УНИВЕРСИТЕТ
ПО АРХИТЕКТУРА
СТРОИТЕЛСТВО
И ГЕОДЕЗИЯ

АРХИТЕКТУРЕН ФАКУЛТЕТ

ДОКТОРСКА ПРОГРАМА/НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ: „СИНТЕЗ НА АРХИТЕКТУРАТА С ДРУГИТЕ ИЗКУСТВА, ИНТЕРИОР И АРХИТЕКТУРЕН ДИЗАЙН“

КАТЕДРА „ИНТЕРИОР И ДИЗАЙН ЗА АРХИТЕКТУРАТА“

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд на тема

Визуална сложност и простота: Апериодични модели и геометрия от традиционната персийска архитектура в контекста на съвременния модулен дизайн.

за присъждане на образователна и научна степен

« доктор »

арх. Парса Сохи

Научен ръководител: доц. д-р арх. Елица Иванова

София, 2025 г.

Административна справка

Дисертационният труд съдържа 183 страници и е структуриран в четири основни части. В основния текст са представени общо 108 фигури (схеми, чертежи, визуализации, фотографии, графики, снимки), от които 27 авторски. Библиографията обхваща 110 заглавия, включващи книги, статии от научни конференции, електронни източници на информация, като подкасти и видеа.

Докторантът е зачислен за редовно обучение към катедра „Интериор и дизайн за архитектурата“, Архитектурен факултет в УАСГ, по научна специалност "Синтез на архитектурата с другите изкуства, интериор и архитектурен дизайн“ със заповед на Ректора 163/08.03.2022 г. Докторантът е отчислен с право на защита със заповед на Ректора № 200/07.03.2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и е насрочено откриване на процедура за защита пред разширен катедрен съвет на катедра „Интериор и дизайн за архитектурата“ на 30.09.2025 и е насочен към защита със заповед № 764 от 10.10.2025г. на Ректора на УАСГ.

Защитата на дисертационния труд ще се проведе на 05.02.2026г. от 16.00 часа в зала № 211 (Корпус А) на УАСГ.

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ 1
Обект 1
Тема 1
Цел 2
Работна хипотеза 2
Задачи 2
Обхват 3
Методология 3
Актуалност 4
Заключение (на въведението) 4
Практическо приложение 4
Въпроси за дискусия с отговори 5
Изясняване на терминологията 8
ГЛАВА I – ПРОБЛЕМЪТ НА МОДУЛНИЯ ДИЗАЙН 11
Въведение към Глава I 11
1.1 Исторически контекст на модулната архитектура 12
1.1.1 Римски акведукт, Сеговия, Испания (1 в. сл. Хр.) ... 12
1.1.2 Системи от плочки Гирих и символика 13
1.1.3 Сводът Мукарнас в Шах джамия, Исфахан, Иран (1611–1629) 17
1.1.4 Nakagin Capsule Tower, Токио, Япония (1972) 19
1.1.5 Съветски панелни жилищни блокове (панелки) - средата на 20-ти век 20
1.2 Недостатъци на модулния дизайн 21
1.2.1 Монотонност и естетически ограничения 21
1.2.2 Културна хомогенизация 22
1.3 Модулен дизайн в ерата на параметричните инструменти и Изкуствения Интелект - ИИ 23

1.3.1 Работни процеси, управлявани от Изкуствен Интелект - ИИ в дизайна 23
1.3.2 Критични перспективи 24
Заключение на Глава I 25
ГЛАВА II – ПОТЕНЦИАЛИТЕ НА АПЕРИОДИЧНИТЕ ШАБЛОНИ . 26
Въведение към Глава II 26
2.1 Апериодичност в персийско-ислямската архитектура 27
2.1.1 Джамия Джаме, Язд, Иран (IX–XVI век) 27
2.1.2 Дарб-е Имам, Исфахан, Иран (1453) 29
2.2 От персийски геометрични модели до квазипериодичност: Структурирана вариация като мост между занаята и математическата теория 30
2.3 Математически апериодични открития 33
2.3.1 Йоханес Кеплер 33
2.3.2 Роджър Пенроуз (1970-те) 34
2.3.3 Дан Шехтман (1984) 37
2.4 Приложни казуси: Студентски проекти от УАСГ 39
2.4.1 Програма от мебели за обзавеждане на градска среда – Мариана Близнакова, Фак. № 11148 и Гергана Тодорова, Фак. № 11024. Ръководител на проек – арх. П. Сохи 39
Заключение на Глава II 43
ГЛАВА III – ИНТЕГРАЦИЯ И СЪВРЕМЕННИ ПРИЛОЖЕНИЯ 45
Въведение към Глава III 45
3.1 Интегриране на апериодични системи с параметрични инструменти 45
3.1.1 Проектиране с параметрични инструменти 45
3.2 Предимства пред формализма на Изкуствен Интелект - ИИ 49

3.3 Практически Казуси: Апериодичност в различни мащаби 51
3.3.1 Университет Рейвънсбърн, Лондон, Англия - Фасадна система (2010) 51
3.3.2 Апериодичен град на Нийл Денари (2014) 52
3.4 Многомащабна интеграция 53
3.5 Модулна маса за гръцки магазин за хранителни стоки – „Панос“ София, България - Апериодична Моно-плочна Маса за Вино 54
3.5.1 Плочката „Einstein“ — откъдето започва историята на Моно-плочката 55
3.5.2 Характеристики на плочката Шапка 56
3.5.3 Плочка (1, 1), „Spectre“ - (Призрак) 57
Заключение на Глава III 64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 65
ПРИНОСИ 68
ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ 69
ПОТЕНЦИАЛ ЗА БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ НА НАУЧНИЯ ТРУД 71
КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ТРУДА 72
АВТОРСКИ СТАТИИ, НАПРАВЕНИ ПО ТЕМАТА НА НАСТОЯЩИЯ ТРУД 74

ВЪВЕДЕНИЕ

Архитектурата винаги е била разкъсвана между два полюса: стремежът към ефективност и търсенето на културно и естетическо богатство. Модулният дизайн, който се е появил като рационален и индустриален отговор на строителните изисквания, предлага неоспорими предимства по отношение на цена, скорост и мащаб. И все пак, самата му зависимост от повторение често води до визуална монотонност и липса на културен резонанс. За разлика от това, традиционната персийска архитектура демонстрира как геометричните системи могат да комбинират ред и вариации, простота и сложност, за да създадат трайно богати дизайнерски езици. Успоредно с това, съвременната математика е открила апериодични системи за подреждане, като например плочките на Пенроуз, които по подобен начин постигат структурирано неповторение. Тази дисертация изследва как тези две наследства - персийската геометрия и математическата апериодичност могат да информират за нов подход към модулния дизайн, който е едновременно ефективен и ориентиран към човека, предоставяйки алтернатива на монотонността на периодичните системи и отчуждението на чисто параметричния дизайн и задвижван от изкуствен интелект дизайн.

Обект

Обект на изследването е модулната архитектура, разглеждана през призмата на визуалната сложност и простота, и потенциала на геометрията да обогати нейните изразителни и функционални възможности.

Тема

Предмет на изследването е интегрирането на апериодични системи за подреждане на плочки – както традиционни (персийско-ислямска геометрия), така и съвременни математически (плочки на Пенроуз, квазикристали,

моноплочки) в съвременния модулен дизайн като метод за преодоляване на монотонността и повишаване на адаптивността.

Цел

Целта на дисертацията е критично да се анализират ограниченията на модулната архитектура и да се демонстрира как апериодичните системи могат да осигурят иновативни, устойчиви и културно вградени алтернативи, които балансират реда и вариациите.

Работна хипотеза

Работната хипотеза е, че апериодичните системи за облицоване, независимо дали произлизат от персийските архитектурни традиции или от съвременната математика, предлагат уникален баланс между простота на модулно ниво и богатство на композиционно ниво. Тяхната структурирана променливост представлява жизнеспособна алтернатива на монотонната периодична модулност и на абстрактния формализъм на параметричния и генериран от изкуствен интелект дизайн.

Задачи

За постигане на заявената цел са формулирани следните изследователски задачи:

1. Да се направи преглед на теоретичното развитие на модулния дизайн и да се очертаят неговите предимства и недостатъци.

2. Да се изследва ролята на математиката и геометрията в архитектурната теория и практика.

3. Да се анализират примери от персийско-ислямска архитектура и да се идентифицират принципите на апериодичност.

4. Да се изучат математически модели на апериодичност (пенроузови плочки, квазикристали и др.) и да се оценят техните архитектурни значения.

5. Да се сравнят периодични и апериодични модулни системи по отношение на естетика, адаптивност и ориентиран към човека дизайн.

6. Да се представят приложни казуси, включително студентски проекти, които експериментират с апериодично подреждане на плочки в съвременен контекст.

7. Да се предложат интегративни рамки за прилагане на апериодични методи на проектиране в архитектурата, интериора и продуктовия дизайн.

Обхват

Обхватът на дисертацията представя исторически, теоретични и приложни аспекти на архитектурната геометрия. Тя е ограничена до модулни системи, където геометрията директно влияе върху дизайнерските стратегии, като се фокусира върху казуси от персийската архитектура, математическа апериодичност, студентски експериментални проекти и избрани съвременни примери.

Методология

Методологичният подход съчетава:

• **Исторически анализ** на персийско-ислямската архитектура и нейната орнаментална геометрия.

• **Математическо изследване** на апериодични плочки, квазикристали и свързани геометрични теории.

• **Сравнителен анализ** между периодични и апериодични модулни системи.

• **Метод на казус**, приложен както към исторически паметници, така и към съвременни примери (фасада на университета Рейвънсбърн, маса Омбра, паваж Оксфорд и др.).

• **Приложно изследване** чрез интегриране на студентски проекти, разработени в рамките на УАСГ, тестване на различни модели плочки в дизайнерски предложения.

• **Критична оценка** на генеративния дизайн, задвижван от изкуствен интелект, като контрастна парадигма.

Актуалност

Актуалността на изследването произтича от две събирателни предизвикателства в съвременната архитектура: визуалната монотонност на модулното повторение и нарастващото господство на параметричния и базирания на изкуствения интелект дизайн, което често води до недостъпни и културно откъснати форми. Чрез повторно въвеждане на апериодични системи, основани както на културната традиция, така и на съвременната математика, тази дисертация предлага път към човекоцентриран и иновативен модулен дизайн.

Заключение (на въведението)

Това изследване допринася за архитектурната теория и практика, като свързва историческата персийска геометрия, математическите открития и съвременните дизайнерски нужди. То демонстрира, че апериодичните системи могат да предложат не само естетическо богатство, но и адаптивност и устойчивост, което ги прави изключително актуални за бъдещето на модулната архитектура.

Практическо приложение

Резултатите от дисертацията могат да бъдат приложени в множество мащаби: в архитектурни фасади, модулни системи за интериори, дизайн на мебели и градски обществени пространства. Включването на студентски проекти демонстрира непосредствения образователен и експериментален потенциал на подхода, докато казуси илюстрират неговата приложимост в професионалната практика.

Въпроси за дискусия с отговори

1. **Как модулният дизайн може да съчетае своята индустриална ефективност с необходимостта от културно изразяване и визуално богатство?**
   Модулният дизайн може да постигне както ефективност, така и богатство чрез въвеждане на контролирани вариации в систематична рамка. Апериодичното подреждане на плочки предлага точно този баланс: модулите остават стандартизирани за производство, но техните комбинации водят до неповтарящи се, визуално ангажиращи резултати.
2. **До каква степен апериодичните системи за облицовка, произлизащи от персийската архитектура, могат да бъдат адаптирани към съвременния контекст, без да загубят своята автентичност?**
   Персийските системи за облицовка са вкоренени както в математическата логика, така и в културната символика, което им позволява да бъдат преосмислени без повърхностно имитиране. Като се фокусират върху генеративната геометрия, а не върху орнаменталното възпроизвеждане, дизайнерите могат да запазят автентичността, като същевременно адаптират принципите към нови материали, мащаби и функции.
3. **Какви са предимствата и ограниченията на прилагането на математически модели като облицовките на Пенроуз в архитектурната практика?**
   Математическите модели осигуряват прецизност, мащабируемост мащабност и присъщо богатство, което се бори с монотонността. Те обаче могат да бъдат и сложни за прилагане на практика, изисквайки усъвършенстван софтуер или техники за производство, и могат да създадат риск от

естетическа свръхинтелектуализация, ако са откъснати от културния или функционалния контекст.

4. **Параметричният дизайн и дизайнът с изкуствен интелект едно и също нещо ли са и как тази дисертация интерпретира ролята им в съвременната архитектура?**

   Параметричният дизайн и дизайнът с изкуствен интелект често се групират под шапката на компютърния дизайн, но те не са едно и също нещо. Параметричният дизайн е система, базирана на правила, където архитектът определя параметри и ограничения, а компютърът генерира вариации в рамките на тези граници. Дизайнът с изкуствен интелект, за разлика от тях, е задвижван от данни: той използва машинно обучение или генеративни модели, за да предложи резултати въз основа на модели, взети от огромни бази данни. Те споделят сходства: и двете целят да разширят пространството за проектиране, и двете могат да генерират множество решения бързо, и двете все по-често се комбинират в хибридни работни процеси. Те обаче се различават фундаментално по авторството: параметричният дизайн е прозрачен и се контролира от дизайнера, докато дизайнът с изкуствен интелект често функционира като „черна кутия“, произвеждайки резултати, които могат да изненадат дори неговите създатели. По принцип и двете системи могат да се използват за опростяване и оптимизиране на дизайна, например за подобряване на енергийната ефективност, за намаляване на разходите или за стандартизиране на модулни компоненти. И все пак, в контекста на тази дисертация, параметричният дизайн и дизайнът с изкуствен интелект се третират като методи, използвани предимно за създаване на изключително сложни, формално впечатляващи и трудни за производство обекти. Това е версията на

компютърния дизайн, която е най-видима в архитектурния дискурс: сгради и проекти, проектирани за „уау ефект“, често възхвалявани заради своята новост, но критикувани заради липсата на културна основа и практичност. По този начин, когато тази дисертация споменава „AI дизайн“ или „параметричен дизайн“ в следващите глави, тя се фокусира върху този режим, задвижван от сложността – дизайн, който дава приоритет на визуалното въздействие и формалното експериментиране, за разлика от апериодичните модулни системи, които целят да балансират ефективността, адаптивността и културния резонанс.

5. **Как апериодичната модулност се сравнява с дизайна, задвижван от изкуствен интелект, по отношение на достъпност, устойчивост и контрол от страна на архитекта?**

   Апериодичната модулност дава възможност на архитектите да запазят авторството, като работят с ясни, базирани на правила системи, докато изкуственият интелект често измества контрола към алгоритмите. Освен това, апериодичните плочки могат да се прилагат с относително прости средства, което ги прави по-устойчиви и достъпни в сравнение с изискващите много ресурси вериги за проектиране с изкуствен интелект.

6. **Какви са образователните последици от въвеждането на апериодична геометрия в архитектурните учебни програми и студийни проекти?**

   Въвеждането на апериодична геометрия насърчава критичното мислене за връзката между математиката, културата и дизайна. То също така предоставя на студентите гъвкави дизайнерски стратегии, които свързват традицията и иновациите. Това е показано в студентските проекти в УАСГ,

които превърнаха геометричните системи в градско обзавеждане и интериорни системи.

Изяснение на терминологията

• **Апериодично подреждане на плочки**: Геометрична система, която покрива повърхност без празнини или припокривания, но никога не се повтаря периодично, напр. плочки на Пенроуз.

• **Гирих плочки**: Набор от пет форми на плочки, използвани в персийската архитектура за генериране на сложни неповтарящи се модели.

• **Дизайн, базиран на изкуствен интелект (AI design)**: Дизайнерски подход, който използва изкуствен интелект и модели, базирани на данни, за генериране на сложни архитектурни форми, често произвеждащи непредсказуеми и визуално впечатляващи резултати.

• **Дизайн, ориентиран към човека**: Подход, който набляга на достъпността, културната основа и потребителското изживяване в архитектурната практика.

• **Квазикристали**: Атомни структури, открити през 80-те години на миналия век, които показват подредени, но неповтарями подредби, аналогични на апериодичните плочки.

• **Модулен дизайн**: Архитектурен подход, базиран на повтарящи се, стандартизирани единици (модули), които могат да бъдат комбинирани в по-големи структури.

• **Мукарнас**: форма на триизмерен орнаментиран свод в персийската архитектура, съставен от малки призматични клетки.

• **Периодично подреждане на плочки**: Геометрична система, при която даден модел се повтаря редовно в пространството.

• **Промпт**: Текстова, визуална или друга форма на вход (инструкция), използвана за насочване на системи с изкуствен интелект към генериране на конкретно съдържание или поведение. Качеството и структурата на промпта определят степента на контрол върху резултата, като позволяват създаването на прецизни, сложни или творчески отговори в различни области — от архитектурен дизайн до визуални изкуства и езиково моделиране.

Дисертацията е структурирана в три основни части:

- преглед на модулната архитектура и нейните предимства и ограничения в контекста на съвременната практика;
- анализ на потенциала на апериодичните модели, както в рамките на традиционната персийска геометрия, така и в откритията на съвременната математика;
- изследване на интеграционни стратегии, които прилагат тези принципи към съвременния модулен и параметричен дизайн, подкрепено от избрани казуси, студентски проекти и изработка на модулен елемент за интериорно обзавеждане.

ГЛАВА I – ПРОБЛЕМЪТ НА МОДУЛНИЯ ДИЗАЙН

Въведение към Глава I

Модулният дизайн отдавна се счита за едно от най-прагматичните решения в съвременната архитектура. Неговата предпоставка е проста: чрез стандартизиране на строителните елементи в повтарящи се единици, строителството може да стане по-бързо, по-евтино и по-предсказуемо. Това обещание за ефективност прави модулните системи основа за индустриалния модернизъм и продължава да определя практиката днес.

Модулността е като „продуктизация“ на архитектурата, при която сградите се сглобяват със същата логика като произведените стоки (R. E. Smith 2010). Архитектурата вече не се третира като уникално, еднократно майсторство, а като система, която може да бъде стандартизирана, репликирана и разпространявана.

По подобен начин може да се сравнява модулното строителство с автомобилната индустрия, застъпвайки се за „масова персонализация“, където стандартизираните единици позволяват разнообразие (Stephen Kieran 2003). Чрез заимстване от други производствени сектори, архитектурата може да премине отвъд простото повторение и да се превърне в система, която балансира ефективността с разнообразието. Тази идея поставя началото на много от днешните изследвания на модулните системи, където сглобяемите компоненти обещават както бързина, така и адаптивност.

И все пак, наред с тези обещания, критиците отдавна предупреждават за недостатъците на модулността. Модулните системи често намаляват формалното разнообразие от типове сгради, което води до среди, които могат да изглеждат еднородни и повтарящи се (Steadman 2014). Много респонденти все още свързват модулните сгради с кутиеобразно повторение и слаба идентичност,

потвърждавайки, че възприятията за монотонност остават широко разпространени (Boafo, Kim and Kim 2016).

Следователно, това, което се очертава, е напрежение в основата на модулния дизайн. От една страна, той предлага неоспорими предимства: бързина, ефективност, устойчивост и достъпност. От друга страна, той се бори да преодолее репутацията си на монотонност и културно откъсване. Това напрежение е основата на аргумента на дисертацията, освен ако модулността не може да се развие в система, която балансира ефективността с визуланото богатство, повторението с разнообразието и стандартизацията с културната основа, тя ще остане в капана на този парадокс. Тази глава разглежда този казус в четири стъпки:

• проследяване на **историческия фон** на модулната архитектура;

• разглеждане на нейните **предимства** (ефективност, гъвкавост, устойчивост);

• обсъждане на неговите **недостатъци** (монотонност, хомогенизация, психологическо въздействие);

• поставянето ѝ в контекста на **изкуствения интелект и параметричните инструменти**, които обещават разнообразие, но повдигат нови културни и етични въпроси.

1.1 Исторически контекст на модулната архитектура

Концепцията за модулност е дълбоко вкоренена в историята на архитектурата, много преди индустриалната революция да ѝ придаде съвременна форма.

1.1.1 Римски акведукт, Сеговия, Испания (1 в. сл. Хр.)

Римските строители прилагат тези идеи **прагматично**. Акведуктите, амфитеатрите и базиликите на Римската империя демонстрират ранна форма на модулно мислене. Тухлите, арките и колоните са стандартизирани по

размер, за да могат да бъдат масово произвеждани и сглобявани в обширните територии на империята. Това създава ефективност в строителството, като същевременно гарантира, че римската инфраструктура носи разпознаваема и последователна архитектурна идентичност.



Фигура № 1: Римски акведукт, Сеговия, Испания (I век сл. Хр.)

WORLD MONUMENTS FUNDS. Aqueduct of Segovia. Архив на проекта.

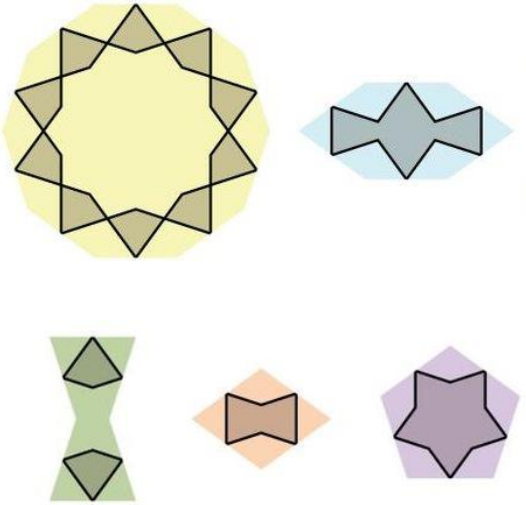
1.1.2 Системи от плочки Гирих и символика

В персийската архитектура модулните системи постигат както **ефективност**, така и **символика**. Системите от плочки Гирих, базирани на краен набор от полигони, могат да бъдат комбинирани, за да се получат сложни, неповтарящи се звездни модели (Critchlow 1983). Тези модулни геометрии могат да бъдат комбинирани, за да се създадат привидно безкрайни неповтарящи се модели, предлагащи визуално богатство, като същевременно поддържат структурен ред. Важно е, че те носят символично значение: единство и многообразие, ред и безкрайност. По този начин

модулността в този контекст е не само практична, но и космологична, вграждайки архитектурата в по-широк мироглед.

Системата от плочки **Гирих** е едно от най-забележителните постижения на персийското геометрично изкуство. Думата гирих (фарси: گره) означава „възел“ и се отнася за линиите от лентички, които се преплитат през шарките. Този метод на създаване на шарки се развива в персийския свят, набирайки скорост през периодите на **Илханид** и **Тимурид** (XIII-XV в.) и достига върхна точка в паметници като светилището Дарб-е Имам в Исфахан (1453) (L. S. Eriksson 2021).

В основата на системата е набор от **пет плочки**: десетоъгълник, петоъгълник, шестоъгълник, папийонка и удължен шестоъгълник. Всяка плочка е начертана с линии, така че, когато плочките са поставени от край до край, линиите се свързват безпроблемно в по-големи геометрични шарки. Чрез комбиниране и повтаряне на тези модули, занаятчиите могат да създават композиции с голяма сложност, без да се налага да проектират цялата повърхност на ръка (Prange and Lu 2009).



Фигура № 2: Графично изображение на шарката на плочките Гирих (показваща петте основни форми)

L. S. Eriksson, The Short Tiles Category 2022

Правилата са прости, но ефективни. Плочките са пропорционирани така, че линиите им да се срещат под специфични ъгли, често кратни на 36° и 72°, отразявайки геометрията на десетоъгълника и връзката му със златното сечение. Когато се сглобят, те образуват звездни шарки, розетки и преплетени решетки, които могат да се простират безкрайно по стена, купол или свод – винаги разнообразни, но винаги последователни (L. Eriksson n.d.).



Фигура № 3: Кутии за бижута „Khatam“, украсени с гирих мотиви

Колекция Persis. Chovgan Khatam Kari.

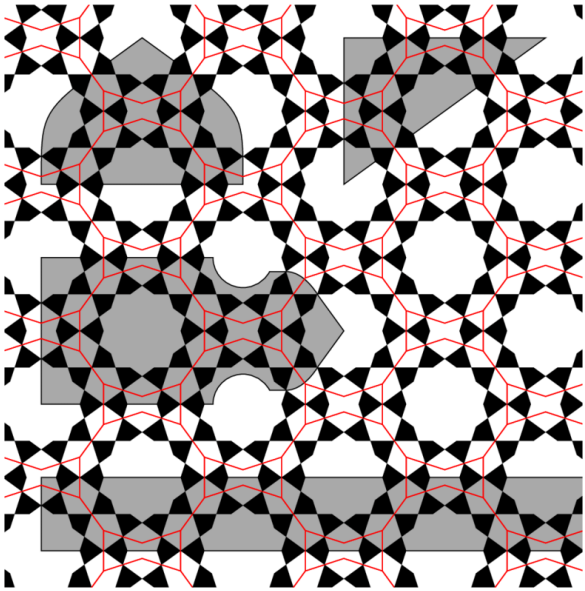
Един от най-трайните символи в персийската култура е **нарът**. Плодът отдавна се свързва с рая, божествената благословия, плодородието и единството (Surfiran, 2021). В изкуството на **Ахеменидите** и **Сасанидите**, царете често са изобразявани да държат нарове като символ на изобилие и вечен живот, а по-късната персийска поезия и орнаментика продължават да черпят от многопластовото значение на плода. Когато нарът се отвори, плътно обвитите семена разкриват решетка от повтарящи се, но неидентични отделения. Тази естествена структура поразително прилича на плочките **Гирих**. За персийските майстори плодът от небето е бил не само символ, но и **естествено вдъхновение**, отразяващо същите принципи на единство и многообразие, които са в основата на тяхното геометрично изкуство.



Фигура № 4: Разрязан нар, за да се разкрие вътрешната структура на семената

Evolving Table. „How to Cut a Pomegranate“

За строителите и декораторите, **Гирих** е предлагал ясни предимства. Това е бил **практичен метод** и **визуално ефективен**. И е бил **символично зареден**, отразявайки идеи за единство, безкрайност и космически ред, които преминават през персийската философия и естетика.



Фигура № 5: Подмножества от повсеместния модел Гирих, използван като мащабен дизайн в двустепенни геометрични модели

Peter R. Cromwell Modularity and Hierarchy in Persian Geometric Ornament.

1.1.3 Сводът Мукарнас в Шах джамия, Исфахан, Иран (1611–1629)

Джамията Шах в Исфахан е многопластов паметник, разширяван и преоформян в продължение на шест века под патронажа на Селджукидите, Илханидите, Тимуридите и Сефевидите . Сред най-забележителните му характеристики са **сводовете мукарнас**. Изградени от малки призматични клетки, тези сводове се спускат надолу от куполи и арки, превръщайки структурната повърхност в балдахин тип „пчелна пита“, оживен от светлина и сянка. Всяка единица следва ясни геометрични правила, но когато се умножат, те създават повърхност с ослепителна вариация. Резултатът е дизайн с контролирана сложност: подреден в своята логика, но привидно безкраен във външния си вид (Dokras 2020).

Хафез-е Шираз (1315–1390), един от най-великите представители на средновековната персийска поезия, описва въртящите се небеса като едновременно подредени и капризни, управляващи съдбата, и същевременно предизвикващи игра и чудо. **Омар Хаям (1048–1131)**, персийски поет и универсален учен, известен с приноса си в математиката, астрономията, философията и персийската литература, размишлява върху „въртящия се небесен купол“ и върху напрежението между вечността и човешката краткост. Тези изображения улавят същия баланс, който сводът мукарнас въплъщава: едно-единствено генеративно правило, създаващо безкрайна сложност.

Този принцип е тясно свързан със системата за облицовка с плочки **Гирих**, разработена от персийски майстори от 13 век нататък. Подобно на мукарните, Гирих разчита на краен набор от модули: десетоъгълници, петоъгълници, шестоъгълници, папийонки и удължени шестоъгълници, вписани с линии на плетене. Когато се сглобяват, тези шаблони създават обширни, неповтарящи се шарки с кохерентност по цялата повърхност. Следователно, както

Гирих, така и мукарните демонстрират отчетливо персийски подход към модулността, не механично повторение, а вариация, структурирана от геометрия. Съвременните мислители подчертават това като по-дълбока културна философия. Сейед Хосейн Наср (1987), ирано-американски академик, философ, теолог и ислямски учен, твърди, че ислямското изкуство проявява божествения ред във видима форма, използвайки геометрията като символичен език, който свързва земното с космическото (Nasr 1987).



Фигура № 6: Сводът Мукарнас в Шах джамия, Исфахан (1611–1629), поглед отгдолу

Гасем Банеши. Портфолио от Instagram.

Преход

От пропорционалните системи на Витрувий, през римското стандартизирано строителство, персийския модулен орнамент, предварителното строителство на Кристалния

дворец и индустриалните идеали на Баухаус, траекторията е ясна: модулността винаги е била едновременно **практично решение и културно проявление**. Всеки исторически момент е адаптирал модулната логика към своите нужди, независимо дали става дума за изграждане на империя, религиозен символизъм, индустриални иновации или социални реформи. И все пак, както показват следващите раздели на тази дисертация, тази логика е носила и рискове: когато повторението не е балансирано с вариации, модулността може да се отклони към монотонност.

Казуси, илюстриращи тази еволюция:

1.1.4 Nakagin Capsule Tower, Токио, Япония (1972)

Nakagin Capsule Tower, завършена през 1972 г. в квартал Гинза в Токио, е проектирана от архитекта Кишо Курокава като част от японското движение на метаболистите. Сградата се състои от две бетонни сервизни ядра, към които са закрепени 140 отделни сглобяеми стоманени капсули. Всяка от тях е с размери само 2,5 на 4 метра и функционира като самостоятелен микроапартамент, оборудван с вградени мебели и съоръжения (Kisho 1977).

В книгата си „Метаболизъм в архитектурата“ (1977) Курокава описва кулата като прототип за гъвкави, заменяеми жилища в бързо развиващите се градове. (Kisho 1977). Въпреки че капсулите никога не са били подменени както е предвидено, и сградата в крайна сметка е изпаднала в окаяно състояние (разрушена през 2022 г.), но нейното значение остава.



Фигура № 7: Nakagin Capsule Tower, Токио (1972), сменяеми капсулни единици

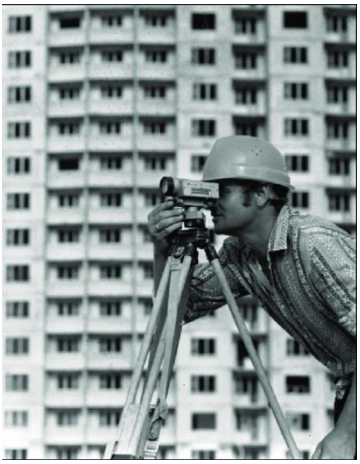
ArchDaily. „AD Classics: Nakagin Capsule Tower / Kisho Kurokawa“

1.1.5 Съветски панелни жилищни блокове (панелки) - средата на 20-ти век

Масово произвежданите панелни сгради (панелки) се появяват в Съветския съюз през 50-те и 60-те години на миналия век в отговор на острия недостиг на жилища след Втората световна война. Изградени от големи бетонни панели, тези блокове са били сглобявани бързо и евтино, осигурявайки на милиони съветски граждани апартаменти по време на ерата на Хрушчов (1953–64).

панелките да стандартизират живота в целия СССР, те също така стандартизират и преживяването, заличавайки регионалните различия и създавайки архитектура на „еднаквост“ (Malaia 2020). Панелките са били идентични, независимо дали са в Москва, Минск или Владивосток, засилвайки образа на Съветския съюз като единен колектив за сметка на индивидуалността.

Съвременните архитектурни критици, преразглеждат панелките, за да подчертаят ролята им на идеологически проект: ефикасен, рационален, но лишен от орнаменти и символика (Hatherley, Militant Modernism 2009).



Фигура № 8: Съветски панелни жилищни блокове, масово произвеждани в средата на 20-ти век

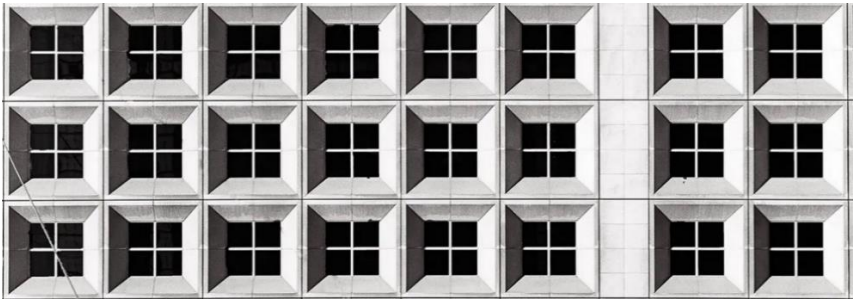
Kateryna Malaia, A Unit of Homemaking: The Prefabricated Panel and Domestic Architecture in the Late Soviet Union.

1.2 Недостатъци на модулния дизайн

1.2.1 Монотонност и естетически ограничения

Макар и ефикасно, модулното повторение може да доведе и до визуална умора, феномен, добре документиран в архитектурните изследвания. Модулните и сглобяемите системи често намаляват формалното разнообразие на типовете сгради, което води до застроена среда, която изглежда еднообразна и повтаряща се (Steadman 2014). В градски условия това често се превръща в жилищни комплекси или офис блокове, които изглеждат монотонни. Там окото среща един и същ модул, повтарящ се безкрайно с малко облекчение или диференциация.

Това възприятие не се ограничава само до архитектурните критици. **Общественото мнение често свързва модулните сгради с „кутийно еднообразие“** (Boafo, Kim и Kim 2016). Жителите често описват модулните жилища като ефикасни, но невдъхновяващи, решение, на проблема с количеството за сметка на качеството.



Фигура № 9: Повтаряща се модерна модулна фасада, илюстрираща предизвикателствата на еднообразието

Bousquet, B. (Benjamin Bousquet). Flickr (Creative Commons).

Проблемът не е в самата модулност, а в начина, по който тя се прилага. Когато модулите се третират като идентични и безкрайно повтарящи се, монотонността е неизбежна. Когато обаче се рекомбинират или адаптират, модулността може да създаде богатство. Този контраст подчертава един от централните аргументи на дисертацията: **логиката на проектиране на модулните системи трябва да еволюира от повторение към структурирана вариация**. Апериодичните геометрии, разгледани в Глава II, предлагат именно тази възможност, като осигуряват съгласуваност без глобално повторение.

1.2.2 Културна хомогенизация

Стремежът към стандартизация на сглобяемите панели рискува да доведе до създаването на сгради, които изглеждат сходни в различни контексти, намалявайки чувствителността към местния характер и традиции (Gibb 1999). Тази критика подчертава едно от централните културни ограничения на индустриализираното строителство: когато модулите са проектирани единствено за ефективност и лекота на производство, те са склонни да игнорират регионалните традиции, материали и идентичности, които придават на архитектурата усещане за място.

Същият проблем се наблюдава и в части от Западна Европа, където следвоенните схеми за сглобяемо строителство дават приоритет на бързото изпълнение пред културното изразяване. Жилищен блок в Източен Берлин може, по форма и фасада, да е неразличим от такъв във Варшава или Прага. Това, което е спечелено в скорост и количество, често нанася вреда на местната индивидуалност.



Фигура № 10: Сглобяеми жилищни блокове в Пекин, показващи еднообразни фасади, сравними със съветските панелки

The Architect's Newspaper. „MAD Architects unveils Baiziwan, a 12-building affordable housing development in Beijing“

1.3 Модулен дизайн в ерата на параметричните инструменти и Изкуствения Интелект - ИИ

Компютърният дизайн предефинира модулността. Там, където някога модулните системи разчитаха на фиксирано повторение, съвременните инструменти позволяват системи, базирани на правила, които генерират вариации в рамките на съгласуваност. Вместо да повтарят идентични единици, параметрите и алгоритмите могат да дефинират връзките между компонентите, правейки цялостната форма адаптивна, като същевременно остава модулна по логика.

1.3.1 Работни процеси, управлявани от Изкуствен Интелект - ИИ в дизайна

Докато параметричният дизайн е фундаментално базиран на правила, изкуственият интелект въвежда различен подход – такъв, който е управляван от данни. Вместо архитектът изрично да кодира правилата, системите с ИИ учат модели

от големи набори от данни и генерират предложения, които отразяват тези научени взаимовръзки. Тази промяна представлява едновременно възможност и предизвикателство за модулния дизайн.

Изчисленията са се преместили от ера на параметрични данни, базирани на правила, към такава, в която алгоритмите и ИИ могат да генерират резултати **без изрични инструкции от дизайнера** (Carpo 2017). Макар това да позволява безкрайни вариации, то също така рискува да намали ролята на архитекта, тъй като авторството се отстъпва на алгоритъма. В модулен план това може да означава генериране на безкрайни вариации на сглобяеми единици, – но с опасността те да дадат приоритет на формалната новост пред културната или практическата обосновка.



Фигура № 11: Генеративен ИИ за архитектура

Autodesk How generative AI for architecture is transforming design, Stephen Coorlas.

1.3.2 Критични перспективи

Макар тази нова способност да предлага практически неограничени вариации, тя също така рискува **да намали ролята на архитекта като автор**, тъй като машината все по-често взема решения относно формата и резултата. В модулен контекст това поражда опасения, че архитектите

могат да загубят контрол върху дизайнерското намерение, тъй като алгоритмите оптимизират за ефективност или новост без културна или контекстуална чувствителност. По-специално, за модулните системи предизвикателството се състои в овладяването на изчислителната мощност, без да се позволява на ефективността или зрелищността да надделеят над човешките и културните измерения на архитектурата.

Заключение на Глава I

В глава I модулният дизайн се очертава едновременно като решение и като предизвикателство. От една страна, неговите предимства – ефективност в производството и монтажа, гъвкавост в систематизираната рекомбинация и измерими ползи за устойчивост, демонстрирани чрез оценка на жизнения цикъл – обясняват защо той остава централно място в архитектурния дискурс от индустриалната революция до наши дни. Сглобяемостта осигурява скорост, икономии на разходи и предвидимост в контексти, където тези качества са най-спешно необходими, като например жилищни кризи или възстановяване след бедствия.

И все пак, наред с тези силни страни, **постоянните недостатъци** не могат да бъдат пренебрегнати. Еднообразното повторение често води до **монотонност** и намалено морфологично разнообразие в застроената среда. Стандартизираните системи, когато се прилагат без културна чувствителност, допринасят за **културната хомогенизация**, създавайки сгради, които биха могли да съществуват навсякъде и следователно да не принадлежат никъде. Освен това, както показват изследванията в екологичната психология, хомогенните среди могат да отслабят чувството за индивидуалност и принадлежност, повишавайки риска от психологическо отчуждение на личността. Тези недостатъци подкопават социалното и

културно приемане на модулността, дори когато техническите ѝ предимства остават неоспорими.

Параметричният дизайн демонстрира способността си да генерира вариации в модулни системи, кодирайки адаптивност и производителност в повторяеми логики. Съвсем отскоро дизайнът, задвижван от Изкуствен Интелект, предлага възможността за автоматизиране на оформления, оптимизиране на производителността или създаване на нови вариации. Въпреки това алгоритмите рискуват да отчуждят архитектите от творческото авторство. Генерираният от изкуствен интелект дизайн често дава приоритет на зрелищни, формално сложни резултати, откъснати от културното значение (Moussaoui 2025) И в двата случая изчислителният дизайн рискува да се превърне в преследване на новост заради самата нея, наблягайки на „уау“ ефекта, а не на жизнеспособността или идентичността.

Предизвикателството тогава е ясно: да се запази ефективността на модулността, като същевременно се обогатява със сложност, вариации и културна дълбочина.

ГЛАВА II – ПОТЕНЦИАЛИТЕ НА АПЕРИОДИЧНИТЕ ШАБЛОНИ

Въведение към Глава II

Възниква въпросът: **Може ли модулността да запази ефективността си, без да изпадне в еднообразие?**

В тази глава се твърди, че отговорът се крие в апериодични модели – системи от геометричен ред, които избягват повторението, като същевременно запазват съгласуваност. Тези модели имат корени в персийско-ислямската архитектура, формализирани са в съвременната математика и се прилагат все по-често в съвременната дизайнерска практика.

Чрез комбиниране на исторически доказателства, научна теория и практически казуси, тази глава позиционира апериодичността като принцип на проектиране с потенциал за обновяване на модулната архитектура.

2.1 Апериодичност в персийско-ислямската архитектура

Персийската архитектура е едно от най-богатите хранилища на геометрични експерименти. Персийските паметници се отличават с **орнамент от плочки, хармонични пропорции и символична геометрия** (Sheila S. Blair 1996). Тези мотиви не са били просто декоративни, а въплъщават идеи за **космическо единство и безкрайната природа на творението**. Тези елементи, макар и визуално впечатляващи, демонстрират и напреднали математически принципи. За съвременния модулен дизайн тези исторически примери показват как геометрията може **да преодолее монотонността** чрез вграждане на вариации в система от ред, създавайки структури, които са едновременно ефикасни и символично значими.

Тези принципи не са били абстрактни теории, а са получили материален израз в паметниците на Персия. Сгради като джамии, медресета (училища) и дворци показват как занаятчиите са комбинирали строги геометрични правила с фини отклонения, за да постигнат богатство без безредие. Именно в тези произведения балансът между ефикасност, модулност и символична дълбочина се вижда най-ярко.

Този баланс между техническа прецизност и символно богатство може да се види във великите паметници на династията **Сефевиди** (1501–1736) в Исфахан, Иран и отвъд него.

2.1.1 Джамия Джаме, Язд, Иран (IX–XVI век)

Джамията Джаме в град Язд е един от най-отличителните паметници на централен Иран. Построена първоначално през IX век и многократно преустройвана и разширявана до XVI век, джамията въплъщава дългата пластова структура на

персийската архитектура. Най-впечатляващата ѝ характеристика е монументалният входен портал, ограден от две минарета, които с височина над 50 метра, са сред най-високите в Иран (Historic City of Yazd, UNESCO World Heritage Sites, whc.unesco.org n.d.).

Повърхността на портала е почти изцяло покрита с шарени плочки – преплетени звезди, многоъгълници и куфически надписи, които създават едновременно декоративна обвивка и метафизичен текст (Wilber 1969). Извисяващите се минарета и светещият портал не само отбелязват религиозната централност, но и действат като маяк на градската идентичност, видим от пустинните подходи (Gharipour 2016). Персийската мистична поезия често използва архитектурни метафори, за да опише Космоса. Поети като **Руми** и **Атар** използват образи на симетрия, повторение и безкраен модел, за да представят божествения ред и безграничността на творението.



Фигура № 12: Джамия Джаме, Язд (IX–XVI век), входен портал

The Diary of a Nomad. „36 Most Beautiful Places in Iran"

2.1.2 Дарб-е Имам, Исфахан, Иран (1453)

Светилището Дарб-е Имам, построено през 1453 г. по време на **Тимуридския** период, е един от най-значимите паметници на Исфахан за изучаване на персийската геометрия. Въпреки че самото светилище е религиозен комплекс, неговите облицовани с плочки стенни панели и релси са привлекли световно внимание със сложните си десетоъгълни Гирих шарки. За разлика от конвенционалните персийските звездни решетки, тези дизайни показват неповтарящи се подредби, които, предвиждат принципите на квазипериодичност, по-късно формулирани в математиката на 20-ти век (Lu and Steinhardt 2007).

Светилището Дарб-е Имам е ключов прецедент за тази дисертация. То демонстрира как модулните дизайнерски системи, базирани на краен набор от плочки, могат да генерират неповтарящи се, но кохерентни повърхности. Ефективност чрез повторение на модули, съчетана с богатство чрез структурирана вариация.

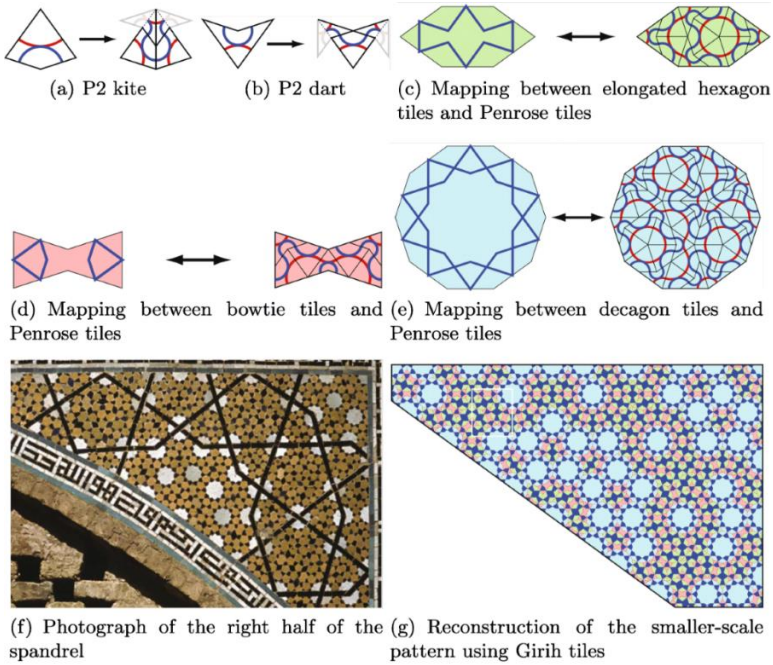


Фигура № 13: Храм Дарб-е Имам, Исфахан (1453)

Archnet Darb-i Imam.

2.2 От персийски геометрични модели до квазипериодичност: Структурирана вариация като мост между занаята и математическата теория

Математическите и естетическите принципи на персийкия орнамент чрез езика на симетрията – розетки, фризове и групи тапети – показват как конструкциите, базирани на правила, водят до висока визуална сложност, без да се сриват в безредие (Abas and Salman 1994). Тяхната таксономия и методи на конструиране ясно показват, че персойските модели постигат богатство чрез структурирана вариация (промени в мотива, цвета, мащаба и локалната симетрия), а не чрез произволна неподреденост.



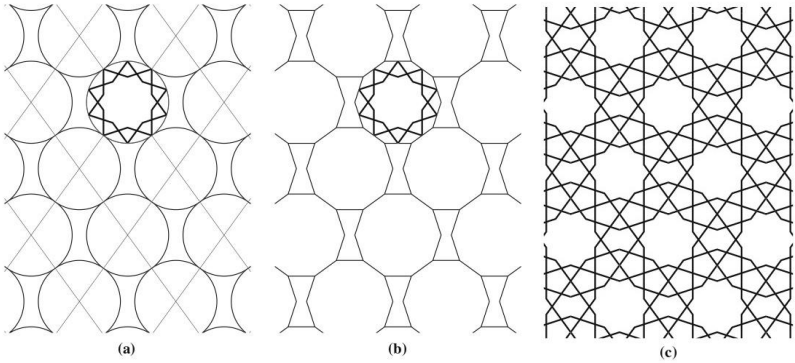
Фигура № 14: Съпоставяне между плочките P2 Пенроуз и плочките Гирих, Дарб-е Имам, Исфахан (1453 г. сл. Хр.)

Yan, X., Yan, W., Liu, L., & Lu, Y. Penrose Tiling for Visual Secret Sharing.

Персийската геометрия е едновременно технически дисциплинирана и символично заредена, използвайки

пропорционални канони и полигони в контакт, за да генерира звездни модели и преплитания, които се четат като непрекъснати и постоянно разгръщащи се дизайни (Critchlow 1983).

Преди да преминем към математически модели, е важно да се обмисли как историческите персийски дизайнерски практики се пресичат с идеята за квазипериодичност. Кромуел, математик от Университета в Ливърпул, изследва това (Cromwell 2009). Неговият труд разглежда персийски звездни модели с локална 5- и 10-кратна симетрия, като задава въпроса дали те могат да бъдат разбирани като наистина квазипериодични в строгия смисъл, дефиниран от математиката.

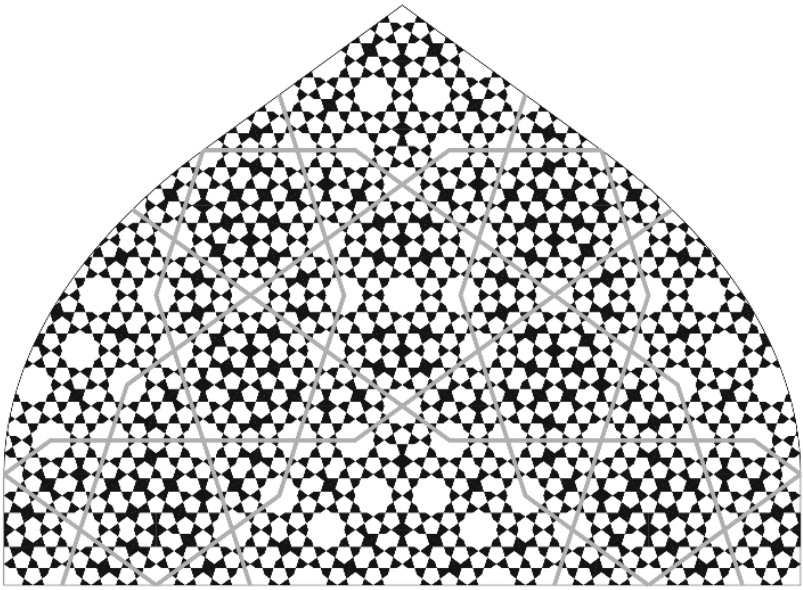


Фигура № 15: Полигонални скелета, използвани за изграждане на ислямски звездни мотиви

Peter R. Cromwell The search for quasi-periodicity in Islamic 5-fold ornament.

Храмът **Дарб-и Имам в Исфахан** (1453) предлага може би най-поразителния исторически пример. Кромуел определя неговите плочки като един от най-ранните персийски дизайни, показващи характеристики, напомнящи за квазипериодичност. Използвайки ограничен набор от прототипи – десетоъгълници, папийонки, ромбове, бобини – занаятчиите са създавали повтарящи се локални симетрии, които силно подсказват интуитивно разбиране за неповтарящ се ред. И все пак, както подчертава Кромуел,

тези модели не успяват да изпълнят условията за квазипериодичност, както по-късно са дефинирани от **формалната математическа теория**.



Фигура № 16: Двуетажен дизайн, моделиран по образеца на храма Дарб-и Имам, Исфахан (1453 г. сл. Хр.)

Peter R. Cromwell The search for quasi-periodicity in Islamic 5-fold ornament.

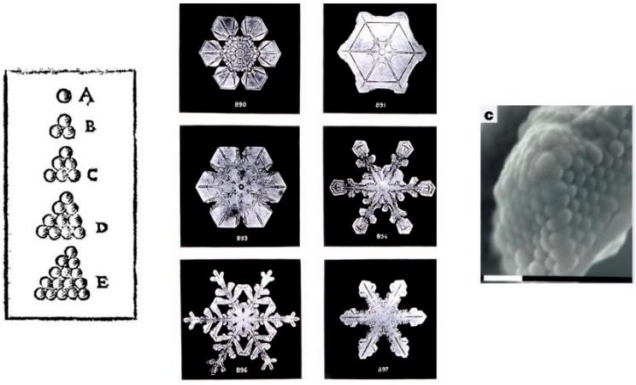
Това разграничение е от решаващо значение: персийските занаятчии са **постигнали структурирана вариация и локален 5/10-кратен ред**, но не и безкрайното неповторение, произтичащо от операции като инфлация, заместване и правила за съвпадение – процедури, въведени едва с **математическата формулировка на квазипериодичността** през 20-ти век. По този начин персийските постижения представляват **моста между занаята и теорията**: историческият репертоар е предоставил модулните форми и естетическата логика, докато по-късните **математически открития от 20-ти век** са предоставили строгата рамка за доказване на апериодичността.

2.3 Математически апериодични открития

Докато персийските занаятчии са постигнали неповтаряща се хармония интуитивно, едва много по-късно математиците са предоставили **формалната математическа теория**, за да я дефинират и доказват.

2.3.1 Йоханес Кеплер

„За шестоъгълната снежинка“ (Strena Seu de Nive Sexangula) (1611) на Йоханес Кеплер остава едно от най-ранните формални изследвания на геометричната симетрия, особено в снежинките в природата. В този трактат Кеплер отбелязва, че снежинките обикновено проявяват шестоъгълна симетрия и разсъждава как тези форми биха могли да заемат пространството – като се имат предвид както редовни, така и по-малко конвенционални симетрии, включително петоъгълни подредби (Kepler, Strena seu de nive sexangula 1611).

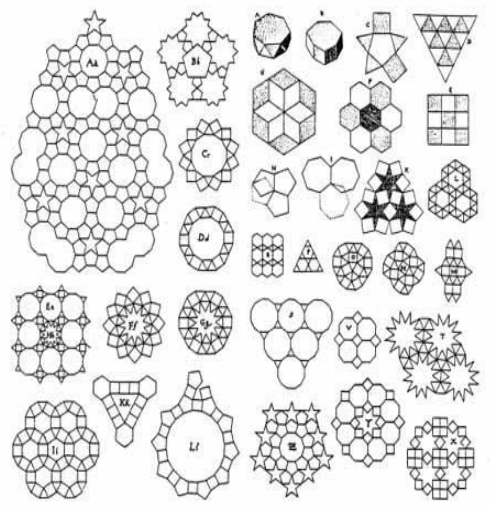


Фигура № 17: От снежинките на Кеплер до природни и научни наблюдения

Kelleher, C. P. Kepler's New Year's Gift.

Работата на Кеплер прави повече от каталогизиране на природни форми; тя задава фундаментални въпроси: как форми, които не позволяват повтарящи се транслационни подреждания, въпреки това могат да покрият мозаечно (или почти мозаечно) пространство? Могат ли определени

симетрии, отхвърляни преди това в изучаването на подреждането на плочки, да имат място в орнаментални или структурни приложения? Въпреки че Кеплер не създава точни неповтарящи се модели на подреждане на плочки, интересът му към петоъгълното подреждане и шестоъгълната симетрия отворя концептуалната рамка, която по-късно математици и дизайнери изследват изрично.



Фигура 18: Кеплерова плоча с Архимедови теселации от „Harmonices Mundi“ (1619)

David Bailey's World of Tessellations

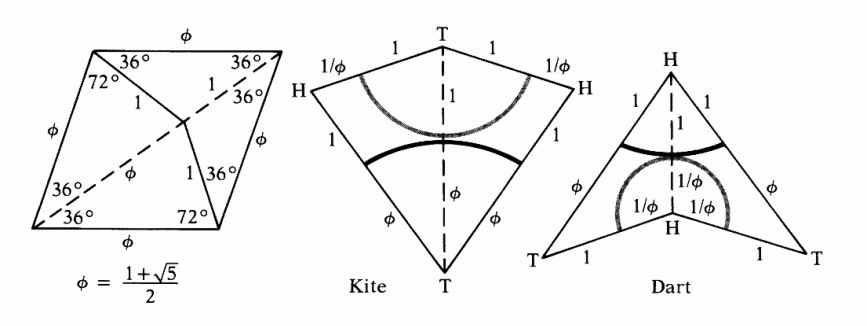
По този начин Кеплер служи като исторически център: от наблюдение към хипотеза; от модели в природата към идеи в дизайна и математиката. Неговото наследство подпомага за преодоляване на занаятчийските геометрични традиции на персийското изкуство (които често използват звездни полигонални мотиви) и по-късната **формална математическа теория за квазипериодичността**.

2.3.2 Роджър Пенроуз (1970-те)

Сър Роджър Пенроуз, английски математик и носител на Нобелова награда по физика, революционизира изучаването на геометрията през 70-те години на миналия век. Пенроуз въвежда плочки, които могат да покрият равнината, използвайки само две форми - **хвърчилото и**

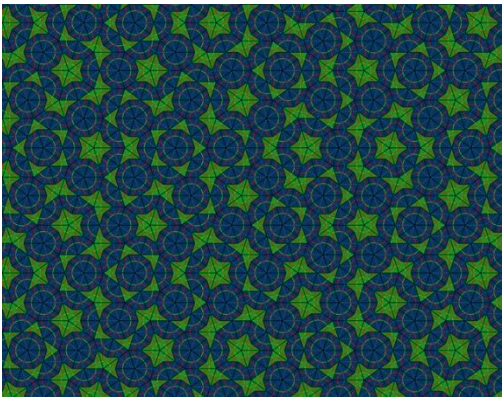
стрелата, или алтернативно чифт **широки и тънки ромбове** - без никога да се повтарят периодично.

Системата **хвърчило и стрела** работи чрез строги **правила за съвпадение на ръбовете**: всяка страна на плочките носи маркировки, които диктуват как частите могат да се съчетаят. Тези правила предотвратяват простото повторение и налагат непериодично подреждане, като същевременно поддържат глобална петкратна симетрия. Хвърчилото е изпъкнал четириъгълник, докато стрелата е вдлъбната, но и двата споделят пропорции, получени от **златното сечение (φ ≈ 1.618)**. Когато са поставени съгласно правилата за съвпадение, те генерират подреждане, което никога не се повтаря, но е подредено в безкрайната равнина.



Фигура № 19: Конструкция на хвърчило и стрела на Пенроуз

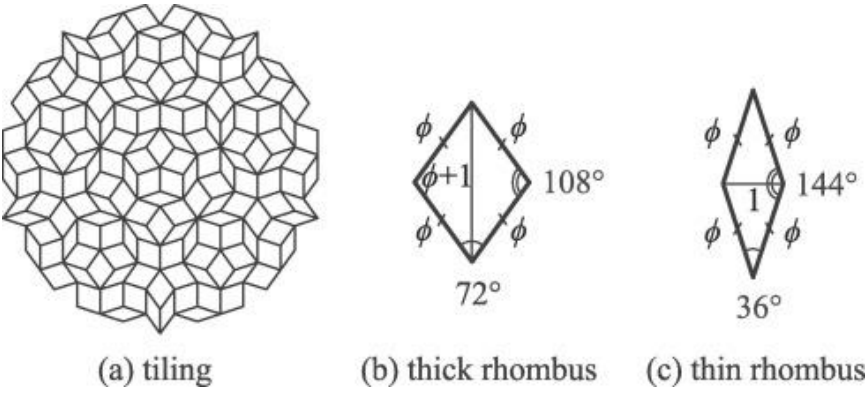
Veritasium. The Infinite Pattern That Never Repeats.



Фигура № 20: Част от равнината, покрита с плочки на Пенроуз (хвърчило и стрела)

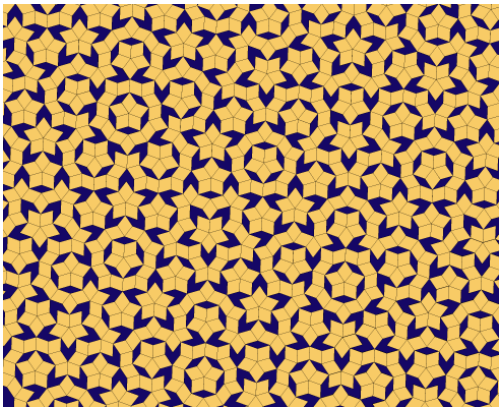
Penrose tiling. Wikiwand.

Ромбовата плочка на Пенроуз, въведена скоро след това, заменя хвърчилото и стрелата с два ромба: един „широк“ (ъгли 72°–108°) и един „тънък“ (ъгли 36°–144°). Подобно на хвърчилото и стрелата, тези ромбове също са конструирани от пропорции на златното сечение и сглобяването им се регулира от правила за съвпадение, които предотвратяват периодичното повторение.



Фигура № 21: Конструкция на ромбична форма на Пенроуз

Acoustic scattering characteristics of Penrose-tiling-type diffusers.



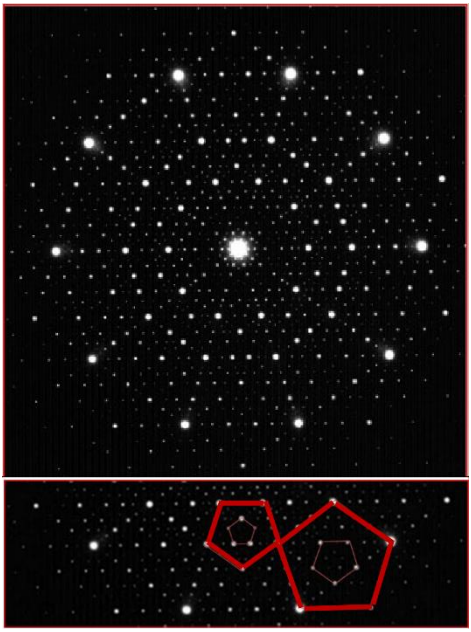
Фигура № 22: Част от равнината, покрита с ромбовидни плочки на Пенроуз

Penrose Rhomb. Tilings Encyclopedia, Universität Bielefeld.

Заедно, плочките тип „хвърчило и стрела“ и „широк и тънък ромб“ демонстрират, че **апериодичен ред може да възникне от малък набор от прости модули**, ръководени от локални правила. Този принцип пряко резонира с модулната архитектура: той показва, че ефективността (малко повтарящи се елементи) и богатството (безкрайни неповтарящи се вариации) могат да съществуват едновременно в рамките на една и съща система.

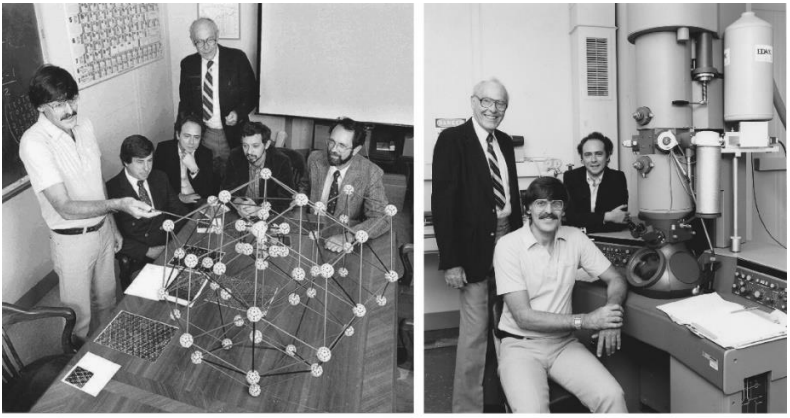
2.3.3 Дан Шехтман (1984)

В своето революционно откритие на **квазикристалите**, Шехтман наблюдава метални сплави, чиито атомни структури показват **петкратна ротационна симетрия**, преди това смятана за невъзможна в кристалографията (Shechtman 2011). Това му носи Нобелова награда за химия през 2011 г. Дифракционните картини на квазикристалите съвпадат с тези на плочките на Пенроуз, предоставяйки физическо доказателство, че в **природата съществува апериодичен ред**. Това е повратна точка: открита е картина, някога смятана за математическа абстракция, която описва реални материални структури (Милева н.д.) (Наука OFFNews н.д.).



Фигура № 23: Електронна дифракционна картина от икосаедричен квазикристал.

Научен контекст за Нобеловата награда за химия 2011: Откриването на квазикристали. Кралската шведска академия на науките.



(a) (b)

Фигура № 24: Ранни изследвания върху квазикристали в NIST (1985)

Откриване на квазикристалиDécouverte des quasicistaux : les premiers pas. Comptes Rendus Physique, Elsevier/ScienceDirect, 20 (2019).

2.4 Приложни казуси: Студентски проекти от УАСГ

2.4.1 Програма от мебели за обзавеждане на градска среда – Мариана Близнакова, Фак. № 11148 и Гергана Тодорова, Фак. № 11024. Ръководител на проек – арх. П. Сохи

Този преддипломен проект за студенти от 9-ти семестър (2024), Лаборатория по дизайн, Катедра „Интериор и дизайн за архитектурата“, Архитектурен факултет, УАСГ, София, България, в сътрудничество с фирма „**Енчо Енчев**“, възлага на студентите задачата да проектират градско обзавеждане.

Съвместният проект на Близнакова и Тодорова използва мрежата на Мадисон със седемкратна симетрия.

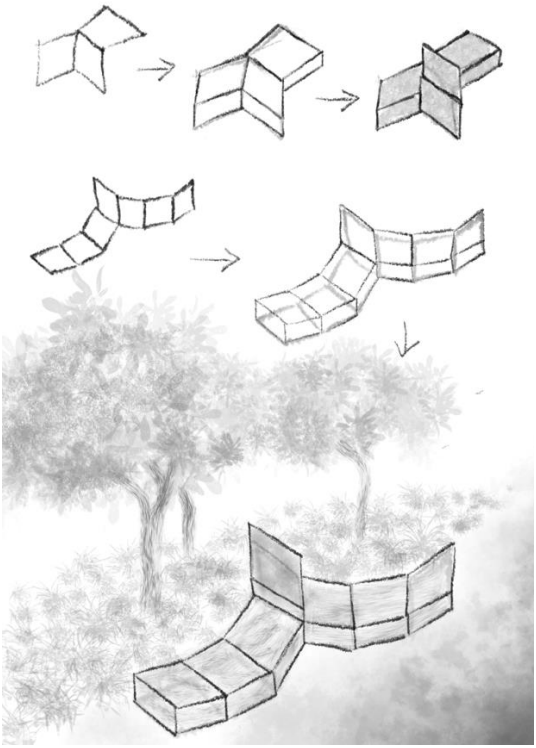
• **Концепция:** Централната идея на проекта не е да се проектира фиксиран набор от градски мебели, а по-скоро да се разработи генеративна система, базирана на мрежата на Мадисън със седемкратна симетрия. Тази система, когато е положена върху план на обекта или градска ситуация, действа като адаптираща се мрежа, която реагира на контекста. В зависимост от ландшафтните характеристики, пешеходните пътеки, денивелацията на терена, растителността или други специфични фактори, мрежата генерира геометрични пресичания и модули, които могат да бъдат селективно маркирани и развити във функционални обекти.

• **Приложения**: От тази система студентите извличат ограничен набор от предварително изработени прототипи. Тези елементи не са предвидени като окончателни проекти за пейки, лампи или фонтани, а като **базови модули**, които могат да бъдат сглобявани и рекомбинирани по безброй начини. Една и съща единица, завъртяна или огледална, може да се превърне в павета, елемент за сядане, основа за осветление или каскадни водни елементи.

• **Индустриална значимост**: Индустриалната значимост на предложението се подсилва от сътрудничеството с

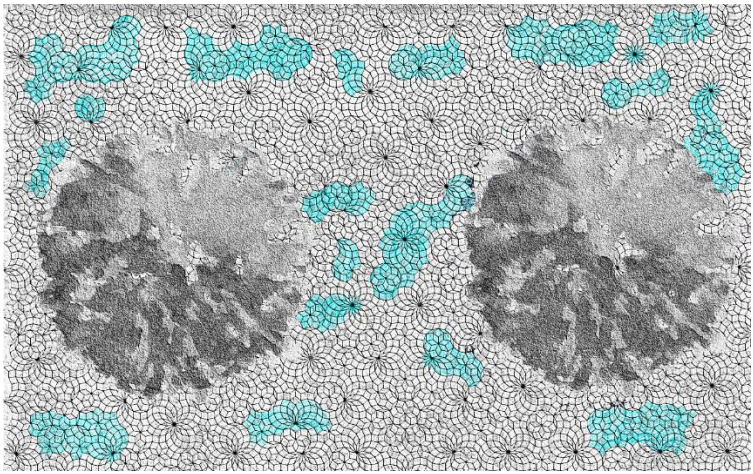
производителя Енчо Енчев. Тъй като прототипите са проектирани за фабрична сглобяемост, те могат да бъдат масово произвеждани в стандартизирани форми и складирани предварително. Ефективността на сглобяемостта е запазена, но мрежата Мадисон гарантира, че всяко приложение на обекта изглежда уникално и контекстно-чувствително.

• **Естетическо въздействие**: И накрая, проектът разглежда естетическото измерение на общественото пространство. Когато се прилага както като настилка, така и като мебели, мрежата Мадисон създава градски среди, които са визуално динамични, многопластови и ангажиращи.



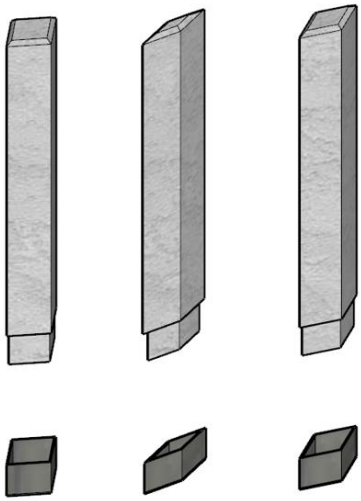
Фигура № 25: Ранни скици на концепцията за градско обзавеждане

Мариана Близнакова и Гергана Тодорова. Програма от мебели за обзавеждане на градска среда. УАСГ Архив на студентски проекти.



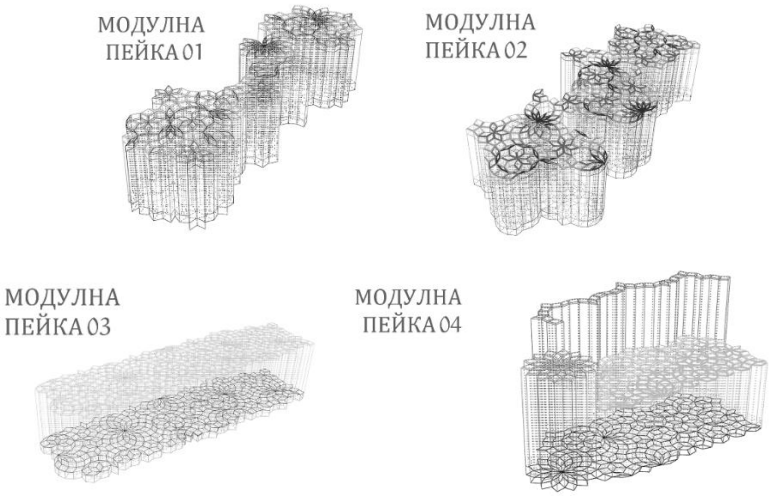
Фигура № 26: Мрежова решетка Мадисон, приложена към ситуация на място в 2D

Мариана Близнакова и Гергана Тодорова. Програма от мебели за обзавеждане на градска среда. УАСГ Архив на студентски проекти.



Фигура № 27: Перспективи на трите базови модела

Мариана Близнакова и Гергана Тодорова. Програма от мебели за обзавеждане на градска среда. УАСГ Архив на студентски проекти.



Фигура № 28: Четири различни комбинации, демонстриращи модулни възможности

Мариана Близнакова и Гергана Тодорова. Програма от мебели за обзавеждане на градска среда. УАСГ Архив на студентски проекти.



Фигура № 29: Рендер на примерна пейка

Мариана Близнакова и Гергана Тодорова. Програма от мебели за обзавеждане на градска среда. УАСГ Архив на студентски проекти.

Този проект илюстрира ключов принцип на дисертацията: **модулността не е задължително да е равна на повторение**. Чрез приемане на апериодична логика, студентите създадоха система, която е ефективна, технологична и културно ангажираща. Този проект се откроява и като убедителна демонстрация на това как апериодичните системи могат да бъдат трансформирани от абстрактна геометрия в **практична и контекстуално-отзивчива методология на проектиране**. Чрез преинтерпретиране на мрежата на Мадисън като генеративно скеле, студентите показаха, че модулната префабрикация може да надхвърли повторението, за да осигури **адаптивна, ефективна и естетически богата градска среда**.

При разработването на проекта студентите черпят вдъхновение от **Енциклопедията на плочките на Университета в Билефелд**, избирайки мрежата на Мадисън, защото тя най-много наподобява първоначалните им концептуални скици (фиг. 53). Концепцията обаче не се ограничава само до мрежата на Мадисън. Тя демонстрира колко много други апериодични системи, разработени от математици, могат да бъдат интерпретирани архитектурно. Подходът на студентите подчертава, че модулността, обогатена с апериодични принципи, не е обвързана с единична мрежа, а е част от по-широка философия на дизайна – такава, която интегрира математическите открития с архитектурното въображение.

Заключение на Глава II

Тази глава проследява **потенциала на апериодичните модели** в историята, математиката и съвременния дизайн, демонстрирайки, че това, което на пръв поглед може да изглежда като абстрактна геометрия, има пряко и практическо значение за архитектурата днес.

В исторически план, персийско-ислямската архитектура (XI-XVII век) е използвала Гирих плочки, звездни решетки и мукарнас сводове, за да създава пространства, които

въплъщават безкрайността без повторение. Математически, личности като Йоханес Кеплер (1611), Роджър Пенроуз (1970-те) и Дан Шехтман (1984) формализират непериодичния ред, доказвайки, че той съществува както в теорията, така и в природата. Кеплер е разсъждавал върху геометрията на снежинките и петоъгълното опаковане, Пенроуз е разработил апериодични плочки, които постигат неповторение от прости локални правила, а откритието на квазикристали от Шехтман е потвърдило, че такъв ред съществува и в атомната структура на материята.

В практика, студентските проекти в УАСГ демонстрират как тези принципи могат да бъдат преосмислени за съвременен дизайн. Проекта потвърждават, че апериодичността не е просто теоретичен, а **практически принцип на проектиране**, способен да се справи с ефективността, адаптивността и културния резонанс.

Взети заедно, тези доказателства подкрепят централното твърдение на дисертацията: апериодичните системи осигуряват модулност без монотонност, ефективност без отчуждение и културен резонанс без зрелище. Те демонстрират, че модулността може да еволюира отвъд ограниченията на повторението, за да постигне сложност, която е структурирана, разбираема и основана на човешката традиция.

Глава III ще надгради върху тези открития, като разгледа как тези системи могат да бъдат интегрирани в **съвременния модулен дизайн** чрез параметрични инструменти, BIM и устойчиво строителство, изследвайки възможностите и предизвикателствата на пренасянето на апериодичната теория в строителната архитектурна практика.

ГЛАВА III – ИНТЕГРАЦИЯ И СЪВРЕМЕННИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Въведение към Глава III

Фокусът тук е върху това как апериодичната логика може да се приложи в съвременната архитектурна практика. Дискусията започва с технологичната страна, показвайки как параметричните инструменти и BIM работните процеси правят възможно кодирането на простите правила на апериодичните системи, като същевременно процесът остава прозрачен и реално осъществим. След това се разглеждат предимствата на апериодичността в сравнение както с конвенционалните модулни мрежи, които рискуват скучна еднородност, така и с дизайна, задвижван от изкуствен интелект, който често е впечатляващ, но му липсва културна основа. Накрая, изложението се обръща към казуси – от мебел и фасада до настилка и градска концепция – които илюстрират как тези принципи вече функционират в реални проекти.

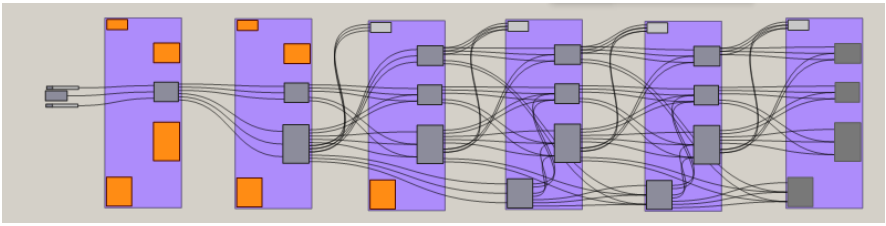
3.1 Интегриране на апериодични системи с параметрични инструменти

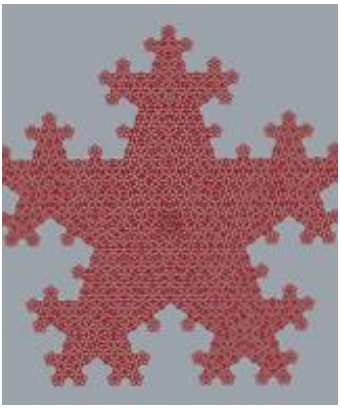
Съвременната практика все повече зависи от изчислителни работни процеси, които позволяват на архитектите да преминат отвъд чертането на форми към кодиране на правила, параметри и взаимовръзки. В тази рамка апериодичните системи могат да бъдат интегрирани не като декоративни мотиви, а като базирани на правила генеративни структури, които разширяват модулния дизайн в дигиталната епоха.

3.1.1 Проектиране с параметрични инструменти

централната сила на параметричните инструменти се крие в способността им да кодират правила, ограничения и взаимоотношения, а не фиксирани обекти (Woodbury 2010). В неговата рамка дизайнът не е единичен резултат, а пространство от възможности, дефинирани от параметри.

Този принцип е пряко свързан с апериодичните системи. В плочките на Пенроуз, например, локалните правила за съвпадение на ръбовете гарантират, че плочките се сглобяват в неповтарящо се, но кохерентно поле. По подобен начин, системата от плочки Гирих може да бъде изразена като параметрична граматика: след като полигоналните правила и пропорции са вградени, дизайнерът може да изследва вариации, които зачитат историческата логика на персийския орнамент, като същевременно се адаптират към нови контексти.



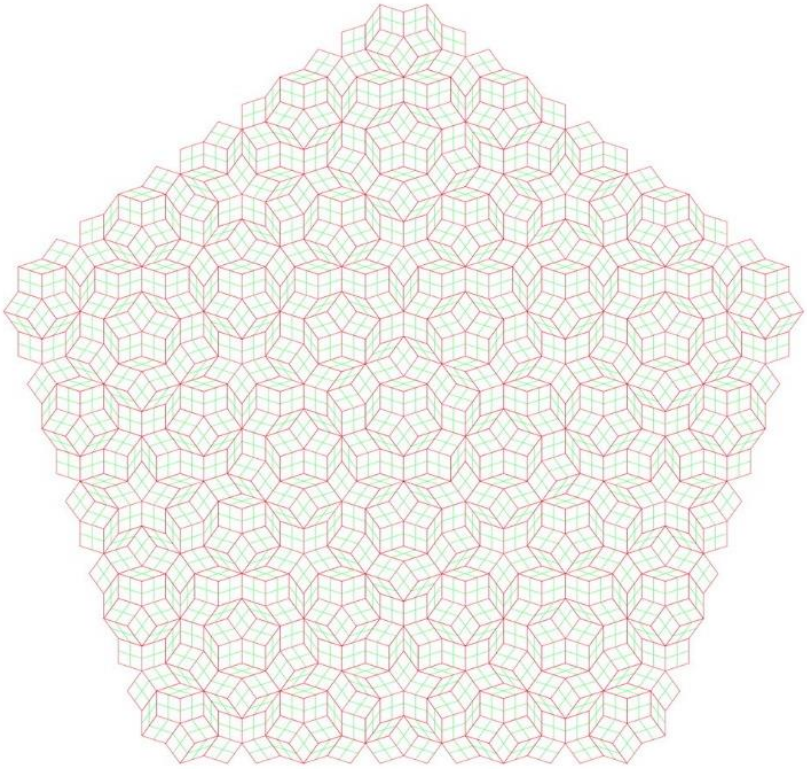


Фигура № 30: Монтаж на плочки на Пенроуз, генериран в Grasshopper

Rhinoceros Forums. Penrose Tiling Grasshopper.

Във форума на McNeel, дизайнерът Боб Х. Маккей сподели набор от експерименти с плочки на Пенроуз, използвайки Grasshopper (Mackay н.д.). Неговата работа разглежда основните вариации на системата - плочки с хвърчило и стрела, ромб и петоъгълник - и показва как те се свързват чрез рекурсивно подразделяне. Във версията с хвърчило и стрела, например, хвърчилото може да бъде разделено на четири по-малки хвърчила и две стрели, докато една стрела се подразделя на три хвърчила и две стрели. Всяка стъпка

следва златното сечение (т ≈ 1.618), което поддържа общия ред последователен, като същевременно предотвратява повторението. Вариантът с ромб е по-лесен за изработка, тъй като и двете плочки са изпъкнали, но създава същия вид пет- и десетократни звездни купове, които правят моделите на Пенроуз незабавно разпознаваеми.

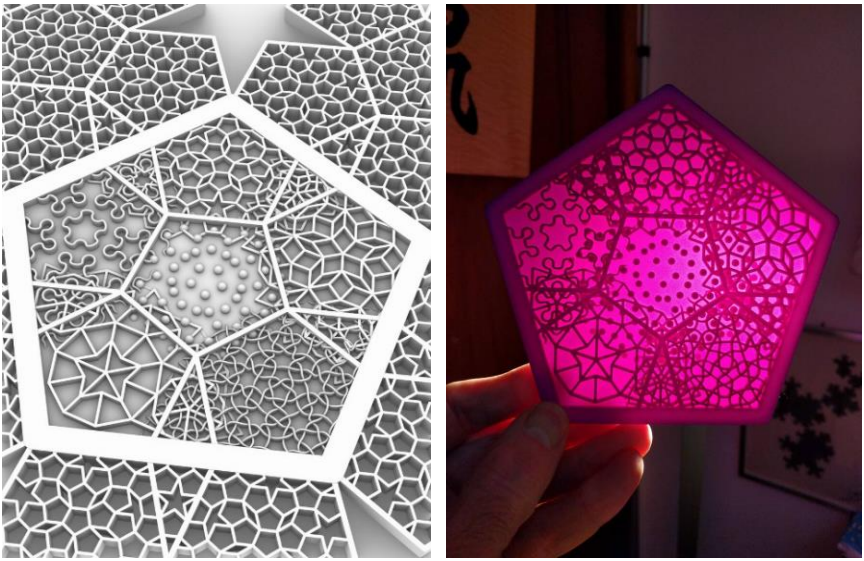


Фигура № 31: Рекурсивно подразделяне на ромбове на Пенроуз

Rhinoceros Forums. Penrose Tiling Grasshopper.

Маккей не се спира само на плоски плочки. Той също така тества как орнаментите и вторичните шарки могат да се наслагват върху геометрията, създавайки подобни на тъкан линии, които преминават през ромбовидната плочка, като свързват средните точки на ръбовете на плочките (Mackay

н.д.). Ефектът подсказва как една структурна система може да носи допълнителни слоеве от значение или функция, подобно на начина, по който архитектурните решетки често се използват за насочване на орнамента, осветлението или циркулацията. Неговите дефиниции за Grasshopper дори автоматизират досадния процес на почистване на дублиращи се плочки по време на рекурсия, показвайки как цифровите инструменти могат да направят сложните правила управляеми. Заедно експериментите на Маккей подчертават както математическата красота на плочките на Пенроуз, така и техния практически потенциал: системи, които са достатъчно прецизни за изчисления, но и достатъчно отворени за творческа интерпретация.



Фигура № 32: 3D-принтиран модел на преплетено наслагване върху ромбовидни плочки на Пенроуз

Rhinoceros Forums. Penrose Tiling Grasshopper.

3.2 Предимства пред формализма на Изкуствен Интелект - ИИ

Дизайнът, задвижван от ИИ, макар и технологично впечатляващ, често рискува да игнорира човешкия фактор в архитектурата. Без критичен надзор, ИИ може да създаде дизайнерски концепции, които са визуално впечатляващи, но **контекстуално кухи.**

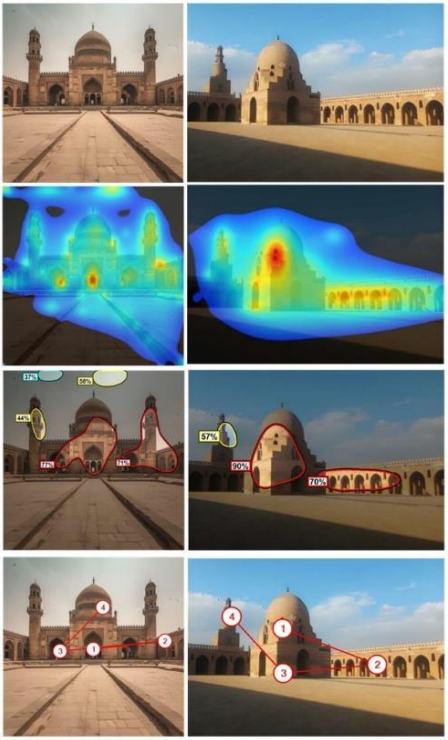
Ключово ограничение се крие в **зависимостта от описанията промптовете** .Сравняват се кратко описание (67 знака) на портата Баб ал-Сала в Египет, с разширено описание от над 1800 знака. По-дългото описание дава повече подробности, но дори и тогава остават неточности в орнамента и пропорциите (Sukkar, и др. 2024). Това илюстрира ключова слабост на генеративния изкуствен интелект: културната и архитектурна прецизност зависи силно от способността на потребителя да пише сложни описания но резултатите могат да се отклоняват от историческите доказателства.



Фигура № 33: Генерирани от изкуствен интелект изображения на портата Баб ал-Сала с кратки и дълги описания - промптове

Analytical Evaluation of Midjourney Architectural Virtual Lab.

Софтуера **3M Visual Attention**, е използван за да сравни къде са насочени погледите на зрителите в изображения с ИИ спрямо реални фотографии. Топлинните карти разкриха, че в резултатите с ИИ вниманието е склонно да се концентрира върху опростени или преувеличени елементи, докато автентичните детайли, като надписи или вторични куполи, са пренебрегвани (Sukkar, и др. 2024). Това показва, че ИИ не само изопачава архитектурата, но и променя начина, по който потребителите я възприемат, като засилва зрелището пред същността.



Фигура № 34: Анализ на генерирани от изкуствен интелект и оригинални изображения на джамията на Ибн Тулун, направен от софтуер за визуално внимание (VAS)

Analytical Evaluation of Midjourney Architectural Virtual Lab.

Взети заедно, тези открития са в пряко съответствие с аргумента на тази дисертация. Генеративният ИИ създава **зрелище без дълбочина**, привилегировайки емблематичните форми и повърхностната естетика пред културната прецизност, детайлите и човешкия опит.

3.3 Практически Казуси: Апериодичност в различни мащаби

3.3.1 Университет Рейвънсбърн, Лондон, Англия - Фасадна система (2010)

Кампусът на Университета Рейвънсбърн на полуостров Гринуич, Лондон, открит през 2010 г., е проектиран от британската архитектурна фирма „Foreign Office Architects“ (FOA) основана от Фаршид Мусави и Алехандро Саера-Поло през 1993 г. Отличителната фасада на сградата е поразителна демонстрация на това как апериодичните принципи могат да бъдат приложени в архитектурния мащаб (RTF Architectural Reviews n.d.).



Фигура № 35: Фасада на кампуса на Университета Рейвънсбърн в Лондон (2010)

Schneider Fassaden GmbH. Ravensbourne University.

Облицовката се състои от **6500 анодизирани алуминиеви панела** с шестоъгълни форми, но са използвани само шест вида панели. Фасадата покрива повече от 8000 м² и използва само малък набор от повтарящи се модули, разположени апериодично, за да се избегне монотонността. Резултатът е облицовка на сградата, която изглежда безкрайно разнообразна, като същевременно е ефикасна за производство и монтаж.

3.3.2 Апериодичен град на Нийл Денари (2014)

Американският архитект Нийл М. Денари представя концептуалния проект „Изместени сгради в апериодичен град“ през 2014 г. Проектът преосмисля градската мрежа като апериодична система, отхвърляйки традиционното ортогонално планиране в полза на квазипериодични подредби. Концепцията на Денари демонстрира как градовете могат да бъдат проектирани като динамични, безкрайно разнообразни тъкани, оспорвайки монотонността на конвенционалното зониране и повторението на мрежата. „Апериодичният град позволява динамична и ангажираща градска тъкан, оспорвайки монотонността на традиционното планиране, базирано на мрежа, и насърчавайки по-жизнен и разнообразен градски пейзаж“ (Testado n.d.). Като основава градския дизайн на математически ред без повторения, Денари показва, че апериодичността не е просто орнамент, а **градоустройствен растер**.



Фигура № 36: Градски план от „Изместени сгради в апериодичен град“ (2014) от Нийл М. Денари

Bustler. „Displaced Buildings in Aperiodic City.

3.4 Многомащабна интеграция

Тези казуси показват ясно, че апериодичността не е просто абстрактна идея – тя работи като **дизайнерска логика, която може да се разпростира в различни мащаби**. В малък мащаб тя може вдъхновява всекидневни предмети като масата Ombra (Mujkić n.d.), където плочките на Пенроуз превръщат обикновена повърхност в нещо визуално впечатляващо. В мащаба на сградите същата логика оформя фасади и повърхности – фасадата на университета Рейвънсбърн и Паваж на Оксфордския математически институт (Gebrüder Schneider Fensterfabrik GmbH & Co. KG n.d.) (Rafael Viñoly Architects n.d.) показват как неповтарящият се ред може да направи архитектурата по-привлекателна, без да губи ефективност. А в най-голям мащаб архитекти като Нийл Денари са изследвали как апериодичните решетки биха могли да организират цели квартали в проекти като „Апериодичен град“ (Testado n.d.).

Апериодичните системи могат да функционират в различни мащаби:

- **Градско планиране** – Апериодичният град на Денари (Testado n.d.).
- **Архитектура** – Фасада на Рейвънсбърн (Gebrüder Schneider Fensterfabrik GmbH & Co. KG n.d.).
- **Ландшафтна архитектура** – Паваж на Оксфорд (Rafael Viñoly Architects n.d.).
- **Интериорни мебели** – Маса Ombra (Mujkić n.d.).
- **Микромодули** – Close Enough орнаменти (Nandi n.d.).

Единична геометрична логика може да информира детайлите на плота на масата, повърхността на сградата или дори оформлението на градски район. Това качество на **мащабируемост** не е случайно; то е, което осигурява дълготрайността на тези системи.

3.5 Модулна маса за гръцки магазин за хранителни стоки – „Панос“ София, България - Апериодична Моно-плочна Маса за Вино

Като практически резултат от това изследване, дисертацията предлага **модулна маса**, вдъхновена от апериодични плочки, проектирана специално за местен контекст. Мястото е **гръцки магазин за хранителни стоки Панос** в София, България, разположен на ул. „Княз Борис I“ 102. В центъра на магазина стои една голяма маса, която в момента се използва за излагане на сладкиши и закуски в стъклени буркани. Собственикът, който е оформил пространството с модерна, но отчетливо гръцка атмосфера, е изразил необходимостта от по-голяма гъвкавост през по-студените месеци. Когато външният бар е затворен и прозорците трябва да останат затворени, централната маса да може да се трансформира в място за сядане на клиенти.



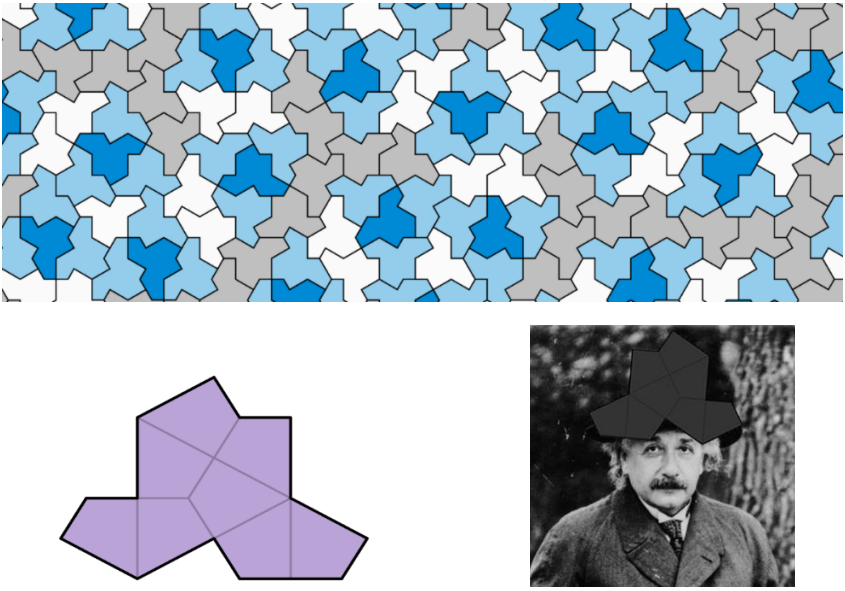
Фигура № 37: Интериор на гръцки магазин за хранителни стоки „Панос“ с централна маса за показване

Авторско изображение.

Концепцията е тази маса да се проектира като **модулна, апериодична система**: централна маса, която може да „експлодира“ в няколко по-малки маси, всяка от които функционира независимо за хранене, след което да се ре-комбинира.

3.5.1 Плочката „Einstein“ — откъдето започва историята на Моно-плочката

В продължение на десетилетия математиците търсят единична многоъгълна форма, която може да подрежда равнината само апериодично — без повтарящи се транслации. Тази неуловима форма, дълго смятана за невъзможна, става известна като „ein stein“ („един камък“) или апериодична моноплочка. През 2023 г. се случва пробив, когато Дейвид Смит, Джоузеф Майърс, Крейг С. Каплан и Хаим Гудман-Щраус откриват такава форма.

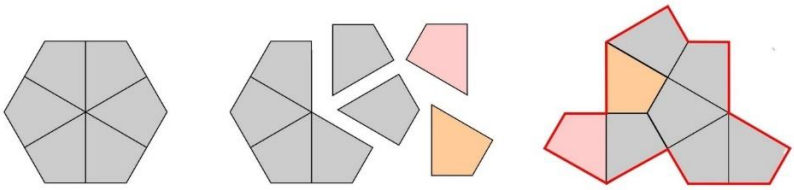


Фигура № 38: Апериодично подреждане с моноплочката Шапка

An Aperiodic Monotile Exists!.

Шапката е изградена от осем еднакви хвърчила, съединени ръб до ръб, за да образуват един 13-странен многоъгълник. Копия на тази форма, когато бъдат поставени върху равнина и се оставят да се отразят огледално, покриват повърхността перфектно - без никакви празнини или припокривания, но шарката никога не се повтаря. Следователно Шапката

постига това, което математиците търсят от 60-те години на миналия век: единична форма, която налага непериодично подреждане на плочки. За разлика от подреждането на Пенроуз, което разчита на две различни плочки, Шапката го прави само с една.



Фигура № 39: Конструкция на моноплочка Шапка от подразделени шестоъгълници.

Tessellations

3.5.2 Характеристики на плочката Шапка

Шапката е полихвърчило, конструирано от осем еднакви хвърчила, подредени с ъгли от 120°, 90° и 60°. Ключовите ѝ характеристики са:

Съвпадение на ръбовете: страните са с две дължини (a и b ≈ √3 a), което ограничава как съседните плочки се срещат.

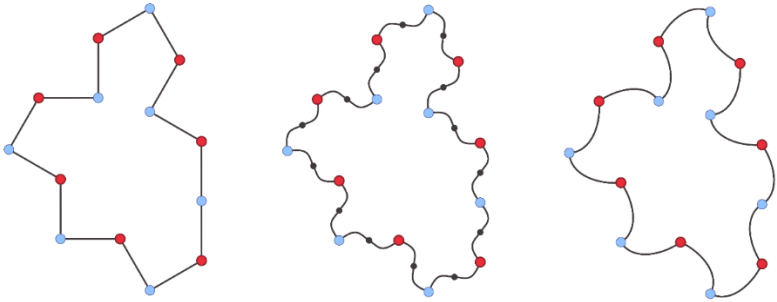
Йерархично заместване: всяка група шапки може да бъде заменена с по-голяма Шапка, следвайки строго съотношение на мащабиране (≈ 2 + √3).

Огледална зависимост: за да се постигне пълно апериодично покритие, са необходими както самата плочка, така и нейното огледално изображение.

Последната точка води до незабавен академичен дебат. Някои математици твърдят, че ако са необходими отражения, шапката не е „истинска“ моноплочка, а система от двойки плочки. Авторите приемат тази критика сериозно и продължават изследванията си.

3.5.3 Плочка (1, 1), „Spectre“ - (Призрак)

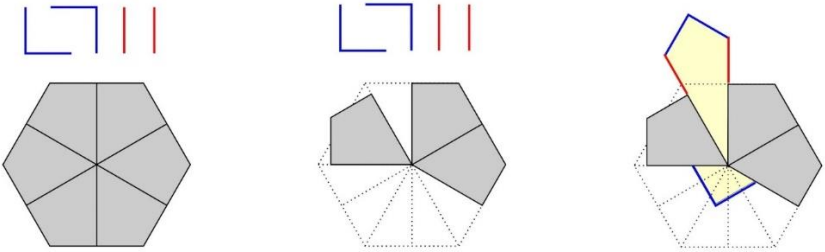
През май 2024 г. Дейвид Смит и колеги усъвършенстват оригиналната Шапка в нов полигон, Плочка (1, 1) – Призрак. Призракът елиминира единственото оставащо ограничение на Шапката: той постига апериодичност без огледални отражения, разчитайки единствено на транслации и завъртания.



Фигура № 40: 14-странната многоъгълна плочка (1,1) и формирането на хиралната моноплочка Призрак

Chiral Aperiodic Monotile.

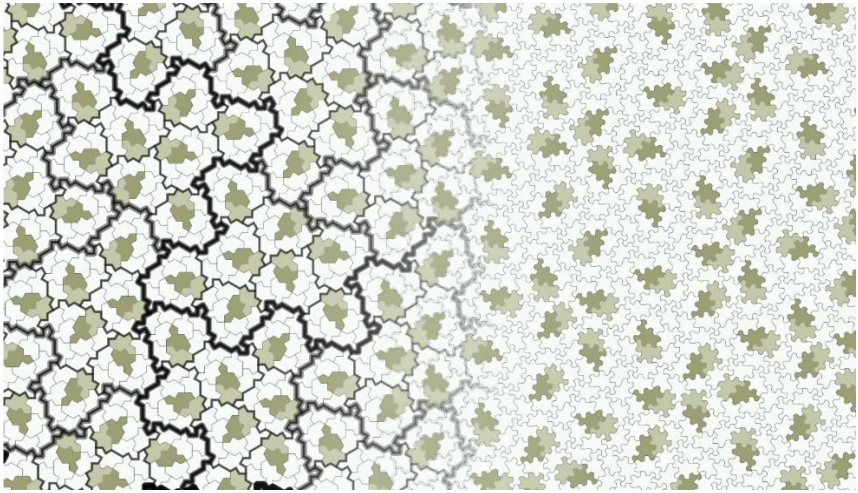
Геометрично, Призракът е почти идентичен с Шапката, но с фини корекции по няколко от външните си ръбове. Тези промени трансформират локалните правила за съвпадение, така че всяка връзка между плочките налага едностранчивост в цялото поле. Веднъж сглобени, плочките се „заключват“ в глобална ориентация, която не може да бъде обърната или огледална, свойство, което математиците описват като **хиралност**. Доказателството, подобно на това за Шапката, отново разчита на инфлация и логика на локално съвпадение – йерархично правило, което позволява на клъстерите от Призрака да се подразделят на по-малки, самоподобни групи, като същевременно предотвратява появата на транслационна симетрия във всеки мащаб.



Фигура № 41: Конструкция на моноплочката Призрак от подразделени шестоъгълници

Tessellations

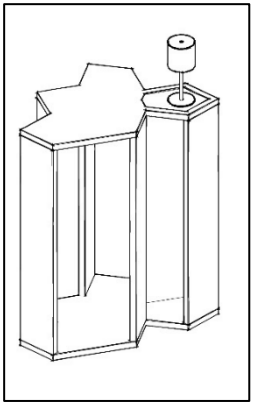
В областта на геометрията, Призракът сега се разглежда като откритие със сравнима концептуална тежест с апериодичните плочки на Роджър Пенроуз от 70-те години на миналия век: и двете разкриват как строгите локални правила могат да генерират безкрайна, подредена сложност без повторение.



Фигура № 98: Апериодично подреждане на плочки, генерирано от моноплочки Призракт и нейната йерархия от суперплочки

Chiral Aperiodic Monotile.

Това дизайнерско предложение въплъщава централното постижение на дисертацията: превръщането на абстрактната математическа геометрия в осезаем, функционален и контекстуално смислен дизайн. Проектът черпи вдъхновение от прецизността на персийското геометрично мислене и го прилага чрез наскоро откритата моноплочка Призрак, избрана заради ясните си ръбове и лекотата на модулно съчетаване. За целите на по-лесното и прецизно производство на масите е използван Призрак – „Tile (1,1)“ във варианта преди извитите страни, които гарантират огледалната транслация на формата да не съвпада. В контекста на проекта обаче това не е необходимо, тъй като масите не са предназначени да се обръщат огледално или да се монтират в инвертирани позиции. Така избраната форма запазва геометричната си логика и апериодичен потенциал, но позволява по-лесна и икономична изработка, като осигурява стабилност и точност при CNC изрязване и сглобяване.

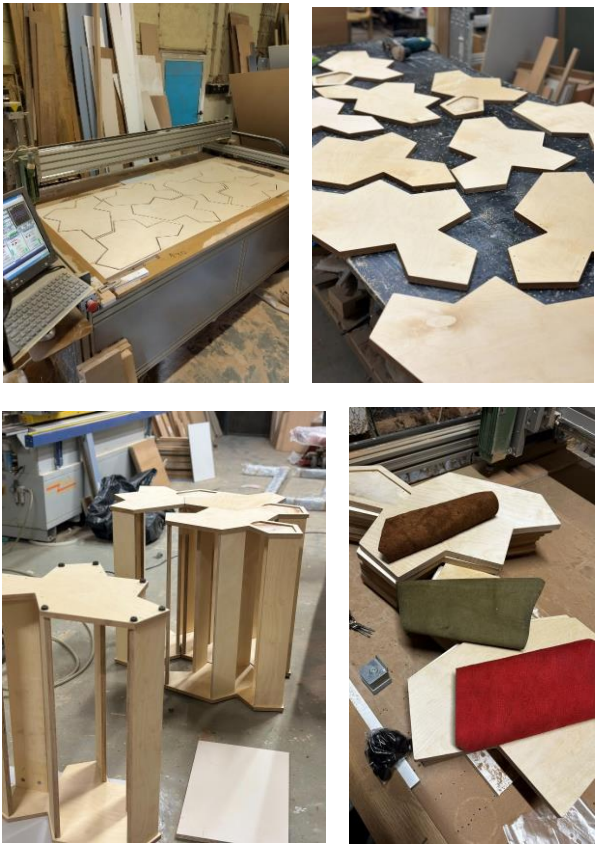


Фигура № 42: Технически чертежи на Апериодична Моно-плочна Маса за Вино

Авторско изображение.

Седем модула са изработени под името Апериодична Моно-плочна Маса за Вино. Всяка маса съответства на една плочка Призрак, мащабирана така, че всеки прав ръб е с размери 130 мм, което води до общ размер от 613 × 419 мм – приблизително еквивалентно на кръгла маса с диаметър 400 мм. С височина от 800 мм, масите удобно побират съществуващите места за сядане в магазина, когато се

използват поотделно, а когато са съединени, остават достатъчно ниски, за да не пречат на видимостта към хладилните витрини. Тази двойна функционалност отговаря на изискването на собственика както за по-голяма повърхност за показване на продукти, така и за трансформируемо разположение на местата за сядане.



Фигура № 43: CNC производство и монтаж на Апериодична Моно-плочна Маса за Вино

Авторско изображение.

Масите са изработени от брезов шперплат, изрязан с висока прецизност на CNC рутер. Този метод гарантира възпроизводимост и позволява бързото изработване на нови модули, ако собственикът желае да разшири системата.

Всеки плот е с фин изрез, облицован с кожена инкрустация, маркирайки позицията на две чаши за вино и давайки на масите отличителното им име. Когато модулите са съединени, пролуките между плочките създават привличащи вниманието негативни пространства, образувайки елегантна, неправилна геометрия, която естествено привлича вниманието към центъра на магазина.



Фигура № 44: Апериодична Моно-плочна Маса за Вино на място в гръцки магазин за хранителни стоки Панос, София

Авторско изображение.

Дизайнът умишлено дава приоритет на простотата на конструкцията и достъпността на материалите, като същевременно осигурява визуално впечатляващ резултат. Той демонстрира, че съвременните методи – CNC производство, модулен дизайн и геометрично мислене – могат да постигнат „уау“ ефект, без да се прибягва до сложност или излишества. Следователно проектът капсулира по-големия аргумент на дисертацията: че апериодичната геометрия, вкоренена в математическа строгост, но адаптивна към съвременното производство, може да доведе до форми, които са ефикасни, гъвкави и естетически завладяващи. Тези апериодични монолитни масички за вино са едновременно функционална мебел и

концептуално доказателство – показвайки как една-единствена, лесно конструируема форма може да генерира безкрайни комбинации, въплъщавайки хармонията между структура, модулност и визуално богатство, която определя духа на това изследване.



Фигура № 45: Комбинации на модулните елементи на Апериодична Моно-плочна Маса за Вино

Авторско изображение.



Фигура № 46: Индивидуална конфигурация на Апериодична Моно-плочна Маса за Вино.

Авторско изображение.



Фигура № 47: Завършена конфигурация - експозиция и осветление

Авторско изображение.

Заключение на Глава III

Тази глава показва, че апериодичността е много повече от математически куриоз – тя може да се разбира като **цялостен подход към дизайна**, който говори директно за най-големите предизвикателства в модулната архитектура днес. Това, което я отличава, е начинът, по който свързва технологиите, културата и математиката в една съгласувана рамка.

От технологична гледна точка, апериодичните системи се вписват идеално в параметрични и BIM среди. Може да се каже, че параметричният дизайн е най-силен, когато става въпрос за правила и взаимоотношения, а не за фиксирани форми. Логиката на съвпадение на ръбове и пропорционалността на плочките на Пенроуз или много други трудове на математици в тази област предоставят точно този вид структура, която може да бъде кодирана в Grasshopper, Revit или ArchiCAD. Дизайнерите рискуват да загубят авторство, когато разчитат твърде много на непрозрачни алгоритми. . Апериодичните системи избягват този капан с техните ясни и прозрачни правила. Всяка вариация може да се проследи до прости ограничения, което прави дизайнера активен автор, а не пасивен оператор. В културно отношение тези системи предлагат това, което редовната модулност не може: вариация, която се усеща смислена.

Геометрията е споделен език, който свързва най-малкия обект с най-величествената сграда. Тази гъвкавост в различните мащаби е това, което дава на дизайнерската система нейната дълготрайност. Апериодичността носи същия потенциал: тя може да обогати плот на маса, фасада на сграда, обществен площад или дори градски план, като същевременно запазва съгласуваност и културна дълбочина.

Контрастът с дизайна, задвижван от изкуствен интелект, е особено показателен. Изкуственият интелект заслепява, но и

разединява. Той генерира новост с невероятна скорост, но често без културна дълбочина, авторство или възможност за изграждане.

Практическото предложение за дизайн, разработено в тази глава – **Апериодична Моно-плочна Маса за Вино** – служи като конкретна демонстрация на тези идеи. Базиран на абстрактните принципи на апериодичността и геометрията на моно-плочката Призрак, проектът създава функционален, реален обект. Чрез единен модулен контур, изработен със съвременна CNC технология, масите постигат безкрайно разнообразие в конфигурацията, като същевременно запазват структурна простота и визуална хармония. Позиционирането им в гръцкия магазин за хранителни стоки Панос показва как математическите изследвания и културният контекст могат да се пресичат безпроблемно: резултатът е мебел, която се адаптира, преконфигурира и ангажира потребителите без визуална монотонност. По този начин масите въплъщават същността на апериодичния дизайн – сливането на математическа строгост, практическа гъвкавост и естетическо богатство – и представляват осезаем принос на тази дисертация към диалога между геометрията и архитектурната практика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тази дисертация си е поставила за цел да изследва как геометрията – по-конкретно апериодичните системи – може да обнови езика на модулния дизайн. Първоначалната предпоставка е проста, но неотложна: модулната архитектура, макар и ефикасна, твърде често изпада във визуална монотонност и културно откъсване. Чрез три взаимосвързани изследвания – историческо, математическо и приложно – работата демонстрира, че апериодичната логика предоставя жизнеспособна алтернатива: методология на проектиране, която обединява ефективността с богатството, технологията с културата и структурата със смисъла.

Глава I установява парадокса на модулността.

От пропорционалната логика на Витрувий и префабрикацията на Римската империя, през символичната модулност на персийския орнамент и индустриалния рационализъм на Кристалния дворец и Баухаус, модулното мислене винаги е балансирало практичността и идеологията. Неговото съвременно обещание за скорост и стандартизация носи големи социални ползи, но също така и криза на идентичността – пространствата стават ефективни, но унифицирани. Дори в дигиталната ера, параметричните и задвижвани от изкуствен интелект системи често възпроизвеждат същия дисбаланс: те умножават вариациите изчислително, но рискуват да загубят културна основа и човешко авторство.

Глава II проследява алтернативния произход на апериодичната геометрия.

Тя показа, че персийско-ислямската архитектура, чрез Гирих плочки и мукарнас сводове, вече е развила системи с неповтарящ се ред векове преди математическото им определение. По-късно формулирана от Кеплер, Пенроуз и Шехтман, апериодичността доказва, че прости локални правила могат да генерират безкрайно неповторение – структури, които са кохерентни, но никога еднакви. Тази историческа приемственост между занаята и науката преосмисля апериодичността не като новост, а като преоткрито знание: мост между културната интуиция и математическото доказателство.

Приложните студентски проекти в УАСГ потвърдиха, че подобни принципи могат да ръководят модулния дизайн днес – постигайки разнообразие, адаптивност и човешки мащаб, без да се жертва ефективността на производството.

Глава III превръща теорията в практика.

Чрез интегриране на апериодични правила в параметрични и BIM работни процеси, тя демонстрира, че непериодичните системи могат да бъдат кодирани, изработени и построени в рамките на стандартни цифрови процеси. Казуси – от фасадата на Рейвънсбърн и паважа на Пенроуз в Оксфорд до масата Омбра и Апериодичния Град – показаха как структурираната вариация може да обогати архитектурата в различни мащаби. За разлика от непрозрачните работни процеси с изкуствен интелект, апериодичният дизайн остава прозрачен и отчетлив: всяка вариация води началото си от ясни правила. Заключителното дизайнерско предложение, Апериодична Моно-плочна Маса за Вино, превърна наскоро откритата моноплочка Призрак в осезаем модулен обект. Произведени чрез CNC фрезоване от брезов шперплат и инсталирани във функциониращ търговски интериор, масите въплъщават тезата на дисертацията в изградена форма - един контур, безкрайно адаптивен, обединяващ математически открития, местно майсторство и практическа функция.

Взети заедно, тези изследвания установяват апериодичността като цялостна дизайнерска парадигма. Технологично тя се привежда в съответствие с параметричните логики, като същевременно остава производствена и прозрачна. Математически тя валидира съвместното съществуване на ред и сложност. Културно тя възстановява символиката и идентичността на модулната практика.

Архитектурно тя предлага на дизайнерите среден път между монотонността на повторението и зрелището на неконтролираната сложност.

По този начин апериодичната модулност предефинира какво може да бъде модулната архитектура:

Система, която запазва индустриалната ефективност, като същевременно въвежда отново разнообразието, смисъла и красотата. Тя свързва отново съвременния дизайн с вечните принципи на геометрията, показвайки, че бъдещето на модулната архитектура може да бъде изградено не върху повече повторения, а върху структурирани вариации – тихата хармония между простотата и сложността, която обединява математиката, културата и човешкото въображение.

ПРИНОСИ

Научни приноси

1. Формулиране на нов теоретичен модел на модулността в архитектурния дизайн, базиран на апериодичност.

Дисертацията въвежда нова интерпретация на модулния дизайн като система от структурирани вариации, а не като механично повторение. Тя демонстрира, че апериодичните геометрии осигуряват както алгоритмична яснота, така и културна дълбочина, качества, често липсващи в традиционните и индустриални подходи към модулността.

2. Исторически и сравнителен анализ на геометричните принципи в персийската архитектура.

Изследването установява директни паралели между традиционните геометрични мотиви (Гирих, мукарнас) и съвременните математически модели на апериодичност (Пенроуз). То доказва, че апериодичната структура не е съвременно изобретение, а продължение на дълга културна и научна традиция, интуитивно развита в архитектурата на Изтока.

3. Доказателство за връзката между културния контекст и математическата закономерност.

Дисертацията твърди, че геометричните системи от персийските традиции могат да бъдат разбрани като ранни форми на параметрично мислене – балансиране на художествената интуиция с алгоритмичния ред.

4. Интерпретация на апериодичните системи като философия на архитектурната яснота.

В изложението се развива тезата, че апериодичността предлага „среден път" между повторението и хаоса, между индустриалната рационалност и дигиталния формализъм, възстановявайки смисъла и реда чрез контролирани вариации.

5. Интегриране на апериодични структури в параметрични и BIM работни процеси.

Изследването показва, че правилата за апериодичното подреждане могат да бъдат кодирани в съвременен софтуер за проектиране (Grasshopper, Revit, ArchiCAD), осигурявайки прозрачност и пряка връзка между теория, алгоритъм и производство.

6. Принос към диалога между математика и архитектура.

Дисертацията установява теоретична рамка, която свързва математическата апериодичност с архитектурното детайлиране, градската морфология и съвременните изчислителни процеси, преодолявайки научните и творческите методологии.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Създаване на функционален дизайнерски прототип: Апериодична Моно-плочна Маса за Вино.

Разработен е цялостен дизайнерски продукт, базиран на геометрията на монотилната плочка Призрак (плочка 1,1), доказващ приложимостта на

апериодичната логика в дизайна на мебели. Проектът демонстрира как един-единствен контур може да генерира безкрайни комбинации, без да губи функционалност или структурна простота.

2. Интегриране на апериодични системи в академични и студентски дизайнерски проекти.

Като част от дисертацията, серия от студентски проекти в УАСГ изследват приложението на апериодичната и модулната геометрия в реални дизайнерски контексти. Те включват експерименти с временни модулни жилища (Симона Велидолска, 2024) и градски мебели и павета (Марияна Близнакова и Гергана Тодорова, 2024), и двата разработени под ръководството на автора. Проектите демонстрират как апериодичната логика може да се приложи, като същевременно се запази визуална съгласуваност, културна релевантност и ефективност на производството. Те служат като педагогически примери за това как сложните математически идеи могат да вдъхновят практически архитектурни решения и творческо изследване в образованието по дизайн.

3. Разработване на образователен и изследователски модел.

Дисертацията може да служи като академичен ресурс за студенти и практикуващи, демонстрирайки как теоретичните математически принципи могат да бъдат превърнати в практични, изграждащи се дизайнерски решения.

4. Интердисциплинарен принос.

Изследването интегрира архитектура, математика, дигитални технологии и културни изследвания, създавайки нова платформа за диалог между научната прецизност и художественото творчество.

ПОТЕНЦИАЛ ЗА БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ НА НАУЧНИЯ ТРУД

Дисертацията установява солидна основа за разбиране и прилагане на апериодични модулни системи в контекста на архитектурния дизайн, както теоретично, така и практически. Изследването обаче открива и няколко обещаващи насоки за бъдещи изследвания и разширяване.

В настоящия си вид работата се фокусира предимно върху двуизмерни апериодични модели и тяхното адаптиране към модулни и параметрични процеси на проектиране. Бъдещите изследвания биха могли да разширят това изследване в третото измерение, изучавайки как апериодичните принципи могат да бъдат изразени чрез обемни и пространствени конфигурации. Такива изследвания биха могли да доведат до разработването на триизмерни апериодични структури – архитектурни или материални системи, които показват неповтаряща се организация не само върху повърхности, но и в цялото пространство.

Друга важна траектория се крие в мащабирането и прилагането на разработените принципи. Апериодичната модулна логика, доказана като ефективна в продуктовия и интериорния дизайн – илюстрирана от Апериодична Моно-плочна Маса за Вино – може да се прилага в по-големи архитектурни и градски мащаби, влияейки върху дизайна на фасадите, модулните жилищни системи и адаптивната обществена среда. Интеграцията с генеративни инструменти, подпомагани от изкуствен интелект, би могла допълнително да подобри този процес, позволявайки на дизайнерите да стимулират, оценяват и изработват сложни неповтарящи се форми, като същевременно запазват контрол и прозрачност в авторството на дизайна.

И накрая, интердисциплинарната методология на дисертацията предоставя възможност за разработване на образователни и изследователски платформи, които свързват математиката, изчисленията и педагогиката на

дизайна. Включването на апериодично моделиране в академичните учебни програми би предоставило на студентите и професионалистите нови инструменти за иновации – като ги научи да използват геометрията не само като декорация, но и като структурна и културна логика за устойчив дизайн.

В обобщение, потенциалът за бъдещо развитие на тази работа се крие в разширяването на размерните, материалните и дисциплинарните граници на апериодичната модулност – трансформирайки я от двуизмерна геометрична система в цялостен архитектурен и пространствен език, способен да оформя застроената среда във всеки мащаб.

КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ТРУДА

Дисертацията, озаглавена **„Визуална сложност и простота: Апериодични модели и геометрия от традиционната персийска архитектура в контекста на съвременния модулен дизайн“**, изследва пресечната точка на математиката, културата и технологиите през призмата на апериодичната геометрия. Изследването има за цел да предефинира модулния дизайн не като система от повторение, а като система от структурирани вариации, където ефикасност, адаптивност и визуално богатство съществуват едновременно.

Методологично, работата съчетава исторически анализ, математическо изследване и дизайнерски експерименти. Тя проследява произхода на апериодичната логика до персийско-ислямската архитектура, по-специално до геометричните системи на Гирих и мукарнас, демонстрирайки, че тези традиционни занаяти са въплъщавали неповтарящ се ред много преди съвременната математика да го дефинира. Теоретичната рамка е подкрепена от изучаването на математическата апериодичност – от Кеплер и Пенроуз до Шехтман – и от нейното интегриране в параметрични и BIM работни

процеси, свързвайки древни принципи със съвременни цифрови инструменти.

Структурно дисертацията е разделена на три основни глави: първата разглежда проблема с модулността; Втората изследва апериодичната геометрия като историческа и математическа основа; а третата превръща тези открития в практически приложения в дизайна. Кулминацията на работата – Апериодична Моно-плочна Маса за Вино – служи като функционална демонстрация на това как един-единствен геометричен контур, извлечен от моно-плочката Призрак, може да генерира безкрайни комбинации в рамките на кохерентна модулна система.

Резултатите потвърждават, че апериодичната геометрия предлага нова парадигма за дизайн – прозрачна, технологично и културно обоснована. Дисертацията допринася за архитектурната теория, като свързва геометрията и дизайнерската практика, доказвайки, че математическата прецизност и културното значение могат да съществуват едновременно в модулната архитектура.

АВТОРСКИ СТАТИИ, НАПРАВЕНИ ПО ТЕМАТА НА НАСТОЯЩИЯ ТРУД

- П. Сохи(2024)
  НОВА ПЕРСПЕКТИВА НА МОДУЛНАТА АРХИТЕКТУРА (NEW PERSPECTIVE ON MODULAR ARCHITECTURE).
  XIII Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 12-13 септември 2024 г, Варна (XIII International Scientific Conference „Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 12-13, 2024, Varna, Bulgaria)
  https://ntssb.bg/dcb_en/
  ISSN 2683-071X (online)
  ISSN 2738-7879 (CD)
  https://ntssb.bg/DCB%20Dokladi/DCB2024/new-%D1%81%D1%8A%D0%B4%D1%8A%D0%B6%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf

- П. Сохи (2024)
  ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВОТО НА AI-ДИЗАЙН: АРГУМЕНТ ЗА ПРОСТОТА В
  МОДУЛНАТА АРХИТЕКТУРА (CHALLENGING AI-DRIVEN DESIGN: A CASE FOR SIMPLICITY IN MODULAR ARCHITECTURE).
  Научна конференция D etc. – „Съвременни технологии в дизайна, архитектурата, изкуството и културата“ (D etc. – Contemporary technologies in design, architecture, art and culture) 2024, ТУ-София, Машиностроителен факултет, катедра „Инженерен дизайн“, „Дни на науката – 2024“ на Технически университет – София
  http://design.tu-sofia.bg/d-etc-conference/d-etc-2024en/
  ISSN: 3033-053X
  http://design.tu-sofia.bg/wp-content/uploads/2025/11/abstracts_booklet_Detc2024.pdf