



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580305](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580305)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 20.06.2025 г.

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ЖИЛИЩНО ПРОЕКТИРАНЕ С ПОМОЩТА НА АЛГОРИТМИЧНИ МЕТОДИ

М. Нанова¹, М. Георгиев², Д. Дамов³

Ключови думи: параметрично моделиране, генеративен дизайн, алгоритмично проектиране, жилищна архитектура

РЕЗЮМЕ

Настоящата статия е част от научноизследователска разработка на тема „Оптимизиране на процеса на жилищно проектиране с помощта на автоматизирани технологии“, по договор БН-304/24, подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ. Разгледани са методи за автоматизиране на жилищното проектиране с помощта на алгоритми и са проучени възможности за прилагането им чрез създаване на алтернативни решения на застрояване на дадена територия в рамките на съществуващите устройствени параметри. Разработени са алгоритми за генериране на различни типологични схеми и проучване на тяхната ефективност. Използван е интердисциплинарен подход, който съчетава ползите от интегрирането на геодезически данни за изследване на проектни предложения за конкретна територия и тяхната законосъобразност с предвижданията на застроителните планове. Изследването показва на практика как използването на дигитални инструменти помага за детайлното проучване на възможностите за застрояване на дадена жилищна територия и съдейства за вземането на информирани решения въз основа на подробен анализ на опциите.

¹ Милена Нанова, доц. д-р арх., кат. „Жилищни сгради“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: m_nanova_far@uacg.bg

² Мартин Георгиев, гл. ас. д-р арх., кат. „Жилищни сгради“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: mgeorgiev_far@uacg.bg

³ Дамян Дамов, гл. ас. д-р арх., кат. „Жилищни сгради“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: damov_far@uacg.bg

1. Въведение – актуалност и цел на изследването

Навливането на съвременните информационни технологии във всеки аспект от живота поставя нови изисквания към планирането на жилищните територии, пространствената организация на жилищните сгради и функционалното разпределение на жилищата. Процесът на проектиране става все по-сложен, свързан с обработка и обмен на огромно количество данни от разнообразни източници, съобразяване с фактори от най-различно естество и участие на множество специалисти с различна квалификация. Необходимостта от съобразяване с комплексните фактори, които влияят върху жилищната среда и нарастващото търсене на по-устойчиви и ефективни решения повишават нуждата от прилагане на усъвършенствани цифрови методи на работа [1].

В условията на нарастваща урбанизация и увеличаващо се търсене на жилища конкуренцията в сектора изисква бърза реакция от страна на инвеститори и предприемачи. Те се нуждаят от предпроектни проучвания, които да осигурят необходимата информация относно потенциала на скъпоструващите градски терени. С традиционните методи на проектиране тези проучвания отнемат време и невинаги са достатъчно изчерпателни, а скоростта зависи от професионалния опит на архитекта. Използването на цифрови инструменти като CAD и BIM (Building Information Modelling) трансформират дейността на проектанта, като подобряват точността и ефективността на работа, и намаляват времето за корекции [2]. Все пак, процесът е линеен, всяка промяна в изискванията го връща към началните стъпки, за да се стигне до адекватен резултат.

Параметричният метод на проектиране представлява цикличен процес, при който архитектът дефинира входните параметри (напр. размер на сградата, тип и големина на жилищата, брой стълбища и вътрешни комуникации), като ги обвързва в алгоритмични зависимости, а софтуерът произвежда множество варианти на проектни решения въз основа на тези данни. Автоматизирането на част от дейността на проектанта дава възможност за бързо изработване на алтернативни предложения, всяко едно от които удовлетворява предварително дефинираните критерии и може да послужи като основа на бъдеща разработка [3]. Използването на изкуствен интелект и способността му да се справя със сложни математически задачи позволява да се генерират нетрадиционни, но ефективни решения, които могат да убягнат от погледа на архитекта при едно рутинно проектиране [4].

Настоящото изследване е част от научноизследователска разработка на тема „Оптимизиране на процеса на жилищно проектиране с помощта на автоматизирани технологии“, по договор БН-304/24, подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ. То има за цел да демонстрира възможностите за приложение на генеративен дизайн при проектирането на жилищни сгради и по-специално, използването на параметрични методи за проучване на различни типологични схеми на застрояване върху определен имот. Предложеният метод цели оптимизиране на процеса чрез създаване на алгоритъм, с помощта на който могат да се генерират проектни решения за организиране на жилищните единици в различни конфигурации, в зависимост от размерите и формата на отреденото петно за строителство, съобразени с ограничителните линии на застрояване и с параметрите, заложи в ОУП за определения имот. Алгоритъмът автоматично създава множество варианти на свързване на различни по вид и размер жилищни единици, с различна организация на вертикалните и хоризонталните комуникации, следвайки предварително зададени правила.

Резултатите от изследването могат да бъдат анализирани от гледна точка на допълнителни условия по отношение на типология, стандарти, баланс на площите,

осъществимост на инвестицията, екологичен отпечатък и други. Промяната или въвеждането на допълнителни данни се отразяват автоматично на параметричния модел, което позволява незабавна обективна оценка и помага за информирания избор на решение [5].

2. Методология на изследването

Методологията на изследването е тясно свързана със спецификата на параметричното/алгоритмичното моделиране. Тя налага различен метод на работа, който изисква повече време за проучвателната част на проектирането. Ролята на архитекта на този етап се състои във внимателно изясняване на факторите, които ще бъдат взети предвид при създаването на генеративен алгоритъм, както и дефиниране на очакванията към крайния модел. Предварителното поставяне на ясна цел определя избора на параметри, които да бъдат обвързани в система от логически зависимости [6]. Преди да се започне с писането на алгоритъма в дигитална среда, трябва да се обмислят функциите, които той ще изпълнява. Задача на проектанта е да избере необходимите параметри и да въведе последователност от действия, които обуславят връзките между тях [7]. Всички стъпки при параметричното моделиране са взаимосвързани, което позволява промяната на даден параметър да се отрази автоматично на всички останали параметри и функции, без да е необходимо връщане към началото.

Подборът на параметрите при създаването на алгоритъма като тип и брой има голямо значение за резултатите, ефективността и практическата приложимост на метода. Параметрите дефинират променливите, които алгоритъмът оптимизира, в зависимост от избрания критерий – застроена площ, цена, енергийна ефективност, конструктивна целесъобразност. Така може да се даде превес на иновативните решения или да се ограничат те в определени рамки. Включването на голям брой разнородни фактори и зависимости увеличава сложността и времето за изчисление. Прекалено големият или малкият брой на параметрите води до твърде специализирани или опростени варианти, които са неприложими в реалността. Оптималният избор се фокусира върху важните променливи, създавайки йерархия между тях, така че да се балансират креативност и осъществимост на генерираните проектни решения.

Жилищната архитектура е особено подходяща за прилагане на генеративни алгоритми поради своите ясни параметри, модулност и повтаряемост [8]. Цялостната организация на апартаментните единици следва логически модели и създава недвусмислени зависимости, които могат да бъдат описани в цифров вид. Връзките между отделните помещения в различните проекти са подобни, дълбочината на сградите е определена в ясни граници, отношенията на отделните апартаменти към комуникационните зони са типични. Именно тази ясна логика е предпоставка за сравнително лесното и точно извеждане на математическа формула, която да обвърже необходимата информация с последователност от стъпки за проектирането на многофамилни жилищни сгради.

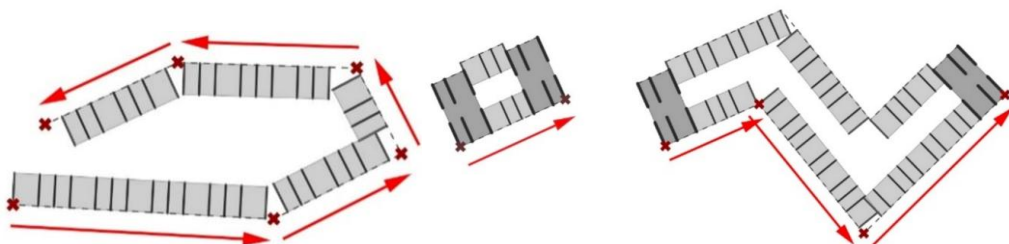
Стъпките включват:

- 1) изследване на топология и типология на многофамилните жилищни сгради и последващото им интегриране в алгоритъм;
- 2) имплементиране на стандарти – проучване и вграждане на съответната нормативна уредба в алгоритъма;
- 3) икономическа оценка на предложените решения;
- 4) възможност за екологична оценка.

2.1. Топология и типология

В основата на предложения метод на проектиране стои възможността за генериране на помещения по протежение на полигонален контур. Линеиното подреждане на стаите успоредно на фасадата гарантира на всяко жилище достъп до естествена светлина и свеж въздух. Дневните и спалните са ориентирани навън с прозорци и витрини, докато по-малко важните пространства като коридори, бани и складови помещения, се разполагат във вътрешността на сградата. Създава се контур, чиято дължина и направление могат да се контролират параметрично, за да се оптимизира използването на площта на имота и да се постигне най-благоприятното изложение на жилищата. Контурът може да има произволен брой чупки с различна дължина на отсечките. Броят им може да бъде съобразен с нормативите за евакуация, с формата на парцела или със спецификата на проекта.

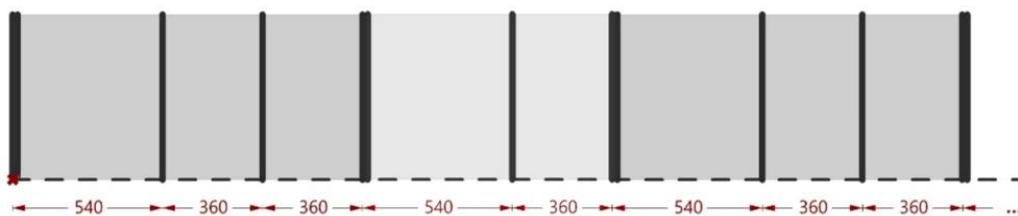
Алгоритъмът генерира различни типове етажни разпределения, в зависимост от формата и дължината на контура – от компактни секции до издължени, коридорни или галерийни схеми. Най-простото решение е да се проектира сграда само по контур на една от фасадите. Смяната в направлението на контура променя ориентацията на помещенията и може да коригира позицията на хоризонталните комуникации спрямо жилищните единици, в зависимост от по-благоприятното изложение. Копирането на контура на определено разстояние създава двустранно ориентирани жилищни секции с променлива дължина. Възможно е да се зададе отделен контур за всяка фасада, като параметрите контролират дълбочината на секцията и предлагат гъвкавост в един сложен урбанистичен контекст (фиг. 1).



Фиг. 1. Генериране на контур на фасадата – с единична линия за сгради с фиксирана дълбочина или с отделни линии за всяка фасада за постигане на по-сложни форми

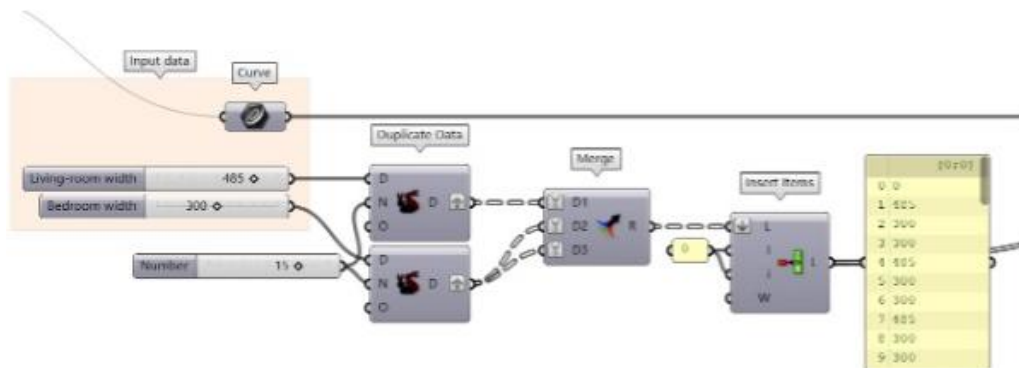
2.2. Имплементиране на стандарти

Алгоритмичният подход в архитектурата интегрира модулни системи и автоматизира повтарящи се задачи, като позволява параметричните софтуерни инструменти да прилагат предварително заложен стандарти още от ранните етапи на проектиране. Алгоритъмът изисква ключови числови входни данни, като минимални широчини на помещенията за дневни и спални или максимална дълбочина на стаите, за да генерира последователност от помещения, които отговарят на тези стандарти, като гарантира, че нито едно пространство не е под зададените минимални размери. Помещения, които не покриват минималните изисквания, могат да бъдат използвани на по-късен етап като допълнителни функционални елементи – нестандартни жилищни единици, открити площи, стълбищни клетки и др., или за естетически цели при пластичното оформление на фасадите (фиг. 2).



Фиг. 2. Различни по функция помещения, базирани на широчината на осите

Всяка промяна на първоначалните параметри – дължина на контура, ширина или дълбочина на помещенията, брой стаи, пропорционално съотношение между жилищни единици с 1, 2 или 3 стаи, промяна в принципа на редуване между тях и т.н., води до повторно генериране на цялата последователност, без да се налага проектантът да създава наново връзките или да коригира зависимостите между елементите. Това му дава гъвкавост да експериментира и прилага различни условия, за да прецени кои от получените решения отговарят в максимална степен на функционалните, икономическите или естетическите критерии. Този итеративен процес позволява сравняване и класиране на различните варианти, оптимизирайки дизайна според конкретния контекст (фиг. 3).



Фиг. 3. Генериране на списък с числа, представящи широчината на помещенията и подредбата им по фасадния фронт

2.3. Икономическа осъществимост

Алгоритъмът подобрява икономическата осъществимост на проектното решение, като позволява контрол върху типа, размера и пропорцията на жилищните единици още в началния етап, съобразявайки ги с инвестиционните цели. Инвеститорите получават детайлна информация за проекта на много ранен етап, за да могат да адаптират своите изисквания към възможностите за застрояване и да планират внимателно своите инвестиции. В хода на работата например те могат да променят заданието за брой, тип или големината на жилищата, в зависимост от допълнително получена информация относно демографския състав или платежоспособността на потенциалните обитатели. Вземането на решения е улеснено, благодарение на получените навреме обективни резултати и визуализирането или категоризирането им в графичен или табличен вид.

Икономическата полза от внедряването на параметрични методи на проектиране е още по-голяма, когато те се интегрират с дигитализирани системи на индустриализирано строителство. Използването на модулни елементи и стандартизирани компоненти

повишава качеството на изпълнение, свежда до минимум техническите грешки, намалява разходите за строителство и поддръжка, и осигурява предвидимост на ползите от инвестицията [9].

2.4. Екологични насоки

От екологична гледна точка, алгоритъмът интегрира насоки за енергийна ефективност и устойчивост, като отчита фактори като ориентацията на сградата, естествена осветеност и вентилация, за оптимално използване на енергията [10]. След генерирането на геометрията може да се използват симулации, за да се извлекат данни с голяма точност за количеството на необходимите строителни материали и техника. Оптимизирането на формата и материалите, от които е изработена, гарантира намаляване на строителните отпадъци и транспортните разходи.

3. Алгоритъмът

Това експериментално изследване използва Grasshopper 3D за Rhino като инструмент за параметрично моделиране, който се интегрира безпроблемно в съществуващите архитектурни процеси чрез CAD данни или урбанистична информация. Алгоритъмът е разработен така, че да работи ефективно от самото начало с минимални входни параметри, като например минималните широчини на дневни и спални, както и дълбочината на помещенията (фиг. 2). Тези първоначални стойности гарантират, че стаите отговарят на необходимите стандарти още в началния етап, като по този начин се избягва необходимостта от допълнителни проверки или модификации по-късно в процеса на проектиране. Предварително са зададени ограничения, свързани с определено съотношение между различните жилищни типове.

Алгоритъмът е способен да регенерира цялата последователност от помещения всеки път, когато някой входен параметър бъде променен. Тази гъвкавост позволява на архитекта бързо и ефективно да изследва различни варианти, осигурявайки интуитивен начин за тестване и сравняване на различни конфигурации и разпределения на помещенията в зависимост от промените по време на работа. Съотношението между различни типове апартаменти с една, две или три спални е част от променливите параметри. Промяната му позволява изследване на ефективността от различни комбинации от жилища.

Основната функция на алгоритъма се базира на компонента „Evaluate Length“, който създава точки на деление по протежение на полигонална линия, като широчините и дълбочините на помещенията пряко влияят върху тяхното позициониране. Този параметричен подход гарантира, че разпределението на помещенията спазва зададените стандарти за размерите, като същевременно позволява разнообразие от апартаментни типологии с различен брой спални. Чрез задаване на последователността на широчините архитектът не само гарантира съответствие с нормите, но и контролира пространствената организация и типологията на сградата (фиг. 3).

Последователността на помещенията може да бъде модифицирана за оптимизиране на комуникационните площи, гарантирайки както функционалност, така и ефективност на разпределението. В случаите, когато контурната линия се състои от множество сегменти, алгоритъмът компенсира потенциални грешки от закръгляне на числата, като разделя списъка с широчини и ги адаптира към всеки сегмент, така че да не остане неизползвано или неправилно подравнено пространство (фиг. 4).

Допълнително алгоритъмът отчита възможността да се появят остри ъгли между съседни сегменти, които биха могли да доведат до припокриващи се помещения. За да предотврати този проблем, алгоритъмът изчислява отстъпа за началната точка на следващия сегмент, използвайки синуса на ъгъла между сегментите, умножен по дълбочината на помещението. Този отстъп гарантира, че помещенията са правилно подравнени по фасадата, без да се припокриват.

Цикличният процес продължава, докато всички сегменти не бъдат оценени и крайната фасадна композиция – с разположенията на помещенията и всички релевантни проектни показатели – бъде напълно дефинирана.

Този процес предоставя ефективен и гъвкав подход към параметричното архитектурно проектиране, като позволява бързо изследване на различни архитектурни решения, и същевременно поддържа висока точност и адаптивност в целия процес на проектиране. Комбинацията от параметрично моделиране, итеративна оценка и обратна връзка в реално време подпомага оптимизиран работен процес, който повишава както скоростта, така и прецизността на архитектурното планиране [11].

4. Резултатите

Изследването представя оригинален алгоритмичен метод за подпомагане на жилищното проектиране в етапа на предпроектните проучвания, който съчетава пространствени, икономически, екологични и нормативни фактори. Той е ефективно и гъвкаво средство за бързо изследване на различни архитектурни решения, което поддържа висока точност и адаптивност към променящите се параметри на средата в хода на процеса на проектиране.

Автоматизираното генериране на схематични разпределения представлява бърз метод за изпробване на различни типологични схеми – полигонални, коридорни или секционни, с едностранна или с двустранна ориентация. Той дава възможност за оптимизиране на комуникационните площи, функционалността и ефективността на разпределенията. С помощта на създадения алгоритъм могат да се изследват множество типологични схеми с различна организация на вертикалните и хоризонталните комуникации. Заложенияте математически зависимости позволяват автоматична промяна на конфигурациите при смяна на входните параметри. Създадени са множество итерации, въз основа на които се тестват различни варианти, за да се намери най-доброто решение. По този начин проектантът може да използва бързината и капацитета на компютъра, за да изследва различни опции, преди да избере онези от тях, които да залегнат в основата на по-нататъшната разработка на инвестиционния проект.

Възможността за динамична промяна на параметрите, без това да се отрази на интегритета на модела, включително след приключване на целия цикъл от операции, осигурява контрол върху пространствената организация и типологията на сградата. Цикличността на процеса води до оптимизация на решението и усъвършенстване на итерациите. Комбинацията от параметрично моделиране, итеративна оценка и обратна връзка в реално време помага за повишаване на ефективността на работния процес. Тя увеличава бързината и прецизността на архитектурното проектиране в първоначалния етап, когато времето за проучване и адекватността на предлаганите варианти са от особено значение [12].

Работата с предварително определени входни параметри гарантира състоятелност на проектните решения от гледна точка на стандарти и нормативни изисквания. Включването на параметри като ориентация на максимален брой жилища към

благоприятното изложение може да доведе до оптимизиране на формата на сградата, така че да се намалят разходите за енергия.

Подходът, базиран на параметри и алгоритми, може да бъде прилаган в различен контекст. За целите на изследването той е използван в абстрактна среда, но може да се използва за предпроектни проучвания на конкретен имот и да бъде съобразен със специфичните дадености на природната или застроената среда, както и с друг тип пространствени данни, получени от геодезически измервания.

5. Заключение

Процедурният подход за генериране на жилищни единици по контурна линия с използване на стандартни широчини на помещенията се оказва ефективен и изключително продуктивен. Той предлага на архитектите инструмент, който им позволява да експериментират и прилагат различни параметри и условия в голям мащаб.

Всички операции се извършват в САД среда, което улеснява безпроблемната интеграция с традиционния процес на проектиране. Веднъж създадена, геометрията на сградите може да бъде използвана като входни данни за допълнителни симулации, свързани с екологичния отпечатък и енергийната консумация.

Алгоритъмът има ограничения при работа с множество от полигонални контурни линии, въведени като единичен входен параметър. Това е област за бъдещи подобрения, които могат да бъдат адресирани в следващите версии.

Резултатите от този етап на изследването включват анализиране на типологичните схеми, нормите, изискванията и спецификата за тяхното проектиране, систематизиране на събраната информация и имплементирането ѝ в работещ алгоритъм.

По-нататъшните изследвания могат да бъдат насочени към разработването на допълнителни функционалности на алгоритъма. На този етап резултатите от итерациите на проектните решения са оценени въз основа на професионалния проектантски опит на архитектите. Алгоритъмът може да бъде допълнен с функционалности, даващи възможност оценката да бъде направена автоматично, въз основа на предварително дефинирани критерии като икономическа целесъобразност, екологична устойчивост и др.

Резултатите от проекта показват ползата от прилагането на параметрични методи, особено в ранните етапи на проектиране, за намиране на алтернативни и разнообразни варианти, излизащи извън еднообразието на шаблона. Те осигуряват бърз и адекватен отговор на необходимостта от информация относно възможностите за застрояване на определена територия в рамките на поставените ограничения. Обратната връзка е незабавна и подпомага процеса на информирано вземане на решения.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-304/2024 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nanova, M. Prilozhenie na digitalni generativni metodi na projektirane v zhlishtnata arhitektura. Doklad na Natsionalna nauchno-prakticheska konferentsia „Digitalni tehnologii v arhitekturata, dizayna i vizualnite izkustva“ 27-28 april 2023, NBU, ISSN: 2815-5211, Sbornik dokladi, Izdatelstvo na NBU, 2023.*

2. *Nanova, M.* Arhitektura i tehnologii – savremenni perspektivi pred zhilishnata arhitektura. Doklad na Mezhdunarodna yubileyna nauchna konferentsia „80 godini UASG“, 9-11, noemvri, 2022., UASG, Sofia // Godishnik na UASG, t. 56, br. 2, 2023, ISSN 2534-9759.
3. *Weber, R. E., Mueller, C., Reinhart, Ch.* Automated floorplan generation in architectural design: A review of methods and applications. s.l: Automation in Construction, 2022, Vol. 140. ISSN 0926-5805.
4. *Pengzhi Li, Baijuan Li, Zhiheng Li.* Sketch-to-Architecture: Generative AI-aided Architectural Design, 2024, <https://arxiv.org/abs/2403.20186>.
5. *Damov, D.* Parametrichno modelirane na kinetichna fasada – presazdavane na zasenchvashtite elementi na Al Bahar Towers. Abu Dabi, Obedineni Arabski Emirstva, Sofia, // Godishnik na UASG, ISSN 2534-9759, tom 54, broy 1, 25 – 40, 2021.
6. *Gero, J. S.* Design Prototypes: A Knowledge Representation Approach to Computer-Aided Design. AI & Society.
7. *Georgiev, M.* Arhitekturno modelirane chrez digitalni instrumenti – vazmozhnosti za vklyuchvane v nay-rannite fazi na proektirane. Sofia, // Godishnik na UASG, ISSN 2534-9759, tom 55, broy 4, 609 – 615, 2022.
8. *Genova, B.* 2010. Apartment Buildings. ISBN 978-954-90993-8-6.
9. *Kolarevic, B.* Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. 2004.
10. *Mukkavaara, J., Sandberg, M., Buildings.* Architectural Design Exploration Using Generative Design: Framework Development and Case Study of a Residential Block, 2020.
11. *Oxman, R.* Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. s. l. : Design Studies, Vol. 5, ISSN 0142-694X, 2017.
12. *Mironski, N.* Metodologiq na arhitekturnoto proektirane. Sofia, Studio 17,5-M, ISBN: 978-619-91051-2-2, 2018.

OPTIMIZING THE HOUSING DESIGN PROCESS THROUGH ALGORITHMIC METHODS

M. Nanova¹, M. Georgiev², D. Damov³

Keywords: parametric modeling, generative design, algorithmic design, residential architecture

ABSTRACT

This article is part of a research project titled “Optimizing the Housing Design Process Through Automated Technologies”, under contract number BN-304/24, financially supported by the Research and Design Center at the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG). The paper explores methods for automating the residential design process

¹ Milena Nanova, Assoc. Prof. Dr. Arch., Dept. “Residential Buildings”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: m_nanova_far@uacg.bg

² Martin Georgiev, Chief Assist. Prof. Dr. Arch., Dept. “Residential Buildings”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: mgeorgiev_far@uacg.bg

³ Damyan Damov, Chief Assist. Prof. Dr. Arch., Dept. “Residential Buildings”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: damov_far@uacg.bg

using algorithms and investigates their potential application in generating alternative development solutions within the framework of existing urban planning parameters. Algorithms have been developed for the generation of various typological schemes and the evaluation of their efficiency. An interdisciplinary approach has been employed, combining the advantages of integrating geodetic data to examine design proposals for specific plots and to assess their compliance with urban planning regulations. The study demonstrates in practice how the use of digital tools contributes to a detailed analysis of residential development opportunities and supports informed decision-making based on thorough evaluation of available design options.