



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



**Архитектонски метод
формирања резилијентних
школских простора заснован
на ћелијским аутоматима**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:

ванр. проф. др Дејан Ецет

Кандидат:

Стефан Пејић, ДЦ 7/2022

Нови Сад, 2026.

*Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ОБРАЗАЦ – 5а

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Стефан Пејић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	др Дејан Ецет, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора заснован на ћелијским аутоматима
Језик и писмо рада:	Српски, ћирилица
Физички опис рада:	Унети број: Страница: 164 Поглавља: 14 Референци: 85 Табела: 12 Слика: 26 Графикона: 0 Прилога: 0
Научна област:	Архитектура
Ужа научна област (научна дисциплина):	Архитектонско-урбанистичко пројектовање и теорија
Кључне речи / предметна одредница:	архитектура школа; резилијентност; школска безбедност; ћелијски аутомати; алгоритамско пројектовање; генеративно пројектовање; типологија школских зграда; просторна организација; баријере; елементи успоравања
Апстракт на језику рада:	Дисертација истражује могућност формулисања архитектонског метода за формирање резилијентних школских простора применом ћелијских аутомата. Полазиште истраживања чини став да се безбедност школских зграда не може свести на накнадно додате техничке системе, већ да треба да буде интегрисана у просторну организацију, логику кретања и структуру школске основе. Посебна пажња усмерена је на могућност да баријере и елементи успоравања постану саставни део архитектонске организације, уз очување функционалности, препоручених нето површина и квалитета простора за учење. Методолошки оквир обухвата анализу релевантне литературе и савремених типологија школских зграда, експертску анализу референтних примера, апстраховање просторних образаца, дефинисање ћелијског простора, стања ћелија и локалних правила, као и генерисање и вредновање варијанти школских основа. Добијени резултати показују да примена ћелијских аутомата омогућава развој нових просторних конфигурација, укључујући угласте и сегментисане комуникационе структуре које могу да допринесу повећању просторне резилијентности школских објеката. Истраживање потврђује потенцијал алгоритамског приступа као генеративног и аналитичког средства у архитектонском пројектовању школа, али истовремено указује на потребу за критичком интерпретацијом, рационализацијом и архитектонском артикулацијом генерисаних решења.

*Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	4.6.2026. године, Сенат Универзитета у Новом Саду
Датум одбране: (Попуњава накнадно институција)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Милан Рапаић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Јелена Атанацковић Јеличић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Ана Нешић Томашевић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Ана Никезић, редовни професор, Архитектонски факултет, Универзитет у Београду Ментор: др Дејан Ецет, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Напомена:	

Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и
дозвола за објављивање личних података;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају у институцији у штампаном и електронском облику и не
кориче се са радом.

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

KEY WORD DOCUMENTATION

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Stefan Pejić
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Dr Dejan Ecet, Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Thesis title in English:	Architectural Method for the Formation of Resilient School Spaces Based on Cellular Automata
Language and script:	Serbian, Cyrillic script
Physical description:	Number of Pages: 164 Chapters: 14 References: 85 Tables: 12 Illustrations: 26 Graphs: 0 Appendices: 0
Scientific field:	Architecture

*Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

Scientific subfield (scientific discipline):	Architectural and Urban Design and Theory
Subject, Key words:	school architecture; resilience; school safety; cellular automata; algorithmic design; generative design; school building typology; spatial organization; barriers; delay elements
Abstract in English:	The dissertation investigates the possibility of formulating an architectural method for the formation of resilient school spaces through the use of cellular automata. The research is based on the premise that school safety should not be reduced to subsequently added technical systems, but should be integrated into spatial organization, patterns of movement and the structure of the school floor plan. Special attention is given to the possibility of treating barriers and delay elements as constitutive parts of architectural organization, while preserving functionality, recommended net areas and the quality of learning environments. The methodological framework includes the analysis of relevant literature and contemporary school building typologies, expert analysis of reference examples, abstraction of spatial patterns, definition of the cell space, cell states and local rules, as well as the generation and evaluation of school layout variants. The results indicate that cellular automata can support the development of new spatial configurations, including angled and segmented circulation structures that may contribute to the spatial resilience of school buildings. The research confirms the potential of an algorithmic approach as both a generative and analytical tool in school design, while also emphasizing the need for critical interpretation, rationalization and architectural articulation of the generated solutions.
Date of endorsement by the scientific board:	04 June 2026 – Senate of the University of Novi Sad
Date of defence: (Filled in by the institution)	
Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution)	Chair: Prof. Milan Rapačić, PhD, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Prof. Jelena Atanacković Jeličić, PhD, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Prof. Ana Nešić Tomašević, PhD, Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Prof. Ana Nikezić, PhD, Full Professor, Faculty of Architecture, University of Belgrade Mentor: Prof. Dejan Ecet, PhD, Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Note:	

The author of the doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authorship,

5в – Statement that the printed and e-version of the doctoral dissertation are identical and authorization to use personal data,

5r – Copyright statement.

The paper and e-versions of Statements are held at the institution and are not included into the printed thesis.

Садржај

1. Увод	9
1.1. Предмет истраживања	9
1.2. Шири контекст савремене школске архитектуре	10
1.3. Преглед литературе	14
1.4. Циљ истраживања	24
1.5. Хипотезе	25
1.6. Методе истраживања	26
1.7. Додатна разрада методолошког оквира	27
2. Доприноси истраживања	30
3. Безбедност и резилијентност школског простора као архитектонски проблем	32
3.1. Безбедност као интегрисани квалитет архитектонског простора 33	
3.2. Терминолошки оквир савременог дискурса	35
3.3. <i>CPTED</i> , перципирана сигурност и корисничка димензија простора	37
3.4. Системски приступ организацији школске безбедности	39
3.5. Линеарна организација ходника и ограничења традиционалне школске основе	41
3.6. Баријере и елементи успоравања као просторни параметри... 43	
3.7. Просторни критеријуми за „СА“ модел	44
3.8. Ограничења архитектонског приступа безбедности	46
4. Ћелијски аутомат као алат у архитектонском пројектовању	49
5. Савремене типологије школских зграда као основа за формирање резилијентних просторних модела	57
5.1. Типологија као методолошки оквир истраживања	57

5.2.	Основни савремени морфолошки типови школских зграда ...	60
5.3.	Савремене типологије у односу на резилијентност школског простора	71
5.4.	Значај савремених типологија за формирање „СА“ модела....	74
6.	Превођење просторних принципа у генеративни модел.....	79
7.	Припремна фаза - Експертска анализа постојећих школских зграда	83
8.	Фаза пројектовања – формирање „СА“ модела	86
8.1.	Дефинисање ћелијског простора (<i>cell space</i>).....	88
8.2.	Дефинисање стања (<i>state</i>) ћелије	90
8.3.	Дефинисање скупа локалних правила - Хијерархијски ћелијски аутомати	95
9.	Интерпретација генерисаних решења и артикулација школских основа	106
10.	Дискусија резултата	116
11.	Закључци.....	127
12.	Литература	134
13.	Индекс илустрација.....	151
14.	Биографија кандидата	156

Предговор

Ова докторска дисертација заснива се на вишегодишњем истраживању могућности примене генеративних рачунарских модела у архитектонском пројектовању, са посебним освртом на однос безбедности, резилијентности и просторне организације школских зграда. Истраживање је усмерено ка развоју архитектонског метода заснованог на примени ћелијских аутомата, који омогућава генерисање просторних конфигурација школских зграда у складу са функционалним, просторним и безбедносним захтевима савремене школе.

Део резултата овог истраживања, који се односи на примену ћелијских аутомата у генерисању просторних конфигурација школских зграда, претходно је објављен у коауторском научном раду *„School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)”**, публикованом у међународном рецензираном часопису *International Journal of Architectural Computing* (SAGE Publications).¹ Аутор ове докторске дисертације је кореспондинг аутор (corresponding author) наведеног научног рада, који представља непосредно научно полазиште овог истраживања. У оквиру докторске дисертације резултати објављени у наведеном раду значајно су проширени, теоријски продубљени и постављени у шири истраживачки контекст.

¹ Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

Додатно су разрађени појмови безбедности и резилијентности школског простора, анализиране савремене типологије школских зграда, успостављен методолошки прелаз од просторних принципа ка генеративном моделу, као и развијени поступци интерпретације, артикулације и анализе генерисаних школских основа.

Полазећи од резултата претходно објављеног научног рада, у оквиру ове докторске дисертације спроведено је шире и свеобухватније истраживање које је резултирало развојем архитектонског метода заснованог на примени ћелијских аутомата за формирање резилијентних школских простора.

1. Увод

1.1. Предмет истраживања

Предмет истраживања односи се на формулисање архитектонског метода за формирање резилијентних школских простора применом ћелијских аутомата, са посебним нагласком на просторну организацију школских зграда у условима савремених захтева безбедности, функционалности, адаптабилности и добробити корисника. Школа се у овом истраживању посматра као сложен просторни систем који, поред образовне функције, мора да одговори и на захтеве контроле кретања, јасне просторне читљивости, социјалне интеракције, осећаја сигурности и квалитета окружења за учење.

У том смислу, предмет истраживања обухвата испитивање могућности да баријере и елементи успоравања, уместо да буду накнадно додати безбедносни елементи, постану саставни део архитектонске организације школске основе. Истраживање истовремено укључује и разматрање резилијентности као појма у архитектури и архитектури школа, као и односа између просторне организације, социјалне интеракције и перципиране сигурности корисника.

Проблем истраживања произилази из ограничења доминантних типологија школских зграда, посебно оних заснованих на линеарним ходницима и једноставним схемама просторне организације, које у савременим условима често не пружају довољан степен просторне разноврсности и отпорности на сложене безбедносне изазове.

Истовремено, у архитектонској теорији и пракси још увек није довољно развијен методолошки оквир који би омогућио систематску примену генеративних рачунарских модела у пројектовању школских објеката са овако сложеним захтевима. Зато предмет истраживања обухвата и испитивање потенцијала ћелијских аутомата као генеративног и аналитичког средства за развој нових просторних конфигурација школских основа, укључујући могућност формирања нове типологије распореда која истовремено интегрише безбедносне критеријуме, препоручене нето површине и квалитете школског простора као места учења и друштвене интеракције.

1.2. Шири контекст савремене школске архитектуре

Међутим, важно је напоменути да су сви примери школских зграда и регулативе који се спомињу у овом раду преузети из европске и америчке праксе. Према томе, резултати представљени у овом раду углавном се односе на ове географске, образовне и културне контексте. Упркос томе, глобална еволуција савремених школских зграда у окружења која подстичу учење, инклузивност, одрживост, прилагодљивост и безбедност указује да ови резултати могу бити релевантни за слична истраживања у различитим културним и образовним окружењима.

У периоду који је претходио изради овог истраживања, у Београду у Србији догодила се пучњава у школи, а затим је уследио сличан инцидент у Прагу у Чешкој чиме се овај низ трагичних догађаја широм света додатно продужио. Оба инцидента догодила су се у школама са архитектонским распоредом који карактеришу дуги ходници са учионицама распоређеним дуж њих.

Како наводе Траверс и сарадници, вероватноћа да се сличан инцидент понови и у будућности остаје висока, те је истраживање начина за пружање адекватних решења у вези са оваквим догађајима, нажалост, и даље неопходно.² Овај рад представља допринос у том правцу.

Како наводи Амерички институт за архитекте (*AIA*), заштита здравља, безбедности и добробити корисника објеката представља основни задатак архитектонске професије.³ Такође, у савременом приступу архитектонском пројектовању школских објеката, безбедност је кључна категорија која обухвата четири аспекта: одвраћање, детекцију, задржавање (успоравање) и одговор. Одвраћање подразумева мере као што су ограде и видео надзор како би се спречиле неовлашћене активности. Системи детекције, као што су контрола приступа и видео надзор, од пресудног су значаја за правовремено препознавање инцидената. Мере задржавања, укључујући закључана врата и физичке баријере, успоравају потенцијалне нападаче, док ефективност одговора зависи од спремности школског особља и безбедносних протокола.⁴ Баријере и елементи успоравања могу се посматрати као архитектонски елементи и биће примењени на одговарајући начин у овом истраживању.

У савременом пројектовању школа приоритет се даје развоју вештина 21. века кроз интеграцију технологије и стварањем флексибилних, мултифункционалних простора. Савремене учионице опремљене су покретним намештајем како би подржале различите стилове учења и

² Travers, Á., McDonagh, T. и Elklit, A. (2018) „Youth responses to school shootings: A review“, *Current Psychiatry Reports*, 20(6), стр. 47. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0903-1>

³ American Institute of Architects (2018) *Where We Stand: School Design and Student Safety*. Преузето 26. априла 2024. са: <https://www.aia.org/pages/206356-where-we-stand-school-design-and-student-sa>

⁴ MOA Architecture (*School Security Through Architectural Design*). Преузето 26. априла 2024. са: https://www.moaarch.com/thought_leadership/school-security-through-architectural-design/

активности, од тимског рада до тихог, индивидуалног учења. Подстицање кретања, интеграција технологије и употреба светлих и живих боја, представљају кључне елементе који доприносе стварању окружења усмереног на ученике и њихово ангажовање. Оваква решења имају за циљ подстицање креативности, јачање процеса учења и прилагођавање различитим типовима ученика, чиме се они припремају за разноврсне и динамичне изазове будућности.⁵

Поред тога, еколошки квалитет школских простора доспео је у први план. Истраживања су показала да фактори као што су осветљење, температура и приступ зеленим површинама значајно утичу на успех ученика и мотивацију наставника. Због тога се савремени дизајн школа фокусира не само на унутрашње просторе већ и на начин на који ученици ступају у интеракцију са спољашњим окружењем, наглашавајући потребу за зеленим, отвореним просторима намењеним за рекреацију и учење.⁶ Школске зграде су такође у фокусу друштвених и еколошких реформи.

Пандемија Коивда („COVID-19“) указала је потребу за здравијим окружењем за учење, посебно у погледу квалитета ваздуха у затвореном простору. Ово је подстакло ширу дискусију о праведном обезбеђивању квалитетних образовних простора.⁷ Разлике у квалитету објеката између школа у имућним срединама и оних у подручјима са нижим просечним примањима или заједницама са израженим разноликостима у погледу

⁵ Elkington, S. и Bligh, B. (yp.) (2019) Future Learning Spaces: Space, Technology and Pedagogy. York: Advance HE. Преузето са: <https://www.advance-he.ac.uk/knowledge-hub/future-learning-spaces-space-technology-and-pedagogy>

⁶ Bell, A.C. и Dymont, J.E. (2008) 'Grounds for Health: The Intersection of Green School Grounds and Health-Promoting Schools', Environmental Education Research, 14(1), стр. 77–90. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13504620701843426>

⁷ Ouyang, F. (2021) "People Oriented" Planning and Architectural Design Practice of Primary and Secondary Schools', у: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Social Science and Contemporary Humanity Development (SSCHD 2020). Paris: Atlantis Press, стр. 996–999. Преузето са: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210121.192>

боје коже, при чему се многе школе суочавају са основним проблемима попут недостатка чисте воде и ваздуха. Програми као што су „*Supporting America's School Infrastructure (SASI)*“⁸ и „*National Center on School Infrastructure (NCIS)*“⁹ покренути су како би се ове неједнакости умањиле и унапредила безбедна, здрава и одржива окружења за учење.¹⁰

Традиционално, школске зграде су одражавале фабрички модел, са ригидном физичком организацијом прилагођеном предавачком, фронталном приступу образовању. Овај модел је дуго критикован због недостатка флексибилности и наглашавања контроле уместо креативности. Образовна парадигма 21. века удаљава се од таквог приступа, заговарајући дизајн школа који омогућава колаборативно учење, критичко размишљање и развој вештина решавања проблема, кључних за суочавање са будућим економским, еколошким и културним изазовима.¹¹

Савремене школе у 21. веку пролазе кроз трансформацију која одражава шире друштвене и образовне реформе. Савремене школске зграде више нису само места за учење, оне постају симболи наше посвећености иновацијама, ангажовању заједнице и еколошкој одговорности. Пројектовање ових простора има кључну улогу у развоју „вештина 21. века“ неопходних за снажање и обликовање у будућности.

⁸ U.S. Department of Education (2021) Supporting America's School Infrastructure (SASI) Initiative. Washington, DC: U.S. Department of Education. Доступно на: <https://www.ed.gov/laboratory-schools/supporting-americas-school-infrastructure-sasi>

⁹ National Center on School Infrastructure (NCIS) (2024) National Center on School Infrastructure. Преузето са: <https://school-infrastructure.org/>

¹⁰ Office of Elementary and Secondary Education (OESE), School Infrastructure Programs (SIP) (2024) School Infrastructure Programs (SIP). Последња измена: 4. јануар 2024. Преузето 12. фебруара 2024. са: <https://oese.ed.gov/offices/school-infrastructure-programs-sip/>

¹¹ Uduku, O. (2015) 'Spaces for 21st-Century Learning', у: McGrath, S. и Gu, Q. (ур.) Routledge Handbook of International Education and Development. Abingdon, Oxon: Routledge, стр. 196–209. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9781315797007>

1.3. Преглед литературе

Литература на којој се заснива ово истраживање формирана је тако да обухвати све области релевантне за предмет рада и омогући успостављање целовитог теоријског и методолошког оквира. Будући да истраживање истовремено припада домену архитектуре, безбедности и савременог рачунарског пројектовања, било је неопходно укључити изворе који разматрају развој школске архитектуре, питања безбедности и резилијентности простора, као и примену генеративних и алгоритамских метода у процесу архитектонског пројектовања.

Радови из области савремене школске архитектуре коришћени су ради сагледавања трансформације школског простора током последњих деценија и идентификовања основних принципа који обликују школе двадесет првог века. Рад Удуку-а „*Spaces for 21st-Century Learning*“¹² указује да савремене школе више нису простори намењени искључиво фронталном облику наставе, већ комплексна окружења која треба да омогуће различите облике учења, сарадње и социјалне интеракције. У истом правцу, кроз рад Феј Оујанг, „*People Oriented - Planning and Architectural Design Practice of Primary and Secondary Schools*“¹³ наглашава се значај кориснички оријентисаног приступа пројектовању, указујући на потребу да се потребе ученика и наставника поставе у средиште процеса обликовања школског простора. Истраживања Ен Бел и Џули Дајмент под називом „*Grounds for Health: The Intersection of*

¹² Uduku, O. (2015) 'Spaces for 21st-Century Learning', у: McGrath, S. и Gu, Q. (уп.) Routledge Handbook of International Education and Development. Abingdon, Oxon: Routledge, стр. 196–209. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9781315797007>

¹³ Ouyang, F. (2021) "People Oriented" Planning and Architectural Design Practice of Primary and Secondary Schools', у: Proceedings of the 6th Annual International Conference on Social Science and Contemporary Humanity Development (SSCHD 2020). Paris: Atlantis Press, стр. 996–999. Преузето са: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210121.192>

Green School Grounds and Health-Promoting Schools “¹⁴ додатно указују на значај физичког окружења, нарочито зелених и отворених простора, и њихов позитиван утицај на здравље, добробит и квалитет процеса учења. Наведени радови омогућили су да се школа у оквиру овог истраживања сагледа као сложен, динамичан и вишеслојан просторни систем који, поред испуњавања функционалних захтева, треба да обезбеди услове за учење, социјалну интеракцију, добробит корисника и прилагодљивост различитим образовним и друштвеним околностима.

Питање безбедности и резилијентности школског простора разматрано је кроз литературу која указује на све сложеније ризике и изазове са којима се савремене школе суочавају. Рад аутора Аине Траверс, Томаса Мекдонаха и Аска Елклита „*Youth responses to school shootings*” “¹⁵ анализира последице оружаног насиља у школама и указује на потребу преиспитивања постојећих приступа школској безбедности. Посебан значај овог рада за предметно истраживање огледа се у указивању на чињеницу да безбедност школе не може бити сведена искључиво на примену процедура и техничких система заштите, већ да просторна организација школске зграде и начин обликовања њених комуникација представљају важне факторе у смањењу ризика и повећању резилијентности школског окружења. Управо овакво разумевање безбедности представља једно од полазишта овог истраживања и основу за разматрање могућности да се безбедносни критеријуми интегришу у сам процес формирања школског простора.

¹⁴ Bell, A.C. и Dymont, J.E. (2008) ‘Grounds for Health: The Intersection of Green School Grounds and Health-Promoting Schools’, *Environmental Education Research*, 14(1), стр. 77–90. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13504620701843426>

¹⁵ Travers, A., McDonagh, T. и Elklit, A. (2018) „Youth responses to school shootings: A review,, *Current Psychiatry Reports*, 20(6), стр. 47. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0903-1>

Рад Дејана Ецета, Јелене Атанацковић Јеличић, Милана Рапаића и Стефана Пејића под називом „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“¹⁶ представља непосредно научно полазиште и један од кључних ослонаца овог истраживања, јер разматра могућност примене ћелијских аутомата у формирању школских основа отпорнијих на циљано насиље. Посебан значај овог рада огледа се у постављању претпоставке да баријере и елементи успоравања могу бити интегрисани у саму просторну структуру школе, уместо да представљају накнадно додате безбедносне елементе. Резултати приказани у наведеном истраживању указали су на потенцијал примене ћелијских аутомата као алата за генерисање нових просторних конфигурација школских зграда и истовремено отворили нова истраживачка питања која се односе на могућност формулисања целовитог архитектонског метода за пројектовање резилијентних школских простора. У том смислу, предметна докторска дисертација представља даљи развој, теоријско проширење и методолошку надоградњу резултата презентованих у наведеном научном раду.

Питања односа архитектуре, здравља и прилагодљивости простора у условима криза разматрана су на основу истраживања Јелене Атанацковић Јеличић, Милана Рапаића, Игора Мараша и Дејана Ецета у склопу рада „New Comfort: Towards the Post-Pandemic Living“¹⁷, које указује на потребу формирања флексибилних и отпорних просторних модела способних да одговоре на променљиве друштвене и здравствене околности. Такође, истраживање проф. Јелене Атанацковић Јеличић и

¹⁶ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.

Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

¹⁷ Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M., Maraš, I. и **Ecet, D.** (2021) „New Comfort: Towards the Post-Pandemic Living“, *SAJ: Serbian Architectural Journal*, 13(3), стр. 198–222.

сарадника под називом „*Urban Planning Method for Fostering Social Sustainability: Can Bottom-Up and Top-Down Meet?*“¹⁸ додатно наглашава значај социјалне одрживости и показује да просторна организација непосредно утиче на друштвене односе, интеракцију корисника и функционисање заједнице. Посебан допринос наведених истраживања огледа се у сагледавању школе као сложеног социопросторног система, у којем простор није пасиван оквир одвијања образовног процеса, већ активан чинилац који обликује обрасце кретања, социјалну интеракцију, осећај припадности и перципирану сигурност корисника.

Теоријску основу за разумевање односа архитектуре и безбедности представља и Њуманова студија „*Defensible Space*“¹⁹, у којој се показује да просторна организација може директно утицати на понашање корисника, контролу простора и смањење ризика од криминалних активности. Овај приступ представља једно од значајних полазишта и за разматрање резилијентности школских простора у оквиру овог истраживања.

Разматрање односа архитектуре и безбедности у условима савремених и непредвидивих ризика заснива се и на истраживању Ане Никезић „*Arhitektura i bezbednost u nepredvidivim okolnostima grada 21. veka*“²⁰, које безбедност не посматра као скуп накнадно примењених техничких и организационих мера, већ као интегрални архитектонски квалитет простора. Посебан допринос овог приступа огледа се у разумевању да

¹⁸ Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M., Kapetina, M., Medić, S. и Ecet, D. (2021) „Urban Planning Method for Fostering Social Sustainability: Can Bottom-Up and Top-Down Meet?“, Results in Engineering, 12, чланак 100284.

¹⁹ Newman, O. (1972). *Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design*. New York, NY: Macmillan. Преузето са: <https://www.jstor.org/stable/27893041>

²⁰ Nikezić, A. (2022) „Arhitektura i bezbednost u nepredvidivim okolnostima grada 21. veka“, у: Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет, стр. 11–18. Преузето са: <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/2309>

просторна организација, начин обликовања комуникација и међусобни односи просторних целина могу непосредно утицати на ниво безбедности и отпорности изграђеног окружења. Овакво схватање безбедности представља једно од значајних теоријских полазишта ове дисертације, у којој се резилијентност школског простора разматра као својство које произилази из саме архитектонске структуре и њене способности да одговори на различите облике ризика.

Теоријска основа за разумевање рачунарског и генеративног приступа пројектовању заснива се на литератури која разматра развој дигиталне архитектуре, алгоритамског мишљења и примену рачунарских метода у архитектонском пројектовању. Истраживање Мануела де Ланде „*Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*“²¹ указује на могућности примене генеративних алгоритама у архитектури и пројектовање сагледава као процес дефинисања правила, односа и механизма који могу довести до настанка различитих просторних конфигурација. Са друге стране, књига Моли Рајт Стинсон „*Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponte and MIT's Architecture Machine Group*“²² пружа шири теоријски и историјски контекст развоја рачунарског мишљења у архитектури, указујући на значај идеја Кристофера Александра и других аутора који су поставили основе савременог дигиталног и рачунарски подржаног пројектовања. Наведени извори били су од посебног значаја за разумевање архитектонског пројектовања као процеса који се може формализовати кроз дефинисање правила и

²¹ De Landa, M. (2002) „*Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*“. London. Преузето са:

https://www.researchgate.net/publication/295600631_Deleuze_and_the_use_of_the_genetic_algorithm_in_architecture

²² Steenson, M.W. (2014) *Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponte and MIT's Architecture Machine Group*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Преузето са: <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp01pn89d6733>

односа, што представља једно од кључних теоријских полазишта за примену ћелијских аутомата у оквиру овог истраживања.

Додатно разумевање алгоритамског и програмског приступа архитектонском пројектовању заснива се на радовима Костаса Терзидиса „Algorithmic Architecture“, Марија Карпа „The Alphabet and the Algorithm“, Пола Коутса „Programming Architecture“ и Бранка Коларевића „Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing“,^{23,24,25,26} који указују на трансформацију архитектонске праксе под утицајем савремених дигиталних технологија и развој приступа у којима се пројектовање све више заснива на формулисању правила, односа и процедура способних да генеришу већи број просторних варијанти. Наведени аутори архитектонско пројектовање не посматрају искључиво као процес обликовања форме, већ и као процес дефинисања система и логике њеног настанка, чиме се отвара могућност примене генеративних и рачунарски подржаних метода у архитектури.

У том контексту, истраживање Мајкла Хенсела, Ахима Менгеса и Мајкла Вајнстока „Emergence in Architecture“²⁷, било је од посебног значаја за разумевање концепта емергенције, односно могућности да сложене просторне структуре настану као резултат једноставних локалних правила и интеракција. Овакво схватање процеса формирања

²³ Terzidis, K. (2006) Algorithmic Architecture. 1st ed. Amsterdam; Boston: Architectural Press. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780080461298>

²⁴ Carpo, M. (2011) The Alphabet and the Algorithm. Cambridge, MA: The MIT Press. Доступно на: <https://archive.org/details/alphabetalgorithm0000carp/page/172/mode/2up>

²⁵ Coates, P. (2010) Programming Architecture. Abingdon, Oxon: Routledge. Доступно на: <https://doi.org/10.4324/9780203841488>

²⁶ Kolarević, B. (2003) Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York; London: Spon Press.

²⁷ Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2004) „Emergence in Architecture“, Architectural Design, 74(3), стр. 11–15. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. Доступно на: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter03.html>

архитектонске форме представља једно од кључних теоријских полазишта ове дисертације, јер непосредно упућује на потенцијал примене ћелијских аутомата као система у којем дефинисање ограниченог скупа локалних правила може довести до генерисања великог броја различитих просторних конфигурација школских основа.

Разматрања у склопу истраживања Инеш Кајетано, Луиса Сантоса и Антонија Леитаа у раду „*Computational Design in Architecture: Defining Parametric, Generative, and Algorithmic Design*“²⁸, омогућила су јасније разграничење параметарског, генеративног и алгоритамског пројектовања и самим тим прецизније теоријско позиционирање предметног истраживања у оквиру савременог дискурса рачунарског пројектовања. Поред тога истраживање Александра Е. Вебера, Кејтлин Милер и Кристофа Рајнхарта „*Automated Floorplan Generation in Architectural Design: A Review of Methods and Applications*“²⁹, пружа свеобухватан преглед савремених приступа аутоматском генерисању архитектонских основа и омогућава сагледавање потенцијала и ограничења генеративних метода, посебно у погледу генерисања већег броја просторних варијанти на основу унапред дефинисаних правила и параметара.

Теоријско утемељење примене ћелијских аутомата заснива се пре свега на књизи Стивена Волфрама „*A New Kind of Science*“³⁰, у склопу које аутор показује да сложени просторни обрасци могу настати као резултат

²⁸ Caetano, I., Santos, L. и Leitão, A. (2020) „Computational Design in Architecture: Defining Parametric, Generative, and Algorithmic Design“, *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), стр. 287–300. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

²⁹ Weber, A.E., Mueller, C. и Reinhart, C. (2022) „Automated Floorplan Generation in Architectural Design: A Review of Methods and Applications“, *Automation in Construction*, 140, чланак 104385. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104385>

³⁰ Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

примене релативно једноставних локалних правила и интеракција. На овим основама надовезују се истраживања Роберта Ц. Кравчика „*Cellular Automata: Dying to Live Again, Architecture, Art, Design*“, Кристофа М. Хера и Томаса Квана „*Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process*“, Кристофа М. Хера и Ричарда К. Форда „*Cellular Automata in Architectural Design: From Generic Systems to Specific Design Tools*“, као и Алперена П. Чалишира и Гулцан Чагдаш „*Computational Design Thinking through Cellular Automata: Reflections from Design Studios*“,^{31,32,33,34} која непосредно разматрају примену ћелијских аутомата у архитектури и указују на њихов потенцијал као генеративних пројектантских алата способних да произведу велики број различитих просторних конфигурација. Наведени радови представљали су непосредну научну основу за формулисање предложеног модела ћелијских аутомата и развој нове типологије школских основа, засноване на претпоставци да се кроз дефинисање ограниченог скупа локалних правила могу генерисати просторне конфигурације које истовремено одговарају функционалним и безбедносним захтевима савремене школе.

³¹ Krawczyk, R.J. (2016) „Cellular Automata: Dying to Live Again, Architecture, Art, Design“, у: Adamatzky, A. и Martinez, G. (ур.) *Designing Beauty: The Art of Cellular Automata. Emergence, Complexity and Computation*, vol. 20. Cham: Springer, стр. 39–52. Преузето са: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27270-2_5

³² Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, *Automation in Construction*, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>

³³ Herr, C.M. и Ford, R.C. (2016) „Cellular Automata in Architectural Design: From Generic Systems to Specific Design Tools“, *Automation in Construction*, 72, стр. 39–45. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.011>

³⁴ Çalışır, A.P. и Çağdaş, G. (2020) „Computational Design Thinking through Cellular Automata: Reflections from Design Studios“, *Journal of Design Studio*, 2(2), стр. 71–83. Преузето са: <https://doi.org/10.46474/jds.816833>

Коначно, за формирање методолошког оквира истраживања разматрани су радови који се баве природом пројектантског процеса и начином формулисања истраживачких питања. Истраживање Џејмса Е. Хардинга и Пола Шепарда „*Meta-Parametric Design*“³⁵, указује на могућности дефинисања сложених система правила и њихову примену у процесу пројектовања, док Брајан Лосон у раду „*Schemata, Gambits and Precedent: Some Factors in Design Expertise*“³⁶, наглашава улогу знања, искуства и претходних примера у развоју пројектантског мишљења.

Посебно место у формирању методологије рада имају ставови изнети у склопу истраживања Карела Дорста и Најцела Кроса „*Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem–Solution*“³⁷, који пројектовање описују као процес коеволуције проблема и решења, у коме се разумевање проблема и развој пројектантског одговора одвијају истовремено и међусобно условљено. Овакво схватање пројектантског процеса представљало је једно од методолошких полазишта ове дисертације, будући да је развој предложеног модела ћелијских аутомата подразумевао постепено формулисање и увођење локалних правила, њихову проверу и континуирано прилагођавање у складу са добијеним просторним конфигурацијама.

³⁵ Harding, J.E. и Shepherd, P. (2017) „Meta-Parametric Design“, *Design Studies*, 52, стр. 73–95. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.005>

³⁶ Lawson, B. (2004) „Schemata, Gambits and Precedent: Some Factors in Design Expertise“, *Design Studies*, 25(5), стр. 443–457.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.05.001>

³⁷ Dorst, K. и Cross, N. (2001) „Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem–Solution“, *Design Studies*, 22(5), стр. 425–437.

Преузето са: [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6)

На основу анализиране литературе може се закључити да су савремена школска архитектура, безбедност школских простора, генеративно пројектовање и примена ћелијских аутомата у архитектури препознате као релевантне и добро развијене истраживачке области. Међутим, уочава се недостатак истраживања која наведене области сагледавају интегрално и повезују их у јединствен архитектонски метод усмерен ка формирању резилијентних школских простора.

Управо је уочавање овог истраживачког јаза представљало полазиште за формулисање предметног истраживања, чији је циљ развој архитектонског метода заснованог на примени ћелијских аутомата за генерисање нових просторних конфигурација школских основа које истовремено одговарају функционалним, просторним и безбедносним захтевима савремене школе.

1.4. Циљ истраживања

Основни циљ овог истраживања је формулисање архитектонског метода за пројектовање резилијентних школских простора применом ћелијских аутомата. У оквиру тако постављеног циља, истраживање је усмерено на испитивање могућности да баријере и елементи успоравања, уместо да буду накнадно додати безбедносни елементи, постану саставни део просторне организације школске зграде.

Посебан циљ истраживања односи се на испитивање потенцијала ћелијских аутомата као генеративног и аналитичког алата у архитектонском пројектовању школа, односно на утврђивање у којој мери овај модел омогућава развој нових просторних конфигурација и типолошких решења.

Истраживање такође има за циљ сагледавање резилијентности школске архитектуре као архитектонског, безбедносног и социопросторног питања, кроз разматрање односа просторне структуре, контроле кретања, перцепције безбедности, понашања корисника и квалитета окружења за учење. На тај начин, циљеви истраживања обухватају и теоријско и методолошко утемељење теме, као и проверу могућности њене примене у развоју нових архитектонских решења за школске просторе.

Тако постављени циљеви су јасно дефинисани, научно релевантни и усклађени са предметом и планом истраживања.

1.5. Хипотезе

Основна хипотеза овог истраживања заснива се на претпоставци да је применом ћелијских аутомата у архитектонском пројектовању могуће формулисати нов приступ организацији школских простора, који истовремено одговара захтевима безбедности, функционалности и просторне ефикасности. Полазећи од предмета, циљева и методологије истраживања, постављене су следеће хипотезе:

Хипотеза 1

Применом савремених технологија, конкретно ћелијских аутомата (CA), у архитектонском пројектовању омогућава се генерисање нове типологије школских зграда.

Хипотеза 2

Нова типологија основа школских зграда, дефинисана као „лабиринтска“, може истовремено задовољити оба критеријума: интегрисане баријере и препоручене нето површине сегмената објекта школе. То је могуће постићи формирањем угластих ходника кроз целокупну површину основе објекта.

Хипотеза 3

Нову, „лабиринтску“, типологију школских зграда могуће је аналитички потврдити применом метода просторне анализе уз коришћење етаблираних софтверских алата „*Space Syntax*“ и „*DepthmapX*“.

1.6. Методе истраживања

Методе истраживања су усклађене са предметом, циљевима и хипотезама рада и обухватају теоријску, аналитичку, компаративну и генеративну методолошку раван. Истраживање се заснива на анализи релевантне научне и стручне литературе, експертској анализи постојећих школских зграда, апстраховању њихових просторних образаца, формулисању и примени модела ћелијских аутомата, као и на графичкој, просторној и компаративној анализи добијених решења. Посебан методолошки значај има превођење архитектонске логике пројектовања у рачунарски модел, при чему се ћелијски аутомати не користе само као технички инструмент, већ као генеративни и аналитички алат у процесу формирања просторних конфигурација школских основа.

У методолошком смислу, истраживање обухвата више међусобно повезаних поступака: препознавање и анализу типологија постојећих школских зграда, дефинисање јединственог ћелијског простора, дефинисање стања ћелија и скупа локалних правила, генерисање већег броја варијанти основа, њихову графичку артикулацију и рационализацију, као и вредновање добијених решења у односу на просторне стандарде, функционалне захтеве, интеграцију баријера и елемената успоравања у организацију основе, као и параметре просторне структуре. Провера резултата предвиђена је и применом метода просторне анализе, уз коришћење алата „*Space Syntax*“ и „*DepthmapX*“, као и анализом параметара ради сагледавања просторне сложености, видљивости и повезаности унутар школских основа.

Узорак истраживања не треба разумети у класичном статистичком смислу, већ као скуп репрезентативних референтних примера школских зграда, релевантних просторних стандарда и генерисаних варијанти школских основа које се међусобно пореде и анализирају. Такав узорак омогућава испитивање типолошких образаца, проверу постављених хипотеза и сагледавање могућности формулисања нове, „лабиринтске“ типологије школских зграда.

1.7. Додатна разрада методолошког оквира

Методологија овог истраживања спроведена је на следећи начин:

- У припремној фази препознате су различите типологије школских зграда и обрасци њихове просторне организације. Ово је било неопходно како би се дефинисао јединствени ћелијски простор потребан за „СА“ модел.
- У фази пројектовања формира се „СА“ модел кроз дефинисање ћелијског простора, стања ћелија и скупа локалних правила, након чега се генерише скуп решења.

Имплементација „СА“ у архитектонски пројектантски процес може се описати као итеративан процес, у којем се свако ново правило уводи како би се решио проблем који је настао у претходној итерацији. То значи да свака итерација доноси одређено решење, али истовремено производи и нови проблем, слично аналогном пројектантском процесу.

Једна од кључних карактеристика пројектовања јесте да решења често не претходе проблемима, већ се најчешће оба развијају истовремено, у сталној међусобној интеракцији. Управо због тога, примена „СА“ заузима централно место у току процеса, што је приказано на дијаграму.^{38,39}

Генерисана решења су тестирана кроз поређење са референтним пројектима школских зграда које су препознате као примери успешне школске архитектуре, како би се проверила њихова валидност (фаза интерпретације).⁴⁰

Додатно, ова решења су упоређена са важећим просторним смерницама за школске зграде у Уједињеном Краљевству, дефинисаним у документу „*Area Guidelines for Mainstream Schools*” усвојеним 2014. године.⁴¹

Након тога су примењени безбедносни критеријуми у смислу броја баријера и елемената успоравања.

³⁸ Goldschmidt, G. и Matthews, B. (2022) „Formulating Design Research Questions: A Framework“, *Design Studies*, 78, чланак 101062.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.101062>

³⁹ Dorst, K. и Cross, N. (2001) „Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem–Solution“, *Design Studies*, 22(5), стр. 425–437.

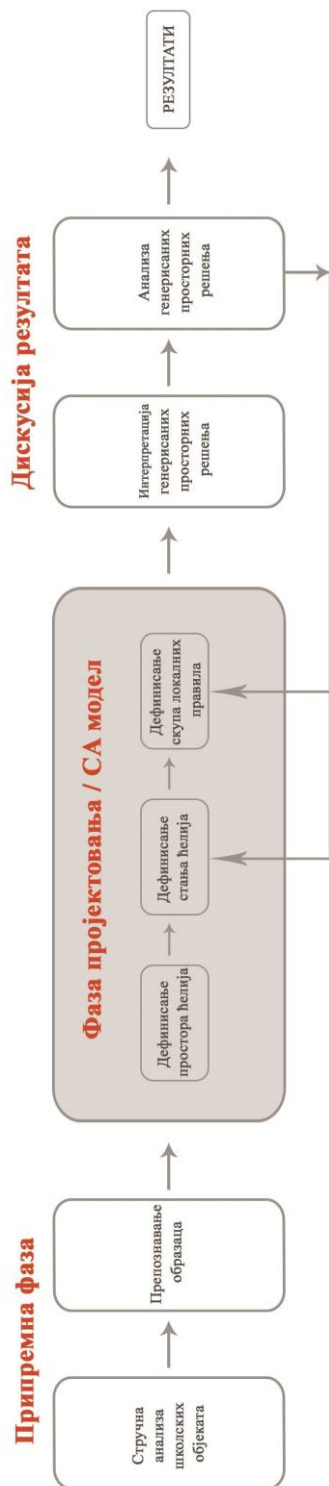
Преузето са: [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6)

⁴⁰ Hönig, R. и Nashed, L. (2015) *Grundrissfibel Schulbauten: 30 Wettbewerbe in der Schweiz 2001–2015*. Zürich: Edition Hochparterre. ISBN 978-3-909928-31-6. Преузето са: <https://www.hochparterre.ch/ausgaben/edition-hochparterre/grundrissfibel-schulbauten>

⁴¹ Department for Education (2014) *Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103*. London: Department for Education.

Преузето са: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

*Архитектонски метод формирања резилентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*



Слика 1: Дијаграм фаза истраживања, Извор: Ауторска израда

2. Доприноси истраживања

Централна тема овог истраживања јесте примена рачунарског модела ћелијског аутомата (CA) у процесу пројектовања школских зграда. Први корак подразумевао је идентификацију и апстракцију образаца уочених у постојећим школским објектима. Након што се ови обрасци преведу у математички модел, могуће је генерисати велики број решења прилагођених специфичним пројектним условима.

У другом кораку, школске зграде су апстраховане до нивоа функционалних склопова организованих на основу унапред дефинисаних правила. Полазна претпоставка истраживања односила се на моделе слободностојећих школских зграда на парцели, који се, с обзиром на степен апстракције, могу прилагодити различитим условима доступности инфраструктуре, климатским карактеристикама и специфичним функционалним захтевима.

Разматрани пројектантски приступ користи савремене информационе технологије како би се архитекта поново позиционирао унутар самог пројектантског процеса, аутоматизујући напоран аналогни процес генерисања „свих могућих решења“. Такође, од пројектанта се захтева знање, искуство и креативност. Овакав приступ омогућава свесни избор оптималног решења, при чему критеријум оптималности може бити било који из скупа мерљивих параметара (као што су функционалност, економичност, безбедносни критеријуми посматрани кроз баријере и елементе успоравања), али и параметри који су од посебног значаја за развој пројекта (на пример естетске компоненте и укупни архитектонски квалитет, које је често тешко објективно квантификовати).

Овај приступ може се посматрати као врста експертског система, у коме је процес доношења одлука вођен знањем и имагинацијом архитекте односно пројектанта.

Ово истраживање се јасно креће у правцу парадигматског заокрета, у оквиру којег се преиспитује позиција архитекте у самом процесу пројектовања. Описи попут „контролора процеса“, „креатора процеса“ и „креатора алата“ одговарају новонасталим улогама архитекте у сложеним креативним процесима. Креирани механизми генеришу решења која понекад превазилазе очекивано, што ће бити приказано у наставку рада.

Посебна пажња посвећена је критеријумима који потичу из области заштите здравља, безбедности и добробити корисника објеката, у овом случају ученика и запослених у школи. Као што је претходно наведено, баријере и елементи успоравања могу се посматрати као архитектонски елементи. Због природе ових елемената (баријере су најчешће масивне и непокретне), њихова имплементација мора бити разматрана у раним фазама пројектантског процеса, што значи да треба да буду интегрисани у организацију основе школске зграде.

3. Безбедност и резилијентност школског простора као архитектонски проблем

Безбедност школског простора у савременој архитектонској теорији и пракси више се не може посматрати само као питање накнадно додатих техничких система, протокола контроле или појединачних заштитних елемената. Школа је истовремено образовна установа, социјално окружење, простор свакодневног боравка и сложен систем кретања, сусрета, надзора, припадности и оријентације. Управо због тога безбедност школе мора бити разматрана као просторни, социолошки, психолошки и архитектонски проблем. У том оквиру, резилијентност школског простора не означава само способност објекта да одговори на безбедносне ризике, већ и способност да очува квалитет свакодневног коришћења, читљивост, приступачност, социјалну интеракцију и осећај сигурности код корисника.

С тим у вези, безбедносни критеријуми у архитектури школа не треба да буду третирани као секундарни додаток пројектованој форми, већ као део саме логике просторне организације. Такав приступ је посебно важан у истраживању заснованом на ћелијским аутоматима, јер се простор школе у њему не посматра као завршена композиција, већ као систем односа између ћелија, функција, комуникација, прелаза, баријера и елемената успоравања. У том смислу, архитектонска безбедност се преводи у скуп дефинисаних просторних правила, а не у скуп накнадно постављених мера.

Савремена литература у овој области све чешће користи термине као што су безбедна, сигурна и пријатна окружења за учење, начин

превенције криминала кроз дизајн окружења (CPTED)^{42,43}, слојевита физичка безбедност, безбедност кроз пројектовање, просторна читљивост, природни надзор, контрола приступа, управљање и одржавање простора, као и култура бриге и добробити корисника.^{44,45,46,47,48}

Ови термини показују да се у новијем научном и стручном дискурсу безбедност све мање третира као изолована техничка категорија, а све више као интегрални квалитет просторног и социјалног окружења.

3.1. Безбедност као интегрисани квалитет архитектонског простора

У савременим условима безбедност се често посматра као технолошки додатак архитектури, односно као додатни слој контроле, надзора и управљања. Иако је такав приступ разумљив у контексту повећане

⁴² Jacobs, J. (1961) *The Death and Life of Great American Cities*. New York. Преузето са: https://www.petkovstudio.com/bg/wp-content/uploads/2017/03/The-Death-and-Life-of-Great-American-Cities_Jane-Jacobs-Complete-book.pdf

⁴³ Jahangiri, J. (2023) „Safe Yet Welcoming: Alternative Design Strategies for Secure Schools“, у: *Schools as Community Hubs*. Singapore: Springer Преузето са: https://doi.org/10.1007/978-981-19-9972-7_10

⁴⁴ American Institute of Architects (AIA) (2019) *The Design of Safe, Secure & Welcoming Learning Environments*. Committee on Architecture for Education.

⁴⁵ Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA) (без године) *School Security Assessment Tool (SSAT)*. Преузето са: <https://www.cisa.gov>

⁴⁶ Lamoreaux, D. и Sulkowski, M.L. (2020) „An Alternative to Fortified Schools: Using Crime Prevention through Environmental Design (CPTED) to Balance Student Safety and Psychological Well-Being“, *Psychology in the Schools*, 57(1), стр. 152–165. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/pits.22301>

⁴⁷ Liu, F., Zhou, H., Xie, J., Tang, Y., Liu, S. (2025) „Impact of Public Space in Primary and Secondary Schools Based on Natural Visibility Ratio“, *Buildings*, 15(9), чланак 1472. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/buildings15091472>

⁴⁸ Orlandi, S., Longo, D., Turillazzi B. (2025) „Integrating Security-by-Design into Sustainable Urban Planning for Safer, More Accessible, and Livable Public Spaces“, *Sustainability*, 17(16), чланак 7186. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su17167186>

сложености ризика, он не би требало да замени праксу доброг пројектовања, у којој се принципи заштите, сагледивости и просторне одговорности артикулишу кроз саму архитектонску организацију.⁴⁹ Овакав став је значајан за дисертацију јер безбедност не своди на уређаје и системе надзора, већ је враћа у поље просторне структуре, пројектантске логике и архитектонског обликовања.

Архитектонски простор може да подржи безбедност на више нивоа: кроз јасну организацију улаза и прелаза, кроз контролисане односе јавног, полујавног и ограничено доступног простора, кроз могућност природног надзора, кроз увођење просторних прагова, кроз сегментацију кретања и кроз стварање амбијената у којима корисници имају осећај припадности и оријентације. У том смислу, безбедност није супротстављена отворености школе, већ треба да буде интегрисана у начин на који школа функционише као простор учења и социјализације.

У оквиру теоријских разматрања односа архитектуре и безбедности може се уочити фундаментална разлика између простора који безбедност обезбеђује превасходно кроз контролу и ограничење и простора који безбедност гради кроз подстицање социјалне интеракције, присуства корисника и свакодневног живота.⁵⁰ За школске зграде ова разлика је посебно важна. Школа не може бити схваћена искључиво као простор контроле, јер би се тиме нарушили њени педагошки, социјални и амбијентални квалитети. Истовремено, школа не може бити ни

⁴⁹ Nikezić, A. (2022) „Arhitektura i bezbednost u nepredvidivim okolnostima grada 21. veka“, у: Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет, стр. 11–18. Преузето са: <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/2309>

⁵⁰ Nikezić, A. (2022) „Arhitektura i bezbednost u nepredvidivim okolnostima grada 21. veka“, у: Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет, стр. 11–18. Преузето са: <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/2309>

потпуно неструктурисан и недиференциран простор, јер мора да омогући оријентацију, контролу кретања, заштиту корисника и реаговање у условима повећаног ризика. Зато се у овом раду предлаже разумевање безбедности као интегрисаног архитектонског квалитета.

То значи да се безбедност не третира као визуелно доминантан или споља наметнут систем, већ као скуп просторних односа који су укључени у основну организацију школе. Овакво разумевање омогућава да се безбедносни принципи преведу у архитектонске параметре: дужину и облик комуникација, број промена правца, степен просторне сегментације, број контролираних прелаза, видљивост, доступност излаза, однос наставних и заједничких простора и могућност формирања зона.

Овакво схватање безбедности ослања се и на концепт „дефанзивног простора“ (*Defensible Space*)⁵¹, који је формулисао Оскар Њуман, према коме просторна организација, природни надзор и јасно дефинисане територије могу значајно утицати на смањење криминала и повећање осећаја сигурности корисника.

3.2. Терминолошки оквир савременог дискурса

У новијој литератури и стручним смерницама избегава се једноставно поистовећивање безбедности са повећањем броја физичких препрека. Уместо тога, користи се шири терминолошки оквир који настоји да уравнотежи заштиту, добробит, приступачност, оријентацију и квалитет школског окружења. За потребе ове дисертације посебно су значајни следећи појмови.

⁵¹ Newman, O. (1972). *Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design*. New York, NY: Macmillan. Преузето са: <https://www.jstor.org/stable/27893041>

Термин у литератури	Предложени превод/употреба	Значај за дисертацију
Safe, secure and welcoming learning environments	безбедна, сигурна и пријатна окружења за учење	Означавају приступ у коме се безбедност не издваја од педагошког и социјалног квалитета школе.
CPTED	превенција криминала кроз дизајн окружења	Повезује безбедност са природним надзором, контролом приступа, територијалношћу, одржавањем и активношћу простора.
Layered physical security	слојевита физичка безбедност	Разматра безбедност кроз више просторних слојева: парцелу, приступ, омотач, унутрашњост и појединачне зоне.
Security-by-design	безбедност кроз пројектовање	Подразумева уграђивање безбедносних принципа у рану фазу архитектонског и урбанистичког пројектовања.
Perceived safety / sense of security	перципирана сигурност / осећај сигурности	Указује да се безбедност не процењује само објективним мерама, већ и корисничким доживљајем простора.
Delay / slow-down elements	елементи успоравања	Архитектонски елементи који мењају брзину, смер и континуитет кретања без нарушавања основне употребљивости простора.

Табела 1 : Терминолошки оквир за разматрање безбедности и резилијентности школског простора. Извор: Ауторска израда

3.3. *CPTED*, перципирана сигурност и корисничка димензија простора

Концепт „*CPTED-a*“ у великој мери се надовезује на Њуманову теорију „Defensible Space“, која наглашава значај архитектонске организације простора, природног надзора, контроле приступа и територијалности као основних механизма превенције криминала.⁵²

У класичном облику „*CPTED*“ обухвата стратегије као што су природни надзор, контрола приступа, територијално појачање, управљање и одржавање простора, подршка активностима и јасно разликовање степена јавности простора.^{53,54}

У новијим истраживањима „*CPTED*“ се све више посматра као адаптабилан оквир који се може повезати са дигиталним технологијама, проценом видљивости, моделима перципиране сигурности и анализом понашања корисника.^{55,56,57}

⁵² Newman, O. (1972). *Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design*. New York, NY: Macmillan.

⁵³ Cozens, P. и Love, T. (2015) „A Review and Current Status of Crime Prevention through Environmental Design (CPTED)“, *Journal of Planning Literature*, 30(4), стр. 393–412. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/0885412215595440>

⁵⁴ Mihnjac, M. и Saville, G. (2019) „Third-Generation Crime Prevention Through Environmental Design (CPTED)“, *Social Sciences*, 8(6), чланак 182. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/socsci8060182>

⁵⁵ Choi, W., Kim, M., Lee, S. и Kim, H. (2024) „Evaluating Intelligent CPTED Systems to Support Crime Prevention Decision-Making in Municipal Control Centers“, *Applied Sciences*, 14(15), чланак 6581. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/app14156581>

⁵⁶ Peng, Y.L., Wang, Y., Chen, Z., Li, J. и Zhang, H. (2024) „Evaluation and Optimization of Sense of Security during the Day and Night in Campus Public Spaces Based on Physical Environment and Psychological Perception“, *Sustainability*, 16(3), чланак 1256. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su16031256>

⁵⁷ Liu, F., Zhou, H., Xie, J., Tang, Y., Liu, S. (2025) „Impact of Public Space in Primary and Secondary Schools Based on Natural Visibility Ratio“, *Buildings*, 15(9), чланак 1472. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/buildings15091472>

За пројектовање школа концепт „CPTED“ значајан је јер се безбедност не своди само на реакцију на инцидент, већ је поставља у просторну логику свакодневног коришћења.

Природни надзор, на пример, не подразумева само постављање камера, већ и такву организацију ходника, дворишта, улаза и заједничких простора која омогућава видљивост, присуство корисника и неформалну контролу. Контрола приступа не мора бити сведена на физичко затварање, већ може бити постигнута јасним просторним секвенцама, улазним праговима, прегледним зонама пријема и логичним раздвајањем јавних, школских и ограничено доступних делова.

Савремена истраживања посебно наглашавају да осећај сигурности није искључиво последица формалних безбедносних мера. Он зависи од осветљења, сагледивости, уређености, присуства других корисника, јасних рута, амбијенталног квалитета, зелених површина, одржавања и степена социјалне кохезије. Истраживања јавних и кампуских простора показују да перцепција сигурности има изразиту корисничку димензију и да се мора разматрати кроз физичке, психолошке и социјалне параметре.^{58,59}

⁵⁸ Peng, Y.L. et al. (2024) „Evaluation and Optimization of Sense of Security during the Day and Night in Campus Public Spaces Based on Physical Environment and Psychological Perception“, *Sustainability*, 16(3), чланак 1256.

Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su16031256>

⁵⁹ Mitrović, N., Marić, J., Đukić, A. и Milosavljević, M. (2022) „Analiza urbane bezbednosti otvorenog javnog prostora: novobeogradski blok 21 u periodu od 2013. godine do danas“, у: *Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova*. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет. Преузето са: https://raf.arh.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/1740/UBUR2022_Mitrovic_Maric_Djukic_Milosavljevic.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Овај приступ је важан за школске зграде јер простор који је формално контролисан не мора нужно бити и простор у коме се ученици осећају сигурно, прихваћено и оријентисано.

У том погледу, школа као простор учења захтева пажљиво балансирање између заштите и свакодневног квалитета боравка. „AIA“ извештај о безбедним, сигурним и пријатним окружењима за учење указује да физичке мере морају бити повезане са стратегијама које подржавају позитивну школску климу, осећај заједнице и културу бриге.⁶⁰

Слично томе, Ламоро и Сулковски указују да „CPTED“ може бити користан управо зато што омогућава да се физичка сигурност и психолошка добробит не третирају као супротстављени захтеви.⁶¹

3.4. Системски приступ организацији школске безбедности

У савременим смерницама за безбедност школа све чешће се користи појам слојевите физичке безбедности. Овај приступ подразумева да се способност простора да детектује, успори и омогући одговор на ризик не налази у једном елементу, већ у систему међусобно повезаних просторних слојева. „CISA“ истиче да се отпоран и ефикасан безбедносни систем заснива на вишеслојној организацији простора, у којој су могућности детекције, успоравања и реаговања распоређене

⁶⁰ American Institute of Architects (AIA) (2019) The Design of Safe, Secure & Welcoming Learning Environments. Committee on Architecture for Education. Преузето са: <https://www.aia.org>

⁶¹ Lamoreaux, D. и Sulkowski, M.L. (2020) „An Alternative to Fortified Schools: Using Crime Prevention through Environmental Design (CPTED) to Balance Student Safety and Psychological Well-Being“, Psychology in the Schools, 57(1), стр. 152–165. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/pits.22301>

кроз различите физичке нивое заштите, чиме се умањује ризик од отказа система услед ослањања на једну тачку или једну меру безбедности.⁶²

У архитектонском смислу, слојевити приступ се може превести на више нивоа школске зграде: спољашњи простор и граница парцеле, приступни простор, улазна зона, омотач зграде, главне комуникације, секундарне комуникације, заједнички простори, наставне зоне и локални простори повлачења или привременог задржавања. Сваки од ових нивоа има различиту улогу. Спољашњи простор усмерава приступ и омогућава рану оријентацију; улазна зона контролише прелаз из јавног у школски простор; унутрашње комуникације распоређују кретање; локалне зоне омогућавају сегментацију, успоравање и привремено раздвајање делова школе.

Овај приступ је компатибилан са моделом који уводи четири категорије: одвраћање, детекцију, успоравање и одговор. У дисертацији је посебно важна категорија успоравања, јер она има најдиректнију архитектонску димензију. Успоравање не подразумева само закључавање или постављање препрека, већ и просторну организацију која мења континуитет кретања: уводи промене правца, углове, прелазне зоне, проширења, чворишта, контролисане прелазе и јасно дефинисане сегменте.

Управо овде се безбедносни захтеви могу превести у пројектантска правила погодна за ћелијски аутомат. Важно је нагласити да слојевита безбедност не сме да наруши основну педагошку функцију школе. Физичка безбедност је само један део ширег система школске

⁶² Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA) School Security Assessment Tool (SSAT). Преузето са: <https://www.cisa.gov/school-security-assessment-tool>

сигурности, који обухвата превенцију, подршку ученицима, школску климу, организационе процедуре, комуникацију и способност опоравка након инцидента.^{63,64}

Зато архитектонска решења треба да буду сагледана као подршка ширем систему, а не као његова замена.

3.5. Линеарна организација ходника и ограничења традиционалне школске основе

Традиционални школски објекти често су засновани на јасној, економичној и лако разумљивој шеми: учионице су распоређене уз један или више праволинијских ходника. Такав модел има функционалне предности, јер је прегледан, рационалан и једноставан за изградњу. Међутим, у контексту савремених безбедносних изазова, дуги и непрекинути ходници могу постати просторни проблем. Они омогућавају брзо кретање кроз објекат, смањују број природних прекида, стварају јасне линије продора и често не обезбеђују довољно могућности за зонирање, промену правца, контролу прелаза или алтернативно кретање.

Безбедносни захтеви могу се интегрисати у сам процес архитектонског обликовања, при чему баријере и елементи успоравања функционишу као конститутивни елементи просторне организације и кључни носиоци резилијентности школског простора, уместо да буду накнадно имплементиране интервенције. Циљ није био да се у постојећу основу

⁶³ RAND Corporation (2021) A Systems Approach to Physical Security in K-12 Schools. Santa Monica, CA: RAND Corporation. Преузето са: <https://www.rand.org>

⁶⁴ Learning Policy Institute (2023) What We Know About Creating Safe and Supportive Schools. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute. Преузето са: <https://learningpolicyinstitute.org/product/safe-supportive-schools-brief>

додају препреке, већ да се испита да ли оне могу постати конститутивни елементи школске организације, односно извор нове типологије основе, уз очување препоручених нето површина наставних и пратећих простора.⁶⁵

У том смислу, појам „лабиринтске“ типологије у дисертацији не треба разумети као просторну конфузију, већ као контролисану угласту и сегментисану организацију кретања. Њена основна улога је да прекине дуге праволинијске токове, уведе више промена правца, омогући просторне прелазе и створи основу за интеграцију елемената успоравања. Такав модел није супротан читљивости простора, већ захтева њену другачију артикулацију: оријентација се не заснива на једном дугом правцу, већ на јасном систему зона, чворишта, прелаза и локалних оријентира.

За „CA“ модел ово је кључно, јер се унутрашња безбедносна логика може превести у правила генерисања коридора и не-коридорског простора. Уместо да се ходник третира као пасивна линија која повезује учионице, он постаје активни елемент просторне структуре. Његова дужина, број углова, гранање, однос са наставним јединицама и могућност рационализације постају параметри који се могу алгоритамски контролисати и касније анализирати.

⁶⁵ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.
Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

3.6. Баријере и елементи успоравања као просторни параметри

У контексту овог истраживања, појам баријере не треба свести на физичку препреку у уском смислу. Баријера може бити зид, врата, контролисани пролаз или материјални праг, али може бити и просторна конфигурација која мења начин кретања: промена правца, сужење, проширење, видљиви прелаз из једне зоне у другу, унутрашња граница између јавнијег и интимнијег дела школе или локално чвориште које успорава кретање и омогућава оријентацију. Тако схваћена баријера није нужно елемент затварања, већ елемент просторне артикулације.

Елементи успоравања имају посебно важну улогу јер делују на временску и кинетичку димензију кретања. Они не морају да спрече кретање, већ да га учине мање линеарним, мање предвидљиво брзим и више зависним од серије просторних одлука. У архитектонској основи то се постиже угластим ходницима, ломљеним правцима, локалним проширењима, прелазним зонама, међупросторима, вишеструким рутама и чвориштима која омогућавају промену смера. Ови елементи могу имати двоструку улогу: безбедносну, јер успоравају и сегментирају кретање, и педагошко-социјалну, јер стварају места задржавања, сусрета и локалне оријентације.

На овај начин, безбедносни елемент постаје архитектонски квалитет. Уместо да се пројектује као визуелно наметљив додатак, он се може уклопити у просторну структуру школе. То је у складу са ставом да савремена школа мора истовремено бити безбедна, али и функционална, отворена за учење, пријатна за свакодневни боравак и довољно флексибилна за различите облике наставе. Управо зато је важно да

елементи успоравања не наруше препоручене нето површине и функционалне односе, што представља један од кључних критеријума у истраживању.⁶⁶

3.7. Просторни критеријуми за „CA“ модел

Да би безбедност могла да буде интегрисана у генеративни модел, она мора бити преведена у просторне критеријуме. Ти критеријуми не треба да буду формулисани као апстрактне вредносне оцене, већ као параметри који се могу анализирати у основи: дужина комуникација, број промена правца, број контролираних прелаза, степен сегментације, број могућих рута, однос јавних и ограничено доступних зона, степен видљивости и могућност просторне поделе објекта.

⁶⁶ **Есет, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Пејић, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

*Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

Принцип	Просторни показатељ	Веза са СА моделом
Контрола приступа	број и положај улаза, секвенца приступа, јасноћа прелаза из јавног у школски простор	дефинисање улазних ћелија и правила приступа
Сагледивост и неформални надзор	видљивост комуникација, однос заједничких простора и коридора, сагледивост чворишта	правила за позиционирање чворишта и зона са повећаном видљивошћу
Успоравање кретања	број промена правца, прекид дугих праволинијских ходника, углови и међузоне	правила формирања угластих и сегментисаних комуникација
Сегментација	број просторних зона, контролисани прелази, могућност изолације дела основе	груписање ћелија у функционалне зоне
Алтернативне руте	број могућих праваца кретања и гранања унутар основе	правила гранања и повезивања коридорске мреже
Перципирана сигурност	осветљење, сагледивост, оријентири, избегавање непотребно слепих и нејасних зона	накнадна евалуација кроз просторну анализу и проверу видљивости
Функционална ефикасност	однос комуникационих и наставних површина, очување препоручених нето површина	рационализација коридорског простора након генерисања

Табела 2: Просторни критеријуми за превођење безбедносних принципа у СА модел школске основе. Извор: Ауторска израда

Овако дефинисани критеријуми омогућавају да се безбедност не третира као општа тврдња, већ као скуп проверљивих просторних односа. То је посебно значајно за каснију анализу добијених решења применом метода „*Space Syntax*“ и алата „*DepthmapX*“, јер се просторна структура може испитати кроз повезаност, дубину, видљивост, избор рута и степен интегрисаности појединих зона. На тај начин „*СА*“ модел не служи само за генерисање варијанти, већ и за постављање експерименталног оквира у коме се различите конфигурације могу упоређивати.

3.8. Ограничења архитектонског приступа безбедности

Архитектура може значајно допринети безбедности школског простора, али не може самостално решити проблем насиља, угрожавања или непредвидивих инцидената. Просторна организација може да побољша контролу приступа, омогући бољу оријентацију, повећа сагледивост, успори кретање и омогући зонирање, али она мора бити повезана са педагошким, организационим, психолошким и институционалним мерама.

Због тога архитектонска безбедност треба да буде схваћена као један део ширег система школске сигурности.

Ова напомена је важна како би се избегло преувеличавање улоге форме. Савремена истраживања школске безбедности указују да физичке мере нису довољне без подршке школској клими, менталном здрављу,

поверењу, припадности и благовременој комуникацији.⁶⁷ С друге стране, занемаривање архитектонске димензије такође би било проблематично, јер школска основа свакодневно обликује кретање, сусрете, видљивост, надзор и начине на које корисници разумеју простор.

Стога се допринос овог истраживања огледа у повезивању архитектонског пројектовања, безбедносних критеријума и генеративног моделовања. Дисертација не настоји да формулише универзални безбедносни модел школе, већ да покаже да се одређени безбедносни принципи могу превести у просторна правила, да се таква правила могу користити у „СА“ моделу и да резултати могу бити анализирани у односу на функционалност, препоручене површине и просторну структуру.

Безбедност и резилијентност школског простора треба разумети као интегралне архитектонске теме. Савремена школа мора истовремено да подржи учење, социјализацију, добробит, оријентацију и заштиту корисника. Због тога безбедност не може бити сведена на технолошки слој, нити на појединачне физичке мере. Она мора бити део пројектантске логике: начина на који су организовани улази, комуникације, чворишта, зоне, прелази, дворишта и наставни простори.

За потребе ове дисертације најзначајнији је закључак да се безбедносни принципи могу превести у просторне параметре. Контрола приступа, природни надзор, успоравање, сегментација, алтернативне руте, перципирана сигурност и функционална ефикасност могу постати део скупа правила за генерисање школских основа. Управо на том месту

⁶⁷ DePaoli, J. и McCombs, J. (2023) Safe Schools, Thriving Students: What We Know About Creating Safe and Supportive Schools. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute. Преузето са: <https://learningpolicyinstitute.org/product/safe-schools-thriving-students-report>

појам резилијентности добија оперативни карактер: он више није само општа теоријска категорија, већ постаје критеријум за формирање и анализу просторних конфигурација.

У том оквиру, „лабиринтска“ типологија може бити схваћена као покушај да се превазиђе ограничење дугог линеарног ходника и да се комуникациони простор школе артикулише као угласт, сегментисан и контролисано разгранат систем. Ако таква организација истовремено омогући интеграцију елемената успоравања, очување препоручених нето површина и формирање употребљивих школских простора, онда она представља релевантан допринос развоју резилијентних школских зграда заснованих на генеративном моделовању.

4. Ћелијски аутомат као алат у архитектонском пројектовању

Идеја о употреби рачунара у процедуралном решавању сложених архитектонских захтева датира још од појаве првих рачунара, средином 20. века.⁶⁸ Са појавом првих рачунара у области архитектуре, бројни истраживачи су развијали методе за аутоматизацију процеса пројектовања.⁶⁹ Упркос ранијем схватању рачунара као „машине за решавање проблема“, током протеклих деценија рачунар је доминантно служио као алат за репрезентацију архитектонских идеја.⁷⁰

Почетком 21. века, велики број теоретичара бавио се истраживањем алгоритама у архитектонском пројектовању^{71,72,73,74,75,76} при чему су неки

⁶⁸ De Landa, M. (2002) „Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture“. London. Преузето са: https://www.researchgate.net/publication/295600631_Deleuze_and_the_use_of_the_genetic_algorithm_in_architecture

⁶⁹ Steenson, M.W. (2014) Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponte and MIT's Architecture Machine Group. Princeton, NJ: Princeton University Press. Преузето са: <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp01pn89d6733>

⁷⁰ Leach, N. (2009) „Digital Morphogenesis“, Architectural Design, 79(1), стр. 32–37. Преузето са: <https://neilleach.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/09/digital-morphogenesis.pdf>

⁷¹ Leach N. Digital Cities, Architectural Design, Vol 79, 4th edition, London, 2009. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/ad.911>

⁷² Terzidis, K. (2006) Algorithmic Architecture. 1st ed. Amsterdam; Boston: Architectural Press.

⁷³ Carpo, M. (2011) The Alphabet and the Algorithm. Cambridge, MA: The MIT Press. Доступно на: <https://archive.org/details/alphabetalgorithm0000carp/page/172/mode/2up>

⁷⁴ Carpo, M. (2015) „Introduction“, у: The Digital Turn in Architecture 1992–2012. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, стр. 9–14. Преузето са: <https://andreaarianoitaadsaggio.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/06/digital-turn.pdf>

⁷⁵ Coates, P. (2010) Programming Architecture. Abingdon, Oxon: Routledge.

⁷⁶ Mitchell, M. (1999) An Introduction to Genetic Algorithms. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: <https://www.boente.eti.br/fuzzy/ebook-fuzzy-mitchell.pdf>

од њих наглашавали потребу за снажнијим повезивањем теорије и праксе.^{77,78,79,80}

Поред тога, води се континуирана дискусија о могућим приступима методологији архитектонског пројектовања који би могли довести до унапређених архитектонских резултата.^{81,82,83,84}

Термини као што су дигитални дизајн, емергенција, алгоритамски дизајн, морфогенетски дизајн, параметарски дизајн данас су присутни у архитектонском дискурсу. Алати који се користе у приступима који дефинишу поменуте термине углавном су преузети из других научних

⁷⁷ Burry, M. (2016) „Antoni Gaudí and Frei Otto: Essential Precursors to the Parametricism Manifesto“, у: Jencks, C. и Kropf, K. (ур.) Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, стр. 282–285. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/ad.2021>

⁷⁸ Burry, M. (2011) Scripting Cultures: Architectural Design and Programming. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-74641-7. Доступно на: https://www.google.rs/books/edition/Scripting_Cultures/Q--nCwAAQBAJ?hl=sr&gbpv=1&pg=PA11&printsec=frontcover

⁷⁹ Kolarević, B. (2003) Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York; London. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780203634561>

⁸⁰ Menges, A., Hensel, M. и Weinstock, M. (2004) „An Evolution of Form Finding as Design“, у: Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (ур.) Emergence: Morphogenetic Design Strategies. Architectural Design, 74(3), стр. 27–33. Преузето са: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter04.html>

⁸¹ Mitchell, M. (1999) An Introduction to Genetic Algorithms. A Bradford Book. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: <https://www.boente.eti.br/fuzzy/ebook-fuzzy-mitchell.pdf>

⁸² Đorđević, A., Milovanović, A., Milojević, M.P., Zorić, A., Pešić, M., Ristić Trajković, J., Nikezić, A. и Đokić, V. (2022) „Developing Methodological Framework for Addressing Sustainability and Heritage in Architectural Higher Education—Insights from HERSUS Project“, Sustainability, 14(8), чланак 4597. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su14084597>

⁸³ Milovanović, A., Nikezić, A. и Ristić Trajković, J. (2023) „Introducing Matrix for the Reprogramming of Mass Housing Neighbourhoods (MHN) Based on EU Design Taxonomy: The Observatory Case of Serbia“, Buildings, 13(3), чланак 723. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/buildings13030723>

⁸⁴ Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M., Maraš, I. и Ecet, D. (2021) „New Comfort: Towards the Post-Pandemic Living“, SAJ: Serbian Architectural Journal, 13(3), стр. 198–222. Преузето са: <https://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=1821-39522103187A>

области, најчешће инспирисани биолошким наукама^{85,86,87} и представљају математичке моделе који служе за описивање комплексних система у природи. Заједнички именилац за све наведене термине и приступе може се идентификовати као „bottom-up“ принцип. Овај принцип је заинтересовао многе архитекте који су на различите начине описивали архитектонске моделе и процесе стварања форми у сличним архитектонским дискурсима.⁸⁸

Важно је напоменути да и данас скуп појмова који се могу сврстати под заједнички назив „*Computational Design*“ (рачунарско пројектовање) остаје предмет дискусије и да се непрестано шири. Ипак, истраживање Каетана и сарадника⁸⁹ показује да су појмови повезани са термином „*Computational Design*“ (рачунарско пројектовање) постали знатно учесталији у архитектонској научној литератури, како као главна истраживачка тема, тако и као кључне речи, уз очекивање да ће њихова заступљеност у будућности додатно расти.

Упркос томе, „bottom-up“ приступи често показују слабости у фази прилагођавања изабраних решења постојећим захтевима и условима

⁸⁵ Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2012) „Introduction to Emergence: Morphogenetic Design Strategies“, у: Carpo, M. (yp.) *The Digital Turn in Architecture 1992–2012*. Chichester: John Wiley & Sons, стр. 158–164. Преузето са: <https://andreaarianoitcaadsaggio.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/06/digital-turn.pdf> design/9780470866887/Chapter04.html

⁸⁶ Frazer, J.H. (1995) *An Evolutionary Architecture. Themes VII*. London: Architectural Association. Преузето са: https://syntheticformations.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/09/00_intro.pdf

⁸⁷ Kamaoğlu, M. (2023) „The Idea of Evolution in Digital Architecture: Toward United Ontologies?“, *International Journal of Architectural Computing*, 21(4), стр. 622–634. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771231174890>

⁸⁸ Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2004) „Emergence in Architecture“, *Architectural Design*, 74(3), стр. 11–15. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. Доступно на: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter03.html>

⁸⁹ Caetano, I., Santos, L. и Leitão, A. (2020) „Computational Design in Architecture: Defining Parametric, Generative, and Algorithmic Design“, *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), стр. 287–300. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

локације. Због тога се у савременој литератури може уочити помак ка хибридним приступима, који истовремено користе „*top-down*“ и референцијалне методе.⁹⁰ Ранија истраживања представљала су полазну основу за даље истраживање алгоритамских могућности у процесу пројектовања, са посебним нагласком на релацији човека и рачунара.⁹¹

Фокус овог истраживања није на инсистирању на искључиво традиционалном или искључиво аутоматизованом приступу пројектовању, већ на постизању најбољег могућег архитектонског решења на најефикаснији начин. Као што ће бити приказано у наредним поглављима, ћелијски аутомат (CA) показао је способност да инкорпорира „*top-down*“ логику, али и „*bottom-up*“ приступ у одређеној мери. Ово је нарочито било изражено у раним фазама истраживања, када су референце на постојеће школске зграде служиле као механизам потврде исправности генерисаних решења.

Ћелијски аутомат (CA) користи се у бројним научним областима као етаблиран метод за истраживање сложених система.⁹²

Анализа модела генерисаних помоћу „CA“, који представљају комплексне системе формиране једноставним односима основних елемената према унапред дефинисаним правилима, прописима и обрасцима, од посебног је значаја за ово истраживање. Другим речима, како би се „CA“ успешно имплементирао у процес пројектовања, неопходно је сагледати архитектонски објекат као склоп основних

⁹⁰ Weber, A.E., Mueller, C. и Reinhart, C. (2022) „Automated Floorplan Generation in Architectural Design: A Review of Methods and Applications“, *Automation in Construction*, 140, чланак 104385. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104385>

⁹¹ Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M., Kapetina, M., Medić, S. и Ecet, D. (2021) „Urban Planning Method for Fostering Social Sustainability: Can Bottom-Up and Top-Down Meet?“, *Results in Engineering*, 12, чланак 100284.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100284>

⁹² Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media.

Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

елемената, њихових међусобних односа и понављајућих правилности. Овакав начин размишљања доприноси формулисању критеријума, односно мерљивих параметара, за поређење различитих архитектонских објеката, у детаљима или у целини. Научни радови^{93,94,95} показују како се „СА“ може применити у процесу архитектонског пројектовања, наглашавајући начине на које су „СА“ правила прилагођена различитим архитектонским пројектантским проблемима.

Процес примене „СА“ у архитектонском дизајну изразито је истраживачког карактера и може имати значајну улогу у јачању помака ка другачијим начинима размишљања у архитектонском пројектовању, што потенцијално доводи и до другачијих пројектантских решења.^{96,97} Једна од кључних предности примене „СА“ у архитектонском пројектовању, у односу на параметарски дизајн или „ВІМ“ моделовање, је то што се лакше може прилагодити у раним фазама пројектантског процеса. То га чини перспективнијим у том контексту у односу на претходно поменуто два приступа. На основу скупа основа генерисаних помоћу „СА“, уочено је да је у раним фазама пројектовања знатно лакше истраживати различите просторне форме и типологије, што није увек

⁹³ Krawczyk, R.J. (2016) „Cellular Automata: Dying to Live Again, Architecture, Art, Design“, у: Adamatzky, A. и Martinez, G. (yp.) Designing Beauty: The Art of Cellular Automata. Emergence, Complexity and Computation, vol. 20. Cham: Springer, стр. 39–52. Преузето са: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27270-2_5

⁹⁴ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, Automation in Construction, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>

⁹⁵ Herr, C.M. и Ford, R.C. (2016) „Cellular Automata in Architectural Design: From Generic Systems to Specific Design Tools“, Automation in Construction, 72, стр. 39–45. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.011>

⁹⁶ Çalışır, A.P. и Çağdaş, G. (2020) „Computational Design Thinking through Cellular Automata: Reflections from Design Studios“, Journal of Design Studio, 2(2), стр. 71–83. Преузето са: <https://doi.org/10.46474/jds.816833>

⁹⁷ Nisztuk, M. и Myszkowski, P.B. (2018) „Usability of Contemporary Tools for the Computational Design of Architectural Objects: Review, Features Evaluation and Reflection“, International Journal of Architectural Computing, 16(1), стр. 58–84. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/1478077117738919>

случај код параметарских модела, уз истовремено обезбеђивање основних квантитативних параметара.

Ово представља једну од кључних предности „BIM“ приступа у архитектонском пројектовању, али у знатно комплекснијем и свеобухватнијем облику.⁹⁸

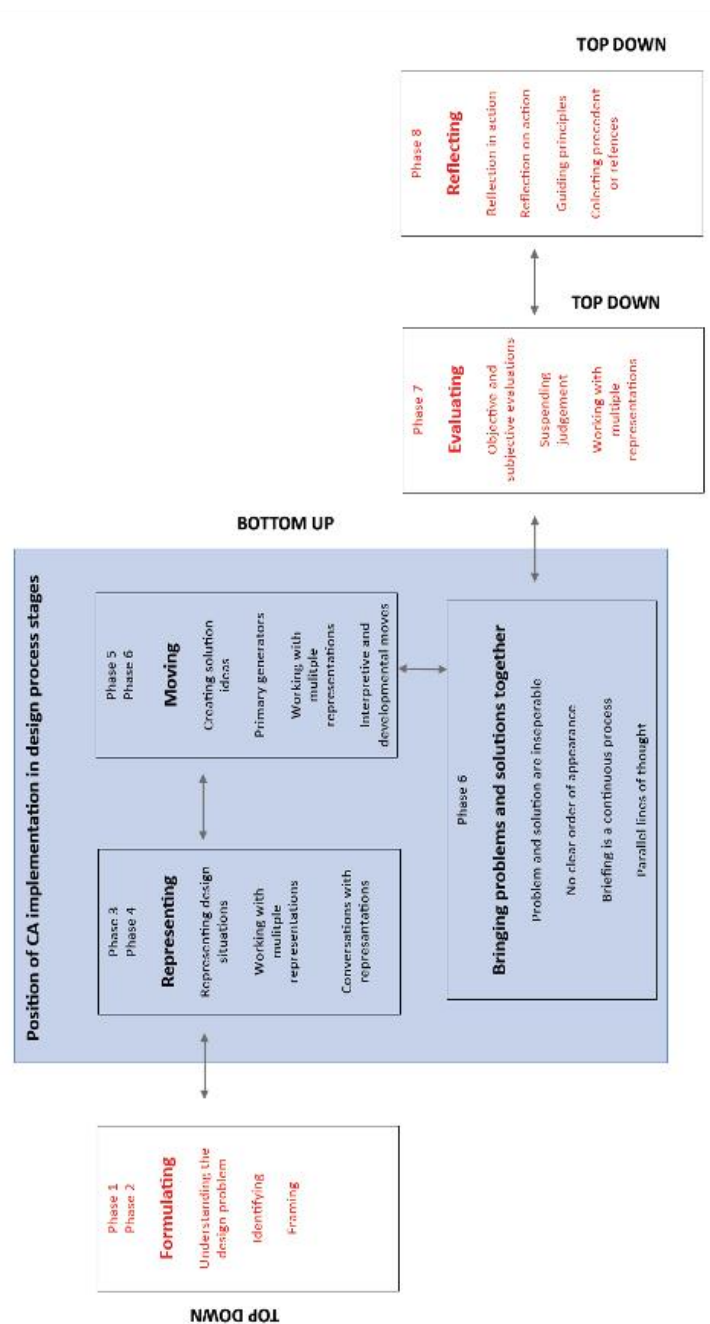
Важно питање у оквиру овог истраживања односило се и на саму природу архитектонског пројектантског процеса. Може се рећи да се процес архитектонског пројектовања у образовном окружењу разликује од оног који се практикује међу професионалцима са искуством у области. Како је наведено у раду „Impact of Extended Reality on Architectural Education and the Design Process“⁹⁹, студентима су често потребне године како би стекли суштинска искуства неопходна за пројектовање, што резултира њиховом „неспремношћу“ након дипломирања.

У контексту Лоусонове поделе фаза пројектантског процеса (Слика 2): „формулисање“, „покретање“, „репрезентација“, „евалуација“, „рефлексија“ и обједињујућа фаза „повезивања проблема и решења“, „СА“ је показао најбоље резултате у фазама „формулисања“ и „евалуације“. То указује на то да примена „СА“ захтева претходно искуство пројектанта и да није погодна за употребу у образовном процесу, већ пре свега, у ситуацијама које захтевају стручну анализу.¹⁰⁰

⁹⁸ Harding, J.E. и Shepherd, P. (2017) „Meta-Parametric Design“, Design Studies, 52, стр. 73–95. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.005>

⁹⁹ Kharvari, F. и Kaiser, L.E. (2022) „Impact of Extended Reality on Architectural Education and the Design Process“, Automation in Construction, 141, чланак 104393. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104393>

¹⁰⁰ Lawson, B. (2004) „Schemata, Gambits and Precedent: Some Factors in Design Expertise“, Design Studies, 25(5), стр. 443–457. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.05.001>



Слика 2: Фазе пројектантског процеса према Брајану Лоусону, синтетизоване са имплементацијом ћелијског аутомата (СА). Свака фаза описана је доминантним атрибутом у погледу природе процеса, чиме се илуструје хибридни приступ (bottom-up или top-down).

Међутим, као што ће бити приказано, „СА“ може допринети и осталим фазама пројектантског процеса. Способност „СА“ да генерише „изненађујућа“ решења¹⁰¹ указује на потребу за претходним знањем како би се разликовала „изненађујућа“ или „неочекивана“ решења од „познатих“ или „уобичајених“.

Са друге стране, значај „изненађујућих“ решења огледа се у проширивању знања и хоризоната архитектонске имагинације. Идеја пројектантског процеса као облика истраживања наглашена је у претходним студијама, а у складу са резултатима овог истраживања, може се додатно развити имплементацијом „СА“ у процес архитектонског пројектовања.^{102,103}

¹⁰¹ Pena, M.L.C., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I. и Romero, J. (2021) „Artificial Intelligence Applied to Conceptual Design: A Review of Its Use in Architecture“, *Automation in Construction*, 124, чланак 103550. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>

¹⁰² Navinchandra, D. (1991) *Exploration and Innovation in Design: Towards a Computational Model*. New York: Springer-Verlag. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3114-1>

¹⁰³ Logan, B. и Smithers, T. (1993) „Creativity and Design as Exploration“, у: Gero, J.S. и Maher, M.L. (ур.) *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, стр. 139–173. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780203772881>

5. Савремене типологије школских зграда као основа за формирање резилијентних просторних модела

5.1. Типологија као методолошки оквир истраживања

Школска зграда у савременом архитектонском и педагошком контексту не може се посматрати само као скуп учионица повезаних ходником. Она представља сложен просторни систем у којем се преплићу наставни процес, кретање, социјална интеракција, контрола приступа, безбедност, адаптабилност и квалитет окружења за учење. Због тога типологија школских зграда у овом истраживању нема улогу историјске класификације, већ методолошког инструмента којим се препознају и апстрахују просторни обрасци релевантни за формирање генеративног модела.^{104,105,106}

За разлику од класичних типолошких подела, које школске зграде често разврставају према историјском периоду, нивоу образовања или функционалном програму, у овом раду је од посебног значаја морфолошка и организациона логика школског простора. Предмет

¹⁰⁴ Atanacković Jeličić, J. (2007) Razvoj i transformacije arhitekture školskih zgrada u Vojvodini, od XVII veka do 2006. godine. Докторска дисертација. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука. Преузето са: <https://cris.uns.ac.rs/sr/scientific-results/thesis/35572>

¹⁰⁵ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010(3). Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹⁰⁶ Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и Pejić, S. (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

анализе није изглед школске зграде као завршене архитектонске форме, већ начин на који су међусобно повезани наставни простори, комуникације, заједничке зоне, дворишта, улази и простори контроле. Тако схваћена типологија представља везу између архитектонске анализе и рачунарског модела.^{107,108}

Овакав приступ је усклађен са основним предметом истраживања, јер се школска зграда посматра као систем у којем се просторна организација може користити за успоравање кретања, сегментацију, повећање читљивости и формирање више контролисаних зона. У том смислу, савремене типологије школских зграда не служе као модел који треба дословно поновити, већ као скуп просторних принципа који се могу превести у правила ћелијског аутомата.¹⁰⁹ Посебно је значајно то што се савремени приступи пројектовању школа све више удаљавају од модела објекта заснованог на линеарном коридору и једнообразном низу учионица.

¹⁰⁷ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, *Automation in Construction*, 16(1), стр. 61–69.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>

¹⁰⁸ **Есет, Д.**, Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и **Пејић, С.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.

Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

¹⁰⁹ Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

Савремена школа све чешће подразумева различите нивое заједничких простора, флексибилне наставне зоне, просторе за групни и индивидуални рад, могућност наставе на отвореном, као и јасније дефинисан однос између кретања и боравка. Ови елементи су важни не само за педагошки квалитет школе, већ и за резилијентност њене просторне структуре.^{110,111,112,113,114,115}

¹¹⁰ Tanner, C.K. (2009) „Effects of School Design on Student Outcomes“, Journal of Educational Administration, 47(3), стр. 381–399.

Преузето са: <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>

¹¹¹ Sanoff, H. и Walden, R. (2012) „School Environment“, у: Clayton, S.D. (ур.) The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology. Oxford: Oxford University Press, стр. 276–294. Преузето са: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0015>

¹¹² Cleveland, B. и Fisher, K. (2014) „The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, Learning Environments Research, 17(1), стр. 1–28. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

¹¹³ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

¹¹⁴ Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y. и Barrett, L. (2015) „The Impact of Classroom Design on Pupils’ Learning: Final Results of a Holistic, Multi-Level Analysis“, Building and Environment, 89, стр. 118–133.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

¹¹⁵ Barrett, P., Zhang, Y., Davies, F. и Barrett, L. (2015) Clever Classrooms: Summary Report of the HEAD Project. Salford: University of Salford. Преузето са : https://eddesignaward.com/research/wp-content/uploads/2021/12/clever-classrooms-summary-report-of-the-head-the-project_peter-barrett.pdf

5.2. Основни савремени морфолошки типови школских зграда

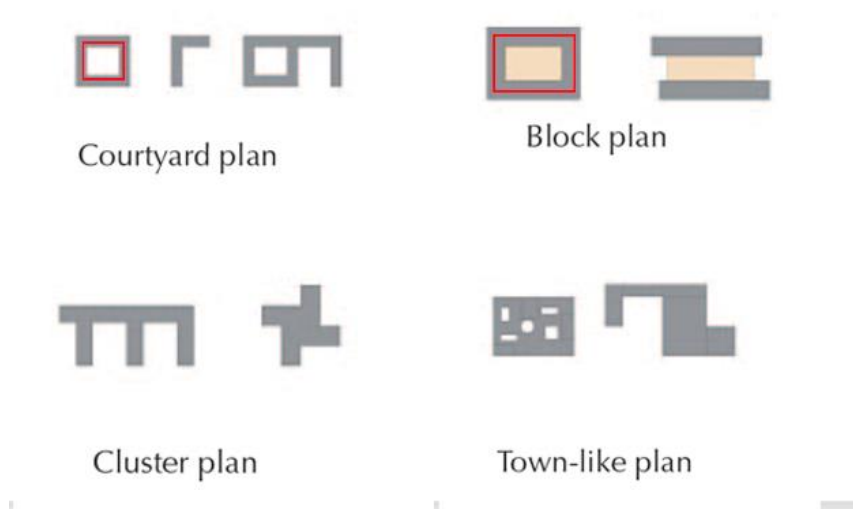
У литератури о савременој архитектури школа посебно је значајна класификација Алесандра Риголона, заснована на анализи европских школских зграда 21. века. Риголон издваја четири основна типа школских основа: тип са двориштем, блок-тип, кластер-тип и тип налик градској морфологији.¹¹⁶

Ова подела погодна је за потребе овог истраживања зато што се не заснива на стилским или историјским критеријумима, већ на морфологији и просторном распореду школских зграда. У том смислу, она омогућава да се типови школа повежу са питањима комуникација, контроле кретања, зонарања и просторне адаптабилности.^{117,118}

¹¹⁶ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010(3). Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹¹⁷ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

¹¹⁸ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.



Слика 3: Четири основна типа школских зграда са означеним позицијама централних ходника. (према Алесандру Риголону).

Извор: https://www.researchgate.net/figure/Spatial-configuration-models-in-educational-buildings-Rigolon-2010_fig2_332071346

Тип са двориштем

Код овог типа школска зграда се организује око једног или више унутрашњих отворених простора. Двориште може бити затворено, полуотворено или састављено од више мањих дворишних целина. Основна карактеристика овог типа је јасан однос између изграђеног обода и унутрашњег отвореног простора. Двориште истовремено може бити простор одмора, наставе на отвореном, оријентације и контролисаног окупљања ученика.

Из перспективе безбедности и резилијентности, овај тип је значајан јер омогућава јасно дефинисање границе школског комплекса и формирање

унутрашњег простора који је визуелно и функционално повезан са
ШКОЛОМ.^{119,120,121,122}



Слика 4: дворишни тип школе „Nimeto School“ - Mevrouw Meijer / Maarten van Kesteren, Холандија (2025), Извор: https://www.archdaily.com/1013808/nimeto-transformation-of-a-craft-school-maarten-van-kesteren-architecten?ad_medium=gallery

Међутим, тип са двориштем не може се сматрати сам по себи резилијентним. Његов квалитет зависи од броја улаза, односа главних и секундарних комуникација, могућности евакуације, као и од тога да ли двориште представља само централну празнину или активни елемент просторне организације. Уколико је систем превише затворен и зависан од једног комуникационог прстена, он може створити ограничења у

¹¹⁹ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbox-en>

¹²⁰ Bell, A.C. и Dymont, J.E. (2008) „Grounds for Health: The Intersection of Green School Grounds and Health-Promoting Schools“, Environmental Education Research, 14(1), стр. 77–90. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13504620701843426>

¹²¹ Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y. и Barrett, L. (2015) „The Impact of Classroom Design on Pupils’ Learning: Final Results of a Holistic, Multi-Level Analysis“, Building and Environment, 89, стр. 118–133. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

¹²² Barrett, P., Zhang, Y., Davies, F. и Barrett, L. (2015) Clever Classrooms: Summary Report of the HEAD Project. Salford: University of Salford. Преузето са : https://eddesignaward.com/research/wp-content/uploads/2021/12/clever-classrooms-summary-report-of-the-head-the-project_peter-barrett.pdf

ванредним ситуацијама. Због тога се у оквиру овог истраживања тип са двориштем посматра као модел у коме је потребно испитати однос између контроле, отворености и алтернативних праваца кретања.^{123,124}



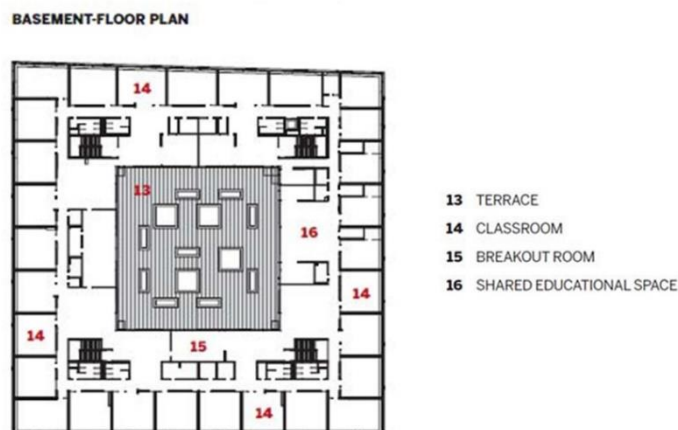
Слика 5: дворишни тип школе „Elementary & Middle School-Fenouillet“ - Cousy Architectures, Француска (2019), Извор: https://www.archdaily.com/962694/school-piquepeyre-ppa-architectures?ad_medium=gallery

¹²³ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹²⁴ Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и Pejić, S. (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.

Блок-тип

Он подразумева компактну школску структуру у којој су различите функције смештене унутар јасно дефинисаног габарита. Унутрашња организација може бити заснована на атријуму, проширеној комуникацији или такозваној едукативној улици. Блок-тип је нарочито карактеристичан за урбане услове, где је парцела ограничена, а програм школске зграде сложен. Његова предност је у компактности, рационалности и могућности контроле приступа.^{125,126}



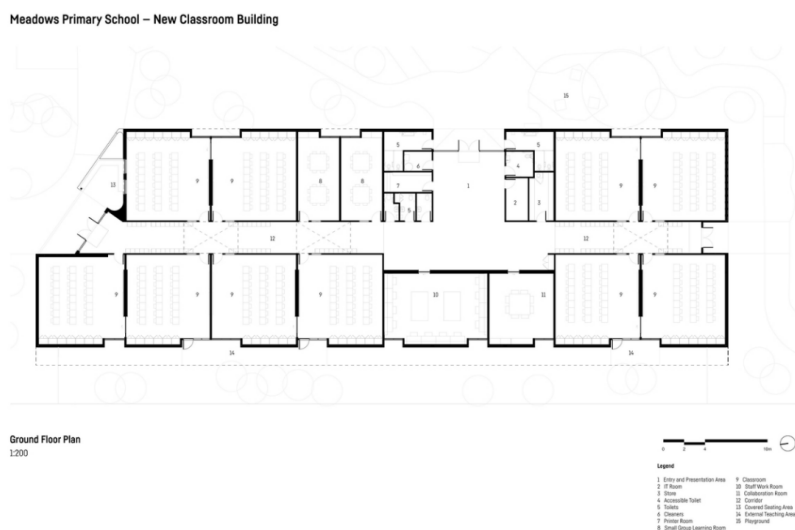
Слика 6: блок тип школе „Elementary & Middle School Gloggnitz, Austria“ - Dietmar Feichtinger Architectes, Аустрија (2019), Извор:
https://www.archdaily.com/942215/school-complex-gloggnitz-dietmar-feichtinger-architectes?ad_medium=gallery

¹²⁵ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹²⁶ Department for Education (2014) Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103. London: Department for Education.

Преузето са:
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

Код блок-типа је посебно важно питање комуникационог простора. Ако је унутрашња комуникација сведена на једну дугу и преоптерећену осу, добијају се ограничења слична традиционалном коридорском моделу. Ако се, међутим, комуникација прошири и програмски активира, она може постати простор учења, сусрета и оријентације. У том случају ходник више није искључиво простор комуникације, већ део педагошке и социјалне структуре школе. За потребе „СА“ модела, блок-тип је значајан јер омогућава испитивање правила компактности, унутрашњег повезивања и рационализације комуникационог простора.^{127,128,129}



Слика 7: блок тип школе „Meadows Primary School“ - Project 12 Architecture, Architectes, Аустралија (2022), Извор: https://www.archdaily.com/1026349/meadows-primary-school-project-12-architecture?ad_medium=gallery

¹²⁷ Cleveland, B. и Fisher, K. (2014) „The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, Learning Environments Research, 17(1), стр. 1–28. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

¹²⁸ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

¹²⁹ **Есет, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.

Кластер-тип

Његова основна карактеристика је груписање наставних и пратећих простора у мање функционалне целине. Један кластер може обухватити више учионица, простор за групни рад, мањи заједнички простор, наставничку зону или директан однос са отвореним простором. На тај начин школа се не организује као једна велика хомогена структура, већ као систем мањих просторних заједница. Овај тип је у складу са савременим педагошким концептима који наглашавају рад у мањим групама, флексибилност и могућност различитих режима коришћења простора.^{130,131,132}



Слика 8: кластер тип школе „Kössen Education Center“ - Pedevilla Architects, Ајсчпуја (2025), Извор: https://www.archdaily.com/1040194/education-center-kossen-pedevilla-architects?ad_medium=gallery

¹³⁰ Sanoff, H. и Walden, R. (2012) „School Environment“, у: Clayton, S.D. (yp.) The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology. Oxford: Oxford University Press, стр. 276–294. Преузето са: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0015>

¹³¹ Cleveland, B. и Fisher, K. (2014) „The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, Learning Environments Research, 17(1), стр. 1–28. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

¹³² Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

Са становишта резилијентности, кластер-тип има посебан значај. Подела школе на мање целине омогућава јасније зонирање, контролу кретања унутар појединих делова објекта и могућност да се поједине зоне у одређеним ситуацијама изолују или независно користе. Истовремено, овај тип смањује зависност целе школе од једног доминантног комуникационог правца. Његово ограничење може бити претерана раздвојеност кластера, због чега је неопходно успоставити јасан однос између локалне аутономије и повезаности целине.^{133,134}

Тип налик градској морфологији

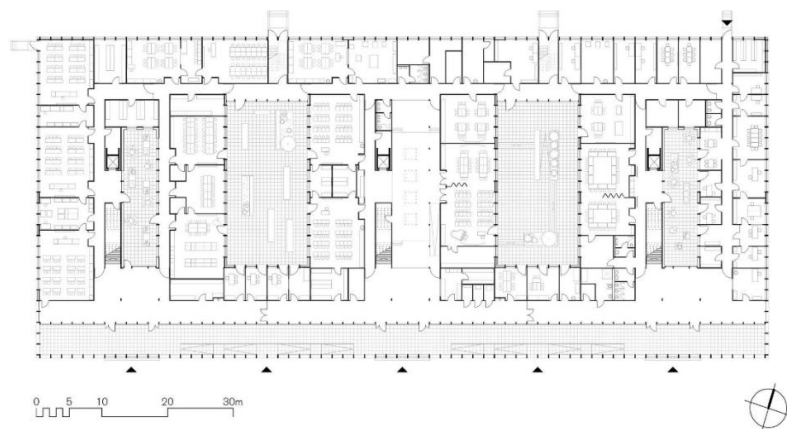
Тип налик градској морфологији школу посматра као малу урбану структуру, у којој се јављају унутрашње улице, чворишта, проширења, простори окупљања и различити степени јавности. Уместо једног ходника или једног централног хола, школа се организује као мрежа више повезаних праваца и простора. Овај тип је најсложенији, јер тежи да школски простор приближи логици града у малом. У њему се комуникација не своди на кретање између учионица, већ постаје део социјалног и образовног искуства.^{135,136}

¹³³ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹³⁴ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.

¹³⁵ Batty, M. (2007) Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00523_1.x

¹³⁶ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>



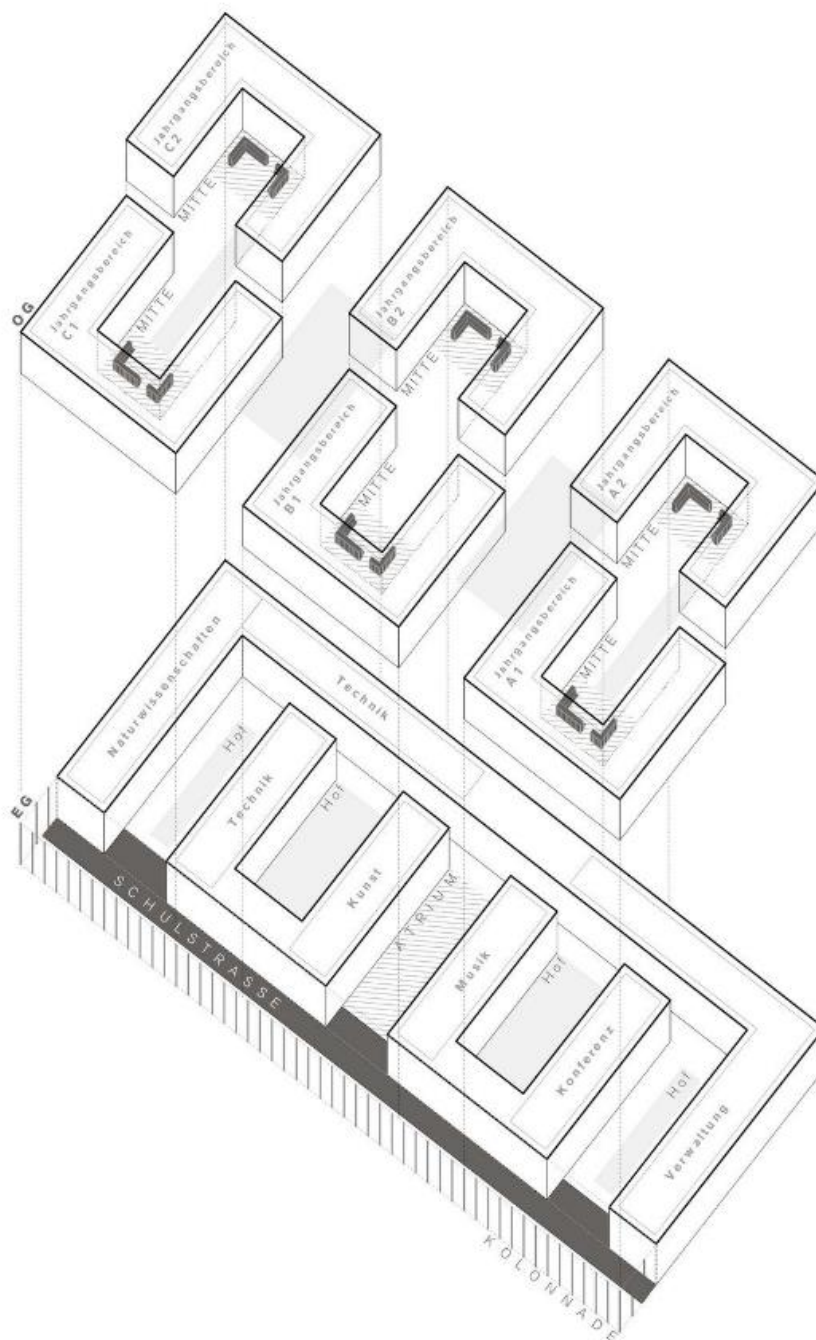
Слика 9: тип основе школе налик градској морфологији „ICS Integrated Comprehensive School“ - Bez + Kock Architekten, Немачка (2021), Извор: https://www.archdaily.com/979707/ics-integrated-comprehensive-school-bez-plus-kock-architekten?ad_medium=gallery

Предност овог типа је у просторном богатству и већем броју могућих рута кретања. То може допринети флексибилности и разноврсности коришћења школе. Са друге стране, сложеност може довести до слабије читљивости и тежег надзора, ако просторна хијерархија није јасно дефинисана. Зато је код овог типа неопходно успоставити јасну разлику између главних и секундарних комуникација, препознатљивих чворишта и функционалних зона. У контексту овог истраживања, тип налик градској морфологији је значајан као референтни модел за разумевање мреже, гранања, просторне сложености и могућности формирања више алтернативних праваца кретања.^{137,138,139}

¹³⁷ Batty, M. (2007) *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00523_1.x

¹³⁸ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbox-en>

¹³⁹ Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и Pejić, S. (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.



Слика 10: дијаграмски приказ типа основе школе налик градској морфологији „ICS Integrated Comprehensive School“ - Bez + Kock Architekten, Немачка (2021), Извор: https://www.archdaily.com/979707/ics-integrated-comprehensive-school-bez-plus-kock-architekten?ad_medium=gallery

*Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

Тип	Просторна логика и предности	Ограничења	Резилијентни потенцијал и СА параметри
Тип са двориштем	Двориште као централна или полузатворена празнина; добра оријентација и контролисан отворени простор.	Потребно је обезбедити више излаза и алтернативних рута.	Контрола приступа; правила празнине, периметра и алтернативног кретања.
Блок-тип	Компактна целина са атријумом или едукативном улицом; рационалан и прегледан склоп.	Ризик прекомерне зависности од једне главне осе или чворишта.	Компактност; унутрашње зонирање; гранање главних и секундарних комуникација.
Кластер-тип	Мање наставне целине повезане у систем; зонирање и локална аутономија.	Потребна је јасна веза између кластера и целине школе.	Груписање; сегментација; локалне руте и контрола по зонама.
Тип налик градској морфологији	Мрежа унутрашњих улица, тргова, чворишта и више рута; флексибилно кретање.	Могућа је слабија читљивост ако просторна хијерархија није јасна.	Мрежа; чворишта; алтернативне путање и контролисана сложеност.

Табела 3: Упоредни приказ савремених типологија школских зграда у односу на просторну организацију, ограничења и резилијентни потенцијал (према Rigolon, 2010; адаптирано у односу на Ecet et al., 2025), Извор: Ауторска израда.

Упоредна анализа показује да се типолошке разлике могу превести у мерљиве просторне параметре, што представља основу за њихово даље тумачење у односу на резилијентност и примену „СА“ модела.

5.3. Савремене типологије у односу на резилијентност школског простора

Резилијентност школске зграде у овом раду не подразумева само отпорност на изузетне безбедносне ризике. Она подразумева способност простора да истовремено подржи свакодневно функционисање школе, јасну оријентацију, контролу кретања, адаптабилност, квалитет боравка и могућност деловања у ванредним условима. Из тог разлога типолошка анализа није издвојено теоријско поглавље, већ део методолошке припреме за формирање и проверу „СА“ модела.^{140,141}

Посматрано у односу на резилијентност, тип са двориштем има потенцијал због могућности контролисаног унутрашњег простора и јасно дефинисане границе школе. Двориште може бити оријентир, простор окупљања и део система евакуације. Међутим, резилијентност овог типа зависи од броја и положаја приступних тачака, као и од тога да ли кретање може бити распоређено на више праваца или је концентрисано у једном прстену.¹⁴²

Блок-тип има предности у погледу компактности, контроле приступа и рационалности. Његов проблем може бити прекомерна зависност од једне централне комуникације.

¹⁴⁰ Cleveland, B. и Fisher, K. (2014) „The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, *Learning Environments Research*, 17(1), стр. 1–28. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

¹⁴¹ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, *The Journal of Architecture*, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

¹⁴² Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, *CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments*, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

Због тога је у овом типу важно испитати могућност унутрашњег зонирања, формирања секундарних праваца и увођења простора који успоравају кретање без нарушавања функционалности школе.^{143,144}

Кластер-тип је посебно погодан за резилијентни приступ, јер омогућава поделу школе на мање просторне и функционалне целине. Та подела може смањити интензитет масовног кретања, омогућити локалну контролу и обезбедити већу флексибилност у свакодневном коришћењу. У односу на циљ овог истраживања, кластерска организација је значајна јер показује како се просторна сложеност може постићи груписањем, а не само продужавањем комуникација.^{145,146}

Тип налик градској морфологији има највећи потенцијал за развој сложених и мрежних структура. Он омогућава више чворишта, више рута и различите нивое просторне јавности. Међутим, уколико се не контролише, ова сложеност може смањити читљивост школе. Зато се у резилијентном моделу мора успоставити равнотежа између сложености и прегледности.

¹⁴³ Department for Education (2014) Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103. London: Department for Education.

Преузето са:
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

¹⁴⁴ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.

¹⁴⁵ Sanoff, H. и Walden, R. (2012) „School Environment“, у: Clayton, S.D. (ур.) *The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology*. Oxford: Oxford University Press, стр. 276–294. Преузето са:
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0015>

¹⁴⁶ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, *The Journal of Architecture*, 19(1), стр. 43–63. Преузето са:
<https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

Простор треба да буде довољно сложен да омогући успоравање, алтернативне правце и зонирање, али не толико сложен да изгуби функционалну јасноћу.^{147,148}

Овај однос између сложености и читљивости посебно је важан за тему нове, лавиринтске типологије. Лавиринтска организација не треба да означи простор који је неразумљив, непроходан или нефункционалан. У контексту овог рада, она се може разумети као контролисано угласта и разграната организација комуникација, у којој се праволинијско и неконтролисано кретање замењује низом просторно артикулисаних прелаза, углова, сегмената и зона. Таква организација има за циљ да интегрише баријере и елементе успоравања у саму архитектонску структуру школе, а не да их накнадно додаје као техничке безбедносне елементе.¹⁴⁹

¹⁴⁷ Batty, M. (2007) *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press.

¹⁴⁸ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbox-en>

¹⁴⁹ **Есет, Д.**, **Атанасковић Јеличић, Ј.**, **Рапаић, М.** и **Пејић, С.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.

5.4. Значај савремених типологија за формирање „СА“ модела

Примена ћелијских аутомата у архитектонском пројектовању захтева да се сложена архитектонска знања преведу у једноставније елементе, стања и правила. Зато савремене типологије школских зграда у овом истраживању представљају основу за апстраховање просторних односа. Оне омогућавају да се школа посматра као систем локалних веза између ћелија, а не као унапред задата форма.^{150,151}

Основни елементи који се могу превести у „СА“ модел су наставни простори, комуникације, заједнички простори, дворишта, улази, сервисни простори, зоне контроле и зоне успоравања. Њихови односи могу се дефинисати кроз правила суседства, правила повезивања, правила груписања, правила формирања празнине, правила гранања и правила рационализације комуникационог простора. На тај начин се типологија преводи у алгоритамски употребљив скуп односа.^{152,153}

Код типа са двориштем, правила могу тежити формирању централне или полузатворене празнине око које се организују наставни и

¹⁵⁰ Wolfram, S. (2002) A New Kind of Science. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

¹⁵¹ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, Automation in Construction, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>.

¹⁵² Batty, M. (2007) Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00523_1.x

¹⁵³ **Есет, Д.**, **Атанасковић Јеличић, Ј.**, **Рapaiћ, М.** и **Пејић, С.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.

комуникациони простори. Код блок-типа, правила могу тежити компактности и формирању унутрашње комуникационе осе, проширења или едукативне улице. Код кластер-типа, правила могу тежити груписању наставних простора у мање целине које су повезане главним или секундарним комуникацијама. Код типа налик градској морфологији, правила могу тежити формирању мреже комуникација са више чворишта и различитим степенима просторне хијерархије.^{154,155}

Најважнија предност оваквог приступа је у томе што „CA“ модел не мора да репродукује један чист тип школске зграде. Он може да генерише хибридне конфигурације које комбинују карактеристике различитих типологија. Једно решење може имати компактност блок-типа, али и груписање својствено кластер-типу. Друго може имати централно двориште, али и више секундарних праваца кретања. Треће може имати карактеристике градске морфологије, али са јасно дефинисаним зонама контроле.¹⁵⁶

У даљој анализи генерисаних решења могуће је користити параметре који описују морфолошке и функционалне карактеристике основе. Посебно су значајни дужина коридора, број промена правца, број чворишта, однос комуникационих и наставних површина, степен централизације, број алтернативних рута, могућност зонирања и број интегрисаних елемената успоравања. Ови параметри омогућавају да се добијена решења не вреднују само према површинама, већ и према

¹⁵⁴ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

¹⁵⁵ **Есет, Д.**, **Атанасковић Јеличић, Ј.**, **Рapaiћ, М.** и **Пејић, С.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, *International Journal of Architectural Computing*, 23(1), стр. 209–238.

¹⁵⁶ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, *Automation in Construction*, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>.

начину на који њихова просторна структура подржава резилијентност школског простора.¹⁵⁷

На тај начин савремена типологија школских зграда постаје посредник између теоријског разматрања школске архитектуре и конкретног генеративног поступка. Она омогућава да се постојећа знања о школским просторима преведу у правила која су довољно општа да генеришу више решења, али и довољно прецизна да буду архитектонски релевантна.^{158,159,160}

Савремене типологије школских зграда показују да школа 21. века више није једноставан објект заснован на низу учионица и ходнику као неутралној комуникацији. Она се све више развија као сложен систем у којем комуникације постају простори учења, дворишта постају активни делови школског живота, кластери формирају мање образовне

¹⁵⁷ Department for Education (2014) Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103. London: Department for Education.

Преузето са:
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

¹⁵⁸ Wolfram, S. (2002) A New Kind of Science. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

¹⁵⁹ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, Automation in Construction, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>.

¹⁶⁰ **Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

заједнице, а унутрашње улице и чворишта стварају услове за сложеније облике кретања и социјалне интеракције.^{161, 162, 163}

Тип са двориштем, блок-тип, кластер-тип и тип налик градској морфологији представљају четири значајна модела савремене просторне организације школа.¹⁶⁴ Сваки од њих има одређене предности и ограничења у односу на безбедност, читљивост, адаптабилност и контролу кретања. Због тога избор типологије није коначан одговор, већ полаз иште за даљу анализу просторне организације.¹⁶⁵

За ово истраживање најважније је то што се наведене типологије могу превести у правила ћелијског аутомата. Њихове карактеристике могу се формализовати кроз односе између ћелија, комуникација, празнина, функционалних група и зона контроле. На тај начин типологија постаје активан део процеса пројектовања, а не само средство накнадне класификације.^{166, 167}

¹⁶¹ Sanoff, H. и Walden, R. (2012) „School Environment“, у: Clayton, S.D. (yp.) The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology. Oxford: Oxford University Press, стр. 276–294. Преузето са: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0015>

¹⁶² Cleveland, B. и Fisher, K. (2014) „The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, Learning Environments Research, 17(1), стр. 1–28. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

¹⁶³ Dovey, K. и Fisher, K. (2014) „Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63. Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

¹⁶⁴ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbox-en>

¹⁶⁵ **Ecet, D.**, Atanacković Jeličić, J., Rapačić, M. и **Pejić, S.** (2025) „School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238. Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

¹⁶⁶ Wolfram, S. (2002) A New Kind of Science. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

¹⁶⁷ Herr, C.M. и Kvan, T. (2007) „Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, Automation in Construction, 16(1), стр. 61–69. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>

Посебан значај има могућност да се кроз „СА“ модел испита формирање нове, лавиринтске типологије школских основа. Она се у овом раду не посматра као произвољно усложњавање простора, већ као контролисана просторна организација која тежи интегрисању баријера, елемената успоравања, зонирања и алтернативних праваца у саму структуру школске зграде. Управо због тога савремене типологије представљају неопходан теоријски и методолошки корак пре формулисања правила „СА“ модела.

6. Превођење просторних принципа у генеративни модел

Анализом резилијентности школских простора, савремених типологија школских зграда, просторних стандарда и могућности примене ћелијских аутомата издвојени су просторни принципи и правила која представљају основу за формулисање предложеног метода. Тежиште овог дела истраживања усмерено је ка њиховој формализацији и превођењу у генеративни модел применљив у процесу архитектонског пројектовања.

У предложеном приступу ћелијски аутомати не посматрају се као готов алгоритам који се непосредно примењује на архитектонски проблем, већ као генеративни модел чија су правила обликована у складу са специфичностима организације школског простора. Просторни принципи и функционалне законитости препознате анализом референтних школских зграда постепено се апстрахују, формализују и преводе у скуп параметара и локалних правила који представљају основу модела. На тај начин тежиште пројектантског процеса помера се са развоја појединачног архитектонског решења ка обликовању система способног да генерише већи број међусобно различитих, али пројектантски конзистентних просторних конфигурација.

Такав приступ у складу је са савременим схватањима алгоритамског и генеративног пројектовања, у којима је тежиште усмерено ка дефинисању правила и односа који управљају настанком архитектонске форме.^{168,169,170}

Развој предложеног метода заснива се на поступној трансформацији архитектонских знања у формализован систем правила способан да подржи процес генерисања и вредновања просторних конфигурација. У том процесу просторни обрасци идентификовани анализом постојећих школских зграда не преузимају се као готова пројектантска решења, већ се апстрахују у виду принципа организације простора који се могу формализовати и применити у оквиру генеративног модела. Тако формиран модел не репродукује постојеће архитектонске типологије, већ омогућава истраживање нових просторних конфигурација заснованих на истим функционалним и просторним принципима. Архитектонско знање, стога, није уграђено у појединачно решење, већ у механизам који омогућава његово настајање.

Овакав приступ подразумева да се процес пројектовања не завршава генерисањем просторних конфигурација. Добијене варијанте представљају основу за њихову даљу архитектонску интерпретацију, рационализацију и вредновање, чиме се омогућава сагледавање њихове функционалне оправданости, просторне организације и усклађености са постављеним критеријумима. Генеративни модел се, према томе, не

¹⁶⁸ Terzidis, K. (2006) *Algorithmic Architecture*. 1st ed. Amsterdam; Boston: Architectural Press. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780080461298>

¹⁶⁹ Carpo, M. (2011) *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: The MIT Press. Доступно на: <https://archive.org/details/alphabetalgorithm0000carp/page/172/mode/2up>

¹⁷⁰ Caetano, I., Santos, L. и Leitão, A. (2020) „Computational Design in Architecture: Defining Parametric, Generative, and Algorithmic Design“, *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), стр. 287–300. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

посматра као средство за аутоматско добијање коначног решења, већ као пројектантски инструмент који омогућава систематично истраживање различитих просторних могућности.

Архитектонско пројектовање у оквиру овог истраживања посматра се као итеративан процес у којем се анализа, моделовање и вредновање међусобно допуњују и условљавају. Такав приступ у складу је са концептом коеволуције проблема и решења¹⁷¹, као и са схватањима која истичу значај просторних образаца и претходних примера у развоју пројектантске логике.¹⁷² Истовремено, примена локалних правила омогућава настанак сложенијих просторних структура као резултата њихове међусобне интеракције, што представља једно од основних полазишта концепта емергенције.^{173,174} У оквиру предложеног метода наведени принципи интегрисани су у јединствен процес развоја генеративног модела прилагођеног специфичним захтевима школске архитектуре.

Развој архитектонског метода не представља линеаран низ појединачних активности, већ континуиран процес у којем резултати сваког корака непосредно постају основа за наредни. Анализа просторних образаца омогућава дефинисање генеративних правила, њихова примена доводи до формирања нових просторних конфигурација, док анализа добијених резултата омогућава преиспитивање и унапређење модела.

¹⁷¹ Dorst, K. и Cross, N. (2001) „Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem–Solution“, *Design Studies*, 22(5), стр. 425–437.

¹⁷² Lawson, B. (2004) „Schemata, Gambits and Precedent: Some Factors in Design Expertise“, *Design Studies*, 25(5), стр. 443–457.

¹⁷³ Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2004) „Emergence in Architecture“, *Architectural Design*, 74(3), стр. 11–15. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. Доступно на: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter03.html>

¹⁷⁴ Wolfram, S. (2002) *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

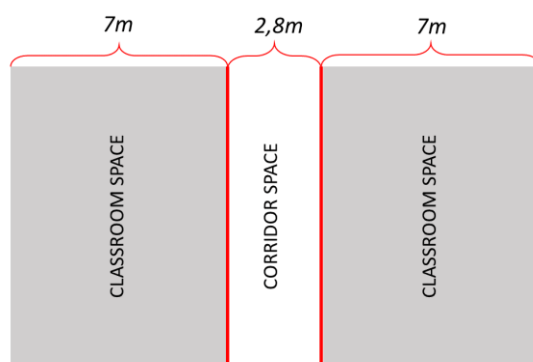
На тај начин успоставља се повратна спрега између анализе, генеративног моделовања и архитектонске евалуације, чиме се обезбеђује поступан развој метода током читавог истраживачког процеса.

На основу овако дефинисаног архитектонског метода, његова разрада организована је кроз три међусобно повезане фазе које представљају континуитет развоја генеративног модела.

Прва фаза усмерена је на идентификацију просторних образаца и законитости, друга на њихову формализацију и имплементацију у модел ћелијских аутомата, док трећа омогућава архитектонску интерпретацију и вредновање добијених просторних конфигурација. Посматране као јединствен процес, ове фазе представљају поступан прелаз од анализе постојећих просторних решења ка развоју, примени и провери предложеног архитектонског метода.

7. Припремна фаза - Експертска анализа постојећих школских зграда

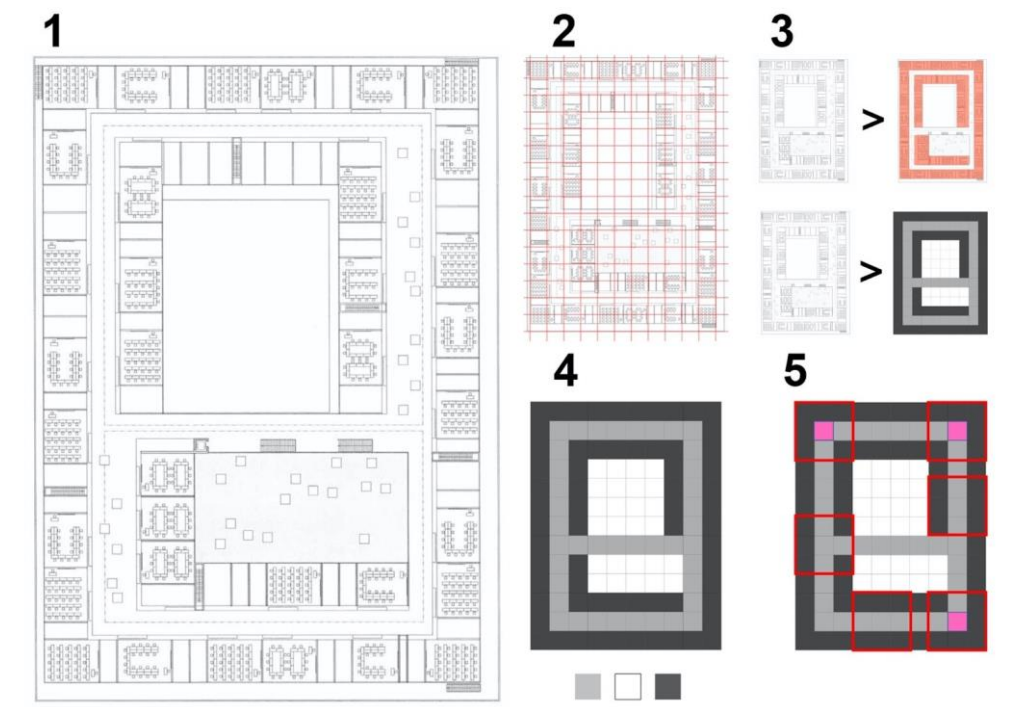
Просторна организација традиционалних школских зграда често се заснива на линеарној шеми, са учионицама распоређеним дуж централног ходника. Овакав концепт, утемељен у ранијим образовним парадигмама, наглашава функционалност и једноставност. Варијације ове просторне организације могу се уочити у великом броју савремених школских објеката. Претходно поглавље разматра приступе пројектовању школских зграда. Сваки од наведених типова може бити организован са централним ходником и учионицама распоређеним са обе стране, како би се постигао висок степен искоришћености простора, при чему је проценат простора ходника релативно мали у односу на проценат простора учионица.



Слика 11: Пример ходника са учионицама са обе стране (димензије које се најчешће користе у школским зградама (према Ернсту и Питеру Нојферту)¹⁷⁵, Извор: Ауторска израда.

¹⁷⁵ Neufert, E. и Neufert, P. (2007)

Architects' Data. 3rd edn. Oxford: Blackwell Publishing. ISBN 978-1-4051-9253-8.
Преузето са: <https://byarchlens.com/wp-content/uploads/2020/11/Neufert-4th-edition.pdf>



Слика 12: Анализа примера – постојећа основа школе апстрахована је до нивоа дијаграма који се даље може користити за дефинисање СА ћелија. Извор: Ауторска израда.

Експертска анализа постојећих школских зграда била је усмерена на проучавање основа различитих школских објеката, делимично на основу непосредног искуства, али претежно на основу анализе каталога реализованих школских објеката у Швајцарској.

Ова анализа је спроведена кроз пет корака приказаних на слици 12.

Претходно наведена анализа спроведена је кроз пет корака:

Први корак обухватао је избор основе школе.

Други корак представља примену модула, односно мреже (грида), које се уобичајено користе као апстрактне репрезентације ћелијских аутомата.

Трећи корак подразумевао је поделу функционалних зона на две основне категорије: ходнике и просторе који нису ходници, односно коридоре и не-коридоре.

У четвртм и петом кораку, након имплементације модула и апстракције функционалних подцелина, уочавани су обрасци, посебно њихово понављање унутар исте основе. Ови аспекти биће детаљније размотрени у наредном поглављу.

8. Фаза пројектовања – формирање „СА“ модела

Ћелијски аутомат (СА) представља математички модел који се првенствено користи у рачунарству, као и у теоријској и рачунарској биологији. Овај модел се састоји од грида, односно мреже ћелија распоређених у облику решетке, при чему свака ћелија има коначан скуп могућих стања. Та стања се мењају у дискретним временским корацима, а прелази између стања регулишу се скупом правила. Ова правила зависе од стања суседних ћелија, које су најчешће дефинисане унутар квадрата од девет ћелија (сама ћелија и осам суседних ћелија, такозвано Мурово суседство).¹⁷⁶ Све ћелије истовремено ажурирају своја стања у сваком временском кораку, у складу са дефинисаним правилима. У оригиналним и најчешће коришћеним „СА“ алгоритмима процес је локалног карактера, а иста парадигма примењена је и у овом истраживању.

Постоје и нелокалне или неуниформне варијанте „СА“ методологије, али оне у овом раду нису разматране. Фаза пројектовања, приказана у методолошком дијаграму (*Слика 1*) као централна целина истраживања, обухвата формирање „СА“ модела кроз три његове основне компоненте: ћелијски простор, стања ћелија и скуп локалних правила. Ове компоненте представљају систематичан приступ конфигурисању и анализи понашања ћелијског аутомата (*Табела 4*).

¹⁷⁶ Batty, M. (2007) *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00523_1.x

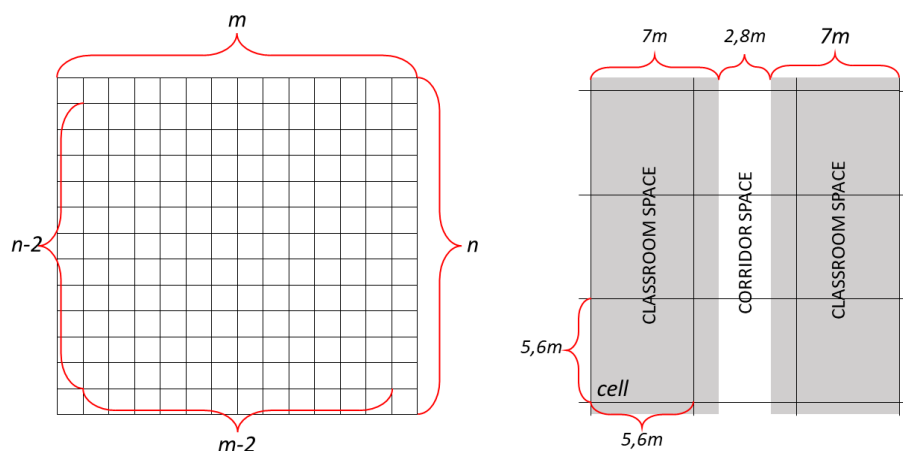
Дефинисање ћелијског простора (<i>cell space</i>)	Дефинисање стања ћелија (<i>cell state</i>)	Дефинисање скупа локалних правила (<i>set of local rules</i>)
Дефинисање ћелијског модула Дефинисање ћелијског простора - парцеле	Стање ћелије - спољашњи простор Стање ћелије - комуникација (ходник) Стање ћелије - неходнички простор Остала стања ћелије	Дефинисање коридора (ходника) Одређивање примарних функционалних програма

Табела 4: Структура „СА“ модела у фази пројектовања: дефинисање ћелијског простора, стања ћелија и скупа локалних правила. Извор: Ауторска израда.

8.1. Дефинисање ћелијског простора (*cell space*)

Први, и методолошки значајан, корак јесте дефинисање основне ћелије (модула), као примарне јединице функционалне организације школске зграде. Како би се олакшао процес апстракције, одабрана је шема са три коридора, због своје једноставне конфигурације и ефикасног односа укупне површине учионица у односу на простор ходника (проценат простора ходника је релативно мали у поређењу са простором учионица). Са становишта архитектонске анализе, овај тип просторне организације је уједно и најједноставнији, јер настаје простим низом учионица дуж ходника.

Димензије ћелије прилагођене су реалним просторним захтевима, при чему је дубина простора учионице од 7м одређена на основу максимално дозвољених димензија. У случају организације са три коридора, као што је приказано на десној страни *Слике 13*, овај захтев може се испунити применом квадратне ћелије димензија 5,6м × 5,6м, док се дужина ћелије може прилагођавати потребама учионица и других функционалних простора. Другим речима, ћелије које формирају ходник биће ефективно уже од ћелија које формирају просторе учионица.



Слика 13: Ћелијски простор представљен као правоугаона мрежа формирана од квадратних ћелија. Извор: Ауторска израда.

Како би се објаснио основни „СА“ модел, неопходно је јасно дефинисати границе простора „СА“. Ради лакшег разумевања алгоритма, ова граница је концептуализована као правоугаони домен састављен од низа квадратних ћелија дефинисаних у претходној фази, организованих у матрицу димензија $m \times n$. Ова матрица представља просторни домен разматраног сценарија. Простор изван дефинисаног домена посматра се као већ изграђен, због чега је неопходно дефинисати периферну зону дуж граница домена. Ова зона има кључну улогу у обезбеђивању равномерне дистрибуције природног осветљења у свим деловима генерисаног модела. Сходно томе, домен предвиђен за генерисање модела представљен је као правоугаона област димензија $m-2 \times n-2$, као што је објашњено на левој страни Сlike 13.

Димензије ћелија су пажљиво калибрисане како би биле усклађене са стварним просторним захтевима, што се, на пример, огледа у чињеници да је дубина простора учионице, у складу са максимално дозвољеним димензијама, дефинисана на 7 метара. У сценаријима које карактерише организација простора са три коридора, као што је приказано на десној страни *Слике 13*, овај услов се остварује применом ћелије квадратног облика димензија $5,6 \times 5,6$ метара, при чему се њена дужина може прилагођавати потребама учионица и других функционалних простора. Са алгоритамског становишта, парцела се посматра као скуп ћелија које су програмиране да, у дискретним временским корацима, прелазе кроз различита стања у складу са унапред дефинисаним критеријумима.

8.2. Дефинисање стања (*state*) ћелије

Модел представљен у овом раду усваја методологију ћелијског аутомата (СА) за мапирање просторне организације образовних објеката, при чему се простори разврставају у четири нумерички означена стања ради прецизне алгоритамске диференцијације. Овакав методолошки приступ омогућава структурисано сагледавање архитектонске композиције школе, подељене на три основне просторне целине.

Почетно, **стање 0** резервисано је за спољашње просторе (*Табела 5*), који имају значајну улогу у погледу термичке заштите објекта и природне вентилације. Ови простори, укључујући и атријуме интегрисане у архитектонску структуру школе, имају кључну улогу у проширивању образовног амбијента, односно простора за учење, на спој унутрашњих и спољашњих простора, у складу са савременим образовним парадигмама.

Након тога, **стање 1** додељено је ходницима, који представљају кључне елементе за обезбеђивање неометаног кретања и функционалне повезаности између различитих програмских зона унутар образовне инфраструктуре. Ови линеарни простори имају кључну улогу у организацији токова кретања и динамике коришћења простора унутар школског објекта.

Стање 2 је затим намењено основним функционалним садржајима и програмима неопходним за функционисање савремене образовне установе. У ову категорију убрајају се простори за наставу и учење, административни садржаји, простори за исхрану са кухињама, библиотеке, лабораторије, санитарни чворови, просторије за припрему наставе, гардеробе и други слични садржаји, који заједно чине оперативно језгро програмског оквира школе.

У оквиру сваког алгорита, дефинисање одговарајућег критеријума заустављања представља основни предуслов за његову функционалност. У контексту овог СА модела, критеријум завршетка процеса дефинисан је скупом унапред утврђених правила. Ова правила се примењују итеративно, при чему се, на пример, правило које управља преласком ћелије из стања (0) у стање (1) извршава више пута. Број итерација је, са једне стране, ограничен димензијама ћелијског простора, док је, са друге стране, регулисан посебним правилом које прекида секвенцијални прелазак из стања у стање, иницирајући прелаз из мирујућег стања (0) у алтернативно активно стање (3). Сложеност и последице овог правила, као и свих осталих правила, биће детаљно размотрене у наредним фазама рада.

Оваква хијерархијска класификација стања омогућава алгоритму да ефикасно генерише разноврсне конфигурације школских зграда, прилагођавајући просторну организацију специфичним педагошким и архитектонским захтевима у оквиру „СА“ модела.

Ова класификација представља темељ способности алгоритма да генерише различите типологије школских објеката, прилагођавајући просторне распореде конкретним образовним и архитектонским условима, чиме се омогућава систематично истраживање потенцијалних распореда просторних целина унутар ограничења „СА“ модела.

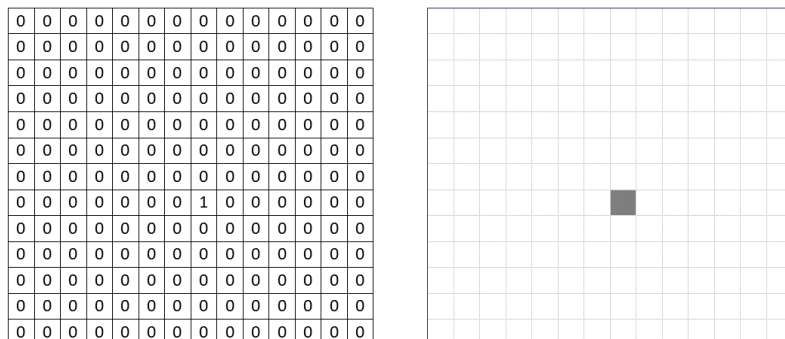
Стање 0 <i>cell state 0</i>	Спољашњи простор
Стање 1 <i>cell state 1</i>	Коридор/ходник
Стање 2 <i>cell state 2</i>	Некоридорски простор/ сви примарни функционални садржаји савремене школе (учионице, административни блок, трпезарија са кухињом, библиотека, лабораторије, санитарни чворови, кабинети за припрему наставе, гардеробе,...)
Стање 3 <i>cell state 3</i>	Стања која подржавају формирање / генерисање просторне организације

Табела 5: Мапирање просторне организације образовних објеката, при чему су простори разврстани у четири секвенцијално нумерисана стања ради прецизне алгоритамске диференцијације. Извор: Ауторска израда.

У контексту простора ћелијског аутомата (CA), почетни корак подразумева дефинисање почетног, нултог стања, које је од кључног значаја за успостављање основних услова конфигурације (Слика 14). Поред тога, неопходно је дефинисати критеријум заустављања како би се одредиле границе конфигурације и њен завршетак. У овом случају, критеријум завршетка дефинисан је на више начина. Један од најчешће коришћених приступа подразумева примену фиксних граница, при чему се граничне ћелије унутар ћелијског простора постављају у константно стање током читавог процеса генерисања. Ове фиксне границе функционишу као статични оквир „CA“ простора, обезбеђујући да се услови на ивицама не мењају током времена, чиме се ствара контролисано окружење за развој динамике ћелијског аутомата.

Додатно, други приступ подразумева увођење фиксних унутрашњих ћелија смештених дуж ивица ћелијског простора, које се сматрају делом непосредног окружења, али чије се стање не мења услед примене дефинисаних правила. Овакав приступ омогућава суптилнију интеракцију између централне области конфигурације и њеног периферијског окружења, наглашавајући утицај граничних услова на укупно понашање „CA“ система.

Увођењем стохастичких процеса који произвољно прекидају прелазе стања ћелија представља динамичан метод за истраживање варијабилности и непредвидивости унутар „CA“ конфигурација. Овај механизам биће детаљније разрађен у наставку рада, уз посебан осврт на његову улогу у диверзификацији, односно разноврсности, генерисаних конфигурација.



Слика 14: Приказ почетног стања. Извор: Ауторска израда.

На самом почетку, свим ћелијама унутар дефинисане парцеле додељује се стање 0, које представља спољашњи или неизграђени простор. Ова фаза иницијализације има кључну улогу у разграничавању оперативног простора „СА“ модела и успостављању јединствене почетне тачке из које могу започети прелази стања ћелија. Комбиновањем наведених приступа, укључујући стратешку примену фиксних граница, „СА“ оквир постаје способан да генерише широк спектар појава са различитим степенима сложености и интеракције са граничним условима.

У наредној фази алгоритамског процеса дефинишу се параметри, односно правила, која управљају прелазима стања ћелија као одговор на стања суседних ћелија. У почетној итерацији, свакој ћелији у оквиру ћелијске матрице додељује се стање 0, са изузетком једне једине ћелије којој се додељује стање 1. Позиција ове ћелије одређује се стохастичком методом, као што је приказано на *Слици 14*.

8.3. Дефинисање скупа локалних правила - Хијерархијски ћелијски аутомати

У овој фази алгоритма дефинишу се параметри, односно правила, која одређују услове под којима ћелија мења своје стање на основу стања суседних ћелија. Водећи принцип за формулисање ових правила проистиче из утемељених архитектонских принципа у пројектовању школских зграда, потврђених кроз примере „добре праксе“. Правила су конципирана у складу са стандардима архитектонске професије, при чему је одлука о броју правила која ће бити имплементирана препуштена пројектанту. Један од кључних аспеката овог истраживања јесте постепена и систематска имплементација правила. Иако већи број правила може убрзати достизање жељеног резултата, предност се даје инкременталном увођењу правила, како би се унапредило разумевање механизма који се анализирају.

Кључни сегмент овог истраживања је примена локалних правила у оквиру хијерархијског модела ћелијских аутомата.^{177,178}

Локална правила се уводе постепено, кроз фазни приступ у којем свака фаза има сопствени скуп правила. Она се примењују тек након што претходни скуп правила више не изазива промене стања ћелија.

Оваква хијерархијска структура уводи додатну димензију у динамику промена унутар ћелијског аутомата. Овакав приступ је посебно развијен

¹⁷⁷ Espínola, M., Piedra-Fernández, J.A., Ayala, R., Iribarne, L. и Wang, J.Z. (2015) „Contextual and Hierarchical Classification of Satellite Images Based on Cellular Automata“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 53(2), стр. 795–809. Преузето са: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2328634>

¹⁷⁸ Ross, K.A. и Sahr, K. (2008) „Planar and Spherical Hierarchical, Multi-Resolution Cellular Automata“, Computers, Environment and Urban Systems, 32(3), стр. 204–213. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.03.001>

за ћелијске аутомате код којих је механизам интеракције од кључног значаја, јер омогућава праћење резултата примене правила и прецизнију контролу над жељеним исходима.

Ова метода омогућава моделовање сложених процеса кроз хијерархијски оквир. Концепт хијерархије је флексибилан и може се применити на различите аспекте моделовања, укључујући секвенцијалну и слојевиту примену правила, што ће бити детаљније објашњено у наставку текста.

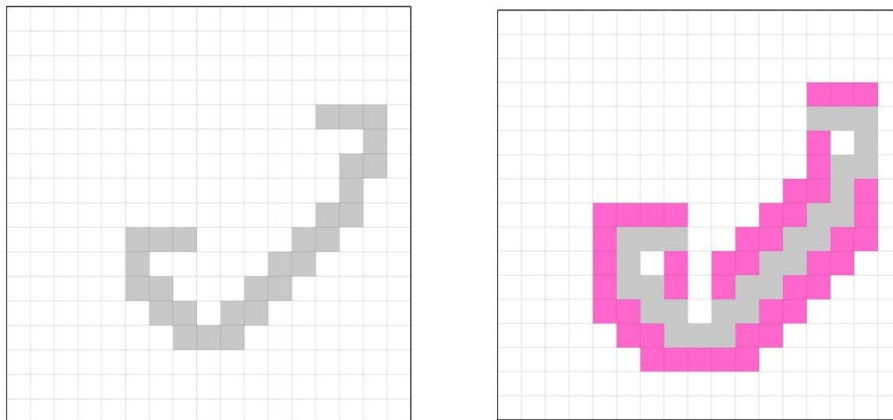
Правила у предложеном хијерархијском моделу ћелијског аутомата су категорисана у две основне групе, што је приказано на *Слици 15*:

1. Одређивање ходника/коридора

Прва група правила усмерена је на идентификацију ћелија у мрежи које треба да постану ходници. Ходници имају кључну улогу у обезбеђивању проточног кретања кроз простор и повезивању различитих функционалних зона унутар основе. Одређивање ходника заснива се на близини ћелије важним просторним целинама, као што су примарни програмски садржаји, као и на њеном потенцијалу да унапреди укупну доступност и просторну повезаност.

2. Одређивање примарних програма (простори који нису ходници/коридори)

Друга група правила односи се на додељивање ћелија одређеним функцијама, чиме се оне означавају као примарни програмски простори. Ови простори могу обухватати учионице, канцеларије, заједничке просторе или друге јасно дефинисане функционалне зоне. Њихова идентификација заснива се на потреби да буду доступни, али истовремено и јасно диференцирани унутар укупне просторне организације.



Слика 15: Приказ три распореда: лева конфигурација илуструје идентификацију ходника, док десна конфигурација приказује дефинисање специфичних функција у просторима који нису ходници. Извор: Ауторска израда.

Преласком на практичну примену принципа ћелијских аутомата, наредни део се фокусира на успостављање локалних правила која усмеравају трансформацију стања ћелија унутар унапред дефинисаног ћелијског простора. Овај кључни корак повезује теоријске концепте са стварањем функционалних и визуелно читљивих образовних простора, илуструјући прелаз од апстрактних модела ка конкретним архитектонским решењима. Посебно је значајно то што процес укључује варијације Муровог и фон Нојмановог суседства, чиме се додатно обогаћују флексибилност и дубина модела.

Развијен у истраживачке сврхе, овај модел ћелијског аутомата детаљно анализира стања суседних ћелија унутар мреже, користећи стандардне и модификоване верзије фон Нојмановог¹⁷⁹ и Муровог суседства¹⁸⁰, као што је илустровано на *Слици 16*. Ове варијације имају кључну улогу у истраживању ћелијских аутомата, јер обезбеђују флексибилан оквир за разумевање интеракција између ћелија. Модел је опремљен низом функција за бројање суседа, проверу специфичних услова међу суседима и анализу стања суседних ћелија око централне ћелије. Кроз овај приступ, модел не само што се придржава основних принципа ћелијских аутомата већ и демонстрира своју примену у симулацији комплексних система и пројектовању интуитивних образовних алата.

Да би се ово олакшало, модел укључује следеће кључне функције:

1. *countMooreNeighbors(targetState):*

Броји суседне ћелије на позицији (x, y) које се налазе у задатом стању *targetState*, узимајући у обзир свих осам суседних ћелија (дијагоналне, вертикалне и хоризонталне), што одговара Муровом суседству. (*Слика 16 / а*).

2. *countVonNeumannNeighbors(targetState):*

Броји суседе ћелије на позицији (x, y) који се налазе у задатом стању „*targetState*“, узимајући у обзир искључиво четири ортогонална правца (горе, доле, лево, десно), карактеристична за фон Нојманово суседство. (*Слика 16 / б*).

¹⁷⁹ Toffoli, T. и Margolus, N. (1987) Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: <https://people.csail.mit.edu/nhm/cam-book.pdf>

¹⁸⁰ Weisstein, E.W. (2024) „Moore Neighborhood“, MathWorld—A Wolfram Web Resource. Преузето са: <https://mathworld.wolfram.com/MooreNeighborhood.html>

3. *countDiagonalNeighborsInState(targetState):*

Функционише слично функцији „*areAllDiagonalNeighborsInSameState*“, али уместо провере да ли су све дијагоналне ћелије у истом стању, броји колико их се налази у задатом стању. (Слика 16 / в).

4. *areOppositeCellsInSameState(targetState):*

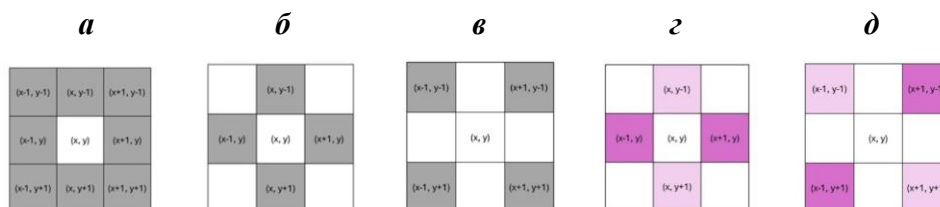
Испитује да ли се ћелије које се налазе наспрамно једна другој у односу на ћелију на позицији (x, y) налазе у истом задатом стању. Провера се врши за два пара супротних ћелија: један пар у хоризонталном, а други у вертикалном правцу. (Слика 16 / з).

5. *areAllDiagonalNeighborsInSameState(targetState):*

Проверава да ли се све дијагоналне суседне ћелије на позицији (x, y) налазе у задатом стању. Анализа обухвата четири дијагонално позициониране ћелије. (Слика 16 / д)

6. *probability(targetState1, targetState2):*

Генерише насумичан број између 0 и 99, који се затим пореди са унапред дефинисаним прагом вероватноће (у овом случају 70). У зависности од тога да ли је генерисани број мањи од задате вероватноће, функција враћа ново стање ћелије, „*targetState1*“ или „*targetState2*“.



Слика 16 : Стандардне и модификоване верзије дефиниција фон Нојмановог и Муровог суседства. Извор: Ауторска израда.

У овом истраживању, поред претходно описаних кључних функција, у оквиру ћелијског простора ћелијског аутомата примењује се и модел фиксних граница.¹⁸¹ Овај приступ подразумева посебан третман ћелија које се налазе на ивицама ћелијског простора. Конкретно, ћелије на границама не мењају своје стање, или се њихово стање обрађује на другачији начин у односу на остале ћелије. Овакав метод омогућава симулацију специфичних граничних услова или очување стабилних структура дуж ивица ћелијског простора.

Поред граничних правила која дефинишу просторна ограничења ћелијског аутомата, вероватноћа има кључну улогу у обликовању скупа правила којима се одређује конфигурација ходника.

Кључна компонента овог скупа правила јесте управо варијабла вероватноће, која контролише учесталост одређених прелаза између стања, чиме директно утиче на формирање ходника и, посредно, на организацију суседних простора. Подешавањем вредности вероватноће, алгоритам може истраживати широк спектар могућих просторно организационих решења, у распону од строго структурисаних до слободнијих, природнијих распореда. Важно је истаћи да, у оквиру спектра могућих распореда, вероватноћа представља кључни критеријум за заустављање динамичких промена дефинисаних локалним правилима.

Овакав стохастички приступ омогућава алгоритму да се креће кроз изузетно широк простор могућих решења, потенцијално генеришући практично неограничен број варијанти организације основе унутар

¹⁸¹ Weisstein, E.W. (2024) „von Neumann Neighborhood“, MathWorld—A Wolfram Web Resource. Преузето са: <https://mathworld.wolfram.com/vonNeumannNeighborhood.html>

ограничења постављених унапред дефинисаним правилима. Детаљи ових правила биће додатно разрађени у наредним сегментима рада.

Како би се пружио детаљан опис правила, она су приказана у табеларном облику. Формат ове табеле изражава компоненте модела ћелијског аутомата (СА) кроз више колона (Табела 6).

Колона „Правило/ *Rule*“ наводи појединачна правила.

Колона „Услови активирања/ *Trigger Conditions*“ описује почетна стања ћелија или специфичне услове у вези са суседним ћелијама који морају бити испуњени да би се правило применило.

Колона „Прагови услова/ *Condition Thresholds*“ прецизира тачна стања или логичке изразе које суседне ћелије морају испунити да би правило ступило на снагу.

Колона „Повратно стање/ *Return state*“ дефинише ново стање ћелије које наступа након испуњења услова активирања и прагова услова.

На тај начин, свако правило представља скуп критеријума који одређује када и на који начин долази до промене стања ћелије, одражавајући сложене интеракције унутар „СА“ мреже.

У контексту дефинисања простора ходника, успостављен је скуп правила која управљају променама стања ћелија унутар мрежног модела ћелијског аутомата. Свако правило примењује се у специфичним околностима, које су одређене стањем и конфигурацијом суседних ћелија.

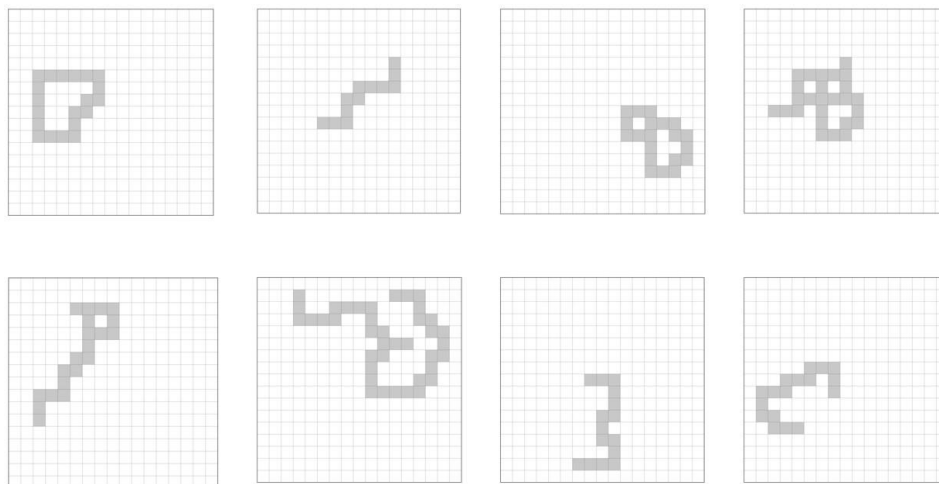
Правила су представљена у наставку рада.

*Архитектонски метод формирања резилјентних школских простора
заснован на ћелијским аутоматима*

Rule	Trigger Conditions	Condition Thresholds	Return state
Rule 1	state == 0		probability (1,3)
Rule 1	countMooreNeighbors(1)	[0,2]	probability (1,3)
Rule 1	countMooreNeighbors(3)	[1,8]	probability (1,3)
Rule 1	countVonNeumannNeighbors(1)	[1,8]	probability (1,3)
Rule 1	countDiagonalNeighborsInState(1)	[0,1]	probability (1,3)
Rule 2	state == 3		return (0)
Rule 3	state == 1		return (0)
Rule 3	countMooreNeighbors(1)	[2,8]	return (0)
Rule 3	countVonNeumannNeighbors(0)	[3]	return (0)
Rule 3	countVonNeumannNeighbors(1)	[1]	return (0)
Rule 3	countDiagonalNeighborsInState(0)	[2,8]	return (0)
Rule 3	countDiagonalNeighborsInState(1)	[1,8]	return (0)
Rule 4	state == 0		return (1)
Rule 4	countVonNeumannNeighbors(0)	[2]	return (1)
Rule 4	countVonNeumannNeighbors(1)	[2]	return (1)
Rule 4	areOppositeCellsInSameState(0)	True	return (1)
Rule 4	areOppositeCellsInSameState(1)	True	return (1)
Rule 5	state == 1		return (0)
Rule 5	countVonNeumannNeighbors(0)	[3]	return (0)
Rule 5	countVonNeumannNeighbors(1)	[1]	return (0)
Rule 5	countDiagonalNeighborsInState(0)	[1,8]	return (0)
Rule 5	countDiagonalNeighborsInState(1)	[2,8]	return (0)
Rule 5	areOppositeCellsInSameState(0)	True	return (0)
Rule 5	areOppositeCellsInSameState(1)	False	return (0)

Табела 6: Први скуп правила који дефинише простор ходника/коридора. Извор: Ауторска израда.

Резултати примене прве групе правила су приказани на *Слици 17*:



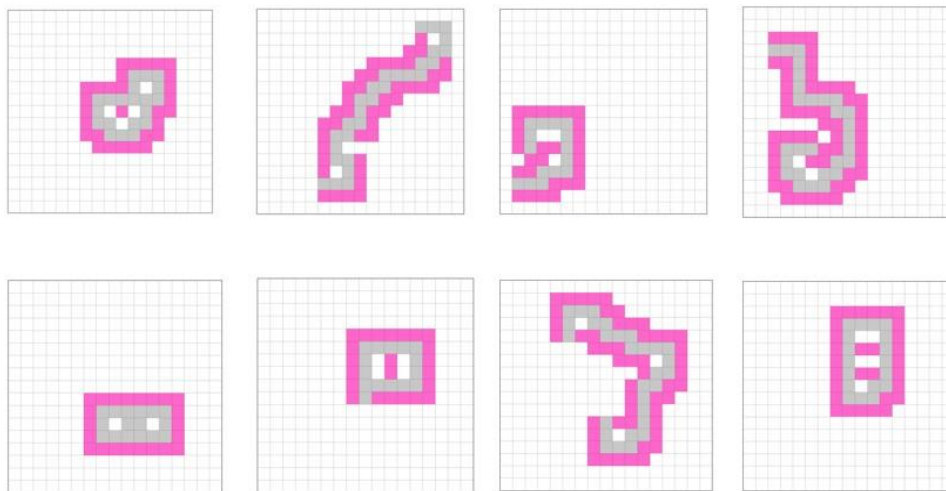
Слика 17: Резултати примене првог скупа правила који дефинише простор ходника/коридора. Извор: Ауторска израда.

У наредном делу текста биће описана друга група правила која регулишу распоред некоридорног простора, обухватајући све примарне функције и програме савремене школе (*Табела 7*). У складу са логиком двостраног распореда (*Слика 13, десно*), ова правила организују примарне школске функције једноставним распоређивањем простора са обе стране коридора/ходника. Оваква конфигурација обезбеђује да сваки простор има најмање једну страну у непосредном контакту са спољашњим окружењем (стање 0), као и најмање једну директну везу са ходником (стање 1).

Rule	Neighborhood Conditions / State of cell	Numerical criteria	Return State
Rule 6	state == 0		return (3)
Rule 6	countMooreNeighbors(0)	[7]	return (3)
Rule 6	countVonNeumannNeighbors(0)	[3]	return (3)
Rule 6	countVonNeumannNeighbors(1)	[1]	return (3)
Rule 7	state == 0		return (2)
Rule 7	countVonNeumannNeighbors(1)	[1,8]	return (2)
Rule 7	countVonNeumannNeighbors(2)	[0,1]	return (2)
Rule 8	state == 0		return (2)
Rule 8	countMooreNeighbors(1)	[1]	return (2)
Rule 8	countVonNeumannNeighbors(0)	[2]	return (2)
Rule 8	countVonNeumannNeighbors(2)	[2]	return (2)
Rule 8	areOppositeCellsInSameState(0)	False	return (2)
Rule 8	areOppositeCellsInSameState(1)	False	return (2)
Rule 9	state == 2		return (0)
Rule 9	countMooreNeighbors(0)	[0]	return (0)
Rule 9	countMooreNeighbors(2)	[3]	return (0)
Rule 9	countVonNeumannNeighbors(0)	[0]	return (0)
Rule 9	countVonNeumannNeighbors(1)	[2]	return (0)
Rule 9	countVonNeumannNeighbors(2)	[2]	return (0)
Rule 10	state == 2		return (0)
Rule 10	countMooreNeighbors(0)	[0]	return (0)
Rule 10	countMooreNeighbors(2)	[4,8]	return (0)
Rule 10	countVonNeumannNeighbors(0)	[0]	return (0)
Rule 10	countVonNeumannNeighbors(1)	[1]	return (0)
Rule 10	countVonNeumannNeighbors(2)	[3]	return (0)
Rule 11	state == 3		return (0)

Табела 7: Други скуп правила који дефинише неходнички простор. Извор: Ауторска израда.

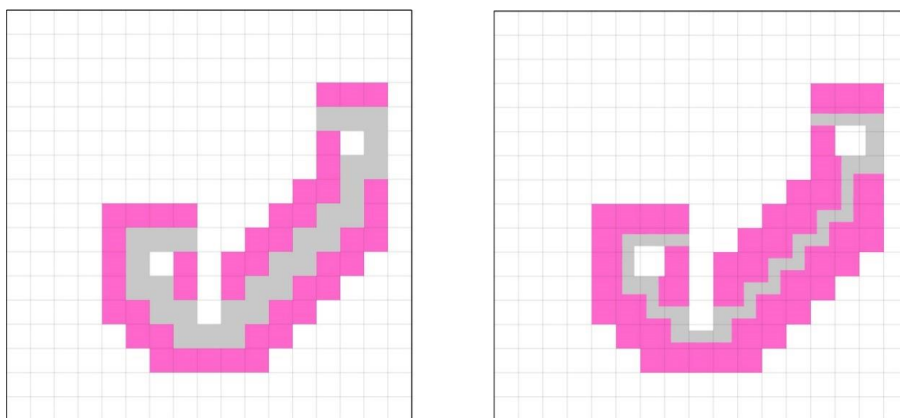
Резултати примене другог скупа правила приказани су на *Слици 18*:



Слика 18: Резултати примене другог скупа правила који дефинише некоридорски простор. Извор: Ауторска израда.

9. Интерпретација генерисаних решења и артикулација школских основа

У завршној фази овог истраживања примењује се графичка интерпретација „СА“ правила, која омогућава да ћелија у стању 1 наизглед наруши принцип недељивости ћелије. Овај приступ заснива се на просторној организацији карактеристичној за двотраки распоред (Слика 13, десно), у комбинацији са повећаним степеном просторне ефикасности у организацији учионица, што се огледа у минималној површини ходника у односу на укупну површину школске зграде.

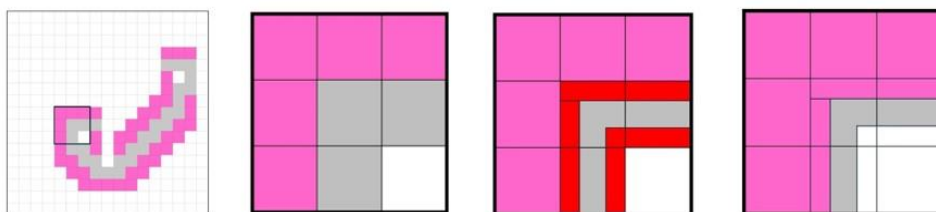


Слика 19: Лево је приказан генерисани распоред без рационализације коридорског простора, док је десно илустрован распоред након интерпретације и артикулације алгоритма, односно након редукције површине ходника/коридора у корист некоридорских простора. Извор: Ауторска израда.

У наставку истраживања спроводи се рационализација ходничког простора, како је приказано на Слици 19, десно. Завршна фаза обухвата дефинисање додатног скупа правила којима се унапређују примарне

функције школе, односно неходнички простори, чиме се модел додатно калибрише како би био усклађен са реалним просторним димензијама.

У наредној фази примењује се облик графичке интерпретације који се пре свега односи на ћелије у стању 1, приказане сивом бојом на основи. Ова интерпретација подразумева додавање правоугаоних површина обојених у складу са непосредним окружењем ћелије у стању 1. Прецизније, унутар ћелије у стању 1 исцртавају се правоугаоници и квадрати у различитим сегментима ћелије, у зависности од контекста окружења, како је дефинисано у претходном поглављу.



Слика 20: Редуција коридорског простора у корист некоридорског простора. Извор: Ауторска израда.

На пример, као што је приказано на *Слици 20*, рационализација коридорског простора у оквиру сегмента генерисаног распореда је демонстрирана. Као што се види на трећој слици, рационализација се једноставно постиже преклапањем правоугаоника и квадрата. Боје ових правоугаоника су одређене на основу окружења дефинисаних у претходном поглављу, тако да су правоугаоници који су у непосредном контакту са ћелијама у стању 2 (обојене ружичасто) обојени идентично, као и правоугаоници који имају директан контакт са спољним просторима или атријумима, што одговара боји ћелија у стању 0 (обојене бело).

На пример, као што је приказано на *Слици 20*, приказана је рационализација коридорског простора унутар једног сегмента генерисаног распореда. Као што се може видети на трећој слици, рационализација се постиже једноставним преклапањем правоугаоника и квадрата. Боје ових елемената одређене су на основу окружења дефинисаних у претходном поглављу, тако да су правоугаоници који су у непосредном контакту са ћелијама у стању 2 (обојене розе) обојени истом бојом, док су правоугаоници који имају директан контакт са спољашњим просторима или атријумима обојени бело, у складу са ћелијама у стању 0.

Полазећи од ове конкретне примене графичке интерпретације унутар модела ћелијског аутомата, један од кључних изазова идентификованих у овом истраживању односи се на апстраховање уочених образаца и регуларности стварних школских објеката у рачунарску граматику која је истовремено компатибилна са „*СА*“ моделом и довољно експресивна. Овај задатак не само да тестира способност модела да апроксимира сложеност реалних архитектонских система, већ и указује на суптилности процеса превођења просторне логике у алгоритамске термине.

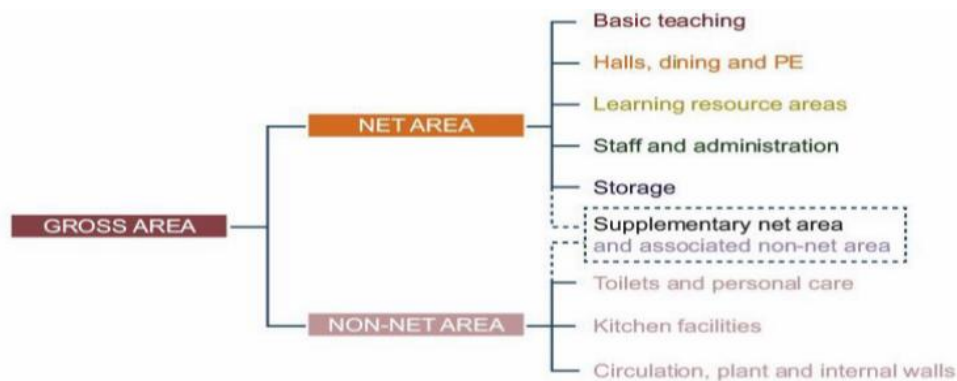
Надовезујући се на истраживање примене ћелијских аутомата у генерисању основа школских зграда, наредни део рада усмерен је на емпиријску евалуацију добијених конфигурација. Циљ ове евалуације јесте да се испита у којој мери алгоритамски генерисана решења одговарају просторној логици и организацији стварних образовних објеката.

Поглавље „Дискусија резултата“ има за циљ детаљно поређење просторних распореда генерисаних алгоритмом са важећим смерницама за школске зграде, конкретно са документом „*Area Guidelines for Mainstream Schools*“ усвојеним у Великој Британији 2014. године (Слика 21, Слика 22).¹⁸² Ове просторне смернице одабране су за потребе овог истраживања како због високог нивоа детаљности у погледу функционалне организације школских зграда, тако и због снажне усклађености са међународно признатим пројектантским стандардима представљеним у Нојферту.¹⁸³

Ови стандарди дефинишу препоручене минималне и максималне површине за различите функционалне јединице школских зграда. Обухватају широк спектар образовних објеката, укључујући предшколске установе, основне и средње школе, и подељени су на препоруке које се односе на саму школску зграду и на школско двориште. У оквиру овог истраживања, просторни капацитети алгоритамски генерисаних решења биће упоређени са смерницама које се односе на објекте основног образовања.

¹⁸² Department for Education (2014) *Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103*. London: Department for Education. Преузето са: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf (приступљено 26. априла 2024).

¹⁸³ Neufert, E. и Neufert, P. (2007) *Architects' Data*. 3rd edn. Oxford: Blackwell Publishing. ISBN 978-1-4051-9253-8. Преузето са: <https://byarchlens.com/wp-content/uploads/2020/11/Neufert-4th-edition.pdf>



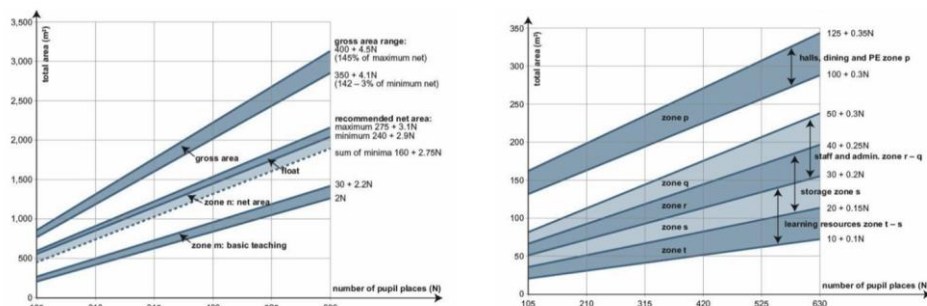
Слика 21: Категоризација бруто површина простора школске зграде. Извор: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

Принципи који разврставају просторе у две основне категорије:

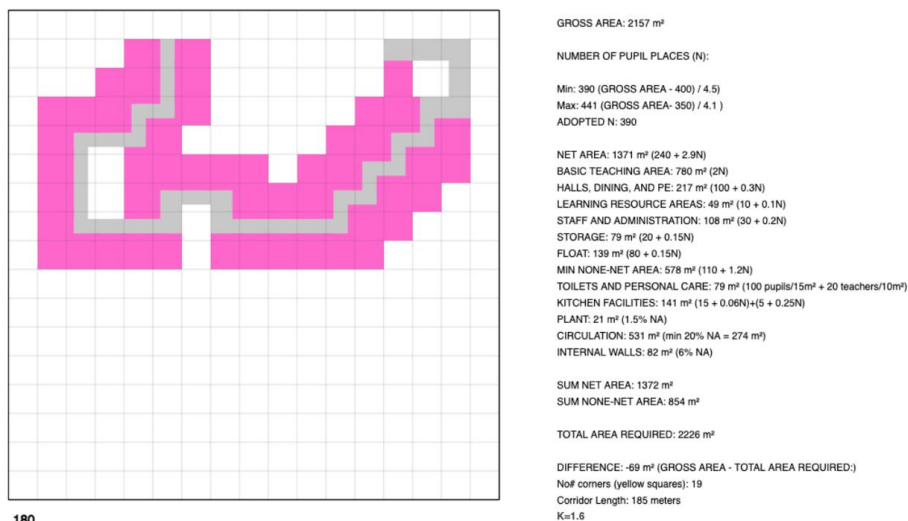
- **Нето површина (*Net area*):** обухвата основне функционалне зоне као што су главни простори за наставу, сале, простори за физичко васпитање и складишни простори.
- **Ненето површина (*Non-net area*):** обухвата пратеће функционалне јединице, као што су тоалети, простори за личну негу, котларнице, кухиње, ходници и унутрашњи зидови.

Приказани дијаграми прецизно дефинишу минималне и максималне површине ових функционалних јединица, омогућавајући детаљно разумевање просторне дистрибуције.

Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора заснован на ћелијским аутоматима



Слика 22: Препоручене вредности бруто и нето површине основне школе. Извор: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf



Слика 23: Приказ генерисане конфигурације. Ова конфигурација представља дијаграм просторне организације школског објекта. Беле ћелије означавају спољашње просторе, сиве ћелије представљају ходнике, док розе ћелије означавају некоридорске просторе. Са десне стране приказани су пратећи метаподаци за дати распоред. Извор: Ауторска израда.

Интеграцијом бруто површине генерисаних решења добијене математичком функцијом, модел омогућава израчунавање минималног и максималног капацитета ученика применом формуле:

$$BP=400+4.5\times N$$

(где BP представља бруто површину, а N број ученика).

Овај прорачун даље омогућава одређивање потребних површина за појединачне функционалне јединице. Поређење генерисаних решења са принципима заснива се на минималној површини за максималан број ученика, чиме се омогућава критичка процена ефикасности алгоритма у односу на просторне стандарде савремене школске архитектуре (Слика 23).

У овом истраживању документ „*Area Guidelines for Mainstream Schools*“¹⁸⁴ користи се као референтни оквир за анализу и поређење генерисаних основа школских зграда са препорученим површинама. Документ пружа свеобухватне смернице о просторним категоријама које чине бруто и нето површине неопходне за пројектовање школских објеката.

Следеће ставке, преузете из наведеног документа, коришћене су за процену усклађености пројектованих простора са препорученим вредностима:

¹⁸⁴ Department for Education (2014) *Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103*. London: Department for Education. Преузето са: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf (приступљено 26. априла 2024).

- **Број места за ученике (N):**

- Минималан: израчунава се одузимањем 400 од бруто површине и дељењем са 4,5

- Максималан: израчунава се одузимањем 350 од бруто површине и дељењем са 4,1

- **Нето површина:** Представља корисну површину унутар школе и обухвата следеће просторне категорије:

- Основни наставни простори: централни образовни простори намењени извођењу наставе у учионицама.

- Сале, трпезарије и простори за физичко васпитање: простори намењени окупљањима, исхрани и активностима физичког васпитања.

- Простори за ресурсе учења: Простори опремљени наставним и образовним ресурсима, као што су библиотеке и мултимедијални центри.

Простори за особље и администрацију: Канцеларије и радни простори намењени административном особљу и наставницима.

- Складишни простори: Простори намењени одлагању наставног материјала, опреме и потрепштина.

- Флексибилни простор (*float*): Додатни, прилагодљиви простор који се може користити према потреби и није стриктно додељен једној функцији.

- **Минимална нето површина:** Минималне површине које не доприносе директно образовној функцији, али су неопходне за функционисање школе, као што су ходници и технички простори.

- Тоалети и простори за личну негу: Простори намењени личној хигијени и нези ученика и запослених.

- Кухињски простори: Простори опремљени за припрему и сервирање obroka у оквиру школе.

-Технички простори (*plant*): Простори у којима су смештене машинске, електро и друге техничке инсталације неопходне за функционисање објекта.

-Комуникације: Простори намењени кретању унутар школе, укључујући ходнике, степеништа и сличне комуникационе зоне.

-Унутрашњи зидови: Зидови унутар објекта који раздвајају поједине просторе или просторије.

- **Укупна нето површина:** Збир свих нето површина које обухватају образовне и оперативне просторе школе.

- **Укупна ненето површина:** Збир свих ненето површина које подржавају функционисање објекта, али се не користе директно за образовне активности.

- **Укупна потребна површина:** Укупна површина неопходна за школу, која представља збир нето и ненето површина потребних за реализацију комплетног школског програма и оперативних захтева.

Обједињавањем ових просторних категорија, односно укупне нето површине и укупне ненето површине, добија се укупна потребна површина школске зграде. Овакав приступ обезбеђује да пројектовање школских објеката не одговори само на образовне захтеве, већ и да буде у складу са оперативним и функционалним стандардима, пружајући целовиту перспективу планирања школске инфраструктуре.

Поред детаљне разраде просторних категорија и њиховог утицаја на кључне бруто и нето површине у пројектовању школских објеката, анализа се додатно усмерава ка геометријским и оперативним стратегијама за оптимизацију просторне организације школе. Ове стратегије су од суштинског значаја за унапређење функционалности,

обезбеђивање безбедности и подизање укупног квалитета окружења за учење.

Интегрисањем метрика као што су број углова, дужина ходника и K-параметар у аналитички оквир, циљ истраживања превазилази пуко задовољавање минималних просторних норми. Намена је да се подстакну архитектонска решења која су оперативно ефикасна, економски одржива и, изнад свега, изузетно безбедна за кориснике.

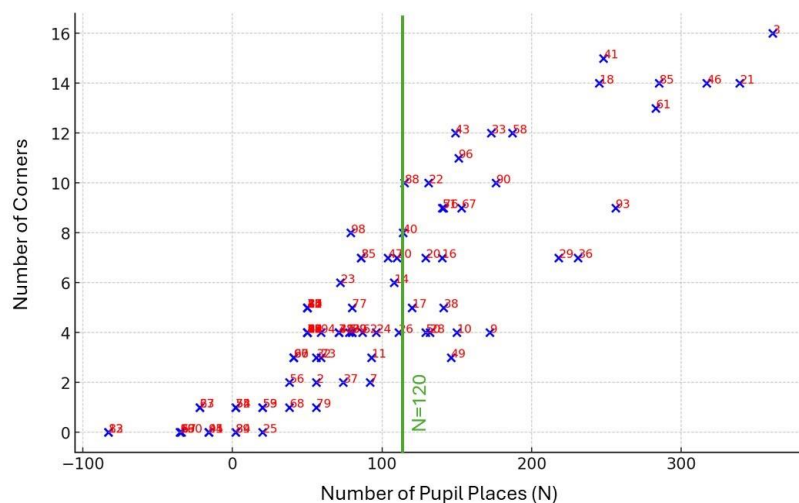
У наредном поглављу ови критеријуми биће детаљније размотрени, уз истицање њиховог кључног доприноса развоју оптималне просторне организације школске зграде, која усклађује образовне циљеве са оперативном изврсношћу и доследном посвећеношћу безбедности.

10. Дискусија резултата

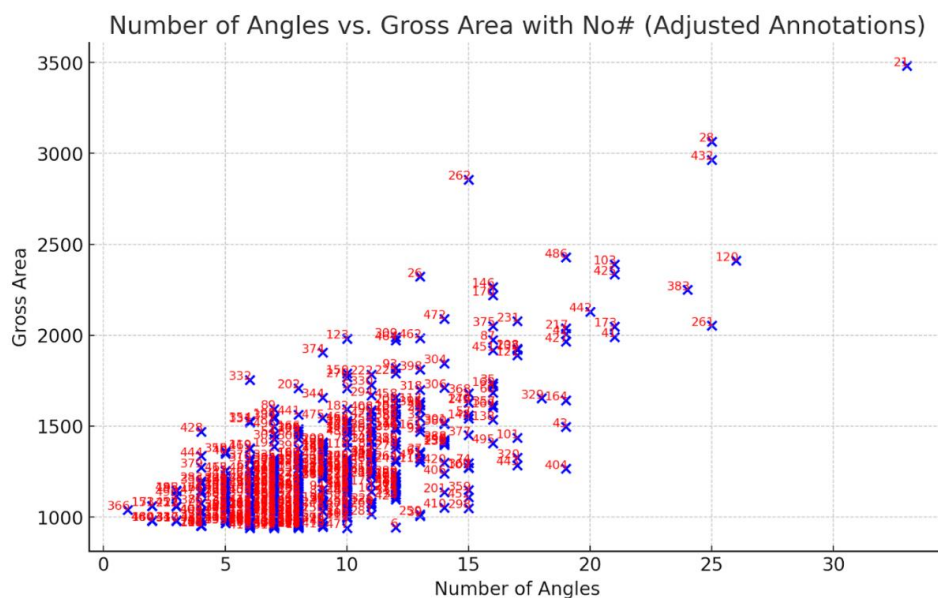
У првој генерацији решења, добијеној применом претходно представљеног „СА“ модела, генерисан је почетни скуп од 100 основа школских зграда, при чему је свака основа била праћена одговарајућим метаподацима.¹⁸⁵ За генерисање решења, из метаподатака су доведена у корелацију два параметра: број ученика и број тачака на којима ходник мења правац (услед природе алгоритма, ходници увек скрећу под правим углом). Ова корелација приказана је на *Слици 24*. Дијаграм показује да школе са мање од 120 ученика имају веома мали број углова ходника, што је последица чињенице да је бруто површина ових школа знатно мала (реч је о школама са приближно четири учионице).

Број углова коридора/ходника посматран је као број потенцијалних тачака промене правца у евакуационој рути односно излазном путу. Кретање кроз ходнике објекта подразумева евидентирање сваке могућности скретања са главне путање. Приликом проласка кроз ходнике, систематски се бележи сваки заокрет од 90 степени, што представља методолошки приступ разумевању просторне организације. Свако оштро скретање улево или удесно означава значајну промену правца кретања, при чему сваки такав заокрет представља тачно четвртину пуног окрета у односу на претходни смер кретања. Ови правоугаони заокрети представљају кључне оријентационе тачке током кретања кроз објекат. Овако систематизовано бројање углова од 90 степени служи као навигационо средство које помаже у визуелизацији мрежне структуре зграде и олакшава ментално мапирање њеног унутрашњег простора.

¹⁸⁵ **Pejić, S.** (2026) „Dataset of 100 School Floor Plans Generated Using a Cellular Automata Model” Доступно на: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32884556>



Слика 24: Прва генерација СА-генерисаних основа – дијаграм који приказује корелацију броја места за ученике и броја тачака на којима ходник мења правац (безбедносна баријера) у генерисаним школским основама (основе су означене знаком „x“ са пратећим бројем генерисаног решења). Извор: Ауторска израда.



Слика 25: Друга генерација СА-генерисаних основа школских зграда – корелација бруто површине и броја углова ходника (основе су означене знаком „x“ са пратећим бројем генерисаног решења). Извор: Ауторска израда.

Како би се омогућило поређење генерисаних основа са постојећим и објављеним основама школских зграда, које су најчешће веће од школа са четири учионице, креирана је друга генерација решења. Друга генерација обухватила је 500 генерисаних основа, добијених коришћењем истог „СА“ модела, али уз примену додатног параметра – минимално 120 ученика, што према препорукама из претходног поглавља одговара минималној бруто површини од око 900 m².¹⁸⁶

Слика 25 приказује корелацију између бруто површине и броја углова ходника. У оквиру ове генерације, 91,8% генерисаних решења има пет или више углова ходника, чиме овај скуп постаје погоднији за поређење са школама приказаним у стручној литератури.

Постојеће школе које су коришћене за поређење представљају награђивана решења са архитектонских конкурса одржаних у Швајцарској у периоду од 2001. до 2015. ¹⁸⁷ године. Ови реализовани школски објекти сматрају се одговарајућим референтним примерима из следећих разлога:

- архитектонска решења су евалуирана и одобрена од стране стручних жирија,
- пројектована су у складу са међународним стандардима,
- потичу из периода пре пројектовања и изградње „*Fruitport High School*“ у Мичигену (2019).¹⁸⁸

¹⁸⁶ **Pejić, S.** (2026) „Dataset of 500 School Floor Plans Generated Using a Cellular Automata Model” Доступно на: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32869544>

¹⁸⁷ Hönig, R. и Nashed, L. (2015)

Grundrissfibel Schulbauten: 30 Wettbewerbe in der Schweiz 2001–2015. Zürich: Edition Hochparterre. ISBN 978-3-909928-31-6. Преузето са: <https://www.hochparterre.ch/ausgaben/edition-hochparterre/grundrissfibel-schulbauten>

¹⁸⁸ Fruitport High School, Fruitport, Michigan, USA (2019). Преузето са: <https://www.dezeen.com/2019/09/05/fruitport-high-school-tower-pinkster-michigan-mass-shooting/>

Одабране су четири типологије школских основа (према раду „*European design types for 21st century schools: an overview*“)¹⁸⁹: тип са двориштем, блок-тип, кластер-тип и типологију која подсећа на урбану морфологију (Табела 8).

Ради поређења са „СА“–генерисаним основама, уведен је К-параметар:

$$K = (L \times N)/A$$

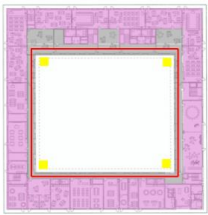
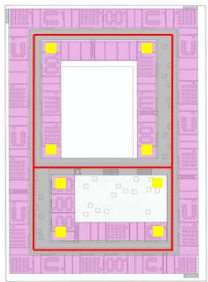
Где је:

L дужина коридора/ходника,

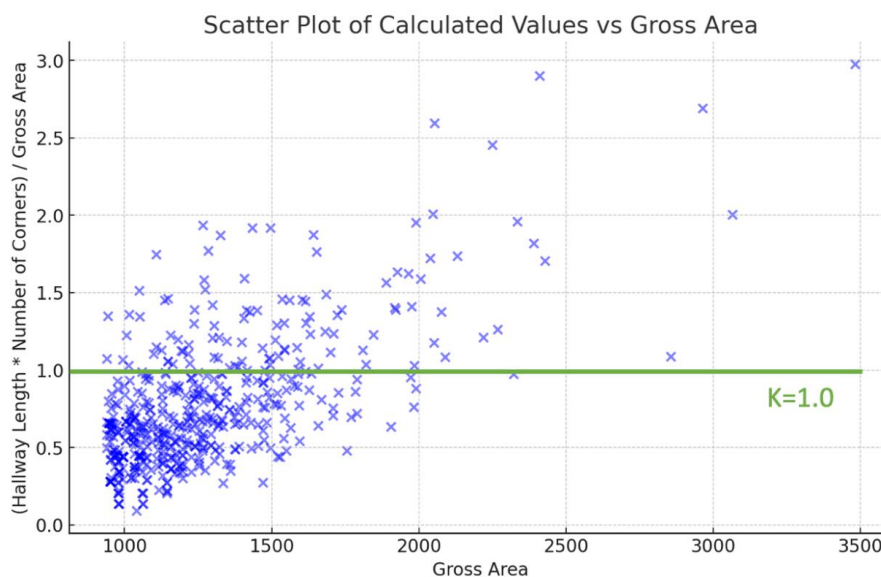
N број углова коридора/ходника и

A бруто површина основе.

¹⁸⁹ Rigolon, A. (2010) „European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010/3. Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmhx-en>

Постојећи школски објекти			
Тип са двориштем	Блок-тип	Кластер-тип	Тип налик градској морфологији
			
A: 3130 m ²	A: 1411 m ²	A: 3778 m ²	A: 8541 m ²
N: 4	N: 1	N: 7	N: 8
L: 204 m	L: 65 m	L: 167 m	L: 396 m
K: 0.26	K: 0.04	K: 0.31	K: 0.37

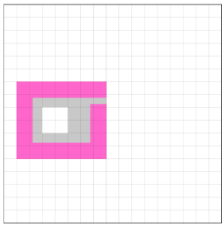
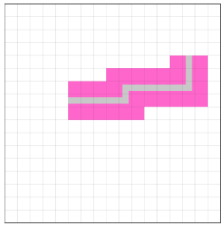
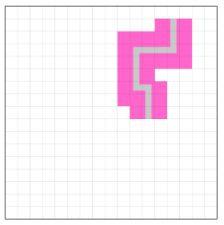
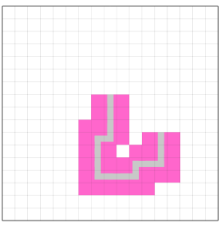
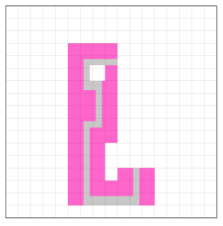
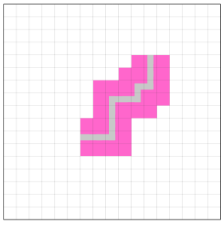
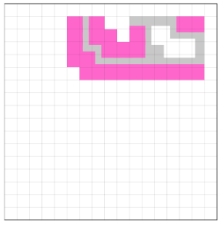
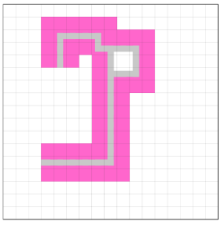
Табела 8: K-параметар за четири типа постојећих школских основа. Извор: Ауторска израда.



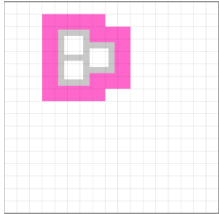
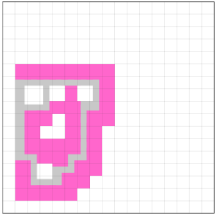
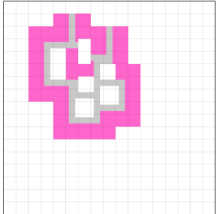
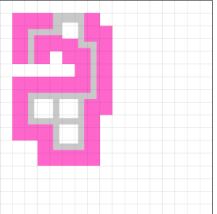
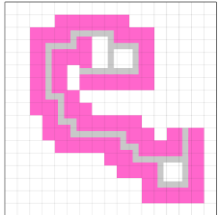
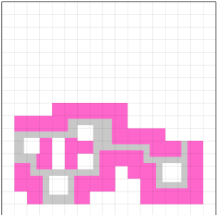
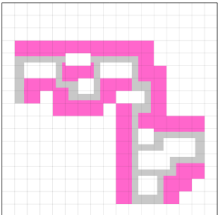
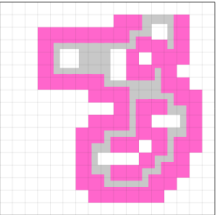
Слика 26: K-параметар за 500 примера школских основа генерисаних путем СА. Извор: Ауторска израда.

Анализом *Слике 26* може се уочити да основе генерисане путем „СА“, са $K > 1,0$ обухватају шири спектар вредности бруто површине.

Детаљнијом анализом уочава се да ове две групе ($K > 1,0$ и $K \leq 1,0$) показују и различита морфолошка својства. Примери основа са $K \leq 1,0$ приказани су у *Табели 9*.

Распон вредности параметра $K \leq 1,0$			
			
K=0,1	K=0,2	K=0,3	K=0,4
			
K=0,6	K=0,7	K=0,8	K=0,9

Табела 9: Примери СА-генерисаних основа код којих је $K \leq 1,0$. Извор: Ауторска израда.

Распон вредности параметра $K > 1.0$			
			
K=1,3	K=1,5	K=1,7	K=1,9
			
K=2,0	K=2,3	K=2,6	K=2,8

Табела 10: Примери СА-генерисаних основа код којих је $K > 1,0$. Извор: Ауторска израда.

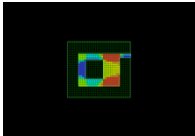
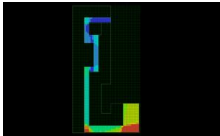
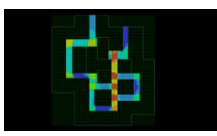
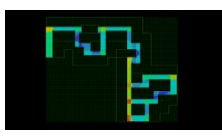
Очекивано, услед већег броја углова, школске основе код којих је $K > 1,0$ показују већу просторну сложеност (дужина ходника између два угла је релативно мала, док је број сегмената ходника повећан). Додатно, ове основе су компактније у својој архитектонској морфологији, док се сложеност функционалне организације повећава са порастом бруто површине. Основе приказане у *Табели 10* могу се препознати као примери „лабиринтске“ типологије школских зграда.

Четири типа основа генерисана путем „СА“, приказана у *Табелама 9 и 10*, анализирана су применом методологије „*Space Syntax*“ помоћу софтвера „*DepthmapX*“.^{190,191}

Резултати, приказани у *Табели 11*, указују на значајну корелацију између конфигурације основе и видљивости ходника. Конкретно, школске основе са нижом вредношћу К-параметра показују већу видљивост дуж ходничких праваца (приказано црвеном бојом). Овакав резултат потврђује значај разматрања К-параметра у процесу пројектовања, са циљем оптимизације визуелне повезаности у образовним објектима.

¹⁹⁰ Space Syntax Laboratory, University College London (UCL) (2024) Space Syntax Laboratory. Преузето са: <https://spacesyntax.online/> (приступљено 26. априла 2024).

¹⁹¹ depthmapX Development Team (2024) depthmapX: Visual and Spatial Network Analysis Software. Преузето са: <https://github.com/SpaceGroupUCL/depthmapX> (приступљено 26. априла 2024)

Основе школских објеката генерисане применом ћелијских аутомата (CA), додатно анализиране у програму „DepthmapX“			
			
K=0.1	K=0.6	K=0.7	K=2.6

Табела 11: Приказ корелације између нижих вредности K-параметра и већих површина основе означених црвеном бојом. Извор: Ауторска израда.

У овом истраживању софтвер „DepthmapX“ коришћен је упоредо са K-параметром за анализу просторне конфигурације тачака унутар основа. „DepthmapX“ је алат за просторну анализу развијен у оквиру методологије „Space Syntax“ и користи се за процену видљивости, доступности и повезаности у урбаним и архитектонским просторима.

Један од кључних анализираних атрибута јесте повезаност („connectivity“), која мери број директних веза које свака тачка има са другим тачкама у мрежи. У визуелизацији резултата коришћена је колор-палета у којој црвена боја означава тачке са високом повезаношћу, док плава боја означава тачке са ниском повезаношћу. Тачке обојене црвено представљају просторе са високом интеграцијом и лакоом доступношћу из већег броја других тачака, указујући на њихову централну улогу у просторној мрежи.

Супротно томе, плаве тачке са ниским вредностима повезаности означавају периферне просторе са мањим бројем веза, што сугерише нижу доступност и потенцијалну просторну изолованост. Ова анализа омогућава дубље разумевање просторне структуре и помаже у идентификацији кључних зона за унапређење дизајна и функционалности простора. Ипак, додатне анализе помоћу „*DepthmapX*“-а неопходне су како би се у потпуности разумеле представљене корелације.

11. Закључци

У овом раду испитује се однос између пројектантског процеса и сложених програмских алгоритама (СА). Први предмет истраживања односио се на питање како пренети и повезати логику креирања програмског алгорита са логиком обликовања архитектонског дела, уз превазилажење постојећих ограничења која намећу софтверски пакети за генерисање основа или коришћење рачунара искључиво као средства за цртање.

У том контексту, рад разматра употребу рачунара у архитектонском пројектовању као интегрални део самог пројектантског процеса. Истраживање подразумева напредну употребу рачунара, при чему је коначна форма објекта/пројекта резултат примене генеративних алата који се ослањају на логику алгоритама коришћених у развоју софтверских пакета, за разлику од логике „папир-оловка“ карактеристичне за стандардне „CAD“ алате.

У склопу рачунарског оквира за генерисање основа школских зграда помоћу ћелијских аутомата, основни алгоритам структурисан је око скупа дефинисаних правила преведених у програмски код. Ова правила операционализују се кроз комбинацију специфичних функција које анализирају стање сваке ћелије у мрежи, узимајући у обзир њено непосредно суседство. Овакав приступ омогућава динамичко генерисање просторних конфигурација, при чему боја сваке ћелије (бела за спољашње просторе, сива за ходнике и роза за некоридорске просторе) има двоструку улогу. Прву да представља конкретну просторну функцију и другу да омогући визуелну анализу генерисаног распореда.

Способност алгоритма да генерише практично неограничен број решења наглашава флексибилност и прилагодљивост методе ћелијских аутомата у решавању сложених пројектантских проблема. Свако генерисано решење директан је резултат међудејства дефинисаних правила и стохастичких елемената уведених путем варијабле вероватноће. На тај начин обезбеђује се да решења, иако поштују основне принципе и захтеве дефинисане правилима, истовремено поседују одређени степен варијабилности и јединствености. Овакав методолошки став омогућава истраживање разноврсних просторних стратегија и представља снажан алат за концептуалну фазу пројектовања, у којој је неопходно разматрати и евалуирати већи број алтернативних решења.

У суштини, алгоритам функционише као генеративни алат за обликовање основа школских зграда, користећи научно утемељен приступ за истраживање вишедимензионалног простора решења дефинисаног архитектонским и функционалним ограничењима. Употреба графичких репрезентација и механизма пробабилистичке (0-немогуће, 1-сигурно) контроле унутар програмског кода не само да чини процес генерисања транспарентним, већ омогућава и итеративно усавршавање и прилагођавање решења.

Оваква рачунарска стратегија указује на потенцијал алгоритамских метода у подстицању иновативних архитектонских решења, позиционирајући ћелијске аутомате као значајан допринос савременим истраживањима у области рачунарског пројектовања.

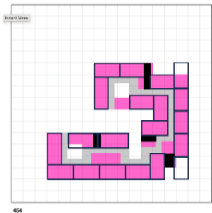
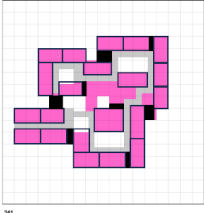
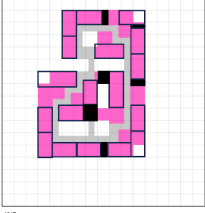
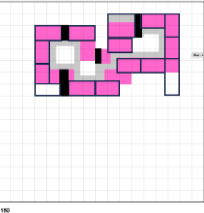
Надовезујући се на разматрање ћелијских аутомата као генеративног алата за обликовање школских зграда, наредни део истраживања усмерен је ка критичкој анализи резултата добијених применом овог рачунарског оквира. Ова фаза истраживања бави се проценом

ефикасности модела у репродуковању „*top-down*“ логике, карактеристичне за стварне основе школских објеката, кроз стратешко формирање ходника и просторних целина. Поглавље „Дискусија резултата“ има за циљ да испита у којој мери генерисана решења одговарају просторној организацији уоченој у реалним школским објектима.

Приликом тестирања способности модела да генерише решења са „*top-down*“ логиком, потврђено је да формирање ходника води ка решењима која делимично одговарају просторној организацији стварних школских објеката. Највећи изазов овог истраживања био је апстраховање уочених регуларности реалних школских зграда уз истовремену примену „граматике“ која одговара специфичностима „*CA*“ модела.

Поред тога, ово истраживање показује практичну примену напредних техника у процесу пројектовања школских зграда. Степен апстракције (програмски, формални и функционални) примењен у представљеним моделима указује на то да они не представљају потпуно разрађене, готове архитектонске пројекте, будући да су школске зграде посматране првенствено као функционални склопови организовани на основу дефинисаних правила. Такође, приказани модели не одговарају ниједној конкретној ситуацији у погледу физичке локације или прецизно дефинисаног програма. Полазна претпоставка истраживања била је да се сви разматрани модели односе на слободностојеће објекте на парцели, који се могу прилагођавати различитим условима доступности инфраструктуре, климатским утицајима или другим факторима, без значајног нарушавања основног концепта.

Модел дефинисан у форми програмског кода може се даље развијати и прилагођавати специфичном контексту и пројектним захтевима, док се истовремено може смањити број лоше дефинисаних пројеката или неадекватно формулисаних проблема. Примери начина на које архитекта може даље развијати „СА“-генерисана решења у раним фазама пројектовања приказани су у *Табели 12*. Измене илустроване у овим примерима могу се посматрати као стратегије згушњавања просторне организације, уз повећање компактности основе, што је често неопходно ради испуњавања захтева који се јављају у реалним пројектантским процесима (на пример, повећање броја ученика или ограничења парцеле).

Основе школских објеката генерисане применом ћелијских аутомата (СА), додатно разрађених од стране архитекте.			
			
K=1.1	K=1.2	K=1.5	K=1.5

Табела 12: СА-генерисане основе додатно развијене од стране архитекте. Црни квадрати означавају могуће излазе, док розе квадрати уоквирени црном линијом означавају потенцијалне просторије (аутори истраживања). Извор: Ауторска израда

Додатно, студија није обухватила значајан изазов који представљају вишеспратне зграде, где је централна брига одређивање оптималног позиционирања вертикалних комуникационих елемената као што су лифтови, степенице и рампе. Стратешко позиционирање ових компоненти је кључно за обезбеђивање ефикасног кретања, доступности и безбедности у образовним објектима који се простиру на више нивоа. Заједно са променама приказаним у *Табели 12*, овај проблем остаје сложен и захтева пажњу архитеката.

Будућа истраживања требало би усмерити на развој методологија и пројектантских приступа који омогућавају ефикасну интеграцију система вертикалних комуникација у вишеспратне школске зграде, са циљем унапређења њихове оперативне ефикасности, функционалности и безбедности. Посебна пажња требало би да буде усмерена на оптимално позиционирање степеништа, лифтова и других елемената вертикалне комуникације, будући да они имају значајан утицај на просторну организацију и функционисање школских објеката.

Поред тога, проширење предложеног метода на тродимензионалну анализу школских објеката могло би омогућити сагледавање додатних просторних параметара који нису обухваћени овим истраживањем. Такав приступ допринео би развоју свеобухватнијих модела пројектовања и отворио нова истраживачка питања.

Табела 12. такође показује да овај приступ користи савремене информационе технологије како би се архитекта поново позиционирао у оквиру самог пројектантског процеса, аутоматизујући напоран аналогни процес генерисања свих (или што већег броја) могућих решења.

Важно је нагласити да овај алат потенцијално производи бесконачан број исхода. Може се рећи да овакав пројектантски приступ представља врсту експертског система, који знање професионалног пројектанта преводи у формализовани систем одлучивања са карактеристикама начина размишљања самог архитекте. На крају, овај механизам генерише решења која понекад превазилазе оквире архитектонске имажинације и могу се даље развијати, што ову врсту пројектовања чини специфичном и јединственом.

Коначно, главни циљ овог истраживања: додатна заштита здравља, безбедности и добробити корисника објеката, као основног принципа архитектонске професије, остварен је увођењем баријера и елемената успоравања као кључних елемената просторне организације школских зграда.

Предложени метод архитектонског пројектовања, уз мања прилагођавања, може се применити на било који архитектонски програм (тип објекта) у којем ходник представља основу просторне организације. К-параметар се такође показује као значајан водич у потрази за оптималним решењима у реалним пројектантским ситуацијама, усмеравајући архитекте ка мање или више сложеним, односно компактнијим решењима.

Такође, може послужити као вредан алат институцијама или доносиоцима одлука приликом поређења сличних варијанти школских основа. Као што се може претпоставити, један од највећих изазова ове методе јесте квантификација немерљивих параметара, који су неизоставни у анализи архитектонског дела. За сада, уметнички допринос архитектуре остаје у домену самих аутора, као и знања и искуства стеченог током рада на пројекту, али то није било у фокусу овог истраживања.

Предложени пројектантски модел функционише као помоћни алат за разматрање потенцијално бесконачног броја решења и њихову евалуацију у односу на дефинисане параметре, при чему се безбедносни критеријуми посматрају као кључни аспект савремене архитектонске праксе.

12. Литература

American Institute of Architects (2018)

Where We Stand: School Design and Student Safety.

Преузето 26. априла 2024. са: <https://www.aia.org/pages/206356-where-we-stand-school-design-and-student-sa>

American Institute of Architects (AIA) (2019)

The Design of Safe, Secure & Welcoming Learning Environments.
Committee on Architecture for Education.

Преузето са: <https://www.aia.org>

Atanacković Jeličić, J. (2007)

„Razvoj i transformacije arhitekture školskih zgrada u Vojvodini, od XVII veka do 2006. godine.“ Докторска дисертација. Нови Сад: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука. Преузето са: <https://cris.uns.ac.rs/sr/scientific-results/thesis/35572>

Atanacković Jeličić, J., Rapać, M., Kapetina, M., Medić, S. и Ecet, D. (2021)

„Urban Planning Method for Fostering Social Sustainability: Can Bottom-Up and Top-Down Meet?“, Results in Engineering, 12, чланак 100284. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100284>

Atanacković Jeličić, J., Rapać, M., Maraš, I. и Ecet, D. (2021)

„New Comfort: Towards the Post-Pandemic Living“, SAJ: Serbian Architectural Journal, 13(3), стр. 198–222.

Преузето са: <https://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=1821-39522103187A>

Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y. и Barrett, L. (2015)

„The Impact of Classroom Design on Pupils’ Learning: Final Results of a Holistic, Multi-Level Analysis“, Building and Environment, 89, стр. 118–133.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>

Barrett, P., Zhang, Y., Davies, F. и Barrett, L. (2015)

Clever Classrooms: Summary Report of the HEAD Project. Salford: University of Salford. Преузето са:

https://eddesignaward.com/research/wp-content/uploads/2021/12/clever-classrooms-summary-report-of-the-head-the-project_peter-barrett.pdf

Batty, M. (2007)

Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. Cambridge, MA: The MIT Press.

Преузето са: https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2007.00523_1.x

Bell, A.C. и Dymont, J.E. (2008)

„Grounds for Health: The Intersection of Green School Grounds and Health-Promoting Schools“, Environmental Education Research, 14(1), стр. 77–90.

Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13504620701843426>

Burry, M. (2011)

Scripting Cultures: Architectural Design and Programming. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-74641-7. Доступно

на: https://www.google.rs/books/edition/Scripting_Cultures/Q--nCwAAQBAJ?hl=sr&gbpv=1&pg=PA11&printsec=frontcover

Burru, M. (2016)

„Antoni Gaudí and Frei Otto: Essential Precursors to the Parametricism Manifesto“, у: Jencks, C. и Kropf, K. (ур.) Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, стр. 282–285. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/ad.2021>

Caetano, I., Santos, L. и Leitão, A. (2020)

„Computational Design in Architecture: Defining Parametric, Generative, and Algorithmic Design“, Frontiers of Architectural Research, 9(2), стр. 287–300.
Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.12.008>

Carpó, M. (2011)

The Alphabet and the Algorithm. Cambridge, MA: The MIT Press.
Доступно на: <https://archive.org/details/alphabetalgorithm0000carp/page/172/mode/2up>

Carpó, M. (2015)

„Introduction“, у: The Digital Turn in Architecture 1992–2012. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, стр. 9–14. Преузето са: <https://andreaarianoitcaadsaggio.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/06/digital-turn.pdf>

Choi, W., Kim, M., Lee, S. и Kim, H. (2024)

„Evaluating Intelligent CPTED Systems to Support Crime Prevention Decision-Making in Municipal Control Centers“, Applied Sciences, 14(15), чланак 6581.
Преузето са: <https://doi.org/10.3390/app14156581>

Cleveland, B. и Fisher, K. (2014)

„The Evaluation of Physical Learning Environments: A Critical Review of the Literature“, Learning Environments Research, 17(1), стр. 1–28.

Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s10984-013-9149-3>

Coates, P. (2010)

Programming Architecture. Abingdon, Oxon: Routledge. Доступно на: <https://doi.org/10.4324/9780203841488>

Cozens, P. и Love, T. (2015)

„A Review and Current Status of Crime Prevention through Environmental Design (CPTED)“, Journal of Planning Literature, 30(4), стр. 393–412.

Преузето са: <https://doi.org/10.1177/0885412215595440>

Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA)

School Security Assessment Tool (SSAT).

Преузето са: <https://www.cisa.gov>

De Landa, M. (2002)

„Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture“.

London. Преузето са:

https://www.researchgate.net/publication/295600631_Deleuze_and_the_use_of_the_genetic_algorithm_in_architecture

DePaoli, J. и McCombs, J. (2023)

„Safe Schools, Thriving Students: What We Know About Creating Safe and Supportive Schools“. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute.

Преузето са: <https://learningpolicyinstitute.org/product/safe-schools-thriving-students-report>

Department for Education (2014)

Area Guidelines for Mainstream Schools: Building Bulletin 103. London: Department for Education. Преузето са: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/BB103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf

depthmapX Development Team (2024) depthmapX:

Visual and Spatial Network Analysis Software. Преузето са: <https://github.com/SpaceGroupUCL/depthmapX>

Dorst, K. и Cross, N. (2001)

„Creativity in the Design Process: Co-evolution of Problem-Solution“, Design Studies, 22(5), стр. 425–437.

Преузето са: [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6)

Dovey, K. и Fisher, K. (2014)

„Designing for Adaptation: The School as Socio-Spatial Assemblage“, The Journal of Architecture, 19(1), стр. 43–63.

Преузето са: <https://doi.org/10.1080/13602365.2014.882376>

Ecet, D., Atanacković Jeličić, J., Rapaić, M. и **Pejić, S.** (2025)

„School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)“, International Journal of Architectural Computing, 23(1), стр. 209–238.

Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771241279349>

Elkington, S. и Bligh, B. (2019)

Future Learning Spaces: Space, Technology and Pedagogy. York: Advance HE.

Преузето са: <https://www.advance-he.ac.uk/knowledge-hub/future-learning-spaces-space-technology-and-pedagogy>

Espínola, M., Piedra-Fernández, J.A., Ayala, R., Iribarne, L. и Wang, J.Z. (2015)

„Contextual and Hierarchical Classification of Satellite Images Based on Cellular Automata“, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 53(2), стр. 795–809.

Преузето са: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2328634>

Frazer, J.H. (1995)

An Evolutionary Architecture. Themes VII. London: Architectural Association.

Преузето са: https://syntheticformations.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/09/00_intro.pdf

Fruitport High School, Fruitport, Michigan, USA (2019).

Преузето са: <https://www.dezeen.com/2019/09/05/fruitport-high-school-tower-pinkster-michigan-mass-shooting/>

Goldschmidt, G. и Matthews, B. (2022)

„Formulating Design Research Questions: A Framework“, Design Studies, 78, чланак 101062. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.101062>

Harding, J.E. и Shepherd, P. (2017)

„Meta-Parametric Design“, Design Studies, 52, стр. 73–95. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.005>

Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2004)

„Emergence in Architecture“, Architectural Design, 74(3), стр. 11–15. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. Доступно на: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter03.html>

Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M. (2012)

„Introduction to Emergence: Morphogenetic Design Strategies“, у: Carpo, M. The Digital Turn in Architecture 1992–2012. Chichester: John Wiley & Sons, стр. 158–164. Преузето са: <https://andreaarianoitcaadsaggio.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/06/digital-turn.pdf>

Herr, C.M. и Ford, R.C. (2016)

„Cellular Automata in Architectural Design: From Generic Systems to Specific Design Tools“, Automation in Construction, 72, стр. 39–45. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.011>

Herr, C.M. и Kvan, T. (2007)

„Adapting Cellular Automata to Support the Architectural Design Process“, Automation in Construction, 16(1), стр. 61–69.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.10.005>.

Hönig, R. и Nashed, L. (2015)

Grundrissfibel Schulbauten: 30 Wettbewerbe in der Schweiz 2001–2015. Zürich: Edition Hochparterre. ISBN 978-3-909928-31-6.

Преузето са: <https://www.hochparterre.ch/ausgaben/edition-hochparterre/grundrissfibel-schulbauten>

Jacobs, J. (1961)

The Death and Life of Great American Cities. New York

Преузето са: https://www.petkovstudio.com/bg/wp-content/uploads/2017/03/The-Death-and-Life-of-Great-American-Cities_Jane-Jacobs-Complete-book.pdf

Jahangiri, J. (2023)

„Safe Yet Welcoming: Alternative Design Strategies for Secure Schools“, у: Schools as Community Hubs. Singapore: Springer

Преузето са: https://doi.org/10.1007/978-981-19-9972-7_10

Kamaoğlu, M. (2023)

„The Idea of Evolution in Digital Architecture: Toward United Ontologies?“, International Journal of Architectural Computing, 21(4), стр. 622–634.

Преузето са: <https://doi.org/10.1177/14780771231174890>

Kharvari, F. и Kaiser, L.E. (2022)

„Impact of Extended Reality on Architectural Education and the Design Process“, Automation in Construction, 141, чланак 104393.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104393>

Kolarević, B. (2003)

Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York; London. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780203634561>

Krawczyk, R.J. (2016)

„Cellular Automata: Dying to Live Again, Architecture, Art, Design“, у: Adamatzky, A. и Martínez, G., Designing Beauty: The Art of Cellular Automata. Emergence, Complexity and Computation, vol. 20. Cham: Springer, стр. 39–52.

Преузето са: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27270-2_5

Lamoreaux, D. и Sulkowski, M.L. (2020)

„An Alternative to Fortified Schools: Using Crime Prevention through Environmental Design (CPTED) to Balance Student Safety and Psychological Well-Being“, Psychology in the Schools, 57(1), стр. 152–165. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/pits.22301>

Lawson, B. (2004)

„Schemata, Gambits and Precedent: Some Factors in Design Expertise“, Design Studies, 25(5), стр. 443–457.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.05.001>

Leach N.

Digital Cities, Architectural Design, Vol 79, 4th edition, London, 2009. Преузето са: <https://doi.org/10.1002/ad.911>

Leach, N. (2009)

„Digital Morphogenesis“, Architectural Design, 79(1), стр. 32–37.

Преузето са:

<https://neilleach.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/09/digital-morphogenesis.pdf>

Liu, F., Zhou, H., Xie, J., Tang, Y., Liu, S. (2025)

„Impact of Public Space in Primary and Secondary Schools Based on Natural Visibility Ratio“, Buildings, 15(9), чланак 1472. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/buildings15091472>

Logan, B. и Smithers, T. (1993)

„Creativity and Design as Exploration“, у: Gero, J.S. и Maher, M.L. (ур.) Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, стр. 139–173. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780203772881>

Menges, A., Hensel, M. и Weinstock, M. (2004)

„An Evolution of Form Finding as Design“, у: Hensel, M., Menges, A. и Weinstock, M., Emergence: Morphogenetic Design Strategies. Architectural Design, 74(3), стр. 27–33. Преузето са: <https://www.oreilly.com/library/view/emergence-morphogenetic-design/9780470866887/Chapter04.html>

Mihinjac, M. и Saville, G. (2019)

„Third-Generation Crime Prevention Through Environmental Design (CPTED)“, Social Sciences, 8(6), чланак 182. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/socsci8060182>

Milovanović, A., Nikezić, A. и Ristić Trajković, J. (2023)

„Introducing Matrix for the Reprogramming of Mass Housing Neighbourhoods (MHN) Based on EU Design Taxonomy: The Observatory Case of Serbia“, Buildings, 13(3), чланак 723. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/buildings13030723>

Mitchell, M. (1999)

An Introduction to Genetic Algorithms. A Bradford Book. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: <https://www.boente.eti.br/fuzzy/ebook-fuzzy-mitchell.pdf>

Mitrović, N., Marić, J., Đukić, A. и Milosavljević, M. (2022)

„Analiza urbane bezbednosti otvorenog javnog prostora: novobeogradski blok 21 u periodu od 2013. godine do danas“, у: Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет. Преузето са: https://raf.arh.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/1740/UBUR2022_Mitrovic_Maric_Djukic_Milosavljevic.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MOA Architecture

(School Security Through Architectural Design. Преузето 26. априла 2024. са: https://www.moaarch.com/thought_leadership/school-security-through-architectural-design/

National Center on School Infrastructure (NCSI) (2024)

National Center on School Infrastructure. Преузето са: <https://school-infrastructure.org/>

Navinchandra, D. (1991)

Exploration and Innovation in Design: Towards a Computational Model. New York: Springer-Verlag. Преузето са: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3114-1>

Neufert, E. и Neufert, P. (2007)

Architects' Data. 3rd edn. Oxford: Blackwell Publishing. ISBN 978-1-4051-9253-8. Преузето са: <https://byarchlens.com/wp-content/uploads/2020/11/Neufert-4th-edition.pdf>

Newman, O. (1972).

Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design. New York, NY: Macmillan. Преузето са: <https://www.jstor.org/stable/27893041>

Nikezić, A. (2022)

„Arhitektura i bezbednost u nepredvidivim okolnostima grada 21. veka“, у: Urbana bezbednost i urbani razvoj: zbornik radova. Београд: Универзитет у Београду, Факултет безбедности и Архитектонски факултет, стр. 11–18.
Преузето са: <https://raf.arh.bg.ac.rs/handle/123456789/2309>

Nisztuk, M. и Myszkowski, P.B. (2018)

„Usability of Contemporary Tools for the Computational Design of Architectural Objects: Review, Features Evaluation and Reflection“, International Journal of Architectural Computing, 16(1), стр. 58–84.
Преузето са: <https://doi.org/10.1177/1478077117738919>

Office of Elementary and Secondary Education (OESE),
School Infrastructure Programs (SIP) (2024) School Infrastructure
Programs (SIP). Последња измена: 4. јануар 2024. Преузето 12.
фебруара 2024. са: [https://oese.ed.gov/offices/school-infrastructure-
programs-sip/](https://oese.ed.gov/offices/school-infrastructure-programs-sip/)

Orlandi, S., Longo, D., Turillazzi B. (2025)
„Integrating Security-by-Design into Sustainable Urban Planning for
Safer, More Accessible, and Livable Public Spaces“, Sustainability,
17(16), чланак 7186.
Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su17167186>

Ouyang, F. (2021)
“People Oriented” Planning and Architectural Design Practice of
Primary and Secondary Schools’, у: Proceedings of the 6th Annual
International Conference on Social Science and Contemporary
Humanity Development (SSCHD 2020). Paris: Atlantis Press, стр.
996–999. Преузето са: <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210121.192>

Pejić, S. (2026)
„Dataset of 100 School Floor Plans Generated Using a Cellular
Automata Model” Доступно на:
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32884556>

Pejić, S. (2026)
„Dataset of 500 School Floor Plans Generated Using a Cellular
Automata Model” Доступно на:
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32869544>

Pena, M.L.C., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I. и Romero, J. (2021)

„Artificial Intelligence Applied to Conceptual Design: A Review of Its Use in Architecture“, Automation in Construction, 124, чланак 103550. Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>

Peng, Y.L., Wang, Y., Chen, Z., Li, J. и Zhang, H. (2024)

„Evaluation and Optimization of Sense of Security during the Day and Night in Campus Public Spaces Based on Physical Environment and Psychological Perception“, Sustainability, 16(3), чланак 1256. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su16031256>

RAND Corporation (2021)

A Systems Approach to Physical Security in K-12 Schools. Santa Monica, CA: RAND Corporation. Преузето са: <https://www.rand.org>

Rigolon, A. (2010)

„European Design Types for 21st Century Schools: An Overview“, CELE Exchange: Centre for Effective Learning Environments, 2010(3). Paris: OECD Publishing. Преузето са: <https://doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

Ross, K.A. и Sahr, K. (2008)

„Planar and Spherical Hierarchical, Multi-Resolution Cellular Automata“, Computers, Environment and Urban Systems, 32(3), стр. 204–213.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.03.001>

Sanoff, H. и Walden, R. (2012)

„School Environment“, у: Clayton, S.D. , The Oxford Handbook of Environmental and Conservation Psychology. Oxford: Oxford University Press, стр. 276–294. Преузето са: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199733026.013.0015>

Space Syntax Laboratory, University College London (UCL) (2024)

Space Syntax Laboratory. Преузето са: <https://spacesyntax.online/>

Steenson, M.W. (2014)

Architectures of Information: Christopher Alexander, Cedric Price, and Nicholas Negroponte and MIT's Architecture Machine Group. Princeton, NJ: Princeton University Press. Преузето са: <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp01pn89d6733>

U.S. Department of Education (2021)

Supporting America's School Infrastructure (SASI) Initiative. Washington, DC: U.S. Department of Education. Доступно на: <https://www.ed.gov/laboratory-schools/supporting-americas-school-infrastructure-sasi>

Tanner, C.K. (2009)

„Effects of School Design on Student Outcomes“, Journal of Educational Administration, 47(3), стр. 381–399. Преузето са: <https://doi.org/10.1108/09578230910955809>

Terzidis, K. (2006)

Algorithmic Architecture. 1st ed. Amsterdam; Boston: Architectural Press. Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9780080461298>

Toffoli, T. и Margolus, N. (1987)

Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling. Cambridge, MA: The MIT Press. Преузето са: <https://people.csail.mit.edu/nhm/cam-book.pdf>

Travers, Á., McDonagh, T. и Elklit, A. (2018)

„Youth responses to school shootings: A review“, Current Psychiatry Reports, 20(6), стр. 47.

Преузето са: <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0903-1>

Uduku, O. (2015)

‘Spaces for 21st-Century Learning’, у: McGrath, S. и Gu, Q. (ур.) Routledge Handbook of International Education and Development. Abingdon, Oxon: Routledge, стр. 196–209.

Преузето са: <https://doi.org/10.4324/9781315797007>

Weber, A.E., Mueller, C. и Reinhart, C. (2022)

„Automated Floorplan Generation in Architectural Design: A Review of Methods and Applications“, Automation in Construction, 140, чланак 104385.

Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104385>

Weisstein, E.W. (2024)

„Moore Neighborhood“, MathWorld—A Wolfram Web Resource.

Преузето са:

<https://mathworld.wolfram.com/MooreNeighborhood.html>

Wolfram, S. (2002)

A New Kind of Science. Champaign, IL: Wolfram Media. Преузето
са: <https://www.wolframscience.com/nks/>

Çalışır, A.P. и Çağdaş, G. (2020)

„Computational Design Thinking through Cellular Automata:
Reflections from Design Studios“, Journal of Design Studio, 2(2),
стр. 71–83. Преузето са: <https://doi.org/10.46474/jds.816833>

Dorđević, A., Milovanović, A., Milojević, M.P., Zorić, A., Pešić, M., Ristić
Trajković, J., Nikezić, A. и Đokić, V. (2022)

„Developing Methodological Framework for Addressing
Sustainability and Heritage in Architectural Higher Education—
Insights from HERSUS Project“, Sustainability, 14(8), чланак 4597.
Преузето са: <https://doi.org/10.3390/su14084597>

13. Индекс илустрација

Табела 1 : Терминолошки оквир за разматрање безбедности и резилијентности школског простора. Извор: Ауторска израда	36
Табела 2: Просторни критеријуми за превођење безбедносних принципа у СА модел школске основе. Извор: Ауторска израда	45
Табела 3: Упоредни приказ савремених типологија школских зграда у односу на просторну организацију, ограничења и резилијентни потенцијал (према Rigolon, 2010; адаптирано у односу на Ecet et al., 2025), Извор: Ауторска израда.....	70
Табела 4: Структура „СА“ модела у фази пројектовања: дефинисање ћелијског простора, стања ћелија и скупа локалних правила. Извор: Ауторска израда.....	87
Табела 5: Мапирање просторне организације образовних објеката, при чему су простори разврстани у четири секвенцијално нумерисана стања ради прецизне алгоритамске диференцијације. Извор: Ауторска израда.	92
Табела 6: Први скуп правила који дефинише простор ходника/коридора. Извор: Ауторска израда.	102
Табела 7: Други скуп правила који дефинише неходнички простор. Извор: Ауторска израда.	104
Табела 8: К-параметар за четири типа постојећих школских основа. Извор: Ауторска израда.	120
Табела 9: Примери СА-генерисаних основа код којих је $K \leq 1,0$. Извор: Ауторска израда.....	122
Табела 10: Примери СА-генерисаних основа код којих је $K > 1,0$. Извор: Ауторска израда.....	123

Табела 11: Приказ корелације између нижих вредности К-параметра и већих површина основе означених црвеном бојом. Извор: Ауторска израда. 125

Табела 12: СА-генерисане основе додатно развијене од стране архитекте. Црни квадрати означавају могуће излазе, док розе квадрати уоквирени црном линијом означавају потенцијалне просторије (аутори истраживања). Извор: Ауторска израда 130

Слика 1: Дијаграм фаза истраживања, Извор: Ауторска израда 29

Слика 2: Фазе пројектантског процеса према Брајану Лоусону, синтетизоване са имплементацијом ћелијског аутомата (СА). Свака фаза описана је доминантним атрибутом у погледу природе процеса, чиме се илуструје хибридни приступ (bottom-up или top-down)..... 55

Слика 3: Четири основна типа школских зграда са означеним позицијама централних ходника. (према Алесандру Риголону). 61

Слика 4: дворишни тип школе „Nimeto School“ - Mevrouw Meijer / Maarten van Kesteren, Холандија (2025), Извор: https://www.archdaily.com/1013808/nimeto-transformation-of-a-craft-school-maarten-van-kesteren-architecten?ad_medium=gallery 62

Слика 5: дворишни тип школе „Elementary & Middle School-Fenouillet“ - Cousy Architectures, Француска (2019), Извор: https://www.archdaily.com/962694/school-piquepeyre-ppa-architectures?ad_medium=gallery 63

Слика 6: блок тип школе „Elementary & Middle School Gloggnitz, Austria“ - Dietmar Feichtinger Architectes, Аустрија (2019), Извор: https://www.archdaily.com/942215/school-complex-gloggnitz-dietmar-feichtinger-architectes?ad_medium=gallery 64

Слика 7: блок тип школе „Meadows Primary School“ - Project 12 Architecture, Architectes, Аустралија (2022), Извор:

https://www.archdaily.com/1026349/meadows-primary-school-project-12-architecture?ad_medium=gallery	65
Слика 8: кластер тип школе „Kössen Education Center“ - Pedevilla Architects, Аустрија (2025), Извор: https://www.archdaily.com/1040194/education-center-kossen-pedevilla-architects?ad_medium=gallery	66
Слика 9: тип основе школе налик градској морфологији „ICS Integrated Comprehensive School“ - Bez + Kock Architekten, Немачка (2021), Извор: https://www.archdaily.com/979707/ics-integrated-comprehensive-school-bez-plus-kock-architekten?ad_medium=gallery	68
Слика 10: дијаграмски приказ типа основе школе налик градској морфологији „ICS Integrated Comprehensive School“ - Bez + Kock Architekten, Немачка (2021), Извор: https://www.archdaily.com/979707/ics-integrated-comprehensive-school-bez-plus-kock-architekten?ad_medium=gallery	69
Слика 11: Пример ходника са учионицама са обе стране (димензије које се најчешће користе у школским зградама (према Ернсту и Питеру Нојферту), Извор: Ауторска израда.	83
Слика 12: Анализа примера – постојећа основа школе апстрахована је до нивоа дијаграма који се даље може користити за дефинисање СА ћелија. Извор: Ауторска израда.	84
Слика 13: Ћелијски простор представљен као правоугаона мрежа формирана од квадратних ћелија. Извор: Ауторска израда.	89
Слика 14: Приказ почетног стања. Извор: Ауторска израда.	94
Слика 15: Приказ три распореда: лева конфигурација илуструје идентификацију ходника, док десна конфигурација приказује дефинисање специфичних функција у просторима који нису ходници. Извор: Ауторска израда.	97
Слика 16 : Стандардне и модификоване верзије дефиниција фон Нојмановог и Муровог суседства. Извор: Ауторска израда.	99

Слика 17: Резултати примене првог скупа правила који дефинише простор ходника/коридора. Извор: Ауторска израда.....	103
Слика 18: Резултати примене другог скупа правила који дефинише некоридорски простор. Извор: Ауторска израда.....	105
Слика 19: Лево је приказан генерисани распоред без рационализације коридорског простора, док је десно илустрован распоред након интерпретације и артикулације алгорита, односно након редукције површине ходника/коридора у корист некоридорских простора. Извор: Ауторска израда.....	106
Слика 20: Редукција коридорског простора у корист некоридорског простора. Извор: Ауторска израда.....	107
Слика 21: Категоризација бруто површина простора школске зграде. Извор: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/B103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf	110
Слика 22: Препоручене вредности бруто и нето површине основне школе. Извор: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5f23ec238fa8f57acac33720/B103_Area_Guidelines_for_Mainstream_Schools.pdf	111
Слика 23: Приказ генерисане конфигурације. Ова конфигурација представља дијаграм просторне организације школског објекта. Беле ћелије означавају спољашње просторе, сиве ћелије представљају ходнике, док розе ћелије означавају некоридорске просторе. Са десне стране приказани су пратећи метаподаци за дати распоред. Извор: Ауторска израда.....	111
Слика 24: Прва генерација СА-генерисаних основа – дијаграм који приказује корелацију броја места за ученике и броја тачака на којима ходник мења правац (безбедносна баријера) у генерисаним школским основама (основе су означене знаком „х“ са пратећим бројем генерисаног решења). Извор: Ауторска израда.....	117

Слика 25: Друга генерација СА-генерисаних основа школских зграда – корелација бруто површине и броја углова ходника (основе су означене знаком „х“ са пратећим бројем генерисаног решења). Извор: Ауторска израда.	117
Слика 26: К-параметар за 500 примера школских основа генерисаних путем СА. Извор: Ауторска израда.	121

14. Биографија кандидата

Стефан Пејић рођен је 05.07.1997. године у Новом Саду.

Школске 2015/2016. године завршио је Гимназију „Светозар Марковић“ у Новом Саду, након чега је уписао основне академске студије првог степена на Департману за архитектуру и урбанизам Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду. Дипломирао је 2020. године, стекавши звање дипломирани инжењер архитектуре са просечном оценом 9,25. Исте године уписао је мастер академске студије на студијском програму Архитектура, модул Дигитални дизајн и фабрикација, које је завршио 2022. године са просечном оценом 9,89.

Од 2017. године активан је члан маркетинг тима Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, у оквиру којег учествује у промоцији студијских програма основних и мастер академских студија и представљању Факултета будућим студентима.

Професионално искуство започео је 2017. године стручном праксом у неколико архитектонских бироа, након чега је 2018. године, заједно са двојицом колега, основао биро (*RMT Studio*). Практично искуство стицао је кроз израду самосталних и тимских пројеката из области архитектонског пројектовања и дизајна ентеријера, од којих су многи реализовани и приказани на различитим изложбама међународног и националног карактера.

У наставни процес на Департману за архитектуру и урбанизам укључен је 2021. године, у звању сарадника у настави, док је од 2022. године ангажован у звању асистента. 2024. године добио је признање за најбоље оцењеног сарадника Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, остваривши просечну оцену студентских евалуација 9,9.

Докторске академске студије на Факултету техничких наука уписао је школске 2022/2023. године. У оквиру докторских студија бави се истраживањем примене савремених технологија у архитектонском пројектовању, са посебним фокусом на примену ћелијских аутомата, генеративног дизајна и алгоритамских метода у пројектовању школских објеката. Резултати истраживања представљени су на више националних и међународних научних конференција и објављени у научним публикацијама. Најзначајнији резултат досадашњег истраживања представља научни рад под називом „*School Buildings Layout: Enhancing Resilience to Targeted Violence Utilizing Cellular Automata (CA)*.“

Говори и пише енглески језик.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Архитектонски метод формирања резилијентних школских простора заснован на ћелијским аутоматима
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
ДАС Архитектура
1. Опис података
1.1 Врста студије <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> _____Докторска дисертација_____ _____ _____
1.2 Врсте података а) квантитативни б) квалитативни
1.3. Начин прикупљања података а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____ д) узорци ткива: навести врсту _____

ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____

е) текст, навести врсту _____

ж) мапа, навести врсту _____

з) **остало: описати** _____ генерисане слике помоћу хелијског аутомата _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

а) Excel фајл, датотека _____

б) SPSS фајл, датотека _____

с) PDF фајл, датотека _____

д) Текст фајл, датотека _____

е) JPG фајл, датотека _____

ф) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

а) број варијабли ____ 20 _____

б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) ____ 600 _____

1.3.3. Поновљена мерења

а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) временски размак измедју поновљених мера је _____

б) варијабле које се више пута мере односе се на _____

в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип ____у виртуелном простору_____

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Наставно особље је извршило контролу квалитета података.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

_____ Наставно особље је извршило контролу уноса података.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у _____ репозиторијум.

3.1.2. URL адреса _____

3.1.3. DOI _____ <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32884556>,
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.32869544> _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) **Да**

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? Dublin Core Metadata Element Set (DCMES).

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

```
@article{Pejić2026,  
author = "Stefan Pejić",  
title = "{Dataset of 100 School Floor Plans Generated Using a Cellular Automata Model}",  
year = "2026",  
month = "7",  
url = "https://figshare.com/articles/dataset/Dataset_of_100_School_Floor_Plans_Generated_Using_a_Cellular_Automata_Model/32884556",  
doi = "10.6084/m9.figshare.32884556.v1"  
}
```

```
@article{Pejić2026,  
author = "Stefan Pejić",  
title = "{Dataset of 500 School Floor Plans Generated Using a Cellular Automata Model}",  
year = "2026",  
month = "7",  
url = "https://figshare.com/articles/dataset/Dataset_of_500_School_Floor_Plans_Generated_Using_a_Cellular_Automata_Model/32869544",  
doi = "10.6084/m9.figshare.32869544.v1"  
}
```

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? ____ није ограничено ____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

_____ Стефан Пејић, stefan.pejic@uns.ac.rs _____

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

_____ Стефан Пејић, stefan.pejic@uns.ac.rs _____

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима
