на ефективността на децентрализираните енергийни системи,. Съвременните автори се фокусират върху съотношението между цената на енергията, произведена и консумирана на местно ниво, и традиционните мрежови разценки. (Comodi, et al., 2015) (Shufian & Mohammad, 2022) Анализите на редица изследователи показват, че при благоприятни условия локалното производство чрез ВЕИ в рамките на микромрежа може да създаде положителен икономически резултат.

Научните изследвания подчертават, че когато електроенергията се консумира непосредствено до мястото на нейното производство се постига осезаемо намаляване на оперативните разходи. Авторите в тази област използват показатели като LCOE (приравнена цена на енергията) за отделните компоненти

на микромрежата. Подчертават, че при правилно стратегическо оразмеряване и при високи пазарни цени на електроенергията, общите разходи за енергия в рамките на микромрежата могат да бъдат по-ниски от регулираните или борсовите ценови листи на централизираните доставчици. (Alsaidan, Khodaei, & Gao, 2017) (Nikolaidis & Poullikkas, 2017, 97 (3)) В литературата се акцентира и на пазарната гъвкавост, която микромрежата би могла да осигури. Това се постига чрез механизмите за управление на натоварването и акумулиране на излишъците. Посоченото превръща по време на ценови шокове на енергийните борси локалната общност в защитен в икономически смисъл субект. (Chowdhury, Guruwacharya, Blonsky, & Mather, 20-24.10.2024)

2.3. Идентифициране на научната ниша

В специализираната литература се наблюдава недостиг на приложими стратегически модели за цялостно планиране на подобни проекти от нулата („на зелено“). Повечето изследвания разглеждат случаи за надграждане на вече съществуваща и застроена градска инфраструктура. А това само по себе си ограничава в известна степен възможностите за постигане на цялостна архитектурна и технологична синергия.

Тази празнота е особено осезаема в Югоизточна Европа и конкретно в България. Местните условия се характеризират с несъвършена нормативна уредба, пазарни изкривявания и липса на утвърдена административна и инвестиционна практика за изграждане на енергийно независими жилищни комплекси. В българската научна литература липсват достатъчно изследвания по темата. Не се предлагат конкретни управленски алгоритми за обвързване на икономическия интерес на строителния предприемач с дългосрочните финансови ползи за бъдещите собственици на имоти. Настоящата статия се опитва да запълни именно тази научна ниша.

3. Методология на изследването

3.1. Стратегическа рамка

Методологическата рамка на настоящото изследване е изградена върху принципите на сценарийното планиране. То позволява да се оценят дългосрочните стратегически последствия от управленските решения при изграждането на нови градски територии. Водещи са два взаимно изключващи се стратегически сценария:

- Базов сценарий. Този сценарий отразява традиционния подход в инвестиционното проектиране, при който новият жилищен квартал се разглежда като пасивен консуматор. Той е зависим от националната електроразпределителна мрежа. Производството на енергия се осъществява извън границите на градската среда. Инвестициите на строителния предприемач са насочени единствено към покриване на регулаторните изисквания за присъединяване.
- Алтернативен сценарий. Този подход залага на концепцията за активна енергийна общност. При нея биват обвързани локални ВЕИ инсталации, системи за съхранение и дигитализирано управление на процеса. Кварталът функционира като координирана икономическа единица, притежаваща капацитет за самостоятелно балансиране и стратегическо взаимодействие с външния пазар.

Сравнителният анализ между двата сценария се провежда в рамките на 20-годишен експлоатационен хоризонт. Идеята е да се отчетат жизненият цикъл на

технологичното оборудване и дългосрочните тенденции при цените на енергийните ресурси.

3.2. Финансово-икономически показатели за оценка

За количествено измерване на икономическата ефективност и проверяване на изследователската теза ще се използва система от утвърдени показатели за оценка на инвестиционни проекти. Математическите модели ще се изградят около измерителите:

- CAPEX. Включват първоначалните финансови вложения (за проектиране и изграждане) на енергийната инфраструктура. При базовия сценарий те обхващат таксите за присъединяване и изграждането на външни трафопостове. При алтернативния сценарий те включват разходите за фотоволтаични системи, батерии за съхранение, софтуер за енергиен мениджмънт, както и остатъчните такси за минималния капацитет на присъединяване към мрежата. Това осигурява пълна съпоставимост на двата модела.
- OPEX. Изразяват ежегодните разходи за поддръжка, управление и покупка на недостигащата електроенергия. При микромрежата оперативните разходи се коригират с приходите от продажба на излишна енергия или от предоставяне на балансиращи услуги. В дългосрочен план разходите за експлоатация и поддръжка включват и амортизационните резерви за техническо обслужване на батерийния комплекс.

Важно място в икономическата оценка има показателят за Нетна настояща стойност (NPV). Дисконтира бъдещите парични потоци към настоящия момент. Така се оценява реалната стойност на проекта:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - CAPEX$$

където:

- CFt е нетният паричен поток за годината t. Той е формиран като разлика в оперативните разходи между двата сценария, изразен в реални стойности без инфлация,
- r е реалният дисконтов процент (отразяващ реалната цена на капитала и специфичния риск на проекта),
- n е жизненият цикъл на инвестицията.

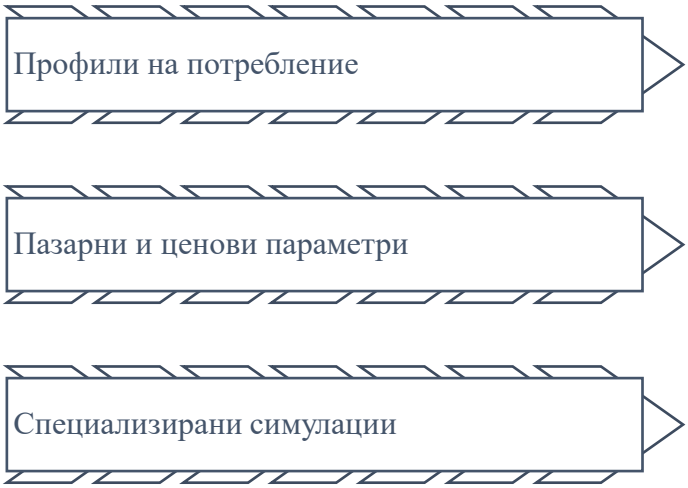
Паричните потоци са приети за постоянни през целия период и затова инфлацията не се отчита отделно. Това прави модела консервативен по отношение на бъдещите икономии от евентуално поскъпване на електроенергията.

Успоредно се изчислява и Дисконтираният срок на откупуване (PBP). Определя момента, в който натрупаните дисконтирани ползи изравняват първоначалните капиталови разходи:

$$\sum_{t=1}^{PBP} \frac{CF_t}{(1+r)^t} = CAPEX$$

Показателят има важно стратегическо значение за предприемачите. Измерва скоростта на освобождаване на инвестирания капитал.

Надеждността на икономическите изчисления се подсигуряват чрез използването на три потока от данни: вж. фиг. 1.



Фигура 1. Структура на входящите потоци от данни и параметри за технико-икономическо моделиране (Източник: собствено представяне)

В конкретика:

- Профили на потребление. Използват се емпирични данни за средното часово и сезонно потребление на едно смарт домакинство. Те са коригирани с прогнозния енергиен интензитет на термопомпените системи и зарядните станции за електромобили. Изразени са в kWh за денонощие). Заложените стойности отразяват нетното потребление след внедряване на съвременни норми за пасивна енергийна ефективност на сградите.
- Пазарни и ценови параметри. Прогнозните цени на електроенергията се базират на официални доклади на националните регулаторни органи и реалните котировки от енергийната борса (сегмент „Ден напред“). От съображения за консервативна оценка не се залага инфлация на цените на електроенергията - използват се реални парични потоци. Изкупната цена на излишъка отразява пазарните нива за нерегулиран износ от локални общности без преференциални субсидии.
- Специализирани симулации. Технико-икономическото моделиране се извършва чрез софтуерната платформа HOMER Grid. Чрез нея се симулират метеорологичните данни за слънчевата радиация, ефективността на преобразуване на фотоволтаичните панели и цикълът на разреждане и зареждане на батериите. Всичко това позволява изчисляване на произведената на местно ниво енергия. За региона на България са заложени следните стойности:
    - слънчева радиация – 1450 kWh/m²/година,
    - ефективност на фотоволтаичните панели – 19%,
    - round-trip ефективност на батериите – 90%.

4. Резултати

Емпиричният модел е заложен около симулационното тестване на два различни подхода за енергийно обезпечаване. Обект на моделирането е новоизграждащ се жилищен смарт квартал, разположен в градска среда, състоящ се от 100 еднофамилни домакинства с висока степен на дигитализация и внедрени високи нива за пасивна енергийна ефективност на сградния фонд.

В рамките на симулацията са дефинирани два сценария:

- Базов сценарий (Конвенционален модел). Приема се класическа архитектура на централизирано електрозахранване. При нея целият необходим енергиен капацитет се осигурява от националната преносна и регионалната разпределителна мрежа. Този сценарий се характеризира с ниски първоначални инвестиции за крайния потребител и с пълна изложеност на пазарна/ценова волатилност при дългосрочната експлоатация.
- Алтернативен сценарий (Децентрализиран модел - Микромрежа). Предлага се изграждането на локална енергийна система. Включва покривни фотоволтаични мощности, споделен батериен комплекс за съхранение на енергия (BESS) и система за интелигентен енергиен мениджмънт (EMS). Целта е постигане на максимално изглаждане на пиковите товари и подобряване характеристиките на обмена на електроенергия с външната мрежа.

Всички технически, климатични и географски параметри в платформата HOMER Grid са калкулирани спрямо реалните дадености за региона на България. Благоприятства се практическата приложимост и високата степен на валидност на получените резултати.

За установяване на реалната икономическа целесъобразност се извършва финансово съпоставяне на двата дефинирани сценария въз основа на симулационен модел. Това се прави за нов жилищен квартал от 100 интелигентни домакинства с общо годишно потребление от 650 хил. kWh.

Първоначалният баланс на инвестициите показва, че при конвенционалния централизиран модел общите капиталови разходи (CAPEX) за предприемача възлизат на 102 258 евро. Тези средства включват високите такси към електроразпределителното предприятие за заявяване на пикова мощност от 350 kW, изграждане на силови трафопостове и полагане на външни кабелни трасета.

При алтернативния сценарий изграждането на децентрализирана микромрежа (вкл. 400 kW покривни соларни мощности, 500 kWh споделен батериен комплекс и интелигентна система за енергиен мениджмънт) изисква общ CAPEX в размер на 439 711 евро. По-високата технологична инвестиция на входа обаче се компенсира частично от намаляването на мощността за присъединяване към външната мрежа до едва 100 киловата. Това намалява базовите такси. В сумата вече са включени и намалени такси за присъединяване на остатъчния капацитет. Гарантира се методологическа съпоставимост на инвестициите. Нетната разлика в първоначалната инвестиция, която инвеститорът трябва да осигури в повече за микромрежата, е 337 453 евро.

Реалното оперативно предимство на децентрализацията се проявява при ежегодните OPEX:

- При базовия сценарий кварталът купува цялото необходимо количество енергия на пазарна цена от 0,205 евро/kWh. Заедно с базовата техническа поддръжка се формира годишен OPEX от 135 492 евро.

- При сценария с микромрежа системата постига висока степен на енергийна независимост със 70% директно самозадоволяване на място чрез соларната инсталация и батерията. Недостигът от енергия (30%) се купува от пазара. Излишъкът се експортира обратно на средна борсова цена от 0,061 евро/kWh. Спецификата на управление на натоварването позволява реализирането на допълнителни вътрешни икономии. Общият годишен OPEX на микромрежата спада до 47 386 евро след оптимизирането на пиковото потребление и приспадането на разходите за специализирана поддръжка.

По този начин децентрализираният модел генерира чиста годишна оперативна икономия в размер на 88 106 евро.

При въвеждане на тези входящи данни в дългосрочния симулационен модел за 20-годишен експлоатационен период и при заложен реален дисконтов процент от 6%, инвестицията в микромрежа постига висока финансова ефективност. В конкретика:

- дисконтираният срок на откупуване на допълнително инвестирания капитал е 4,7 години;
- NPV в края на 20-годиния хоризонт достига до силно положителен финансов резултат от 673 122 евро.

Таблица 1
Обобщена таблица на икономическите резултати (в евро)

Икономически показател	Базов сценарий	Алтернативен сценарий	Нетен ефект
Първоначална инвестиция (CAPEX)	102 258	439 711	-337 453
Годишни разходи за покупка на ел. енергия	132 936	58 491	+74 445
Годишни приходи от продажба на излишък	0	9 571	+9 571
Интегриран ефект от Peak Shaving и балансиране*	0	7 669	+7 669
Годишни разходи за поддръжка (O&M)	2 556	6 136	-3 580
Общи годишни оперативни разходи (OPEX)	135 492	47 386	+88 106 евро/година
Дисконтиран срок на откупуване (PBP)	-	-	4.7 години
Нетна настояща стойност (NPV за 20 г. при 6%)	-	-	+673 122 евро

** Забележка: Ефектът от Peak Shaving отразява намаляването на компонентата за капацитет и мощност в мрежовите такси вследствие на изглаждането на пиковете чрез батерийния комплекс.*
Източник: собствена симулация, 2026.

Получените крайни резултати потвърждават, че преходът към децентрализирана градска микромрежа осигурява висока икономическа възвръщаемост. Срокът на откупуване от под 5 години и създадената нетна настояща стойност от над половин милион евро доказват, че децентрализацията

е финансово устойчива стратегия за дългосрочно развитие на нови смарт квартали.

5. Научна дискусия

Внедряването на микромрежи в новите градски пространства преформулира интересите на основните участници в процеса на градско развитие. Създават се синергични ползи в три направления:

- Инвеститори и строителни предприемачи. От стратегическа гледна точка изграждането на децентрализирана енергийна инфраструктура видоизменя смисъла на конвенционалния строителен продукт в актив с висока добавена стойност. Преодоляването на високите инфраструктурни бариери за присъединяване позволява гъвкавост при проектирането. Същевременно концепцията за „зелен маркетинг“ се превръща в реален източник на конкурентно предимство. Това благоприятства реализация на имотите на по-висока пазарна стойност поради технологична напредналост на сградите.
- Собственици и жители на квартала. Прекият икономически ефект за домакинствата се изразява в дългосрочно намаляване на месечните разходи за електроенергия. По-важният стратегически аспект обаче е защитата срещу бъдещи енергийни кризи. Чрез балансиране и съхранение на енергия на локално ниво жителите придобиват висока степен на независимост спрямо инфлационните процеси на международните пазари и проблемите на националната преносна мрежа.
- Общински структури и държавна администрация. На макониво децентрализацията намалява необходимостта от инвестиции за разширяване на мрежовия капацитет. Проектът допринася за изпълнението на националните и европейските екологични ангажименти за декарбонизация.

За систематизиране на стратегическите фактори, определящи ефективността на децентрализирания модел, по-долу е разработена SWOT аналитична матрица: вж. табл 2.

Таблица 2

Матрица на стратегическите фактори (SWOT) пред децентрализацията на градската енергийна инфраструктура

Силни страни	Слаби страни
• Намаляване на OPEX в дългосрочен план. • Премахване на рисковете от претоварване/прекъсване на захранването. • Оползотворяване на локалния ВЕИ потенциал. • Повишаване на стойността на недвижимите имоти.	• Значително по-високи първоначални CAPEX. • Технологична сложност при софтуерната интеграция и управлението на батерийния комплекс. • Нужда от специфична експертиза за поддръжка на смарт системите.
Възможности	Заплахи
• Достъп до целево европейско финансиране за смарт градове и зелена енергия.	• Регулаторни бариери пред споделянето на енергия.

• Развитие на местни енергийни общности. • Внедряване на модела и в други градски райони.	• Риск от технологично остаряване на капацитета за съхранение. • Липса на нормативна уредба за правния статут на енергийните общности.

Източник: собствено проучване, 2026.

Настоящото изследване притежава определени граници на валидност, обусловени от външната среда:

- Регулаторна рамка. Основното ограничение произтича от високата зависимост от нормативната уредба в енергийния сектор. У нас законовата рамка (Закон за енергетиката и подзаконовите нормативни актове) все още не е напълно адаптирана към реалното функциониране на затворени електроразпределителни системи. Евентуалната промяна в правилата за достъп до мрежата или в данъчното облагане на местната търговия може да доведе до промяна на изчислената нетна настояща стойност на проекта.
- Технологична зависимост. Калкулациите са обвързани с текущите пазарни цени, ефективност и експлоатационен живот на системите за съхранение на енергия. Рязкото поевтиняване на алтернативни технологии или по-бързото от предвиденото деградиране на капацитета на заложените клетки са променливи, които могат да променят дългосрочния икономически резултат.
- Поведенчески фактор. Профилите на потребление в модела са симулационни. Реалният икономически ефект до голяма степен зависи от готовността на крайните потребители да приспособят навиците си към сигналите на системата за управление на товара. Става въпрос например за зареждане на превозни средства само в часове с висока слънчево излъчване.

6. Заключение и препоръки

Проведеното изследване потвърждава, че внедряването на локални микромрежи е ефективно стратегическо решение за развитие на новите градски пространства.

Количествените разчети доказват, че алтернативният сценарий изисква по-високи първоначални капиталови разходи, но генерираната годишна оперативна икономия в размер на 88 106 евро осигурява бърза възвръщаемост в рамките на едва 4,7 години. Положителната нетна настояща стойност от 673 122 евро за 20-годишен експлоатационен хоризонт показва, че децентрализацията променя разходите за енергийна инфраструктура в създаващ стойност актив. Микромрежата намалява влиянието на пазарните движения. Осигурява по-висока ценова стабилност. Всичко това превръща новия жилищен квартал в устойчива и до голяма степен независима икономическа единица.

Необходимо е преосмисляне на подходите в градското планиране. За да се реализира пълният потенциал на децентрализирания енергиен модел в градска среда, е важно следното:

- По отношение на градските плановици и общинските структури е необходимо микромрежите да бъдат залагани като препоръчителен елемент на етап разработване на Общи устройствени планове (ОУП) и Подробни устройствени планове (ПУП) за нови градски райони.

Пространственото планиране следва стратегически да предвижда територии за локални системи за съхранение на енергия и да предоставя регулационни облекчения за такива смарт сгради.

- По отношение на строителните компании и предприемачи. Инвестиционното проектиране да изостави практиката на частично внедряване на ВЕИ „парче по парче“. Препоръчва се залагането на трикомпонентен подход (създаване, съхранение и интелигентно управление) още в идейната фаза на проектите. Това би позволило строителите да договорят по-нисък присъединен капацитет с електроразпределителните дружества. Ще се постигне намаляване на първоначалните бюджети. И не на последно място по значение - на пазара ще се предложи високотехнологичен продукт с ниски експлоатационни разходи в дългосрочен период.

Според нас, бъдещото развитие на научната област следва да се насочи към преодоляване на ограниченията, свързани с човешкия фактор и енергийните пазари. Важно направление за нови изследвания е залагането на алгоритми с изкуствен интелект и машинно обучение в EMS.

Прилагането на изкуствен интелект ще позволи преминаване към проактивно стратегическо управление на микромрежите чрез:

- изготвяне на модели за прогнозиране на локалното потребление въз основа на поведенческите навици на жителите;
- усъвършенстване на цикъла на работа на батериите чрез предсказване на метеорологичните условия.

Разработването на подобни дигитални модели ще повиши още повече икономическата ефективност на смарт градовете.

Използвани източници

Alsaidan, A., Khodaei, W., & Gao, A. (2017). A comprehensive battery energy storage optimal sizing model for microgrid applications. *IEEE Transactions on Power Systems*, https://doi.org/10.1109/ TPWRS.20172769639.

Arevalo-Cordero, P., Benavides, D., Ochoa-Correa, D., Rios, D., Torres, D., & Villanueva Machado, C. (2025, 18 (&)). Smart microgrid management and optimization: A systematic review towards the proposal of smart management models. *Algorithms*, Article 429. https://doi.org/10.3390/a18070429.

Chowdhury, V., Guruwacharya, N., Blonsky, M., & Mather, B. (20-24.10.2024). Implementation of Advanced Grid Support Functionalities by Smart Operation of Residential Loads with low Cost Converter Interface. *Proceedings of the 2024 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2024—Proceedings, Phoenix, AZ, USA* (стр. 3339-3343). Phoenix, AZ, USA: nstitute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA.

Comodi, G., Giantomassi, A., Severini, M., Squartini, S., Ferracuti, F., Fonti, A., . . . Polonara, F. (2015). Multi-Apartment Residential Microgrid with Electrical and Thermal Storage Devices: Experimental Analysis and Simulation of Energy Management Strategies. *Elsevier. Amsterdam, The Netherlands*, 854-866.

Elkholy, M. (2024, 224). Optimal resilient operation and sustainable power management within an autonomous residential microgrid using African vultures optimization algorithm . *Renewable Energy*, 120247.

Guerrero-Sánchez, A. (2024, 54). Artificial intelligence applied for micro smart grids: A literature review . *Latin American Applied Research: An International Journal*, 213-230.

Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017, 97 (3)). A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability. *Journal of Power Technologies*, 220-245.

Shufian, A., & Mohammad, N. (2022). Modeling and Analysis of Cost-Effective Energy Management for Integrated Microgrids; Elsevier Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2022; p. 100508. *Elsevier, Amsterdam*, 100508.

Solanki, A., Nasiri, A., Bhavaraju, V., Familiant, Y., & Fu, Q. (2026). A New Framework for Microgrid Management: Virtual Droop Control. *IEEE-Institute Electrical Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA*, 554-566.

Веселинова, Н. (2017, 10). Стратегически аспекти в политиката на България за е-управление. *e-Journal VFU*, 1-17.