DCB 2025
III Младежка научна конференция с международно участие
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 29 октомври 2025 г., София
III Youth Scientific Conference with international participation
„Design and Construction of Buildings and Facilities“, October 29, 2025, Sofia, Bulgaria
ISSN 2738-7887 (online); ISSN 2738-7879 (CD-ROM)

РАЗРАБОТКА НА ИНДИКАТОРНА СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА НАСЕЛЕНИТЕ МЕСТА КЪМ КЛИМАТИЧНИ И ТЕХНОГЕННИ ЗАПЛАХИ

Теодора Стоянова[1], Стефан Първанов[2]

A DEVELOPMENT OF AN INDICATOR SYSTEM OF MEASUREMENT OF THE SUSTAINABILITY OF THE SETTLEMENTS TO CLIMATICAND TECHNOLOGICAL

Teodora Stoyanova[1], Stefan Parvanov[2]

Abstract:
Climate change and the growing number of technological threats challenge the resilience of urban areas, requiring a new approach to their assessment and protection. This paper develops an indicator-based system for quantitatively and qualitatively measuring the resilience of settlements to climate-related and technological hazards. The proposed system encompasses a set of criteria and indicators addressing physical infrastructure, socio-economic conditions, environmental factors, risk management capacity, and institutional preparedness. Evaluation criteria are formulated to derive an integrated resilience index, enabling comparison between settlements and prioritization of protective measures. Sustainable technical solutions are suggested to reduce vulnerability, including the implementation of green infrastructure, renewable energy sources, smart resource management systems, and the adaptation of critical facilities to extreme climate loads. The developed indicator system provides a tool for strategic planning, investment optimization, and the integration of resilience as a guiding principle in urban development.

Keywords:
Resilience, Settlements, Climate threats, Technological risks, Indicator system, Evaluation criteria, Urban environment, Technical solutions

1. ВЪВЕДЕНИЕ

През следващите десетилетия урбанизацията ще продължи да се ускорява и към 2050 г. близо две трети от населението на света ще живее в градове. Това засилва натиска върху инфраструктурата, ресурсите и управлението на риска, но и отваря възможности за интегрирани, мащабируеми решения. Рамката на Цел 11 от Плана за устойчиво развитие

[1] Теодора Стоянова, курсант, факултет Пожарна безопасност и зашита на населението, Академия на МВР; Teodora Stoyanova, cadet, Faculty of Fire Safety and Civil Protection, Academy of MoI.
[2] Стефан Първанов, доцент доктор, катедра „Управление на безопасността и превенция“ факултет “Пожарна безопасност и защита на населението“, Академия на МВР; Stefan Parvanov, Associate Professor, PhD, Department of Safety Management and Prevention, Faculty of Fire Safety and Civil Protection, Academy of MoI.

(SDG 11) изисква градовете да бъдат „приобщаващи, безопасни, устойчиви и устойчиво управлявани“, с конкретни индикатори за жилищно настаняване, транспорт, управление на отпадъци, качество на въздуха и намаляване на риска от бедствия. UN-Habitat подчертава, че напредъкът по SDG 11 зависи от измерими, съгласувани градски показатели и метаданни за мониторинг [1].

България се затопля по-бързо от глобалната средна стойност и ще преживее по-сухо лято и по-чести екстремни явления. Националната стратегия за адаптация отчита вероятно повишение на средната годишна температура с 0,7–1,8°C до 2020 г., 1,6–3,1°C до 2050 г. и 2,9–4,1°C до 2080 г. (НИМХ), както и намаление на валежите приблизително с 10% до 2020 г., 15% до 2050 г. и 30–40% до 2080 г. (Фигури 1 и 2). Очаква се нарастване на честотата на интензивни валежи, топли и студени вълни, наводнения и суши, пожари и свлачища.

Тези климатични тенденции се наслагват върху техногенни рискове – аварии в енергийни и водни системи, химически инциденти, пожари в индустриални зони и кибератаки, които увеличават комплексността на градската уязвимост. Адаптацията трябва да върви в синхрон с политиките за управление на риска от бедствия и с актуализация на техническите норми, за да отразят екстремните натоварвания и да имат механизми за мониторинг на ефекта от мерките [2].

2. МЕТОДОЛОГИЧНА РАМКА

Подходът следва международните препоръки за свързване на социални, икономически и екологични измерения в единна, логична система, която позволява съпоставимост, анализ на компромисите и проследяване във времето. OECD подчертава, че нито един показател не може сам да обхване устойчивото развитие; необходима е рамка, която свързва индикаторите и ги привързва към политики и прагове. Разширените национални сметки и свързването на парични с физически данни са ключови за последователност и съпоставимост [3].

В градски контекст използваме три взаимно допълващи се опори:

- SDG 11 и City Prosperity Initiative (CPI) – интегрира измерването по шест градски измерения: инфраструктура, продуктивност, качество на живот, равенство и приобщаване, екологична устойчивост, управление [4];

- Индикаторен подход към уязвимостта – оценка чрез експозиция, чувствителност и адаптивен капацитет, с директни връзки към мерки за вода и санитария, управление на оттока, повторна употреба и управление на търсенето на вода (IWRM);

- Икономическа оценка на риска и мерките – двустепенна рамка за ползи и разходи при засушаване и други климатични рискове (BACI спрямо „ползи от действие/цена на бездействие“), която осигурява обосновка на инвестиции в устойчивост [5].

3. ИНДИКАТОРНА СИСТЕМА

Системата обхваща пет домейна, съчетаващи физически и управленски аспекти, и съответства на глобалните индикатори. Домейните са логически „кошници“ от показатели, които описват различни, но взаимосвързани аспекти на устойчивостта на населеното място. В нашата система са пет и служат за две цели:

- да групират сравними индикатори, за да има смислени частични оценки;

- да позволят агрегиране в интегриран индекс (IRI), без да се губи причинно-следствената картина.

3.1. Физическа инфраструктура и критични системи

Обхващат електро-, водоснабдяване и канализация, дъждовна канализация (SUDS), транспорт, телекомуникации, здравни и аварийни служби. Те са важни, защото отказите и „тесните места“ усилват ефектите на климатични/техногенни събития.

Примерни индикатори: надеждност на електромрежата (% време без прекъсвания), NRW в ВиК (% загуби), пропускателност на дренажа ($l/s \cdot ha$), достъп до обществен транспорт (SDG 11.2.1). [4].

3.2. Екологични условия и природни ресурси

Обхващат качество на въздуха, зелени/сини площи, водни ресурси, топлинни острови, управление на отпадъчни води.

Важни са, защото намалява експозицията и чувствителността към горещини, наводнения и суши.

Индикатори: $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$, SDG 11.6.2), зелени площи на жител ($м^2$/жител, SDG 11.7.1), дял безопасно третирани отпадъчни води (SDG 6.3.1), индекс на топлинен стрес [4].

3.3. Социално-икономическа устойчивост и здраве

Обхващат демография, уязвими групи, доходи, образование, жилищни условия.

Важни са, защото социалната уязвимост трансформира опасността в щета. Индикатори: дял население в неадекватни жилища (SDG 11.1.1), индекс на материални лишения, дял възрастни 65+, бедност по квартали, достъп до здравни услуги [4].

3.4. Управление, планиране и готовност

Обхващат планове по Сендай/НРБ, процедури за поддръжка на активи, ранно предупреждение, участие на гражданите.

Важни са, защото доброто управление скъсява времето за реакция и възстановяване. Индикатори: наличие/качество на план за адаптация и DRR (SDG 11.b), редовност на ученията, време за мобилизация, прозрачност на данните, участие на гражданите (SDG 11.3.2) [4].

3.5. Техногенна безопасност и киберустойчивост

Обхващат рискови производства (Seveso), опасни вещества/логистика, пожарна безопасност на критични обекти, киберсигурност на SCADA/ИКТ.

Важни са, защото техногенните аварии често имат „домино“ ефект върху инфраструктурата.

Селекция: приоритизират индикатори с ясна дефиниция, наличност на данни, политическа релевантност, възможност за надграждане и чувствителност към промени – насоки, отчетливо формулирани от OECD. Избягва се единен „магически“ показател; вместо това се работи с ограничено ядро, свързано в рамка [6].

В таблица 1 са представени домейните и техни примерни показатели.

Таблица 1. Домейни и техни примерни показатели

Домейн	Примерни показатели
D1. Инфраструктура	надеждност на електроснабдяване (% време без прекъсване), пропускателност на дъждовната канализация ($l/s.ha$), дял население с достъп до обществен транспорт
D2. Околна среда	качество на въздуха ($PM_{2.5}$, $\mu g/m^3$), площ на зелени площи/жител, дял безопасно третирани отпадъчни води (%)
D3. Социално-икономически фактори	дял на населението под прага на бедност (%), заетост (%), достъп до здравни услуги

D4. Управление и готовност	наличие на план за реакция при бедствия (да/не), обхват на системите за ранно предупреждение (%), участие на гражданите в планиране (%)
D5. Техногенна безопасност	брой аварии/година, време за възстановяване на услуги (часове), ниво на киберсигурност (оценка $0-1$)

4. КРИТЕРИИ ЗА ОЦЕНКА И АГРЕГИРАНЕ

4.1. Нормализация на всеки показател

Тъй като показателите са в различни мерни единици (%, $\mu g/m^3$, дни и т.н.), всеки индикатор xi се мащабира в $[0,1]$ спрямо целеви прагове или равнище на услуги.

За показатели, при които по-високата стойност е по-добра (например дял на зелени площи):

$$xi' = (xi - min)/(max - min) \quad (1)$$

За показатели, при които по-високата стойност е по-лоша (например замърсяване на въздуха):

$$xi' = 1 - (xi - min)/(max - min) \quad (2)$$

Така се получава оценка от 0 до 1, където 1 означава „много добра устойчивост“, а 0 – „липса на устойчивост“.

Праговете се базират на нормативи/цели на SDG, местни стандарти и климатични сценарии. OECD препоръчва яснота за праговете и рисковете при надхвърлянето им [6].

4.2. Средна оценка по домейни

Всеки домейн (например „Околна среда“) има няколко показателя. Ако за домейна имаме n показателя, средната стойност е*:*

$$S_d = \frac{x_1' + x_2' + x_3' + \ldots + x_n'}{n} \quad (3)$$

Тази стойност показва устойчивостта на домейна d.

Пример:

Ако домейн „Инфраструктура“ има 4 показателя с резултати 0,8, 0,6, 0,7 и 0,9, то:

$$S_d = \frac{0.8+0.6+0.7+0.9}{4} = 0.75 \quad (4)$$

Това означава 75% постигане на целта за устойчивост в този домейн.

Теглата могат да са равни или извлечени чрез експертно AHP/участие на заинтересовани страни (избягваме политизиране на избора, като публикуваме чувствителност към теглата) [6].

4.3. Интегриран индекс на устойчивост (*IRI*)

След като имаме петте домейна ($D1 - D5$), изчисляваме **средната стойност** между тях:

$$IRI = \frac{S1 + S2 + S3 + S4 + S5}{5} \quad (5)$$

Полученият IRI също е число между 0 и 1. Колкото по-висока е стойността, толкова по-устойчиво е населеното място.

Пример:

За „Община Х“ са установени следните оценки по домейни:

Домейн	Средна оценка S_d
D1. Инфраструктура	0,65
D2. Околна среда	0,50
D3. Социално-икономически фактори	0,70
D4. Управление и готовност	0,60
D5. Техногенна безопасност	0,55

Тогава:

$$IRI = \frac{0.65 + 0.50 + 0.70 + 0.60 + 0.55}{5} = 0.60 \quad (6)$$

Извод: Община Х има индекс на устойчивост 0.60 (или 60%), което показва средна устойчивост, но и потенциал за подобрение в областите „околна среда“ и „техногенна безопасност“.

4.4. Елемент на риск-подход:

Очаквана годишна загуба (EAD)

За конкретни заплахи може да се изчисли очаквана годишна загуба (EAD) като елементарен модел:

$$E.A.Dh = ph \cdot L \cdot E \cdot V \quad (7)$$

Където:

- ph е годишна вероятност на опасността (напр. 10-годишно наводнение $p = 0{,}1$);
- L – стойност на активите в риск (парична);
- E – дял експонирани активи/население (дял от активите, които са изложени на риск, напр. 0.25);
- V – уязвимост (дял от потенциална загуба, напр. 0,4). Този индикатор се връзва с IWRM логиката „експозиция–чувствителност–адаптивен капацитет“ и позволява директна икономическа оценка на мерки [7].

Пример:

$P = 0{,}1, L = 50$ млн. лв., $E = 0{,}25, V = 0{,}4$

Тогава,

$EAD = 0{,}1 \times 50\,000\,000 \times 0{,}25 \times 0{,}4 = 500\,000$ лв./год.

След прилагане на мерки

Ако след въвеждане на зелена инфраструктура (дъждовни градини, SUDS) експозицията намалее до $E = 0{,}15$, а уязвимостта до $V = 0{,}3$:

$EADслед = 0{,}1 \times 50\,000\,000 \times 0{,}15 \times 0{,}3 = 225\,000$ лв.

Избегнати щети:

$\Delta EAD = 500\,000 - 225\,000 = 275\,000$ лв./год.

Съотношение „Полза/Разход“ (BCR)

Може да се установи по следната зависимост:

$$BCR = \frac{\text{Настояща стойност на ползите}}{\text{Инвестиционни разходи}} \quad (8)$$

Ако инвестицията е 2,5 млн. лв., а годишните ползи са:

275 000 лв. + съпътстващи 120 000 лв., и приемем срок 20 години, лихва 4%, анюитетният коефициент е 13.59,

тогава:

$$BCR = \frac{(275\,000 + 120\,000) \times 13.59}{2\,500\,000} = 2.15 \quad (9)$$

4.5. Рисково-коригиран индекс на устойчивост

Когато включим рисковите фактори, изчисляваме **коригиран индекс**:

$$IRI* = IRI \times (1 - H \times E \times S) \quad (10)$$

където:

- H – честота/интензитет на заплахата $(0 - 1)$;
- E – експозиция;
- S – чувствителност.

Пример:

$H = 0{,}5, E = 0{,}3, S = 0{,}5, IRI = 0.60$

$IRI* = 0{,}60 \times (1 - 0{,}5 \times 0{,}3 \times 0{,}5) = 0{,}60 \times (1 - 0{,}075) = 0{,}555$

Извод: при умерен риск реалната устойчивост на общината намалява от 0,60 на 0,56. Ако чрез мерки се понижи експозицията и чувствителността, индексът ще се повиши.

5. ТЕХНИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ И УПРАВЛЕНСКИ МЕРКИ

Един устойчив град не може да бъде постигнат само чрез административни стратегии или нормативни документи. Необходим е цялостен пакет от технически и управленски решения, който обхваща всички ключови инфраструктурни системи и ги превръща в взаимосвързана, адаптивна и интелигентно управлявана градска мрежа.

5.1. Вода и дъждовни води

Управлението на водните ресурси е сред най-съществените елементи на устойчивостта. Подходът, известен като Integrated Water Resources Management (IWRM), разглежда градските водни системи като единна екологична и техническа цялост, в която съществува баланс между водоснабдяване, отвеждане на отпадъчни води и управление на дъждовните оттоци. За да се постигне това, се прилагат технологии за задържане и инфилтрация на повърхностни води (SUDS), събиране на дъждовни води (RWH), повторна употреба на пречистени води и управление на търсенето чрез интелигентно измерване и стимули за пестене. Особено ефективно е въвеждането на MAR-системи (Managed Aquifer Recharge) – контролирано попълване на подпочвени води чрез инфилтрационни полета и зелени площи, които същевременно охлаждат градската среда и намаляват риска от наводнения [8].

В духа на модела *Human Settlements* на UN-Environment тези мерки не са изолирани инженерни решения, а част от системен подход, в който водата се разглежда като градски ресурс, взаимосвързан с климата, енергията и здравето. Те трябва да се интегрират с системите за ранно предупреждение и мониторинг на качеството на водите, така че градът да реагира бързо при възникване на суша, замърсяване или екстремни валежи.

5.2. Енергийна устойчивост и микромрежи

Енергетиката е другата основна ос на градската устойчивост. Модерните градове се стремят да намалят зависимостта си от централизирани и уязвими мрежи чрез изграждане

на локални енергийни микромрежи, които комбинират възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), системи за съхранение на енергия и интелигентно управление на натоварването.

Особено важно е осигуряването на резервирано захранване (принцип $N + 1$) за критични услуги като болници, помпени станции и комуникационни възли. Така градът запазва своята функционалност дори при аварии или прекъсвания на електрозахранването. Тази концепция за „енергийна самопомощ“ не само намалява уязвимостта към климатични и техногенни заплахи, но и допринася за декарбонизацията на икономиката и постигането на климатична неутралност.

5.3. Транспорт и достъп

Транспортната инфраструктура е пряко свързана както с екологичните, така и със социалните аспекти на устойчивостта. Според показателя SDG 11.2.1, устойчивите градове трябва да увеличават дела на населението, което има удобен достъп до обществен транспорт, като едновременно с това насърчават пешеходното и велосипедното придвижване.

Тези мерки водят до значително намаляване на въглеродните емисии, подобряват качеството на въздуха и създават по-безопасна градска среда. Прилагането на транспортна политика, ориентирана към хората, а не към автомобилите, е сред най-ефективните начини за повишаване на общия индекс на устойчивост (IRI) [4].

5.4. Околна среда и здраве

Екологичните показатели са „термометърът“ на устойчивия град. Подобряването на качеството на въздуха ($PM_{2.5}$ – SDG 11.6.2), увеличаването на зелените площи на глава от населението (SDG 11.7.1) и прилагането на устойчиво управление на отпадъчните води (SDG 6.3.1) имат директен ефект върху здравето на гражданите.

Въвеждането на охлаждащи зелени мрежи – паркове, зелени улици и вертикално озеленяване – доказано намалява ефекта от „градските топлинни острови“, които през летните месеци повишават смъртността сред възрастните хора и уязвимите групи. Градската зелена инфраструктура изпълнява двойна функция – едновременно екологична и социална, като подобрява благосъстоянието и намалява нуждата от енергия за охлаждане.

5.5. Управление и финанси

Техническите мерки трябва да бъдат подкрепени от ефективна управленска рамка. Необходими са завършени местни стратегии за намаляване на риска от бедствия и адаптация към климатичните промени, съгласно принципите на Рамката от Сендай.

В съответствие с пътната карта на Световната банка за България (Доклад по компонент 1 – Диагностика и пътна карта), следва да се насочат повече ресурси към превенция, отколкото към възстановяване след щети. Това изисква интегриран подход: от събиране на надеждни данни и анализ на уязвимостите, през разработване на местни инвестиционни програми, до измерване на ефекта от всяка вложена публична инвестиция.

5.6. Техногенни рискове и киберустойчивост

В контекста на нарастващата дигитализация на инфраструктурите, особено внимание трябва да се отдели на техногенните рискове и киберустойчивостта. Необходимо е изграждане на инвентаризация на опасни обекти, планиране на буферни зони около индустриални предприятия, въвеждане на сензорни мрежи за откриване на аварии и изграждане на сегментирани системи за управление (SCADA), които ограничават разпространението на грешки или атаки.

Редовните стрес-тестове и симулации на критичните мрежи са задължителен инструмент за поддържане на готовност при аварии.

3. ДИСКУСИИ

Устойчивостта на градската среда не може да бъде оценена без надеждни данни. За България вече съществуват секторни оценки и макроикономически анализи на влиянието на климатичните промени върху икономиката, земеделието и инфраструктурата (19RH621pr.12). Тези данни позволяват да се проследят междусекторните зависимости – например как недостигът на вода за напояване влияе върху градските ресурси, енергетиката и общественото здраве.

Особено важно е свързването на физическите и паричните измерители – т.е. не само да знаем колко километра канализация са изградени, но и как това се отразява на икономическите загуби или спестените средства. Според препоръките на OECD подобен подход позволява анализ на компромисите между различните приоритети – например между инвестиции в транспорт и зелена инфраструктура – и дава възможност за обективна оценка на „праговете на устойчивост“.

Друг ключов елемент е т.нар. „управленска компонента“ на индикаторните системи. По примера на германската система за устойчив туризъм [9], включването на управленски показатели – като ефективност на администрацията, наличие на контролни механизми и участие на гражданите – прави анализа по-пълен и осигурява обратна връзка между политиките и реалните резултати. Така индикаторната система престава да бъде само статистически инструмент и се превръща в средство за активно управление на устойчивостта.

ДИСКУСИИ

Предложената индикаторна система съчетава в едно цяло климатичните, техногенните, инфраструктурните, социалните, екологичните и управленските аспекти на градската устойчивост. Тя е изградена върху международно признати рамки като SDG 11, IWRM и OECD, и може да служи както за научни изследвания, така и за практическо приложение в общинското планиране.

Разработената структура позволява:

1. Съпоставимост между различни населени места чрез общ индекс (IRI) и оценки по домейни;
2. Приоритизация на мерки чрез икономическа аргументация (метод BACI), доказваща, че проактивните действия имат по-висока възвръщаемост ($BCR > 1$);
3. Проследимост на ефекта от инвестициите и политиките, което осигурява по-добра отчетност и прозрачност на местното управление.

В условията на климатичните тенденции за България – по-сухи лета, по-високи температури и п

о-чести екстремни явления, показани в официалните диаграми на стр. 6–7 от Националната стратегия за адаптация, акцентът трябва да се постави върху синьо-зелените решения, модернизацията на инфраструктурните мрежи и актуализирането на нормите и плановете за управление на риска [10].

Само чрез системно, интегрирано и научно обосновано планиране можем да гарантираме, че градовете ще останат безопасни, функционални и устойчиви пред лицето на климатичните и техногенните предизвикателства на XXI век.

ЛИТЕРАТУРА

[1] UN-Habitat. A Short Guide to Human Settlements Indicators – Goal 11+.
[2] Анализ и оценка на риска и уязвимостта на секторите в българската икономика от климатичните промени, Оперативна програма околна среда 2007-2013.

[3] OECD. Frameworks to Measure Sustainable Development.
[4] Sustainable development goals. Monitoring human settlements indicators. A short guide to human settlements indicators goal 11+.
[5] Economic assessment of drought risk management. A two-tier framework for cost–benefit analysis of proactive versus reactive drought management, 2024.
[6] Frameworks to measure sustainable development, Organisation for economic co-operation and development, 2000.
[7] Climate Change Adaptation in Human Settlements Using Integrated Water Resources Management Tools, Economic and Social Commission for Western Asia, ESCWA, 2017.
[8] ESCWA & UN-Environment (2021). Climate Change Adaptation in Human Settlements Using IWRM Tools. Beirut, 2021.
[9] Development of an indicator-system for measuring the sustainability of tourism in Germany, 2nd Meeting of the Working Group of Experts on Measuring the Sustainability of Tourism, 25 October 2018, Madrid.
[10] Национална стратегия за адаптация към изменението на климата.