XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСИ ЗА ПОДДЪРЖАНЕ НА ЖИЗНЕНОВАЖНИ ФУНКЦИИ ПРИ МАЩАБНИ БЕДСТВИЯ

Стефан Първанов [1]

ORGANIZATION AND RESOURCE MANAGEMENT FOR MAINTAINING ESSENTIAL SOCIETAL FUNCTIONS DURING LARGE-SCALE DISASTERS

Stefan Parvanov

Abstract:
The paper examines resource organization and allocation as a factor for maintaining vital public functions during large-scale disasters. It analyses material, human, logistical and information resources and their role in healthcare, energy, water supply and transport. A deterministic linear programming model is formulated for short-term allocation under limited resources, using priority weights, minimum service levels and a proportional baseline for comparison. The model is demonstrated through a 72-hour synthetic scenario and a sensitivity check of the binding generator capacity. The numerical results show a moderate increase in the chosen weighted index (SCI) under the stated assumptions, while also revealing the trade-off between priority-based allocation and egalitarian distribution. The paper offers practical guidelines for using such models as decision-support tools, not as substitutes for expert and command judgement.

Keywords:
Resource allocation, Essential societal functions, Disaster management, Critical infrastructure, Continuity, Interagency coordination, Linear programming, Resilience

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Мащабните бедствия едновременно увеличават потребността от помощ и ограничават ресурсите за реагиране. Повреди в електрозахранването, транспортната достъпност, комуникациите и снабдяването могат да възпрепятстват работата на здравни, водоснабдителни, енергийни и логистични структури. Поради това управлението на ресурси следва да се разглежда като координиран процес за идентифициране на потребности, заявяване, мобилизиране, разпределение, проследяване, пренасочване и демобилизиране, а не само като инвентаризация на активи [1-6].

[1] Стефан Първанов, доцент д-р, катедра „Управление на безопасността и превенция“, факултет „Пожарна безопасност и защита на населението“, Академия на МВР, гр. София, ул. „Пиротска № 171“, имейл: sip_81@abv.bg;
Stefan Parvanov, Associate Professor, PhD, Department of Safety Management and Prevention, Faculty of Fire Safety and Civil Protection, Academy of MoI, Sofia, 171 Pirotska Street, E-mail: sip_81@abv.bg.

Рамката от Сендай поставя акцент върху разбирането и управлението на риска, инвестициите в устойчивост и готовността за ефективно реагиране [1]. Националната стратегия и Законът за защита при бедствия определят българската рамка за намаляване на риска, планиране, координация и използване на сили и средства [2,3]. ISO 22320 разглежда ролите, задачите, ресурсите и съвместното управление при инциденти, а ISO 22301 поставя изисквания към управлението на непрекъсваемостта на дейността [4,5]. Директива (ЕС) 2022/2557 и Механизмът за гражданска защита на Съюза подчертават устойчивостта на критичните субекти и сътрудничеството при трансгранични и мащабни събития [9,10].

Литературата по оперативни изследвания и хуманитарна логистика показва, че оптимизационните модели могат да подпомагат предварителното разполагане, доставката и координацията на помощи, но резултатите зависят от качеството на входните данни, избраната целева функция и ограниченията [11-15,20]. Взаимозависимостите между инфраструктурите допълнително усложняват решенията: отказ в един сектор може да ограничи капацитета на други сектори [18,19].

Целта на доклада е да формулира математически последователен и възпроизводим модел за краткосрочно разпределение на ограничени ресурси към жизненоважни функции. Приносът е в: (i) ясна система от множества, параметри и променливи; (ii) разграничаване между индекс на услуга и вероятност; (iii) линейна формулировка с минимални нива; (iv) пропорционална база за сравнение; (v) непрекъсната и целочислена проверка; и (vi) чувствителен анализ на критично ресурсно ограничение. Моделът не замества инженерната оценка, законовите правомощия или командното решение.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1. Обхват, класове ресурси и основни допускания

Разглежда се един произволен оперативен период с предварително проверени потребности и наличности. Ресурсите са групирани в материални, човешки, логистични и информационни класове, съобразно практиката за управление на инциденти и непрекъсваемост [4-8]. В модела „жизненоважна функция“ е оперативна категория за услуга, чието значимо прекъсване може да засегне живота, здравето, обществената безопасност или функционирането на други услуги; терминът не се приравнява автоматично към конкретна правна категория по Директива (ЕС) 2022/2557.

Таблица 1. Класове ресурси и основни задачи за управление.

Клас	**Примери**	**Основна управленска задача**
Материални	Генератори, гориво, помпи, лекарства, защитни средства	Запаси, съвместимост, мобилизация, разход и попълване
Човешки	Спасители, медици, инженери, логистици, доброволци	Квалификация, смени, безопасност, почивка и подмяна
Логистични	Превозни средства, депа, маршрути, товарна техника	Достъп, маршрутизация, приоритети и доставка „последна миля“
Информационни	Оперативна картина, ГИС, оценки на щети, заявки	Верификация, проследимост, обмен и подпомагане на решенията

Основното допускане е, че за всяка функция зададените ресурсни типове са невзаимозаменяеми в рамките на периода. Например допълнителен екип не компенсира липсващ генератор. Това е консервативна структура на „перфектни допълнения“. Когато в реална система има заместваемост, резервираност, различни качества на активите или

времево прехвърляне, моделът трябва да бъде разширен с подходящи технологични и времеви ограничения.

2.2. Множества, параметри и оценка на критичността

Нека I е множеството от жизненоважни функции, J – множеството от ресурсни типове, M – множеството от критерии, а $J_i \subseteq J$ – подмножеството от ресурсите, необходими на функция $i \in I$. За критерий $m \in M$ са зададени тегло w_m и нормализирана оценка q_{im} за функция i. По-голяма стойност на q_{im} означава по-тежки последствия или по-висока спешност. Теглата са неотрицателни и със сума 1. Претеглената сума е прозрачна, но компенсаторна техника в многокритериалния анализ; поради това извеждането на теглата трябва да бъде документирано и придружено от чувствителен анализ [16].

$$K_i = \sum_{m\in M} w_m\, q_{im}, \quad i \in I; \quad w_m \geq 0, \quad \sum_{m\in M} w_m = 1, \quad 0 \leq q_{im} \leq 1. \tag{1}$$

В уравнение (1) K_i е безразмерна оценка на критичността в интервала [0,1]. Тя е индекс за приоритизиране, а не вероятност за отказ и не е нормативно установена величина. Сравнението е смислено само ако функциите са оценени по едни и същи критерии и скали. При промяна на контекста теглата и оценките следва да бъдат преразгледани.

2.3. Ресурсна осигуреност и ниво на услугата

Параметърът $d_{ij} > 0$ е проверената потребност на функция i от ресурс j за разглеждания период, $B_j \geq 0$ е общо наличният капацитет от ресурс j, а $x_{ij} \geq 0$ е разпределеният капацитет. Отношението x_{ij}/d_{ij} измерва покритието на потребността. То се ограничава до 1, защото в настоящата целева функция разпределение над проверената потребност не носи допълнителна полза.

$$A_{ij} = \min\left\{1, \frac{x_{ij}}{d_{ij}}\right\}, \quad i \in I, \quad j \in J_i, \quad d_{ij} > 0. \tag{2}$$

Коефициентът A_{ij} е безразмерен: $A_{ij}=0$ означава липса на осигуряване, $A_{ij}=0{,}8$ - покритие на 80% от заявената потребност, а $A_{ij}=1$ - пълно покритие. Ако ресурсите са невзаимозаменяеми, постижимото ниво на услугата се определя от най-слабо осигурения ресурс.

$$S_i = \min_{j\in J_i} A_{ij}, \quad 0 \leq S_i \leq 1, \quad i \in I. \tag{3}$$

Променливата S_i е нормализирано ниво на непрекъсваемост/обслужване, а не вероятност. Уравнение (3) е консервативно и е подходящо, когато всички включени ресурси са необходими. Ако услугата може да работи при частична замяна между ресурси, следва да се използва друга производствена функция, калибрирана с реални данни.

2.4. Модел за приоритетно разпределение

Целта е да се максимизира претегленото ниво на услугите. При фиксирани потребности d_{ij} моделът е линеен, защото връзката между S_i и x_{ij} се задава чрез линейни неравенства. Линейното програмиране е стандартен метод за разпределяне на ограничени ресурси [17] и има широко приложение в логистиката при бедствия [11-15].

$$\max_{x,S} Z = \sum_{i\in I} K_i\, S_i. \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \textstyle\sum_{i\in I:\, j\in J_i} x_{ij} &\leq B_j, && \forall j \in J, \\ d_{ij} S_i \leq x_{ij} &\leq d_{ij}, && \forall i \in I,\ j \in J_i, \\ S_{i,\min} &\leq S_i \leq 1, && \forall i \in I. \end{aligned} \tag{5}$$

Първата група ограничения в (5) гарантира, че общото разпределение не надвишава B_j. Втората изисква за заявено ниво S_i да са осигурени поне $d_{ij}S_i$ единици от всеки необходим ресурс и забранява разпределение над проверената потребност. Третата задава минимално допустимо ниво $S_{i,\min}$ и горна граница 1. При липса на вторична цел оптимумът може да съдържа излишни x_{ij}; затова в численото решение е показано минималното поддържащо разпределение $x_{ij} = d_{ij}S_i$. След това заместване непрекъснатият модел е еквивалентен на модел само по променливите S_i с ресурсни ограничения $\sum_{i:\, j\in J_i} d_{ij}\, S_i \le B_j$. Тази редуцирана форма е използвана за независимата числена проверка. Практически може да се приложи лексикографска схема: първо максимизиране на Z, след това минимизиране на общия разпределен ресурс при фиксирана оптимална стойност на Z.

За сравнение на стратегии се използва нормализиран индекс, равен на претегленото средно на S_i:

$$\mathrm{SCI} = \frac{\sum_{i\in I} K_i S_i}{\sum_{i\in I} K_i}, \qquad \sum_{i\in I} K_i > 0, \qquad 0 \le \mathrm{SCI} \le 1. \tag{6}$$

При $\sum_{i\in I} K_i > 0$, $\mathrm{SCI} = 1$ означава $S_i = 1$ за всички функции с $K_i > 0$, а $\mathrm{SCI} = 0$ означава $S_i = 0$ за всички функции с $K_i > 0$. Функции с нулево тегло не влияят върху индекса; затова те трябва да бъдат изключени от целевата функция или да се третират чрез допълнителна цел. Индексът SCI е конструиран за този модел; той не е стандартизиран показател за обществена устойчивост и не трябва да се сравнява между различни набори от функции, тегла и времеви хоризонти без допълнителна нормализация.

2.5. Пропорционална база, проверка за допустимост и неделими ресурси

Като проста база се приема еднакво пропорционално покритие на потребностите. Нека $D_j = \sum_{i:\, j\in J_i} d_{ij}$ е общата проверена потребност от ресурс j. Най-малкото отношение между наличност и обща потребност определя общия коефициент на покритие при допускането за тясно място:

$$r^{\mathrm{prop}} = \min\left\{1, \min_{\substack{j\in J \\ D_j>0}} \frac{B_j}{D_j}\right\}, \qquad x_{ij}^{\mathrm{prop}} = r^{\mathrm{prop}} d_{ij}, \qquad S_i^{\mathrm{prop}} = r^{\mathrm{prop}}. \tag{7}$$

Пропорционалната база е допустима само ако $r^{\mathrm{prop}} \ge \max_{i\in I} S_{i,\min}$. При формулировката (5), без допълнителни технологични, пространствени или времеви ограничения, необходимо и достатъчно условие за изпълнение на минималните нива в непрекъснатия модел е:

$$\sum_{i\in I:\, j\in J_i} d_{ij}\, S_{i,\min} \le B_j, \qquad \forall j \in J. \tag{8}$$

Условие (8) следва директно от сумарните ограничения при $x_{ij} = d_{ij}S_{i,\min}$. В непрекъснатия модел $x_{ij} \in \mathbb{R}_{\ge 0}$ са еквивалентни капацитети и могат да бъдат дробни, например чрез споделяне по време или агрегиране на частичен капацитет. Когато физическите единици са неделими, се изисква $x_{ij} \in \mathbb{Z}_{\ge 0}$ и задачата става смесено-целочислена линейна програма (MILP). Тъй като допустимото множество на MILP е подмножество на допустимото множество на непрекъснатия модел, непрекъснатото решение е горна граница за постижимата целева стойност.

3. ДАННИ И СЦЕНАРИЙНИ ДОПУСКАНИЯ

Численото приложение е интегративна, напълно възпроизводима апробация на математическата логика, а не реконструкция на реално бедствие. Хоризонтът е 72 часа. Разглеждат се здравеопазване *(H)*, водоснабдяване *(W)*, енергоснабдяване *(E)* и транспорт/логистика *(T)*. Изборът отразява често разглеждани жизненоважни услуги и инфраструктурни взаимозависимости [7-10,18,19], но числата в таблиците са сценарийни допускания на автора.

Използваните тегла са: 0,35 за безопасност на живота, 0,20 за засегнато население, 0,20 за взаимозависимост, 0,15 за чувствителност във времето и 0,10 за трудност на възстановяването. Сумата е 1,000. Таблица 2 показва входните оценки и резултата по (1). Например за енергоснабдяването:
$K_E = 0{,}35 \cdot 0{,}75 + 0{,}20 \cdot 0{,}90 + 0{,}20 \cdot 1{,}00 + 0{,}15 \cdot 0{,}80 + 0{,}10 \cdot 0{,}85 = 0{,}8475$; тази точна стойност се използва в последващите изчисления.

Таблица 2. Сценарийна оценка на критичността (всички стойности са безразмерни).

Код	q_1 живот	q_2 насел.	q_3 взаим.	q_4 време	q_5 възст.	K_i
H	1,00	0,90	0,85	1,00	0,80	0,9300
W	0,85	0,95	0,90	0,85	0,75	0,8700
E	0,75	0,90	1,00	0,80	0,85	0,8475
T	0,60	0,80	0,80	0,70	0,70	0,7050

Заб.: H – здравеопазване; W – водоснабдяване; E – енергоснабдяване; T – транспорт/логистика; q_1–q_5 – живот, население, взаимозависимост, време и възстановяване; K_i – индекс на критичност.

Ресурсните количества в Таблица 3 са еквивалентни капацитетни единици за целия 72-часов период. „Екип“ означава капацитет на един разгръщаем екип за периода; „генератор“ - една мобилна енергийна единица с осигурено гориво и обслужване; „превозно средство“ – логистичен транспортен капацитет; „комуникационен комплект“ – резервиран полеви комуникационен капацитет. Дробна стойност в непрекъснатото решение означава еквивалентен споделен капацитет, а не буквално част от физически актив.

Таблица 3. Потребности, наличности и минимални нива за 72-часовия сценарий.

Код	Екипи ($j = 1$)	Ген. ($j = 2$)	Прев. ($j = 3$)	Ком. ($j = 4$)	$S_{i,\min}$
H	8	5	4	5	0,60
W	7	5	5	4	0,60
E	10	5	6	5	0,70
T	11	5	11	5	0,60
Обща потребност D_j	36	20	26	19	-
Налични B_j	31	16	21	16	-
B_j/D_j	0,8611	0,8000	0,8077	0,8421	-

Заб.: H/W/E/T както в Таблица 2; j = 1 – екипи, j = 2 – генератори, j = 3 – транспорт, j = 4 – комуникации; D_j – обща потребност; B_j – наличност; S_i,min – минимално ниво.

4. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

4.1. Проверка на пропорционалната база

От последния ред на Таблица 3 най-малкото отношение е $16/20 = 0{,}8000$ за генераторния капацитет. Следователно $r^{\text{prop}} = 0{,}8000$ и при (3) всяка функция получава $S_i^{\text{prop}} = 0{,}8000$. Всички минимални нива са спазени, включително $S_{E,\min} = 0{,}70$. Тъй като SCI е претеглено средно и всички S_i са равни, $\text{SCI}_{\text{prop}} = 0{,}8000$ независимо от стойностите K_i. Това е контролна проверка на формула (6).

4.2. Непрекъснато оптимално разпределение

Минималните нива потребяват 12,5 генераторни еквивалента: $5 \cdot 0{,}60 + 5 \cdot 0{,}60 + 5 \cdot 0{,}70 + 5 \cdot 0{,}60 = 12{,}5$. Остават 3,5 единици. Понеже $d_{i2} = 5$ за всички функции, пределното нарастване на целевата функция за един допълнителен генераторен еквивалент е $K_i/d_{i2} = K_i/5$: 0,1860 за *H*, 0,1740 за *W*, 0,1695 за *E* и 0,1410 за *T*. Затова 2,0 единици повишават S_H от 0,60 на 1,00, а останалите 1,5 единици повишават S_W от 0,60 на 0,90. Сумарните ограничения по наличност за другите ресурсни типове остават неактивни. Този аргумент възпроизвежда оптимума и е независимо потвърден чрез редуцираната линейна формулировка.

Таблица 4. Непрекъснато решение и минимално поддържащо разпределение $x_{ij} = d_{ij}S_i$.

Код	S_i^{prop}	S_i^{LP}	Екипи x_{i1}	Ген. x_{i2}	Прев. x_{i3}	Ком. x_{i4}
H	0,8000	1,0000	8,0	5,0	4,0	5,0
W	0,8000	0,9000	6,3	4,5	4,5	3,6
E	0,8000	0,7000	7,0	3,5	4,2	3,5
T	0,8000	0,6000	6,6	3,0	6,6	3,0
Изп./ B_j	-	-	27,9 / 31	16,0 / 16	19,3 / 21	15,1 / 16
Резерв	-	-	3,1	0,0	1,7	0,9

Заб.: S_i^{prop} – пропорционална база; S_i^{LP} – непрекъснат оптимум; x_{i1}–x_{i4} – минимално поддържащо разпределение; Изп./B_j – използван/наличен ресурс.

Точната претеглена сума е:
$Z_{\text{LP}} = 0{,}9300 \cdot 1{,}0000 + 0{,}8700 \cdot 0{,}9000 + 0{,}8475 \cdot 0{,}7000 + 0{,}7050 \cdot 0{,}6000 = 2{,}72925$.
Понеже $\sum_i K_i = 3{,}3525$, $\text{SCI}_{\text{LP}} = 2{,}72925/3{,}3525 = 0{,}814094 \approx 0{,}8141$. Спрямо 0,8000 нарастването е 0,014094, т.е. 1,41 процентни пункта (1,76% относително). Това е умерена сценарийна промяна, а не доказателство за статистически значим ефект. Решението не е Парето-подобрение спрямо пропорционалната база: нивата на *H* и *W* се повишават, докато нивата на *E* и *T* се понижават до зададените им минимуми. Следователно по-високият SCI отразява точно избраните тегла и долни граници, а не универсално превъзходство на една стратегия.

Неизползваният капацитет при екипи, превозни средства и комуникации не е аритметична грешка. Поради допускането за тясно място допълнителен ресурс от тези типове не повишава S_i без допълнителен генераторен капацитет. В реална операция свободният капацитет може да се поддържа като резерв, да се насочи към функции извън модела или да се използва за резервираност и ускоряване на възстановяването - ефекти, които настоящата целева функция не оценява.

4.3. Проверка при неделими ресурси

За да се провери дали дробните еквиваленти водят до практически подвеждащ резултат, е решена и MILP версия с $x_{ij} \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$ и непрекъснати S_i. Едно оптимално решение е показано в Таблица 5. За всяка функция S_i е минималното отношение x_{ij}/d_{ij} по необходимите ресурсни типове. Решението не е задължително единствено, но целевата стойност е оптимална за зададените данни.

Таблица 5. Едно оптимално разпределение при цели, неделими ресурсни единици.

Код	S_i^{MILP}	**Екипи**	**Ген.**	**Прев.**	**Ком.**
H	1,0000	8	5	4	5
W	0,8000	6	4	4	4
E	0,8000	8	4	5	4
T	0,6000	7	3	7	3
Изп./B_j	-	29 / 31	16 / 16	20 / 21	16 / 16

Заб.: S_i^{MILP} – целочислено ниво; ресурсите са цели единици; Изп./B_j – използван/наличен ресурс.

За Таблица 5:
$Z_{\mathrm{MILP}} = 0{,}9300 \cdot 1{,}0000 + 0{,}8700 \cdot 0{,}8000 + 0{,}8475 \cdot 0{,}8000 + 0{,}7050 \cdot 0{,}6000 = 2{,}7270$
и $\mathrm{SCI}_{\mathrm{MILP}} = 2{,}7270/3{,}3525 = 0{,}813423 \approx 0{,}8134$. Разликата спрямо непрекъснатата горна граница е 0,000671, или около 0,082% от $\mathrm{SCI}_{\mathrm{LP}}$.

Следователно по-високата стойност на зададената претеглена цел спрямо пропорционалната база се запазва и при цели единици; това отново не означава Парето-доминиране, а резултат от конкретните тегла, минимални нива и ресурсни ограничения.

4.4. Чувствителност към генераторния капацитет

Таблица 6 показва непрекъснатия оптимум при последователно намаляване на B_2, докато останалите наличности са непроменени. Стойностите следват от същия модел (4)–(5); те не са прогноза за реално бедствие.

Таблица 6. Чувствителност на непрекъснатото решение към B_2.

B_2	S_H	S_W	S_E	S_T	$\mathrm{SCI}_{\mathrm{LP}}$
16,0	1,00	0,90	0,70	0,60	0,8141
15,0	1,00	0,70	0,70	0,60	0,7622
14,0	0,90	0,60	0,70	0,60	0,7085
13,0	0,70	0,60	0,70	0,60	0,6530
12,5	0,60	0,60	0,70	0,60	0,6253

Заб.: B_2 – наличен генераторен капацитет; S_H, S_W, S_E, S_T – нива на услуга за H, W, E и T; SCI_LP – претеглен индекс на непрекъснатото решение.

При $B_2 = 14$ се получават $S_H = 0{,}90$, $S_W = 0{,}60$, $S_E = 0{,}70$ и $S_T = 0{,}60$, а $\mathrm{SCI}_{\mathrm{LP}} = 0{,}708501 \approx 0{,}7085$. Условие (8) показва праг от 12,5 генераторни еквивалента. Под него непрекъснатият модел е недопустим при зададените минимални нива. Ако единиците са

физически неделими и не могат да се споделят, необходимият минимален целочислен генераторен капацитет е:

$$B_{2,\min}^{\text{int}} = \sum_{i \in I} \text{ceil}\left(d_{i2} S_{i,\min}\right) = \text{ceil}(3{,}0) + \text{ceil}(3{,}0) + \text{ceil}(3{,}5) + \text{ceil}(3{,}0) = 13.$$

Тук $\text{ceil}(y)$ означава най-малкото цяло число, което не е по-малко от y. Това разграничение предотвратява неправилното тълкуване на „12,5 генератора“ като физическо количество: 12,5 е агрегирана непрекъсната капацитетна стойност, докато 13 е минималният брой цели единици при зададените индивидуални долни граници.

4.5. Организационни последици и ограничения на модела

Сценарият показва как прозрачното приоритизиране може да направи видима цената на ресурсния дефицит и да обоснове резерв, взаимопомощ или предварително разполагане. За оперативно използване заявките d_{ij} трябва да бъдат проверени по източник, време, местоположение, съвместимост, квалификация и логистична достижимост; наличностите B_j трябва да се актуализират, а всяка промяна в теглата и минималните нива да бъде проследима. Това е съвместимо с цикъла на управление на ресурси и общата оперативна картина в ISO 22320 и NIMS [4,6].

Моделът има ясни граници. Той е детерминиран и едноперioден; не включва време за придвижване и разгръщане, изчерпване на гориво и запаси, сменност и умора на персонала, повреди на самите ресурси, географска достъпност, капацитет на маршрутите, съвместимост на оборудването, вероятностни сценарии или експлицитно каскадно разпространение. Взаимозависимостта е отразена само чрез критерий q_3, а не чрез инфраструктурна мрежа; за мрежово-динамична оценка са необходими модели от типа, разглеждан в [18,19]. Целевата функция е претеглена и компенсаторна: тя не гарантира едновременно подобрение на всяка функция и не включва отделен критерий за равнопоставеност, цена на пренасочването или стабилност на решенията между периодите. Теглата и минималните нива са ценностни и управленски параметри и следва да се утвърждават от компетентни органи, а не да се приемат като универсални.

Следователно резултатът $S_H = 1{,}00$ означава само, че според зададените потребности и допускането за тясно място моделът осигурява 100% ресурсно покритие за H. Той не доказва, че реалната здравна услуга ще функционира без прекъсване. Реалното ниво зависи и от щети, процеси, персонал, външни доставки и взаимозависимости, които трябва да се оценяват отделно.

5. ИЗВОДИ

При заявените допускания предложеният модел е математически последователен инструмент за краткосрочно подпомагане на решенията при ограничени ресурси. Оценката на критичността (1), покритието на потребностите (2), консервативното ниво на услуга (3), линейната цел и ограниченията (4)–(5), нормализираният индекс (6), пропорционалната база (7) и условието за допустимост (8) образуват проверима верига от входни данни до резултат.

За синтетичния 72-часов сценарий пропорционалната стратегия дава $\text{SCI}_{\text{prop}} = 0{,}8000$, непрекъснатият оптимум — $\text{SCI}_{\text{LP}} = 0{,}8141$, а целочислената проверка — $\text{SCI}_{\text{MILP}} = 0{,}8134$. По-високият претеглен индекс се постига чрез повишаване на H и W и понижаване на E и T до зададените долни граници; следователно резултатът трябва да се тълкува като оптимум на конкретната целева функция, а не като едновременно подобрение на всички услуги. Сумарното ограничение по генераторен капацитет е единственото активно ограничение по наличност в базовия непрекъснат оптимум; при намаляването му до 14 еквивалентни единици SCI_{LP} спада до 0,7085. По отношение на генераторния ресурс минималните нива изискват 12,5 еквивалентни или поне 13 неделими

физически единици. Тези стойности са точни за зададената матрица от данни, но не следва да се генерализират към реални системи без локална калибрация.

За практическо приложение са необходими: официално определени критерии и минимални нива; актуален каталог на ресурсите; проверка на съвместимостта и времето за доставка; целочислени ограничения за неделими активи; сценарии за отказ и несигурност; и периодично преразглеждане при нова информация. Моделът следва да се тества в учения и да се използва като аналитична подкрепа, а не като автоматичен заместител на командното и експертното решение.

ЛИТЕРАТУРА

[1] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. Geneva, 2015. Available at: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030 [accessed 20 June 2026].

[2] Министерски съвет на Република България. Национална стратегия за намаляване на риска от бедствия на територията на Република България 2018–2030 г., приета с Решение № 505 на Министерския съвет от 19.07.2018 г. Достъпно на: https://www.strategy.bg/bg/strategy-documents/1298 [посетен на 20.06.2026 г.].

[3] Република България. Закон за защита при бедствия, обн. ДВ, бр. 102 от 19.12.2006 г., изм. и доп. Консолидиран текст, публикуван от МВР, актуализиран към 20.11.2025 г. Достъпно на: https://www.mvr.bg/upload/296097/ЗЗБ.pdf [посетен на 20.06.2026 г.].

[4] International Organization for Standardization. ISO 22320:2018 Security and resilience - Emergency management - Guidelines for incident management. Geneva: ISO, 2018.

[5] International Organization for Standardization. ISO 22301:2019 Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements; Amendment 1:2024, Climate action changes. Geneva: ISO, 2019/2024.

[6] Federal Emergency Management Agency (FEMA). National Incident Management System. 3rd ed. Washington, DC: U.S. Department of Homeland Security, 2017. Available at: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_nims_doctrine-2017.pdf [accessed 20 June 2026].

[7] World Health Organization, Regional Office for Europe. Hospital Emergency Response Checklist: An All-Hazards Tool for Hospital Administrators and Emergency Managers. Copenhagen, 2011. Available at: https://www.who.int/publications/i/item/hospital-emergency-response-checklist [accessed 20 June 2026].

[8] Sphere Association. The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response. 4th ed. Geneva, 2018. Available at: https://spherestandards.org/handbook-2018/ [accessed 20 June 2026].

[9] European Parliament and Council. Directive (EU) 2022/2557 of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC. Official Journal of the European Union, L 333, 2022, 164–198. Available at: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2557/oj [accessed 20 June 2026].

[10] European Parliament and Council. Decision No 1313/2013/EU of 17 December 2013 on a Union Civil Protection Mechanism, consolidated version of 18 December 2023, including Decision (EU) 2023/2671. Available at: https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2013/1313/2023-12-18/eng [accessed 20 June 2026].

[11] Altay, N.; Green, W.G. OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research, 2006, 175(1), 475-493. DOI: 10.1016/j.ejor.2005.05.016.

[12] Galindo, G.; Batta, R. Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management. European Journal of Operational Research, 2013, 230(2), 201-211. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.01.039.
[13] Rawls, C.G.; Turnquist, M.A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. Transportation Research Part B: Methodological, 2010, 44(4), 521-534. DOI: 10.1016/j.trb.2009.08.003.
[14] Tzeng, G.-H.; Cheng, H.-J.; Huang, T.D. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43(6), 673-686. DOI: 10.1016/j.tre.2006.10.012.
[15] Balcik, B.; Beamon, B.M.; Krejci, C.C.; Muramatsu, K.M.; Ramirez, M. Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. International Journal of Production Economics, 2010, 126(1), 22-34. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.09.008.
[16] Belton, V.; Stewart, T.J. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. DOI: 10.1007/978-1-4615-1495-4.
[17] Dantzig, G.B. Linear Programming and Extensions. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1963.
[18] Rinaldi, S.M.; Peerenboom, J.P.; Kelly, T.K. Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. IEEE Control Systems Magazine, 2001, 21(6), 11-25. DOI: 10.1109/37.969131.
[19] Ouyang, M. Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. Reliability Engineering & System Safety, 2014, 121, 43-60. DOI: 10.1016/j.ress.2013.06.040.
[20] Holguín-Veras, J.; Jaller, M.; Van Wassenhove, L.N.; Pérez, N.; Wachtendorf, T. On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. Journal of Operations Management, 2012, 30(7-8), 494-506. DOI: 10.1016/j.jom.2012.08.003.