

Университет по архитектура, строителство и геодезия

арх. Михаил Георгиев Арнаудов

## **Съвременни конструкции от дървесина за големи подпорни разстояния**

Черупкови конструкции от слепена дървесина



**АВТОРЕФЕРАТ**

София, 2022г.

Университет по архитектура, строителство и геодезия

Архитектурен факултет

Катедра „Технология на архитектурата“

арх. Михаил Георгиев Арnaudов

## **Съвременни конструкции от дървесина за големи подпорни разстояния**

**Черупкови конструкции от слепена дървесина**

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на

дисертационен труд

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“

по професионално направление

5.7 „ Архитектура, строителство и геодезия“

и научна специалност

„Архитектура на сградите, конструкции, съоръжения и детайли“

**Научен консултант:**

**доц. д-р арх. Гичка Ангелова Кутова**

**София, 2022г.**

## ДАНИИ ЗА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд съдържа 227 машинописни страници, от които основна част 177 страници. Фигурите (снимки, чертежи) са общо 195 от които 7 авторски.

Таблиците са 43 общо, от които 41 авторски. Библиографията е 4 страници и включва 131 български и чуждестранни заглавия (книги, периодични издания и интернет източници). Трудът има едно приложение от 50 страници с разгледани примери от световната практика (105 обекта).

Докторантът е зачислен със заповед № 290 от 02.04.2018г. на Ректора на УАСГ за докторант редовно обучение държавна поръчка по научна специалност „Архитектура на сградите, конструкции, съоръжения и детайли“ към катедра „Технология на архитектурата“ (бивша „Сградостроителство“).

Считано от 01.10.2018г., докторантът е с видоизменена форма на обучение, съгласно заповед № 857 от 15.10.2018г. на Ректора на УАСГ, от докторант редовно обучение държавна поръчка в самостоятелна форма на обучение по научна специалност „Архитектура на сградите, конструкции, съоръжения и детайли“ към катедра „Технология на архитектурата“ (бивша „Сградостроителство“).

Докторантът е отчислен с право на защита със заповед № 773 от 22.10.2021г. на Ректора на УАСГ.

Дисертационният труд е обсъден на разширен катедрен съвет на катедра „Технология на архитектурата“ към Архитектурен факултет, УАСГ на 30.06.2022г. и е насочен към защита със заповед № 460 от 12.07.2022г. на Ректора на УАСГ, пред научно жури в състав:

### **Вътрешни членове:**

доц. д-р арх. Гичка Кутова - Каменова

проф. д-р инж. Фантина Рангелова

### **Резервен член:**

доц. д-р арх. Панайот Савов

### **Външни членове:**

проф. д-р арх. Антон Гугов

проф. д-р инж. Димитър Даков

доц. д-р арх. Юлия Методиева

### **Резервен член:**

доц. д-р арх. Ани Аврамова

Публичната защита на труда ще се проведе на 03.10.2022г. от 16,00ч. в Университета по архитектура, строителство и геодезия, зала 316.

### **По темата на настоящия труд са публикувани:**

1. Арнаудов, М. (2022). Съвременни черупкови конструкции от слепена дървесина. Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия, Том 55, Брой 1.
2. Арнаудов, М. (2022). Структура на черупкови конструкции от слепена дървесина. Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия, Том 55, Брой 3.

## Съдържание

Съдържание .....	4
Глава 1: Въведение .....	6
1.1 Актуалност на проучването и необходимост от изследването .....	6
1.2 Обект и предмет на изследването .....	6
1.3 Обхват и съдържание .....	6
1.4 Цели и задачи на изследването .....	7
1.5 Методология .....	7
1.6 Критерии и последователност на изследването .....	8
1.7 Теза на труда .....	9
1.8 Речник на термините и ключови думи .....	9
Глава 2: Исторически преглед на развитието на черупковите конструкции от дървесина. Проучване на опита и съвременно приложение. ....	10
2.1 Исторически преглед .....	10
2.1.1 Черупкови конструкции от дървесина реализирани през XX век .....	10
2.1.2 Обекти реализирани в периода 2000-2010г .....	14
2.1.3 Предварително произведени мрежести черупкови конструкции от дървесина .....	16
2.1.4 Функционално предназначение на сградите, реализирани с конструкция от слепена дървесина при големи подпорни разстояния .....	20
2.1.5 Анализи и изводи .....	20
2.2 Черупкови конструкции от дървесина в техническата литература .....	23
2.2.1 Обзор световната научна литература .....	23
2.2.2 Дървени черупкови конструкции в българската техническа литература .....	24
2.2.3 Научни проучвания в насока дървени черупкови конструкции .....	27
2.3 Съвременни конструкции от дървесина – материали, крепежни елементи, проектиране, технология на производство и монтаж .....	27
2.3.1 Съвременни строителни продукти от дървесина. Приложението при черупкови конструкции. ....	27
2.3.2 Съвременни крепежни елементи. Приложението при черупкови конструкции. ....	28
2.3.3 Технология на заводско производство и BIM технологии при проектирането .....	28
Глава 3: Класификация на съвременни черупкови конструкции от дървесина ..	29
3.1 Общи характеристики .....	29
3.1.1 Архитектурна форма. Формообразуване. ....	29
3.1.2 Конструкция .....	30
3.1.3 Детайл на възлово съединение .....	36

3.2 Черупкови конструкции от дървесина с единична кривина .....	38
3.2.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина с единична кривина .....	39
3.2.2 Ребрести черупкови конструкции от дървесина с единична кривина .....	39
3.2.3 Плътни черупкови конструкции от дървесина с единична кривина .....	40
Изводи .....	41
3.3 Черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина .....	41
3.3.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина .....	41
3.3.2 Ребрести черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина .....	42
3.3.3 Плътни черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина .....	43
3.3.4 Черупкова конструкция с двойна кривина с клетъчна структура .....	44
3.3.5 Черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина със смесена структура .....	45
Изводи .....	46
3.4 Ротационни повърхности от дървесина .....	46
3.4.1 Мрежести куполи от дървесина .....	47
3.4.2 Ребрести куполи от дървесина .....	48
3.5 Групови черупкови конструкции от дървесина .....	49
3.5.1 Вълнообразни черупкови конструкции от дървесина с единична или двойна кривина .....	50
3.5.2 Секториални черупкови конструкции от дървесина .....	51
3.6 Висящи черупкови конструкции от дървесина .....	52
3.7 Черупкови конструкции от дървесина със свободна форма .....	54
3.7.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина със свободна форма .....	55
3.7.2 Плътни черупкови конструкции от дървесина със свободна форма .....	57
3.8 Изводи .....	58
Глава 4: Предполагаеми предимства и недостатъци на ЧКД пред алтернативата със стомана и стоманобетон .....	59
4.1 Сравнение на черупкови конструкции от дървесина и стомана .....	59
4.2 Сравнение на черупкови конструкции от дървесина и стоманобетон .....	60
4.3 Съвременните черупкови конструкции от слепена дървесина – предполагаеми предимства и недостатъци .....	60
4.4 Изводи .....	61
Глава 5: Заключение .....	62
Оценка на приносите: .....	63
Библиография .....	64

# Глава 1: Въведение

## 1.1 Актуалност на проучването и необходимост от изследването

Развитието на науката и индустриалните технологии води до създаване на съвременни строителни продукт и системи, както и до дигитализиране на проектирането и процесите в строителството. Като резултат, съвременното строителството с дървесина е бързо и високотехнологично. Сградите се изпълняват от заводски произведени елементи изготвени на база цифров модел на сградата и конструкцията ѝ.

В дисертационния труд са разгледани предимно покривни конструкции над помещения с големи подпорни разстояния с конструкция от съвременни материали от дървесина, като акцента е върху черупковите конструкции от дървесина. Тези конструкции са с впечатляваща архитектурна визия, съвременните им реализации представят много от тенденциите в строителството – начин на проектиране, заводска заготовка, технологичност на изпълнението, естетика, екологичност и ефективност. Дигиталната ера създава изцяло нови възможности и материали, които оптимизират разходите и времето при проектирането, производството и монтаж на тези ефективни и елегантни конструкции от дървесина. Налице са нови технологични възможности за прецизно изготвяне на пространствените възлови съединения.

### Актуалността на проблема

В България е силно ограничена реализацията на сгради и съоръжения с конструкция от слепена дървесина, а примери на реализирани сгради с черупкови конструкции от дървесина вероятно липсват. Конструкциите от слепена дървесина са иновативно решение и ниша в строителния бранш с висока добавена стойност, която би могла да се развие на нашата територия.

## 1.2 Обект и предмет на изследването

**Обект на изследването** са съвременните конструкции от слепена дървесина за големи подпорни разстояния с акцент върху черупковите конструкции от дървесина.

**Предмет на изследването** са черупковите конструкции от дървесина (ЧКД) - историческото им развитие, класифициране на видовете ЧКД и съпоставката им с алтернативни конструкции.

## 1.3 Обхват и съдържание

Анализът в дисертационния труд е насочен към черупковите конструкции от слепена дървесина и приложението им за сгради с големи подпорни разстояния.

1. Разгледани са черупковите конструкции като представител на пространствените конструкции за големи подпорни разстояния от дървесина,
2. Не са разглеждани плоскостни (линейни) конструкции,
3. От пространствените конструкции са разгледани черупковите конструкции.

4. Разгледаните примери са с черупкова конструкции от дървесина като е акцентирано на реализациите със съвременни продукти от дървесина –GLULAM, CLT, LVL и други.

#### 1.4 Цели и задачи на изследването

**Основни цели** на труда произтичат от актуалността, значимостта на проблема за систематизирането на знанието и констатациите в тезата и подтезите:

- **Научно-теоретични** – допълване, обогатяване, систематизиране и обобщаване на знанието за начините за проектиране и реализация на конструкции от слепен дървесина.
- **Научно-практически** – Систематизиране и представяне на съвременните черупкови конструкции със слепен дървесина (ЧКД), тяхното приложение и принципни детайли.
- Да представи систематизирано проблематиката при проектирането, заводската заготовка и монтажа на ЧКД,
- Да изследва формообразуването на ЧКД и тенденции за развитие на формата.
- Да отличи добрите практики и тенденции при реализациите на ЧКД.
- Създаване на критерии за оценка на сложността и извеждане на основни принципи за рационализиране на архитектурните обеми, реализирани с ЧКД.

**Задачите**, които следват от поставените цели са следните:

- Исторически преглед на развитието на ЧКД и проучване на съвременната практика,
- Анализ на развитието на конструктивното решение на ЧКД.
- Извеждане на основни архитектурно-планировъчни характеристики.
- Класифициране на ЧКД на база примери на реализирани сгради.
- Анализ на взаимовръзката между конструктивна система, строителна технология и строителен материал;
- Анализ на предимствата и недостатъците на конструкциите от слепен дървесина пред другите алтернативи.
- Анализ на функционалното предназначение на сградите, където тези конструкции имат предимства и реализации.
- Актуализиране и прецизиране на терминологията в областта на изследването.

#### 1.5 Методология

С цел постигане на поставените цели в труда са приложени няколко различни метода. Изследването се основава на системния подход и смисловата обвързаност на отделните глави.

Проучени са текстови, графични и илюстративни материали в българската и чуждестранната научна литература. Дисертационният труд се основава

предимно на европейския и световен опит с разгледани и анализирани реализирани примери от водещи строителни и проектантски практики в Германия, Англия, Франция, Русия и др. За историческия преглед на черупковите конструкции от дървесина е приложен аналитично-синтетичен метод. При класифицирането на черупковите конструкции от дървесина е приложен системно-структурен метод. Анализът на проблемите на избраните примери на сгради реализирани с черупкови конструкции от дървесина се основава на системно-структурния подход. Включена е и информация натрупана на база личен проектантски опит. Доказването на предполагаемите предимства и недостатъци на черупковите конструкции от слепена дървесина е направено чрез сравнителен анализ в съпоставка с черупкови конструкции от метал или стоманобетон.

## **1.6 Критерии и последователност на изследването**

### **Последователност на изследването**

1. Изследването започва с преглед на българската и световната научна литература, както и световните научни бази данни.
2. Направен е подбор на над 100 броя примера на реализирани черупкови конструкции. (над 80% от примерите са на реализации след 2000г., 50% на реализации след 2010г.)
3. Направен е исторически преглед на развитието на черупковите конструкции от XX век до днешни дни на база избраните примери.
4. Направени са заключения за развитието на черупковите конструкции от дървесина, структурата им и на пространственото възлово съединение. Изведени са основните характеристики на черупковите конструкции от дървесина.
5. Класифициране на черупковите конструкции от дървесина на база основни характеристики, изведени от историческия преглед, както и на класификация базирана на формообразуването.
6. Сравнителен анализ на черупковите конструкции от слепена дървесина и ЧК с метална и стоманобетонна конструкция, базиран на основните характеристики.
7. Заключение и изводи.

### **Критерии за подбор на разгледаните примери в дисертацията**

С цел постигане представителност на изследването и достоверност на резултата, разгледаните примери отговарят на посочените изисквания:

1. Сгради, съоръжения или макет на конструкция за широкоплощни сгради с голямо подпорно разстояние.
2. Сгради, съоръжения или макет на конструкция реализирани с черупкова конструкция от дървесина.
3. Избраните примери следва да са на реализирани сгради или макет на конструкция.
4. Над 50% от примерите да са на сгради реализирани след 2010г. Над 80% от примерите да са на сгради реализирани след 2000г.



5. Броя на подобранияте примери да е над 100 броя.

## 1.7 Теза на труда

**Основната теза** на дисертацията е:

Черупкови конструкции (пространствени структури)

+ съвременни материали от дървесина

+ съвременни пространствени възлови съединения

+ съвременен подход за проектиране и изпълнение

-----

Устойчиво, иновативно, естетическо решение, което намира приложение при сгради с различни функции и има предимства пред алтернативните конструкции.

### Подтези:

1. Съвременните черупкови конструкции от дървесина са резултат от дългогодишен опит, натрупан в строителната и проектантска практика в тази насока, но едва в началото на XXI век може да бъде констатирано по-широкото им приложение.

2. Черупковите конструкции от дървесина са надеждно и естетично решение, което дава възможност за проектирането и реализацията на конструкции със свободна форма за сгради с големи подпорни разстояния.

3. Подобрените конструктивни и експлоатационни характеристиките на новите материали от дървесина, както и съвременните детайли на възловите съединения, са предпоставка за подобряването на редица архитектурно-конструктивни аспекти на черупковите конструкции от дървесина и по-масовото им приложение в широкоплощни сгради с черупкови конструкции с различно предназначение.

4. Поради подобрените характеристики на съвременните материали от дървесина, приложението ѝ в черупковите конструкции има предимства пред стоманата и стоманобетона.

## 1.8 Речник на термините и ключови думи

- **Glulam** (Glued laminated timber) - лепена многопластова дървесина;
- **CLT** (X-LAM) – Cross laminated timber) - плоскост или елемент от слепени дъски, с взаимно перпендикулярно разположение на влакната на отделните слоеве;
- **LVL** (Laminated veneer lumber) – Пластов фурнирен материал – плоскост от слепени фурнирни листове, с успоредно разположение на влакната на отделните листове;
- **Prefabrication** (Pre-Fab Constructions) – предварително производство в заводски условия на елементите на сградата
- **CNC** (Computer numeric control) - ЦПУ /цифрово програмирано управление/;

- **Конструктивна структура (Структура)** – мрежеста (решетъчна), клетъчна, плътна, ребреста и смесена конструктивна структура. Конструктивна структура на конструкцията.
- **Градивен модул на конструкцията** – група от конструктивни елем.
- **Архитектурна форма** – Архитектурната форма е комбинацията от архитектурното пространство и архитектурната конструкция<sup>1</sup>
- **Повърхнини със свободна форма** - Повърхностите със свободна форма играят все по-важна роля в съвременната архитектура. Докато цифровите модели се създават лесно, действителното производство и изграждане на архитектурни обеми със свободна форма на повърхнината остава предизвикателство.
- **Черупкови конструкции от дървесина (ЧКД)** – пространствена конструкция с кривина. Работят главно на натиск като разпределят усилията в няколко направления.
- **Архитектурни обекти с големи подпорни разстояния** – различните видове обществени зални сгради

## Глава 2: Исторически преглед на развитието на черупковите конструкции от дървесина. Проучване на опита и съвременно приложение.

### 2.1 Исторически преглед

#### 2.1.1 Черупкови конструкции от дървесина реализирани през XX век.

През първата половина на миналия век, някои от масово произвежданите крепежни елементи са станали широко достъпни за първи път. Възможностите за изпълнение на възлите във фермите са били допълнително подобрени, което благоприятства реализацията на по-големи подпорни разстояния.

#### **Фриц Цолингер: Система Цолингер – 1924г. до днес**

В началото на миналия век е констатиран вероятно първият опит за конструиране на мрежеста черупкова конструкция. Около 1904 г. Фриц Цолингер (1880-1945) изгражда и оразмерява мрежеста черупкова конструкция с единична кривина. Ламинираният дървен материал е доразвит през XX век. Технологиите на производство е подобрена и са разработени нови лепила. Ранните слепени ламинирани дървени материали се представят добре в сухи условия, но влагата разгражда лепилото. В през 30-те години на миналия век са разработени първите лепила устойчиви на влага. Докато това лепило се е нуждало от топлина за втвърдяване, е било трудно да се произвеждат големи напречни сечения. Второ поколение лепила, разработени през 40-те години на миналия век, втвърдяващи при нормални температури спомага за следваща стъпка в развитието на слепените строителни материали от дървесина. През 50-те години на XX век греди от слепена дървесина стават достъпни за по-масова употреба.

---

<sup>1</sup> (Tilev 2014)



**Фигура 2. 1** Галерия „Mother Fourage”, Цолинггер (1924) <sup>2</sup> С нимка: Wolfgang Bittner

### **Фрай Отто**

Първите примери на мрежести черупкови конструкции от дървесина, проектирани от германския архитект Фрай Отто, са били изработени от летви, сглобени, така че да образуват правилни, първоначално ортогонални мрежи (решетки) с болтови връзки при всички пресичания на конструктивните елементи на мрежата.

### **Германско строително изложение, Есен, 1962 г.**

Първата реализация от Фрай Отто на мрежеста черупкова конструкция от дървесина е павилион на Германското строително изложение в Есен през 1962 г. Черупковата конструкция е с двойна кривина, архитектурната форма е близка до сферична. Конструкцията е реализирана с дървени елементи – летви (бичмета). Структурата на конструкцията е мрежеста, състояща се от два разминати слоя от летви, монтирани един към друг чрез болт, което прави възловото съединение меко (изменяемо).



**Фигура 2. 2** Мрежеста черупкова конструкция от дървесина, Фрай Отто (1962) <sup>3</sup>

<sup>2</sup> ('Timber Construction Atlas Berlin Brandenburg — Gallery Mother Fourage, Friedrich Zollinger' n.d.)

<sup>3</sup> (Liddell 2015)

Начинът на проектиране е чрез изготвяне на макет на конструкцията и пренасяне на точките към чертежите чрез измерване на разстоянията в макета. Предварителна заводска заготовка на елементите липсва, а начинът на монтаж е чрез сглобяване на земята и повдигане с кран.

#### **Мултихале, Манхайм, 1975 <sup>4</sup>**

Значим момент за развитието на мрежестите черупкови конструкции от дървесина е реализацията на покривното покритие над многофункционалната зала „Мултихале“ (1975) на Фрай Отто. Повърхнината е със свободна форма, площ на повърхнината от 9480 кв.м., при покрита площ от 7400 кв.м. и височина от 20 м. Мрежестата черупкова конструкция е двуслойната – 2 x 2 слоя от дървени бичмета със сечение 50/50мм, разминати един над друг. Възловото съединение е осъществено чрез болтове минаващи през четирите слоя летви.



**Фигура 2. 3 Манхайм Multihalle (Снимка: Gabriel Tang) <sup>4</sup>**

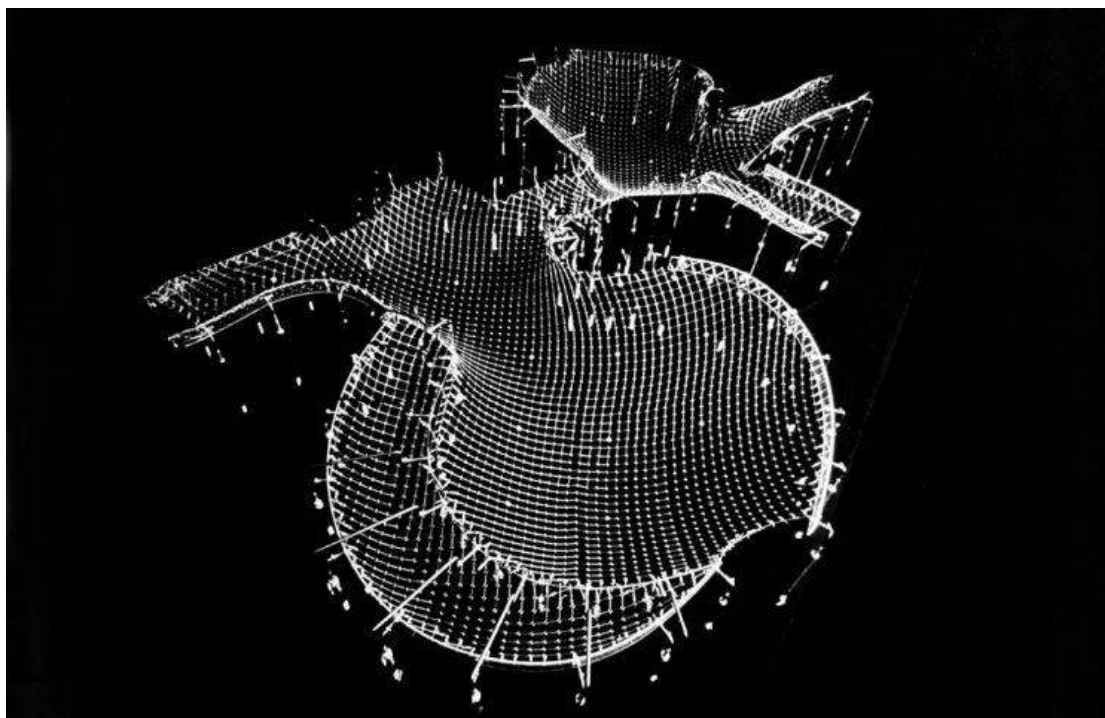
Черупковата конструкция е сглобена на строителната площадка и в последствие е вдигната до проектната позиция. Укрепването на конструкцията е постигнато чрез закоравяване на опорния контур и чрез метални въжета, минаващи през всеки шести възел на конструкцията. Детайлът на възлите – чрез разпробиване и монтаж на болт/ шпилка през две или повече дървени летви не е технологичен – трудоемко изпълнение, с голяма вероятност за деформация на летвите (разцепване).

За изготвянето на проекта на „Multihalle“ са използвани макети, както за архитектурното, така и за конструктивното проектиране. Първоначално е бил направен макет от телена мрежа в мащаб 1: 500, за да се определи предварителната архитектурна/ пространствена форма на мрежата. За определянето на размера на мрежата е било необходимо изграждане на втори по-подобен макет на мрежестата повърхнина, конструирана в мащаб приблизително 1:30.

---

<sup>4</sup> ('Architecture – Mannheim Multihalle' n.d.)



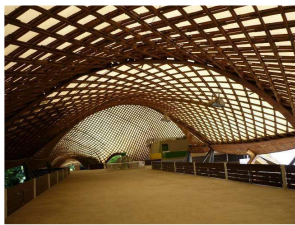




Фигура 2. 4 Макет на конструкцията на „Multihalle“<sup>4</sup>

Забележително постижение е както постигната архитектурната форма, която можем да определим като свободна, така и ефективността на конструкцията – 2 x 2 слоя от летви (бичмета) сечение 50/50мм при подпорно разстояние 60м. и височина 20м.

Таблица 2. 1 Исторически преглед примери Цолингер/ Фрай Отто

Черупкови конструкции от дървесина Цолингер/ Фрай Отто			
ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 Сист. Цолингер 1924 ЧК1К, мрежеста <sup>2</sup>			Ромбовидна мрежа, d=80 см равномерна. Еднослойна Ребра 5/10см. Укрепване чрез дъсчена обшивка
 Германско стр. излож. 1962 ЧК2К <sup>3</sup>			Квадратна мрежа, d= 50см. Равномерна Еднослойна Летви сеч. 35/50мм.

 <p>Манхайм Multihall 1975 <sup>4</sup> ЧК свободна форма</p>			<p>Квадратна мрежа, d= 50см. Равномерна Двуслойна Летви сеч. 50/50мм</p>
--	---	--	--

### 2.1.2 Обекти реализирани в периода 2000-2010г.

Следващата група примери са мрежестите черупкови конструкции от дървесина на „Weald and Downland“, 2001 г., и мрежестата ЧКД на „Savill Building“, 2005. Изброените примери на мрежести черупки са сглобени по познатия от миналите примери начин – на строителната площадка, без заводска заготовка, но с разликата, че са сглобени върху повдигната монтажна платформа и по този начин са използвали и естествената тежест на конструкцията, за да стигнат до проектната си позиция. Обектите са реализирани преди 2010г. в Англия. Характеризират се с ортогонална структура с квадратен модул на структурата и елементи на конструкцията - 2 x 2 слоя летви (бичмета) с добавен укрепващ елемент от дървесина между тях.

#### Weald and Downland Gridshell, Singleton, 2001



Фигура 2. 5 Изглед към ЧКД на „Weald and Downland Gridshell“ <sup>5</sup>

„Weald and Downland Gridshell“ е първата двуслойна мрежеста ЧКД във Великобритания и е проектирана и построена в началото на 2000 г. Сградата разположена в Сингълтън, Чичестър Англия, е част от музееен комплекс на открито. Пространствената повърхнина на Даунланд е със сложна форма, която би могла да бъде разгледана като групиране на три еднакви обема с двойна кривина. Формата и двойната кривина на повърхнината ѝ спомагат за

<sup>5</sup> (‘Downland Gridshell - Weald & Downland Living Museum’ n.d.)

пространствената устойчивост на сградата. В план сградата е с дължина 50 метра и е 16 метра в най-широката част, стесняваща се до 12,5 метра. Височината е 7,35 м в най-ниските точки, а в централния обем най-високата точка е на 9,5 м.

Черупковата конструкция е с мрежеста структура, съставена от дървени летви (бичмета) със сечение 50/35 мм, подредени в двуслойна конфигурация. За укрепване на конструкцията след образуването на решетката е използвани допълнителен слой летви със сечение 50/35мм, които са монтирани хоризонтално, пред равнината на основната конструкция. Поради допълнителният слой летви, геометричната форма на модула на структурата е триъгълен.

Прогресът в избрания обект, спрямо групата примери проектирани от Фрай Отто, е:

- новата система от прави планки за възловите съединения.
- развитие и в метода на проектиране – проект е бил разработен по метода с макет, но в допълнение и чрез компютърно моделиране.
- оптимизацията при начина на изграждане. Конструкцията е била сглобена отново на строителната площадка, но върху повдигната монтажна платформа

#### **Savill Garden Gridshell, Уиндзор, 2005 г.<sup>6</sup>**

Завършена през 2005 г., сградата е като входен павилион на територията на парка Уиндзор. В план сградата има формата на лист с размери 90 м дължина и 20 метра широк. В план геометрията на периметъра на сградата е генерирана от пресичането на две дъги, обемът от друга страна може да бъде разгледан като групиране на три ЧКД с двойна кривина, но и с различен размер.



**Фигура 2. 6 Покривът на ЧКД, The Savill Garden <sup>6</sup>**

Покривната конструкция на сградата представлява мрежеста черупкова конструкция. Слоеве мрежата на черупковата конструкция са два по два летви

---

<sup>6</sup> ('Savill Building's Curvaceous Locally Sourced Wood Roof Resembles a Giant Fallen Leaf' n.d.)



(бичмета) от лиственици със сечение 80/ 50 мм с укрепващ елемент от дървесина между тях.

- Формообразуването е изследвано с помощта на софтуер.
- Анализът на конструкцията също е бил извършен цифрово.
- За пренасяне на усилията на покрива е била предвидена извита контурна греда, усилена със стоманен профил. Свързването на летви с металната контурна греда е било решено с помощта на летви от LVL.
- Нов метод за укрепване на мрежестата черупкова конструкция - чрез допълнителен слой шперплат (мембрана).
- Използването на компютърно генерирани 3д физически модели спомогнали за изучаване на геометрията и комуникация
- Първи стъпки в насока производствения процес на конструкции от дървесина – в заводски условия са били отстранявани дефекти от дървесината.

**Таблица 2. 2 Исторически преглед примери в Англия, 2000-2010г.**

<b>Черупкови конструкции от дървесина Англия 2000-2010г.</b>			
<b>ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ</b>	<b>Структура</b>	<b>Детайл съединение</b>	<b>Слоеве гр. модул/ материал</b>
 Музей „Weald and Downland“ 1924 Групова ЧК <sup>5</sup>			Ортогонална решетка, 2x2 слоя летви, Укрепващ слой от хориз. Летви, Детайл на съединението с прави планки
 The Savill Garden Групова ЧК <sup>6</sup>			Ортогонална решетка, 2x2 слоя летви, Укрепващ слой от шперплат(мембр.) Детайл на съединението - с болтове

В разгледаните два примера реализирани в периода преди 2010г., в Англия, отчитаме развитието на черупковите конструкции от дървесина, спрямо предишния разгледан период в следните насоки – детайл на съединението, начин на монтаж, начин на проектиране, първи стъпки в заводската заготовка на конструкцията, начин на укрепване на конструкцията. В градивни слоеве на ЧКД не се отчита значителна промяна – решението остава двуслойно с летви.

### **2.1.3 Предварително произведени мрежести черупкови конструкции от дървесина**

Големите гъвкави, разгръщащи се мрежести черупкови конструкции от дървесина създават трудности при монтаж. Повтарящи се процеси и типови



детайли (възел) дават възможност за следващите стъпки в насока заводска заготовка на конструкциите - били са сглобявани малки модули от летвите, формиращи конструкцията.

### Център Помпиду-Мец, 2010г.

„Center Pompidou-Metz“<sup>7</sup> от Shigeru Ban Архитекти 2010 г. представлява обществен център със смесена функция. Реализацията на сградата представя степента на напредъка в насока цифровизация на производствата. Извънгабаритни слепени конструктивни елементи са били изработени до необходимата форма с помощта на машина с цифрово програмирано управление (ЦПУ).



**Фигура 2. 7 Изглед към Концертна зала на Център Помпиду, Мец, Франция <sup>7</sup>**

Черупковата конструкция от дървесина е със свободна форма, но степента ѝ на сложност е повишена поради преливането на покривната равнина в пространствени колони. Сградата е с шестоъгълен план с дължина на страната от 52 м. Покривът е с площ от приблизително 7000 кв.м. и има максимална ширина 104 м. Максималното подпорно разстояние за черупковата конструкция е около 50 м.

Геометричната форма на градивния модул включва редуване на шестоъгълници и триъгълници. Черупковата конструкция е двуслойна, със съчетано сечене на конструктивните елементи наподобяващо на предшестващите примери – 2 x 2 слоя, разминати един над друг и детайл на възела с крепежен елемент (шпилка/ бол) през средата на елементите.

<sup>7</sup> ('Centre Pompidou-Metz / Shigeru Ban Architects | ArchDaily' n.d.)

**Център за посетители на пещери Waitomo, Otorohanga, Waikato, Нова Зеландия, 2010 г.**



**Фигура 2.8 Център за посетители на пещери с нажежени червеи Waitomo<sup>8</sup>**

Посетителският център към пещерите Waitomo, в Отороханга, Нова Зеландия, е покрит с черупкова конструкция с двойна кривина и торосовидна форма, която прехвърля максимално разстояние от близо 34м.

- Напредък в растера на структурата на конструкцията - ромбовидна геометрия на градивния модул и размери 4,25 x 4,25м. Линейните конструктивни елементи от LVL са два слоя, свързани във възлите с помощта на болт, височина на съставното сечението от общо 324 мм с горни и долни слоеве, свързани чрез дистанционери. Укрепването на конструкцията е изпълнено с метални въжета.

**Мрежеста черупкова конструкция „Толедо“, Архитектурен факултет, Università degli Studi di Napoli Federico II, Неапол <sup>9</sup>**



**Фиг. 2. 1 Толедо Gridshell, Архитектурен факултет, Università degli Studi di Napoli Federico II, Неапол <sup>9</sup>**









<sup>8</sup> ('Waitomo Glowworm Caves Visitor's Centre | WoodSolutions' n.d.)

<sup>9</sup> ('Toledo Gridshell | Gridshell Work in Progress' n.d.)

Мрежестата черупкова конструкция с двойна кривина „Толедо“<sup>9</sup> е макет на конструкция.

- Проектантският подход е стигнал до най-актуалните решения към 2012 (когато е изпълнена) - чрез усъвършенстван цифров инструмент, съвместим с архитектурното 3D моделиране и изчислителен софтуер за конструкцията - Rhinoceros 3D<sup>10</sup>, плъгини като Grasshopper<sup>11</sup> и други
- Производството на компонентите се основава на геометричните данни, получени от цифровите модели.

Таблица 2.3 Исторически преглед примери след 2010г.,

Черупкови конструкции от дървесина след 2010г.			
ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 Помпиду – Мец 2010 ЧК свободна форма <sup>8</sup>			Равномерна шестоъгълна решетъчна структура, двуслойна с извити летви, усиление с дистанционер.
 Посетителски център “Waitomo” ЧК 2К <sup>9</sup>			Равномерна ромбовидна стр. 4,25x4,25м. 2 x 2 слоя LVL + дистанционер, Укрепване с въжета
 Решетъчна черупка “Толедо”, Италия ЧК 2К <sup>10</sup>			Ортогонална решетка, 2x2 слоя летви, укрепена с диагонали

Комбинацията от съвременните строителни материали от дървесина, възможности за изготвяне на пространствени възлови съединения, възможности за проектиране и производствени възможност създава предпоставки за

<sup>10</sup> Rhino - Rhinoceros 3D (rhino3d.com)

<sup>11</sup> Grasshopper Addons and Plugins | Grasshopper Docs

реализиране на подобрени решения с черупкови конструкции от слепена дървесина приложими с неочаквана архитектурна форма и за сгради с почти всякакъв тип функционално предназначение.

#### **2.1.4 Функционално предназначение на сградите, реализирани с конструкция от слепена дървесина при големи подпорни разстояния**

Маркетингов анализ на федерацията на шведските горски индустрии показва следните важни факти за употребата на слепена дървесина “Glulam” в строителния сектор в страната. Проучването показва, че най-голям е броя на проектите за индустриални сгради и складове. Като изключим проектите за жилищното строителство, приложението на конструкции за големи подпорни разстояния се намира предимно в сгради със следните функции:

- Обществени (театри, музеи, покрити пазари, изложбени зали, концертни зали, павилиони, гари и др.),
- Промислени и складови,
- Спортни зали и съоръжения (басейни, стадиони, спортни зали от различен тип и др.).

#### **2.1.5 Анализи и изводи**

Периодите предложени в дисертационния труд са:

- Началото на XX век – системата Цолингер.
- 60-те години на XX век – обектите на Фрай Отто. Свободна архитектурна форма с черупкова конструкция от дървесина, големи подпорни разстояния.
- Началото на XX век, в Англия – оптимизация на възловото съединение от обектите на Фрай Отто, дигитализация на проектирането.
- Съвременни обекти реализирани в след 2010 години. Масово приложение на продукти от слепена дървесина, развитие на проектантския софтуер, развитие на роботизирани производства.

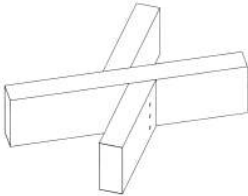
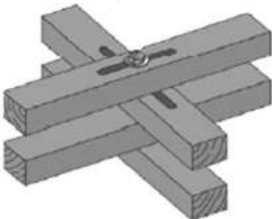
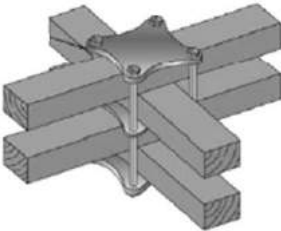
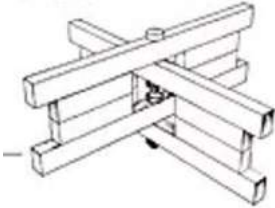
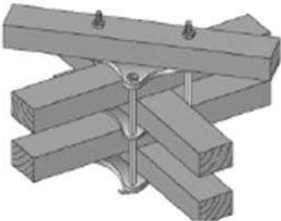
В обобщение е представено развитието на черупкови конструкции от дървесина. Разглежданите техни основни характеристики са:

- Архитектурна форма – общи характеристики на обема, начин на формообразуване, кривина, сложност на формата и развитието ѝ,
- Функционално предназначение на сградата,
- Конструкция – подпорно разстояние, основни конструктивни елементи, геометрията им, пространствено разположение, слоеве на конструкцията, пространствено укрепване.
- Структура на конструкцията – геометрични характеристики, градивен модул,
- Пространствено възлово съединение – разстояния между възлите, детайл на възела,
- Материали на конструкцията.
- начина на проектиране
- начините за заготовка и монтаж



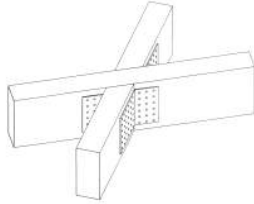
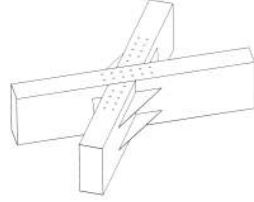

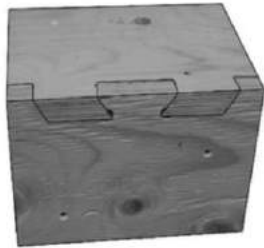

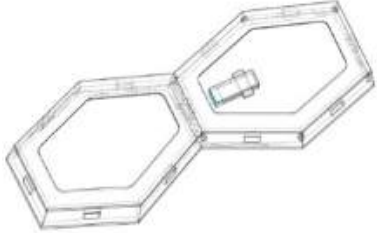
## Развитие на конструктивната структура и детайла през годините

Таблица 2.4 Схеми на детайли на съединения при черупкови конструкции от дървесина

Видове пространствено възлово съединение при черупкови конструкции от дървесина		
№	Описание	Схема
1.	Система Цолингер - Винтове/пирони монтирани под ъгъл	 12
2.	Болтова връзка през шлиц в дървени елементи. Двуслойна структура (2 x 2 слоя разминати)	 13
3.	Прави метални плочи и четири болта. Двуслойна структура (2 x 2 слоя разминати+ дистанционер)	 13
4.	Болтова връзка за горен и долен слой по отделно. Двуслойна структура (2 x 2 слоя разминати + дистанционер)	 6
5.	Прави метални плочи и четири болта. Трислойна структура (2 x 2 слоя разминати + 1 слой за укрепване)	 13

<sup>12</sup> (N. S. Herzog n.d.)

<sup>13</sup> (Harris et al., n.d.)

6.	<b>С прави ъглови планки</b>	 <p style="text-align: right;">12</p>
7.	<b>С хоризонтални шлицови планки</b>	 <p style="text-align: right;">12</p>
8.	<b>Скрити крепежни елементи</b>	 <p style="text-align: right;">14</p>
9.	<b>Зарязване на панели, дърводелски сглобки</b>	 <p style="text-align: right;">15</p>
10.	<b>Зарязване на панели, дърводелски сглобки</b>	 <p style="text-align: right;">15</p>
11.	<b>Дърводелски сглобки с трето парче</b>	 <p style="text-align: right;">16</p>





<sup>14</sup> <https://knappconnectors.com>

<sup>15</sup> (Rad et al. 2019)

<sup>16</sup> ('HexBox Canopy – Digital Timber Construction DTC' n.d.)

Начините на пространствено укрепване на черупковите конструкции от дървесина разгледани в примерите от глава 2.1 Исторически преглед са описани в таблица 2.6.

**Таблица 2.5. Начини на укрепване на черупкови конструкции от слепена дървесина**

<p>Чрез диагонален елемент от дървесина:</p>	 <p>9</p>
<p>Чрез метални въжета;</p>	 <p>13</p>
<p>Чрез мембрана (дъсчена обшивка или плоскост, CLT и други);</p>	 <p>2</p>
<p>Чрез твърд пространствен възел (метален предварително заготвен възел или др.)</p>	 <p>17</p>

## 2.2 Черупкови конструкции от дървесина в техническата литература

### 2.2.1 Обзор световната научна литература

#### Класификация съгласно „Handbook 1: Timber structures“<sup>18</sup>

- Пространствени конструкции.
- Нагънати (фалтови) конструкции
- Черупкови конструкции с единична кривина

<sup>17</sup> ('Crossrail Place Canary Wharf | Projects | Foster + Partners' n.d.)

<sup>18</sup> ('Leonardo Da Vinci Pilot Project Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures' 2008)

- Черупкови конструкции с двойна кривина
- Ротационни повърхнини – куполи
- Висящи покривни конструкции

**Класификация съгласно „Слепени дървени конструкции в съвременното строителство“<sup>19</sup>, 2013, проф. инж. С. Турковски**

- Прости греди с повишена якост на натиск;
- Сглобяеми арки;
- Сглобяеми рамки;
- Сглобяеми ферми;
- Ребрести куполни конструкции;
- Мостове, кули и др. форми;

**Класификация съгласно „Timber construction manual“<sup>12</sup>**

- Плътни сводове;
- Мрежести сводове;
- Мрежести куполи;
- Седловидни черупки;
- Висящи черупки;

**Анализ и изводи**

Липсва единна и пълна класификация на черупковите конструкции. В изготвянето на подобна класификация би могло да се отбележи и градивния материал, което от своя страна да е признак за определени характеристики на съответната конструкция.

**2.2.2 Дървени черупкови конструкции в българската техническа литература**

**Класификации съгласно монография проф. арх. Ат. Попов<sup>20</sup>**

- Тънкостенни черупкови конструкции с едностранна кривина;
- Тънкостенни черупкови конструкции с двустранна кривина;
- Тънкостенни вълнообразни черупки;
- Ребрести и мрежести черупкови конструкции;
- Секториални черупки;
- Надиплени (нагънати) плоски черупки;

**Класификации съгласно монография проф. арх. М. Ангелов<sup>21</sup>**

- Тънкостенни черупки с единична кривина;
- Тънкостенни черупки с двойна кривина;
- Тънкостенни вълнообразни черупки;
- в/ Според формата са:
- тънкостенни черупкови конструкции;

<sup>19</sup> (Турковски 2013)

<sup>20</sup> (Попов 1972)

<sup>21</sup> (Ангелов 1989)



- тънкостенни вълнообразни конструкции;
- тънкостенни нагънати конструкции;

**Класификации съгласно монографията „Строителство на черупкови конструкции в България“<sup>22</sup> проф. инж. А. Тепавичаров:**

- Цилиндрични черупки (монолитни и сглобяеми);
- Куполи (монолитни и сглобяеми);
- Вълнообразни черупки (сглобяеми с вълнообразно напречно сечение, сглобяеми многовълнови покрития от хипероло-параболоидни панели, многовълнови покрития от призматични черупки);
- Полегати черупки с положителна гаусова кривина (монолитни и сглобяеми);
- Черупки с отрицателна гаусова кривина - хипари (монолитни и сглобяеми);

### **Анализ и изводи**

Поради осезаемата липса на примери за черупкови конструкции от дървесина в България, класификацията би могла да бъде съставена на база примери от световната практика.

**Таблица 2.6 Сравнителна таблица с начина на класифициране на пространствените конструкции от дървесина, съгл. Научни източници**

<b>Източник</b>	<b>Класификация</b>
„Handbook 1: Timber structures“ <sup>18</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Пространствени конструкции</li> <li>2) Нагънати /фалтови/ конструкции</li> <li>3) Черупкови конструкции с единична кривина</li> <li>4) Черупкови конструкции с двойна кривина</li> <li>5) Ротационни повърхности – куполи</li> <li>6) Висящи покривни конструкции</li> </ol>
„Слепени дървени конструкции в съвременното стр.“ проф. С. Турковски <sup>19</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Прости греди с повишена якост</li> <li>2) Сглобяеми арки</li> <li>3) Сглобяеми рамки</li> <li>4) Сглобяеми ферми</li> <li>5) Ребрести куполни конструкции</li> <li>6) Мостове, кули и др. форми</li> </ol>
„Timber construction manual“ <sup>12</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Плътни сводове</li> <li>2) Мрежести сводове</li> <li>3) Мрежести куполи</li> <li>4) Седловидни черупки</li> <li>5) Висящи черупки</li> </ol>
„Архитектурни конструкции“ <sup>20</sup> , проф. Ат. Попов	<p>Тънкостенни черупкови конструкции:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Тънкостенни черупкови конструкции с едностранна кривина</li> <li>2) Тънкостенни черупкови конструкции с двустранна кривина</li> <li>3) Секториални черупки</li> <li>4) Ребрести и мрежести черупкови конструкции</li> <li>5) Тънкостенни черупкови конструкции</li> </ol>

<sup>22</sup> (Тепавичаров 2003)

	6) Надиплени (нагънати) плоски черупки 7) Висящи тънкостенни черупки
„Архитектурни конструкции“ <sup>21</sup> , проф. М. Ангелов	Тънкостенни пространствени конструкции Тънкостенни черупкови конструкции 1) Тънкостенни черупки с единична кривина 2) Тънкостенни черупки с двойна кривина 3) Тънкостенни вълнообразни черупки 4) Тънкостенни нагънати (фалтови) конструкции 5) Висящи черупки 6) Висящи мрежи
„Строителство на черупкови конструкции в България“ <sup>22</sup> А. Тепавичаров	1) Цилиндрични черупки 2) Куполи 3) Вълнообразни черупки 4) Полегати черупки с положителна гаусова кривина 5) Черупки с отрицателна гаусова кривина (хипари)

### Предложение за класификация

Като основен квалификационен признак се приема АРХИТЕКТУРНАТА ФОРМА. Като втори квалификационен признак се приема СТРУКТУРАТА НА КОНСТРУКЦИЯТА. Предложението на автора е следното:

#### 1) Черупкови конструкции с единична кривина от дървесина

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,
- Плътна,

#### 2) Черупкови конструкции с двойна кривина от дървесина

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,
- Плътна,
- Клетъчна,
- Смесена.

#### 3) Групови черупкови конструкции от дървесина

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,
- Плътна,
- Клетъчна,
- Смесена.

В т.ч. „Вълнообразни ЧК“ и „Секториални ЧК“.

#### 4) Висящи черупки

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,

#### 5) Черупкови конструкции със свободна форма

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,
- Клетъчна,
- Плътна,
- Смесена.

### 2.2.3 Научни проучвания в насока дървени черупкови конструкции

Актуалността на темата за черупковите конструкции от слепена дървесина нараства. Като доказателство за това е факта, че дисертации и научни разработки по тази тема почти няма преди 2010г., докато броя им в последните пет години забележимо нараства.

Темите, които представляват интерес за научната общност в момента са:

- Роботизирано производство на конструкции
  - Оптимизиране на черупковите конструкции от слепена дървесина
  - Начини за моделиране и проектиране на сложни архитектурни форми
  - Формообразуване, начини на формообразуване,
  - Оптимизация на формата чрез изследване на натоварванията,
- Теми, които не са засегнати в посочените разработки и биха представлявали интерес от изследователска гледна точка са:
- Класификация на черупкови конструкция от слепена дървесина.
  - Изследване на общото обемно-пространствено решение и връзката на черупковите конструкции от слепена дървесина;
  - Исторически преглед и анализ на развитието на черупковите конструкции от слепена дървесина;
  - Сравнителен анализ между реализации на черупкови конструкции с слепена дървесина и такива със стомана или стоманобетон.

## 2.3 Съвременни конструкции от дървесина – материали, крепежни елементи, проектиране, технология на производство и монтаж

### 2.3.1 Съвременни строителни продукти от дървесина. Приложението при черупкови конструкции.

**Glulam** (Glued laminated timber) - лепена многопластова дървесина - **стандарти, размери и форми**

**LVL** - (Laminated veneer lumber) – **Пластова фурнирована дървесина** – плоскост от слепени фурнирни листове,

**CLT** (X-LAM – Cross laminated timber) - плоскост или елемент от слепени дъски, с взаимно перпендикулярно разположение на влакната на отделните слоеве.

#### **Подобрения:**

- Подобренията технически характеристики
- Естетическо въздействие
- Лесен добив на суровината
- Висока енергоефективност
- Ниско обемно тегло спрямо другите алтернативни конструкции
- Издръжлив строителен материал.
- Лесен за обработка

### 2.3.2 Съвременни крепежни елементи. Приложението при черупкови конструкции.

Скритите крепежни елементи намират приложение, предимствата им са лесния монтаж, повишена носимоспособност, възможност за скрит монтаж и защита от пожар.

Съвременните възможности за изготвяне на метални пространствени възлови съединения благоприятстват развитието на черупковите конструкции от дървесина, защото те дават възможност за изграждане на твърд възел.

### 2.3.3 Технология на заводско производство и BIM технологии при проектирането

Заводското производство на дървените елементи има следните предимства - ефективност на процеса (без прекъсване), контролирана околната среда, ограничаване на разходите за монтаж, добър разкрой и малка фира на материалите, бърз монтаж.

В съвременното строителство, проектирането заема основополагаща роля. Началото на заводско производство на даден строителен елемент или конструкция не е възможно без пълен набор от проектна документация и то в работна фаза с прецизно разработени детайли.

Методът на проектиране – параметричен дизайн се изпълнява предимно с „add-on“-а „Grasshopper“. Същият е приложим за посочените софтуерни продукти, поддържащи BIM среда на проектиране. ЦПУ машина, работи стандартно със софтуер, в който се изработват така наречените производствени чертежи или „К.М.Д.“. Възможна е пряка връзка между софтуерите поддържащи BIM среда и ЦПУ машината чрез „add-on“-и.

Таблица 2.7 Софтуерни продукт за връзка BIM среда – ЦПУ машина

Софтуерни продукт за архитектурно проектиране и връзка BIM среда – ЦПУ машина			
Програма за проектиране (BIM среда)	Параметричен дизайн (add-on)	Софтуер за ЦПУ машини	ЦПУ машини
- Archicad	Grasshopper (add-on)	- Archiframe (add-on)	- Hundegger
- Autodesk Revit		- HSB CAD	
- Rhinoceros 3D			

## Глава 3: Класификация на съвременни черупкови конструкции от дървесина

### 3.1 Общи характеристики

Черупковите конструкции са конструктивна система, причисляваща се към покривните конструкции над помещения с големи подпорни разстояния. Черупковите конструкции обикновено се характеризират с крива повърхнина и статическа схема, работеща на натиск в няколко направления и разпъващи усилия в контурните елементи. Дървесината е материал, който е по-лек от бетона и метала и при изчистена конструктивна схема, дава оптимални решения. Черупковите конструкции от слепена дървесина биха могли да бъдат приложени както за покриване, така и за цялостно ограждане на пространства.

Като основен квалификационен признак се приема АРХИТЕКТУРНАТА ФОРМА. Като втори квалификационен признак се приема СТРУКТУРАТА НА КОНСТРУКЦИЯТА.

Класификационните групи, които са разгледани, съгласно формата са:

- 1) Черупкови конструкции с единична кривина от дървесина
- 2) Черупкови конструкции с двойна кривина от дървесина
- 3) Групови черупкови конструкции от дървесина  
В т.ч. „Вълнообразни ЧК“ и „Секториални ЧК“.
- 4) Висящи черупки
- 5) Черупкови конструкции със свободна форма

Класификационните групи, които са разгледани, съгласно структурата на конструкцията са:

- Мрежеста (решетъчна),
- Ребреста,
- Клетъчна,
- Плътна,
- Смесена.

#### 3.1.1 Архитектурна форма. Формообразуване.

Обобщеното представяне на архитектурните форми е направено в няколко насоки:

- Определяне на възможностите за архитектурна форма спрямо класификационната група на черупковата конструкция,
- Определяне на възможностите за структурата на конструкцията спрямо класификационната подгрупа на черупковата конструкция

#### Формообразуване на съвременни ЧК от дървесина

Сложността на формата би могла да бъде разделена в четири основни групи:

- черупки с единична кривина,
- черупки с двойна кривина,

- черупки със свободна форма,
- черупки със свободна форма, при които имаме и формиране на вертикален пространствен конструктивен елемент

**Таблица 3. 1 Взаимовръзка между класификационна група на ЧК и формата**

Класификация	Форма	Основа	Сложност на формата
ЧК1К	Цилиндрична Конусна повърхнина	Правоъгълна основа, квадратна	1К – единична кривина
ЧК2К	Сферичен купол Висящ купол Бохемски купол Сегментен купол Торусни, торосообразни Хиперболоид	Кръгла, Триъгълна, Квадратна, Правоъг., многоъг. или друга основа	2К – двойна кривина
РОТАЦ	Кулоли, Конус	Кръгла, Елипса	Свободна форма
ГРУПОВИ ЧК	Група от черупки с 1К или 2К. Не е задължително да са еднакви. Не е уточнен начина на групиране.		
ВЪЛН	Група от еднакви паралелни черупки с 1К или 2К. Праволинейни вълн. черупки Дъгообразни вълн. Черупки		
СЕКТ	Групиране на няколко, обикновено еднакви Ч1К или Ч2К	Равностр. Триъгълник Квадрат Многоъгълник Кръг	
ВИСЯЩ	Висящите ЧК са с 1К или 2К		Нагъната свободна форма (преливаща в простр. Колони, например)
СВОБ	Формата е с 1К и/или 2К, резултат от пресичането на няколко обема или проектиране чрез алгоритъм изграден по метода на параметричния дизайн.	крилолинейна форма крилолинейна свободна форма ортогонална основа комбинация от ортогонална и криволинейна форма други	

### 3.1.2 Конструкция

Целта на тази глава е да разгледа различните възможности за конструктивно решение и да изследва конструктивните елементи и връзката

между тях, да се проследи развитието на тези решения през годините и да предположи бъдещи насоки.

### Основни принципи на конструктивно действие

За носимоспособността на черупковите конструкции:

- Необходимост от закоравяването на опорния контур чрез диафрагми и бордови греди.
- ефектът на двупосочно предаване на външните товари,
- на двойното им закривяване в пространството – изразява се в силно намаляване на всички моменти, напречни усилия и радиално преместване за сметка на появата на нови усилия – мембранните и на нови премествания - тангенциалните“. <sup>22</sup>
- Чрез диафрагмите и бордовите греди тангенциалните усилия от ЧК се поемат и предават към ограждащата конструкция.
- Критерии за полегатост - отношението на височината до стрелката към най-малкия линеен размер на проекцията ѝ в план да е по-малко или равно от 1/5.

### Структура на конструкцията

Таблица 3. 2 Връзка между класификационни групи на ЧК и структура на конструкцията им

	СТР	СТР2	СТР3	Модул 1	Модул 2	Възлов о съед.	Материал
ЧК1К	Мрежеста	Хомогенен Равен	еднослоен	Триъгълен	мрежеста	мека	Glulam
ЧК2К	Ребреста	Ортогонален	двуслоен	квадратен			
Групови ЧК	Гладка /плътна/	Отклонен	Пространствен модул	правоъгълен	ребреста	Полутвърда	CLT
				ромбовиден	плътен	твърда	LVL
ВИСЯЩ	клетъчна	Пресичания	Смесен				
СВОБ	смесена			шестоъгълен	смесен		Инж. дървесина

Представени са възможностите за структура на черупкова конструкция. Във втората колона „СТР“ са представени четирите основни структурни характеристики – мрежеста (решетъчна), ребреста, клетъчна, плътна и смесена. В колона „СТР 2“ е представен начина на подреждане на конструктивните елементи в структурата на конструкцията. Възможните решения, за които са разгледани и реализирани примери, са:



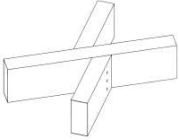









- хомогенно разположение - ортогонално и равномерно – квадратен, ромбовиден модул, триъгълен
- ортогонално разположение – ортогонално, но неравномерно – правоъгълен модул, триъгълен и други,



- разположение с отклонения – неравномерно разположение на конструктивните елементи (не са успоредни), но не се пресичат. Много различни по геометрична форма модули

- разположение с отклонения – не е целесъобразно изготвянето на градивен модул или много различни по геометрична форма модули.







**Таблица 3. 3 Видове мрежести (решетъчни) структури при черупкови конструкции от дървесина**

Мрежеста структура при черупкови конструкции от дървесина			
Обем	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 <p>Система Цолингер ЧК 1К<sup>2</sup></p>			<p>Ромбовидна решетка, d=80 см равномерна. Ребра 4/10см. Укрепване чрез дъсчена обшивка</p>
 <p>„Креод“ павилион, Лондон ЧК 2К<sup>23</sup></p>			<p>Равномерна шестоъгълна решетъчна структура, еднослойна (дъски), монтирани чрез винтове</p>
 <p>Помпиду – Мец ЧК своб. Форма<sup>7</sup></p>			<p>Неравномерна шестоъгълна решетъчна структура, двуслойна с извити летви, усилване с дървено трупче.</p>
 <p>„Chiddingstone“ оранжерия“ ЧК 2К<sup>24</sup></p>			<p>Ромбовидна равномерна решетка, двуслойна с летви, усилване с дървено трупче. Укрепване чрез метални въжета</p>

<sup>23</sup> ('KREOD / Chun Qing Li of Pavilion Architecture | ArchDaily' n.d.)

<sup>24</sup> ('Timber Framed Orangery and Award Winning Conservatories' n.d.)



 <p>„Crossrail Place“, Лондон <b>ЧК 1К</b> <sup>17</sup></p>			<p>Равномерна триъгълна решетъчна структура, еднослойна (греди Glulam), с твърд метален възел</p>
 <p>Подслон в Westonbirt, Англия <b>ЧК своб. Форма</b> <sup>25</sup></p>			<p>Решетъчна структура – пресечена. Двуслойна – с летви и усилване с дървено трупче</p>

Мрежестата структура на конструкцията е най-разпространеното решение за структура на черупкова конструкция и първото възникнало спрямо разгледаните примери.

**Таблица 3. 4 Клетъчна структура при черупкови конструкции от дървесина**

Клетъчна структура при черупкови конструкции от дървесина			
Изглед	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 <p>„HexBox Canopy“ <b>ЧК 2К</b> <sup>16</sup></p>		 <p>С дървен клин</p>	<p>Пространствени градивни модули от LVL панели.</p> <p>LVL панел, d= 40mm</p>
 <p>Офисна сграда в Анниен <b>ЧК 1К</b> <sup>26</sup></p>	 <p>Зала в Анниен - с дървод. сглобка [15]</p>		<p>Пространствени градивни модули от LVL панели.</p> <p>LVL панел, d= 40mm</p>

<sup>25</sup> (‘Xylotek - Local Oak Community Built Shelter Westonbirt Community Shelter’ n.d.)

<sup>26</sup> (Robeller, Christopher, Konakovic, Mina, and Dedijer, Mira 2016)

Таблица 3. 5 Плътна структура при черупкови конструкции от дървесина

Плътна структура при черупкови конструкции от дървесина			
Изглед	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 <p>Изложбена зала, Щутгарт Групова ЧК <sup>27</sup></p>		 <p>С дърводелска сглобка и дибли</p>	Плоскости от шперплат, бук, d=50мм
 <p>Recycleshell Университет Кайзерслаутерн Рот ЧК <sup>28</sup></p>		 <p>С дърводелска сглобка с трето парче и дибли</p>	CLT панел

Плътна структура на конструкцията е най-съвременното проявление на черупковите конструкции от дървесина. Тя е резултат от конструктивните свойства на съвременни материали като LVL и CLT и от възможностите за заготовка с ЦПУ машини.

Таблица 3. 6 Смесена структура при черупкови конструкции от дървесина

Плътна структура при черупкови конструкции от дървесина			
Изглед	Структура	Детайл съединение	Слоеве гр. модул/ материал
 <p>Зоопарка в Цюрих, Швейцария ЧК 2К <sup>29</sup></p>			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CLT панели с дебелина 80 mm,</li> <li>2. греди от слепена дърв. Сеч. 24 x 32 cm</li> <li>3. LVL панел с дебелина 57 mm</li> </ol>

<sup>27</sup> ('Landesgartenschau Exhibition Hall | Institute for Computational Design and Construction | University of Stuttgart' n.d.)


<sup>28</sup> ('Recycleshell – Digital Timber Construction DTC' n.d.)

<sup>29</sup> ('Elephant House Zoo Zürich / Markus Schietsch Architekten | ArchDaily' n.d.)

## Градивен модул

С цел оптимизация на черупковите конструкции, от гледна точка на възможностите за производство и монтаж, често се прибягва до унифициране на конструктивните елементи и стремеж за групирането им.

Таблица 3. 7 Градивни модули на структурата на ЧКД

Структура	Форма модул	Материал
Еднослойна и двуслойна структура на ЧК от дървесина	Квадрат/ успоредник / правоъгълник/ ромб	Дървени летви
		
Еднослойна и Двуслойна конструкция на ЧК от дървесина <sup>13</sup>		
Структура	Форма модул	Материал
Усилена двуслойна структура на ЧК от дървесина	Квадрат/ успоредник / правоъгълник/ ромб	Дървени летви и дистанционер
		
Детайл за усилване на конструкцията (до 2005 година) <sup>13</sup>		
Структура	Форма модул	Материал
Усилена двуслойна структура на ЧК от дървесина	Шестоъгълник	Дървени летви и дистанционер
		
Конструкция с шестоъгълен градивен модул <sup>7</sup>		
Структура	Форма модул	Материал



Еднослойна	Шестоъгълник	LVL плоскост
		
<b>Конструкция с шестоъгълен градивен модул <sup>23</sup></b>		

Структура	Форма модул	Материал
Двуслоен простр. модул от LVL	Успоредник /простр. форма Паралелепипед/	Пространствен модул от LVL плоскости

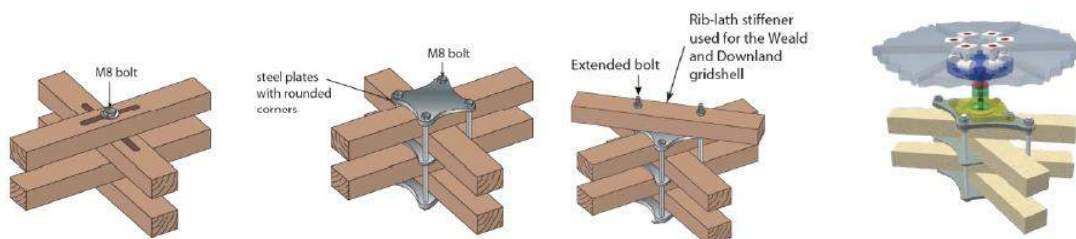
		
<b>Конструкция изградена от пространствени модули от LVL панел <sup>26</sup></b>		

Структура	Форма модул	Материал
Еднослойна от LVL плоскости	Шестоъгълник	LVL плоскости

		
<b>Конструкция изградена с LVL панел (еднослойна) <sup>27</sup></b>		

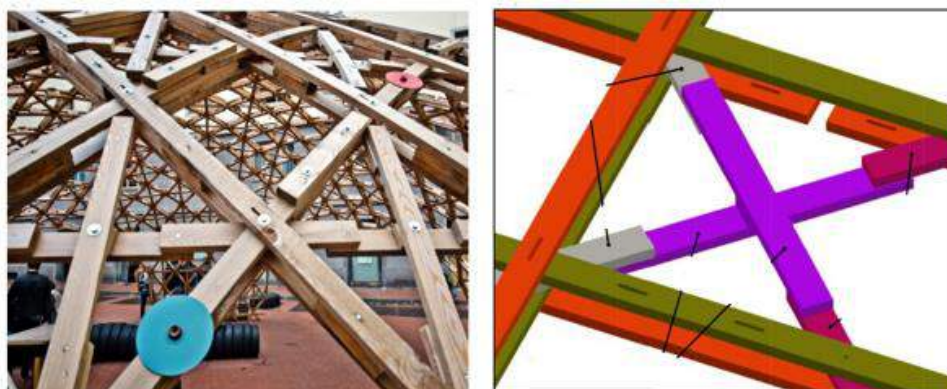
**3.1.3 Детайл на възлово съединение**

Пространственият възел е изключително важен за реализирането на ефективна черупкова конструкция. Решаването му влияе значително за реализацията на целия проект, тъй като влияе на редица конструктивни, производствени, монтажни и архитектурни аспекти.



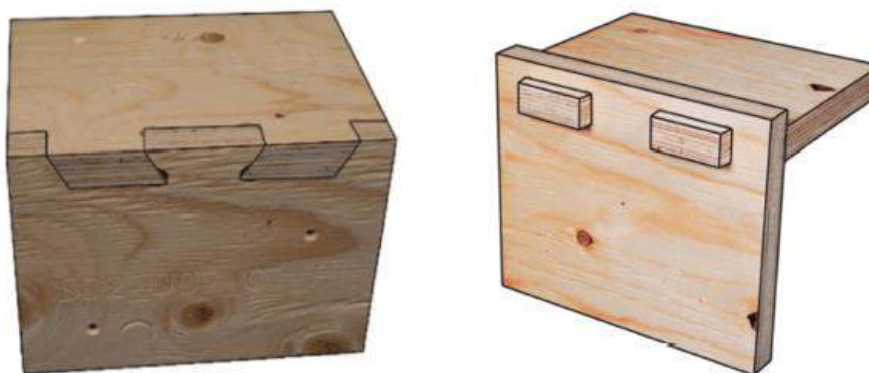
**Фигура 3.1 Детайл възел ЧК от дървесина до 2005г. <sup>13</sup>**

Детайли на черупкови конструкции от дървесина, реализирани в периода след 2000г. до 2010г.



**Фигура 3.2 Детайл възел при укрепване с диагонали <sup>9</sup>**

Детайли на мрежеста черупкови конструкции от дървесина „Толедо“, разгледан в глава 2 и реализирани в периода след 2010г. ЧКД е укрепена с диагонали направени от LVL.

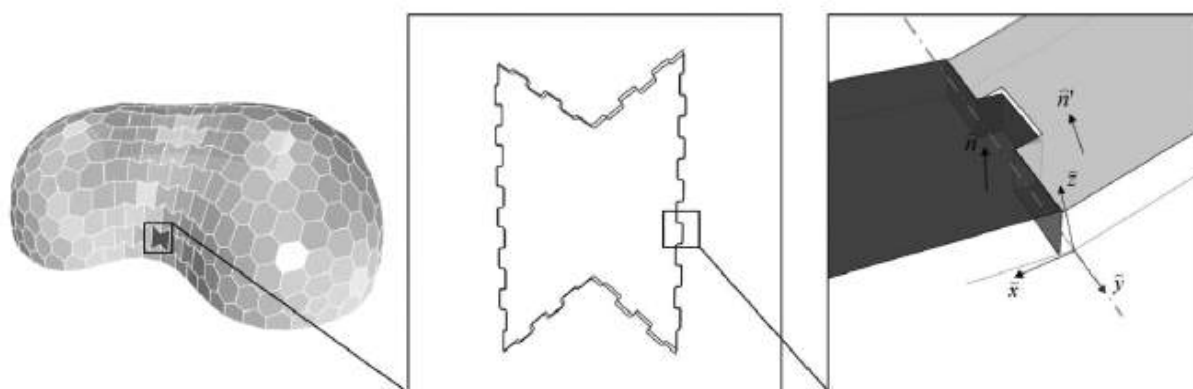


**Фигура 3.3 Съвременно решение за сглобка на зав. произведени елементи от CLT <sup>15</sup>**

CLT панели фрезовани по контура с цел получаване на дърводелска сглобка, която обикновено се укрепва с дибли или с винтове. По този начин се намалява цената на конструкцията и се избягват казусите с монтажа на трети елементи (крепежни).



Фигура 3. 4 Съвременно решение за сглобка на зав. произведени елементи от LVL <sup>26</sup>



Фигура 3. 5 Съвременно решение за сглобка на зав. произведени елементи от LVL <sup>27</sup>

Благодарение на съвременните възможности за проектиране и заводска заготовка чрез ЦПУ машини и материали като LVL и CLT, стават възможни оптимизации на структурата на черупковите конструкции в няколко насоки – пространствено укрепване чрез приложение на CLT панели (мембрана), избягване или намаляване до минимум на крепежните елементи, което от своя страна води до оптимизация на разходите.

### 3.2 Черупкови конструкции от дървесина с единична кривина

#### Определение и общи характеристики

Черупките с единична кривина са с цилиндрична или конична повърхнина.

#### Формообразуване

Черупковите конструкции с цилиндрична повърхнина се характеризират с диафрагми в напречно направление и бордови греди в надлъжно. Цилиндричните ЧК се делят на две групи:

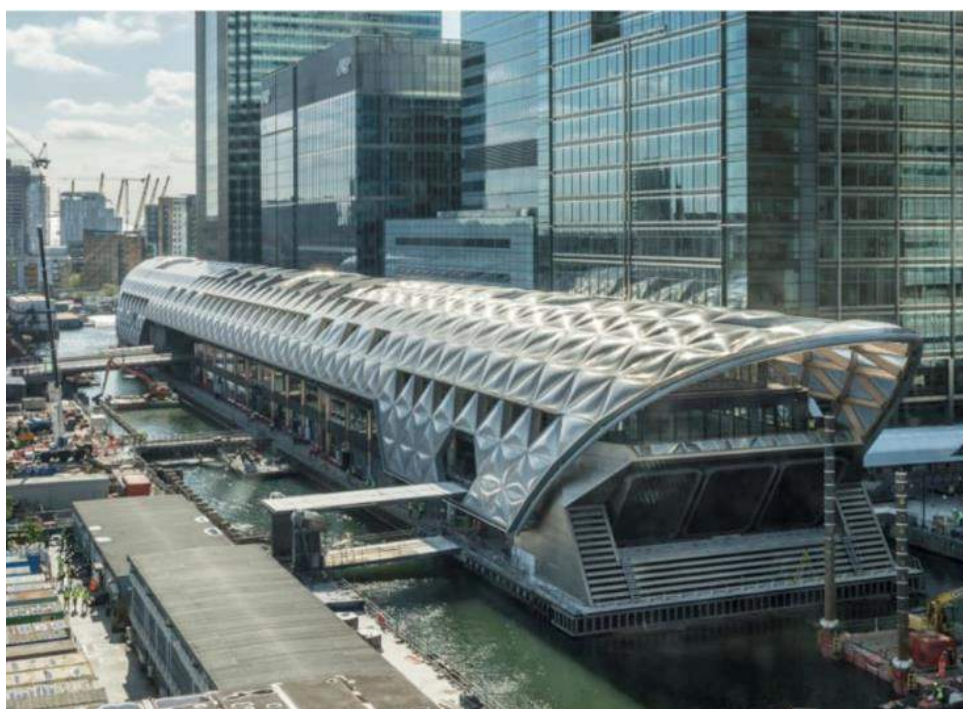
- Къси цилиндрични черупки, при  $L < l$ , (дължина им по-малка от ширината)
- Дълги цилиндрични черупки, при  $L \geq l$ . (дължина им по-голяма или равна на ширината)



### 3.2.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина с единична кривина

#### Crossrail Place, Canary Wharf, London, UK <sup>17</sup>

Обект	Crossrail Place, Canary Wharf, London, UK
Архитект	Foster and partners
Година	2015
Предназначение	Обществена сграда със смесена функция
Размери	ЗП= 53 500 кв.м.
Тип конструкция	Черупкова конструкция с единична кривина
Подпорно разст.	34 м.
Покритие	ETFE покритие



Фигура 3. 6 Изглед към Crossrail Place <sup>17</sup>

Мрежестата черупкова конструкция решава подпорно разстояние от 22,8м., при правоъгълен план с дължина близо 300м. Тя формира и впечатляващо конзолно излизане от близо 17 м. по късите страни, където диафрагмите са оформени като огромни извити греди от слепена дървесина. Структурата на конструкцията е еднослойна. Конструктивните елементи на мрежата на ЧКД са изпълнени от греди от слепена дървесина със сечение 250/820мм.

### 3.2.2 Ребрести черупкови конструкции от дървесина с единична кривина

Рибестата черупкова структура изисква задължително два слоя – един перпендикулярен на кривината и един успореден (ребрата), за да може да се постигне пространственото действие на конструкцията. Въпреки, че е изграден от бамбук Paper dome, Осака, 1998 <sup>30</sup> на Шигеру бан Архитекти е добър пример за ребреста черупкова конструкция от дървесина.

<sup>30</sup> ('SBA\_Paper Dome' n.d.)



Фигура 3. 7 Изглед към Paper dome, Осака, 1998 <sup>30</sup>

### 3.2.3 Плътни черупкови конструкции от дървесина с единична кривина

Разгледаните примери с плътна структура имат по-скоро експериментален характер и прегледа им показва, че черупковите конструкции с дървесина с единична кривина вероятно не са конкурентни на алтернативните конструктивни решения.

#### Макет на конструкция EPFL, Швейцария <sup>31</sup>

Обект	Макет на конструкция
Архитект	Bastien Thorel
Година	2009
Предназначение	Макет на конструкция
Размери	-
Тип конструкция	Черупкова констр. с единична кривина.



Фигура 3. 8 Макет на конструкция <sup>31</sup>

Макетът е реализиран на база студентски проект в университет в Швейцария.

<sup>31</sup> ('Modular Timber Structure – IBOIS - EPFL' n.d.)



## Изводи

Черупковите конструкции с единична кривина са с цилиндрична форма или конична. Най-разпространеното решение е с мрежеста структура на конструкцията. Ребрестата структура не е толкова разпространена, както и плътната, която е трудно приложима в практиката. Функционалното предназначение на сградите варира и включва обществени сгради, спортни сгради и съоръжения и други. Максималното подпорно разстояние в разгледаните примери е 37,5м.

### 3.3 Черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина

#### Определение и общи характеристики

Двойната кривина осигурява по-голяма коравина в сравнение с цилиндричните черупки.

#### Формообразуване

Тези черупки се характеризират с криволинейна повърхнина и в двете главни направления. С двойна кривина са следните повърхнини - сферична, коноидна, параболоидна, хиперболична и др. Към тази група се отнасят и ротационните форми, хиперболичен параболоид, куполи и др.

#### 3.3.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина

Мрежестите черупкови конструкции се различават от гладките черупкови конструкции, тъй като се изграждат от линейни елементи, вместо от хомогенна непрекъсната повърхност. Елементите на решетката са свързани във възли, като по този начин оформят повърхност с двойна кривина.

#### Закрит плувен басейн, Bad Orb, Германия

Обект	Закрит плувен басейн, Bad Orb, Германия <sup>32</sup>
Архитект	Ollertz Architekten BDA
Година	Реализация - 2009г.
Предназначение	Спорт и рекреация/ Закрит плувен басейн
Размери	ЗП= 2,200 кв.м.
Тип конструкция	Мрежеста черупкова конструкция с двойна кривина от линейни елементи от слепен дървесина / Glulam/
Подпорно разстояние	42м./ 65м.
Покритие	Хидроизолационна мембрана

<sup>32</sup> ('Toskana Therme' n.d.)

Закрит плувен басейн в Бад Орб, Германия, е решен с мрежеста черупкова конструкция от линейни елементи от слепена многопластова дървесина. Конструкцията покрива пространство с размери 42м. на 65м. Черупката е решена с огънати контурни греди от слепена дървесина със сечение 240/800мм.



A.



B.

**Фигура 3. 9 „Toskana thermal baths”, Германия, Ollertz Architekten BDA. <sup>32</sup>**

С цел постигане на кривините от модела, всички греди в мрежата са с дължина само през две полета и се захващат за друга напречна греда от мрежата. Връзките между гредите са изпълнени с винтове и прави планки, монтирани от горната страна на конструкцията.

Важно е да се подчертае и прякото отношение между функционалното предназначение на сградата и избора на дървесината за материал на конструкцията. При закритите плувни басейни дървесината има предимство пред стоманата поради опасността от корозия.

### 3.3.2 Ребрести черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина

#### Обществена сграда със смесени функции Cité du Vin, Бордо, Франция

Обект	Cité du Vin <sup>33</sup>
Архитект	XTU Architects
Година	Реализация – 2016г.
Предназначение	Обществена сграда
Размери	РЗП= 13 350 кв.м.
Тип конструкция	Рибеста черупкова конструкция от слепена дървесина с двойна кривина
Подпорно разстояние	Покрив над основна сграда – 18м.
Покритие	Покривни панели

Черупковата конструкция е реализирана с ребра от извита слепена дървесина, разположени на около 1м. разстояние. Ребрата са укрепени от горен

<sup>33</sup> (‘Cité Du Vin / XTU Architects | ArchDaily’ n.d.)

слой от конструктивни елементи, които спомагат за пространственото действие на конструкцията.



Фигура 3. 10 Снимка Cité du Vin , Франция, XTU Architects. <sup>33</sup>

### 3.3.3 Плътни черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина

**Плътна черупкова конструкция с двойна кривина изпълнени с CLT панели**

Обект	Recycleshell, Кайзерслаутерн, Германия <sup>28</sup>
Година	Реализация - 2019г.
Предназначение	Съоръжение от градската среда/ Макет на конструкция от CLT
Размери	ЗП= 113 кв.м.
Тип конструкция	Тънкостенна черупкова конструкция с двойна кривина от равнинни елементи от слепени дъски /CLT панели/
Подпорно разстояние	12м.
Покритие	Покривно озеленяване

“Recycleshell”<sup>28</sup> представлява експериментален макет на гладка тънкостенна черупка с двойна кривина, реализирана с CLT панели. Черупковите конструкции от дървесина с плътна структура представят няколко забележителни насоки:

- Конструктивното решение на пространствената структура е надеждно и вероятно би могло да се приложи като алтернатива на метална или стоманобетонна черупкова конструкция при сгради или съоръжения с големи подпорни разстояния;
- Възможно е изграждането на конструкция на гладка черупка с двойна кривина от строителния продукт от слепена дървесина – CLT панел;



Демонстрация на реализирания „Recycleshell“, Университет Кайзерслаутерн



Изпълнение на покривно тревно покритие „Recycleshell“, Университет Кайзерслаутерн,

Фигура 3. 11 Изглед „Recycleshell“<sup>28</sup>

- Интериорното пространство създадено от структурата е впечатляващо, демонстрирана е и възможността за покриване на обема с покривно озеленяване;
- Използването на съвременните технологии при проектиране (BIM технологията) и заводското производството на конструкцията (с машини с цифрово програмирано управление - ЦПУ), правят възможни и технологични подобни реализации;
- Връзката между елементите на конструкцията е реализирана чрез крепежни елементи от дървесина, което оптимизира разходите и улеснява изпълнението.

### 3.3.4 Черупкова конструкция с двойна кривина с клетъчна структура

Приложение на клетъчна структура на черупковите конструкции от слепена дървесина е иновативно решение, целящо оптимизация на монтажните процеси.

Обект	НexBox Сапору, Сидни, Австралия <sup>16</sup>
Година	Реализация - 2019г.
Предназначение	Слънцезащитна конструкция/ Макет на конструкция от LVL
Размери	Площ= 60 кв.м.
Тип конструкция	Черупкова конструкция с двойна кривина с модул елементи от слепени дъски /CLT панели/
Подпорно разст.	6м.
Покритие	ТРО мембрана

“НexBox Сапору” представлява тънкостенна черупка с двойна кривина, реализирана с пространствени модули, изградени от LVL. Реализацията представлява интерес поради тенденция, която представя изпълнение на сложна пространствена структура чрез предварително произведени пространствени конструктивни елементи (модули).



А. Снимка на слънцезащитна конструкция „HexBox Сапору“, Университет Кайзерслаутерн

Б. Интериорен изглед на конструкцията на „HexBox Сапору“, Университет Кайзерслаутерн

Фигура 3. 12 „HexBox Сапору“<sup>16</sup>

### 3.3.5 Черупкови конструкции от дървесина с двойна кривина със смесена структура

Черупкова конструкция с двойна кривина изпълнени със смесена структура

Обект	Зоопарк, Цюрих, Швейцария <sup>29</sup>
Архитект	<u>Markus Schietsch Architekten</u>
Година	Реализация – 2014г.
Предназначение	Закрит зоопарк за едри бозайници
Размери	РЗП= 8440 кв.м., ЗП= 6000 кв.м.
Тип конструкция	Черупкова конструкция с двойна кривина
Подпорно разст.	D= 80м.
Покритие	LVL панел, покривно осветление

Черупковата конструкция в аморфна форма с двойна кривина е съставена от един слой от CLT панели и втори укрепващ слой от линейни елементи от слепен дървесина. и покрива около 6000 кв.м. площ. Черупката достига до 18м. максимална височина.





Фигура 3. 13 Изглед, Зоопарк, Цюрих, Швейцария <sup>29</sup>

## Изводи

В заключение, ако направим сравнение между подобно решение за черупкова конструкция със свободна форма, вероятно би могло да бъде изпълнено и със СТБ черупкова конструкция, но предимствата на черупката от дървесина са:

- естествения материал (дървото), остава видим в интериора и спомага за изграждането на една „натурална“ визия на пространството. Стоманобетонът би могъл да остане видим, ако не би имало допълнителни разходи за монтаж на обшивка;

- конструкцията от дървесина няма да корозира или да се компрометира от влажната среда в зоопарка;

- не е нужно да се изработва кофраж за изливане на сложната форма;

- по-лека конструкция;

- по-голяма точност при изпълнението;

От друга страна изпълнението на подобна структура със стоманена конструкция би създавало редица проблеми:

- Защита от корозия;

- Подобна форма би била изпълнена от стоманени рамки/арки, което би означавало изпълнение на обшивка;

- Ще е нужно да се изпълнят редица допълнителни вътрешни слоеве като послоен монтаж, за да се постигне сегашната визия на интериорното пространство;

## 3.4 Ротационни повърхности от дървесина

### Определение и общи характеристики

Има две принципно различни конструктивни решения – геодезичен купол и купол с ребра. Решенията с ребра са по-трудни за изпълнение поради необходимостта от огъване на ребрата им. Решение срещано в практиката е ребрата да бъдат изпълнени като ферми с извит горен пояс. От външните въздействия върху куполите се пораждат натискови усилия по направление на меридианите. Куполите с мрежеста структура са по-популярни поради лесното изпълнение на двойната кривина. В проекта за концертна зала на

Шигеру Бан Архитекти, залата е „обвита“ именно от подобна черупкова конструкция от слепена дървесина.

### Формообразуване

Куполите с мрежеста структура са по-популярни поради по-лесното изпълнение на двойната кривина. Формата се образува чрез ротация на линия около точка.

#### 3.4.1 Мрежести куполи от дървесина

##### Концертна зала, Булон Биянкур, Париж, Франция <sup>34</sup>

<b>Обект</b>	Концертна зала, Булон Биянкур, Париж, Франция
<b>Архитект</b>	Shigeru Ban Architects
<b>Година</b>	Реализация – 2017 г.
<b>Предназначение</b>	Концертна зала
<b>Размери</b>	РЗП= 36500 m <sup>2</sup>
<b>Тип конструкция</b>	Купол
<b>Подпорно разстояние</b>	Дървената констр. на купола се простира на 70 m надлъжна ос, 45 m по напречна ос и 27,5 m височина
<b>Покритие</b>	Стъклена окачена фасада

В проекта за концертна зала на Шигеру Бан Архитекти, залата е „обвита“ от ротационна ЧКД с мрежеста структура. Структурата е еднослойна с GLULAM греди. Архитектурният обем е със сферична повърхнина.



А. Интериор на кулоари,



Б. Изглед към Концертна зала

Фигура 3. 14 Концертна зала, Булон Биянкур, Париж, Франция <sup>34</sup>

<sup>34</sup> ('La Seine Musicale / Shigeru Ban Architects | ArchDaily' n.d.)

### 3.4.2 Ребрести куполи от дървесина

При решенията за ребрести куполи има две основни възможности – кръжило (ребро) изградено от един извит конструктивен елемент или кръжило представляващо ферма с извит горен и долен пояс. Вторият вариант се прилага при решения с подпорни разстояния над 6м. и в зависимост от необходимия радиус на извиване на конструктивните елементи (ребрата).

#### Ребрест купол с ребра от извита слепена дървесина

Проектът за павилион за строителна фирма, изпълняваща дървени и хибридни конструкции, цели да загатне възможностите, които дават съвременните материали от слепена дървесина, проектантски подход и производство. Павилионът представя и умален модул на конструкция, който би могъл да бъде реализиран за значително по-голямо подпорно разстояние.

#### Експозиционен павилион, София, България

Обект	Експозиционен павилион, София, България
Година	Реализация – 2018г. (Авторски проект, съвместно с инж. А. Апостолова, инж. И. Гешанов, инж. О. Станков – Кагецугруп)
Предназначение	Експозиционен павилион
Размери	ЗП= 30 кв.м.
Тип конструкция	Купол
Подпорно разстояние	6м.

Сечението на ребрата е 80/240мм. като гредите са извити по предварително изготвени шаблони със съответния радиус. Сечението на ребрата е значително преоразмерено по визуални възражения.

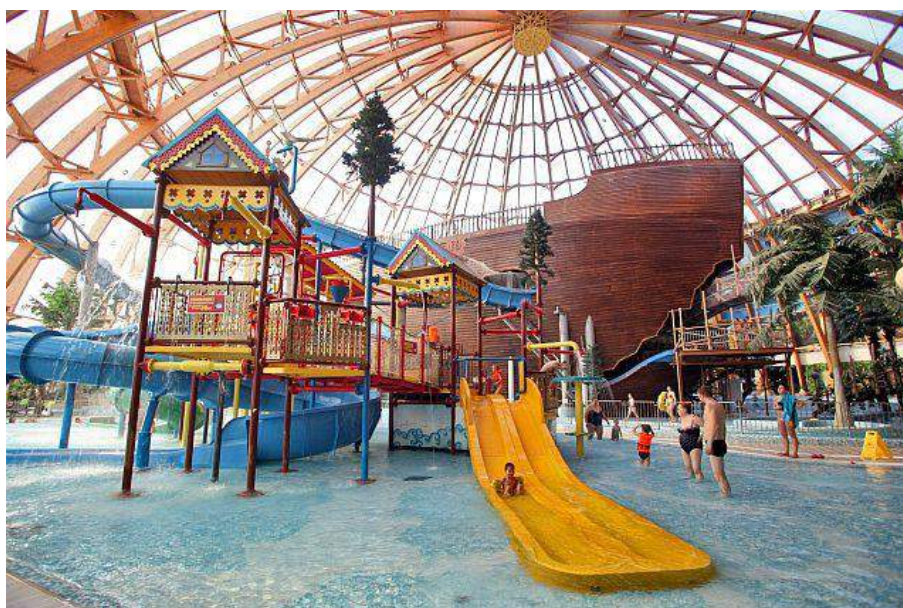


Фигура 3. 15 Купол с диаметър 6 м. в Експоцентър, София (авторска снимка)

## Ребрест купол над Аквапарк, Санкт-Петербург, Русия

Обект	Ребрест купол над Аквапарк, Санкт-Петербург, Русия <sup>19</sup>
Проектант	Инж. С.Б. Турковский
Година	Реализация – 2010г.
Предназначение	Аквапарк
Размери	ЗП= 6358 кв.м.
Конструкция	Ребрест купол
Подпорно разст.	90 м.
Покритие	Стъклена окачена фасада

Примерът е на ребрест купол, решен с ферми с извити пояси. Ротационната форма е реализирана при подпорно разстояние от 90м. Функционалното предназначение на сградата е закрит басейн.



Фигура 3. 16 Купол в Аквапарк “Piterland” в Санкт-Петербург, Русия<sup>19</sup>

### 3.5 Групови черупкови конструкции от дървесина

#### Определение и общи характеристики

Черупковите конструкции от дървесина с единична и двойна кривина, подобно на стоманобетонните черупкови конструкции, могат да се обединяват и по този начин да се постигне групова черупкова конструкция от дървесина. При групирането са възможни множество комбинации, които зависят от общото обемно-пространствено решение. Груповите ЧКД предполагат по-висока степен на типизация на елементите и модулност, което от своя страна улеснява



проектантския и монтажния процес. В груповите ЧКД се разглеждат както „обединените“ чрез групиране ЧКД с единична и двойна кривина, така и вълнообразните и секториалните ЧКД. Аргументът за класифициране на вълнообразните и секториалните черупкови конструкции като подгрупа (или частен случай) на груповите ЧКД е начина им на формообразуване – и двете подгрупи се формират като резултат от комбиниране на ЧК с единична и/ или двойна кривина.

### Формообразуване

Групирането на няколко черупкови конструкции от дървесина с единична и/или двойна кривина, еднакви и/или различни е композиционен похват, който намира приложение и в съвременето и спомага при покриването на големи пространства. Архитектурните композиции са динамични и разнообразни, в допълнение групирането води до оптимизиране на процесите поради повторемост. В някои случаи би могло да се приеме и че формообразуването на груповите ЧК е в основата на формообразуването на ЧКД със свободна архитектурна форма.

#### 3.5.1 Вълнообразни черупкови конструкции от дървесина с единична или двойна кривина

### Формообразуване

При покриване на пространство с няколко еднакви дълги черупки, се предпочитат те да се съединят и да образуват единно действаща тънкостенна конструкция. Съединяването им става по надлъжната им страна с плавна крива, която изпълнява ролята на бордови греди.

#### Долюнай вила , Мугла, Турция <sup>35</sup>

Обект	Долюнай вила, Мугла, Турция
Архитект	Foster + Partners
Година	Реализация - 2019г.
Предназначение	Спорт и рекреация/ Закрит плувен басейн
Размери	РЗП= 1668 кв.м.
Тип конструкция	Вълнообразна черупка от слепен дървесина
Подпорно разстояние	7,5м. конзолно, 15м. макс. Подпорно разстояние
Покритие	Хидроизолационна мембрана

Вълнообразната форма е постигната чрез монтаж на седем предварително заготвени черупки с единична кривина и две малки крайни ЧКД, излизаци конзолно пред късите фасади. Сглобяемата и прецизно проектирана конструкция съдържа значително по-малко въглерод от типичния бетонен покрив. Плътните структурни дъбови греди се опират на стоманени колони, поддържащи голяма 7,5 м конзола.

<sup>35</sup> ('Dolunay Villa | Residential | Foster + Partners' n.d.)





Фигура 3. 17 Снимка Долюнай вила, Турция, Foster + partners <sup>35</sup>

### 3.5.2 Секториални черупкови конструкции от дървесина

#### Формообразуване

Секториалните черупкови конструкции са вид групови черупкови конструкции. Формообразуването им се базира на групиране на повърхнини с единична и двойна кривина, така че те да се допират и/или пресичат. Броят на групирани черупки е в пряка зависимост от геометрията на основата, която може да бъде триъгълна, квадратна, правоъгълна, многоъгълна, кръгла и друга.

#### Национален Спортен център , d' Coque, Люксембург <sup>36</sup>

Обект	Нац. Спортен център , d' Coque
Архитект	Roger Taillibert Cabinet d'Architecture
Година	Реализация - 2001г.
Предназначени е	Спорт и рекреация/ Закрит плувен басейн
Размери	ЗП= 18,500 кв.м.
Тип конструкция	Вълнообразна черупка от дървесина
Подпорно р.	95м.
Покритие	Хидроизолационна мембрана

<sup>36</sup> ('Coque Luxembourg — Piscine, Sauna, Fitness et Hôtel Au Luxembourg |' n.d.)

Спортният комплекс е покрит със секториална черупкова конструкция от дървесина съставена от три еднакви ЧКД с двойна кривина и триъгълна проекция в план. Всяка от черупките е с подпорно разстояние от 95m.



Фигура 3. 18 Изглед към съоръжението <sup>36</sup>

### 3.6 Висящи черупкови конструкции от дървесина

#### Общи характеристики

Висящите черупки съдържат четири основни конструктивни елемента – носеща еднопоясна мрежа с въжета в едно или две направления, стабилизираща черупка, опорен контур, лежащ в повърхнината на черупката, и колони, носещи опорния контурен пръстен. Висящите мрежести ЧКД не се разгръщат за разлика от първите примери на реализации на ЧКД примери. Те се сглобяват директно с двойно извита форма. Покривният слой обикновено се изпълнява с дъсчена обшивка (мембрана), която се монтира перпендикулярно на основните конструктивни елементи и съобразено с локалната кривина на обема. Стандартно се предвиждат и второстепенна скара от конструктивни елементи от дървесина, която оформя мрежестата структура на конструкцията и пространствения ефект в пренасянето на усилията.

#### Плувен басейн, Bad Dürrhein <sup>37</sup>

Обект	Плувен басейн, Bad Dürrhein, Германия
Архитект	Geier & Geier, Stuttgart
Година	Реализация – 1987г.
Предназначение	Спортно съоръжение/ плувен басейн
Размери	РЗП= 2500 кв.м.
Тип конструкция	Висяща черупкова конструкция
Подпорно разстояние	20 - 40м.
Покритие	Хидроизолационна ПВХ мембрана

<sup>37</sup> ('Burgbacher » Solemar Bad Dürrhein' n.d.)

Висящата черупкова конструкция е формирана от извити греди от слепена дървесина. Гредите са захванати за пет основни носещи колони от слепена дървесина, с пространствена форма („дървообразна“). Колоните са стъпили на стоманобетонната конструкция. Височината на колоните е между 9,1м и 11,5м. Контурът на висящата конструкция е обрaмчен от арки от дървесина.

Ребрата са от слепена дървесина, с двойна кривина, сечението им е 200 мм х 205 мм. Напречните греди са с размери 80mm х 80mm или 120mm х 140mm, разположени са на 800 mm осово.

Фактът, че са реализирани два примера и то до 2000г., а в близките години няма подобна реализация е доказателство за нецелесъобразното използване на дървесина в този тип конструкции. И двата реализирани примера са с впечатляваща архитектурна форма, но сложността на изпълнението им пречи за широкото им приложение. Поради конструктивните им особености, в конструктивната им структура се забелязва неравномерност, но без пресичане на елементите, което допълнително затруднява проектиране и изпълнение.



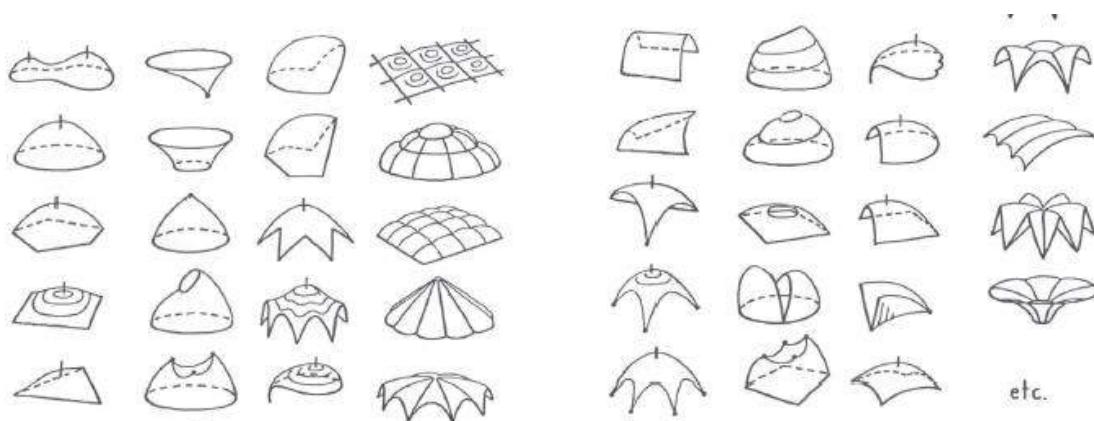
Фигура 3. 19 Снимка Плувен басейн, Bad Dürckheim, Германия <sup>37</sup>

### 3.7 Черупкови конструкции от дървесина със свободна форма

#### Определение и общи характеристики

Благодарение на развитието на софтуерните продукти за проектиране в BIM среда има налични възможности за прецизно моделиране на сложни обеми със свободна форма. Усъвършенстването на възможностите на производствата – чрез роботизирането на процесите е втория основен фактор, правещ възможно изпълнението на конструкции за обемите със свободна форма. Другите фактори благоприятстващи получаването на тези недостижими до преди 10 години резултати са строителните продукти от слепена дървесина и новите възможности за изготвяне на прецизни възлови съединения и крепежни елементи. След проектирането на свободната архитектурна форма, благодарение на съвременните проектантски софтуери, винаги следва процес на рационализация на обема/ повърхнината с цел постигане на технологичност на решението и съобразяване с производствените възможности, които са по-назад спрямо възможностите на софтуера.

#### Формообразуване



Фигура 3. 20 Формообразуване – примерът на Ислер за безкрайни форми <sup>38</sup>


Свободната архитектурна форма би могла да бъде резултат:

- При проектиране с помощта на алгоритми или така наречения метод на проектиране „параметричен дизайн“.
- Друга възможност за формообразуване на обем със свободна форма е модифицирането на принципите на образуване на групите черупкова конструкции и комбинирането им в определен порядък.
- Възможно е и използването на начина на формообразуване на черупковите конструкции с двойна кривина, но върху план със свободна криволинейна форма.
- Чрез транслиране на крива по криволинейен контур в план,
- Чрез ротация на крива по криволинейен контур в план
- Чрез пресичане на обеми и други.

<sup>38</sup> (Heinz Isler - 50 Years of “New Shapes for Shells” : Preface by Guest Editors’ n.d.)

Класификационните групи обикновено визират конкретни обемни форми или конкретен начин на формообразуване, а всички останали форми извън тези частни случаи биха могли да се дефинират като свободна форма.

Таблица 3. 8 Формообразуване на свободни форми

Обем/ повърхнина	Кривина	Основа	Черупки със свободна форма	
Цилиндрична	1К	Триъгълна		
Сферична	2К	Квадратна		
Хиперболично параболична		Правоъгълна		
Параболична повърхн.		Успоредник		
Торусовидна		Шестоъгълна		
Конична повърх.		Кръгла		
Конусовидна повърх.		Осмоъгълна		
Ротационна повърх.		Многоъгълна		
Транслационна Повърх.		Свободна криволинейна		
Синусоидна повърхнина		Ортог.		Свободна многоъгълна
Елипсоидна повърхнина				Елипса
Пирамидална повърхнина				
Призматична повърхнина				
Комбинация				

### 3.7.1 Мрежести черупкови конструкции от дървесина със свободна форма

#### Swatch и Omega Campus, Биел, Швейцария <sup>39</sup>

Обект	Swatch и Omega Campus, Биел, Швейцария
Архитект	Shigeru Ban Architects
Година	Реализация – 2019г.
Предназначение	Бизнес център
Размери	РЗП= 25 000 кв.м.
Тип конструкция	Мрежеста черупкова конструкция със свободна форма
Подпорно разстояние	Височина – над 20м., подпорно разстояние – 20м.
Покритие	Покривни панели

<sup>39</sup> ('Swatch and Omega Campus / Shigeru Ban Architects | ArchDaily' n.d.)





**Фигура 3. 21 Снимка Swatch и Omega Campus <sup>39</sup>**

В случая свободната архитектурна форма на покритието е постигнато чрез криволинеен контур в плановото решение в комбинация с двойна кривина на повърхнината. Въпреки свободната форма, структурата на конструкцията е равномерна с ромбовиден градивен модул. Мрежата на конструкцията е равномерна, ортогонална и еднослойна. Възлите са постигнати чрез зарязане на двата конструктивни елемента, които се пресичат.

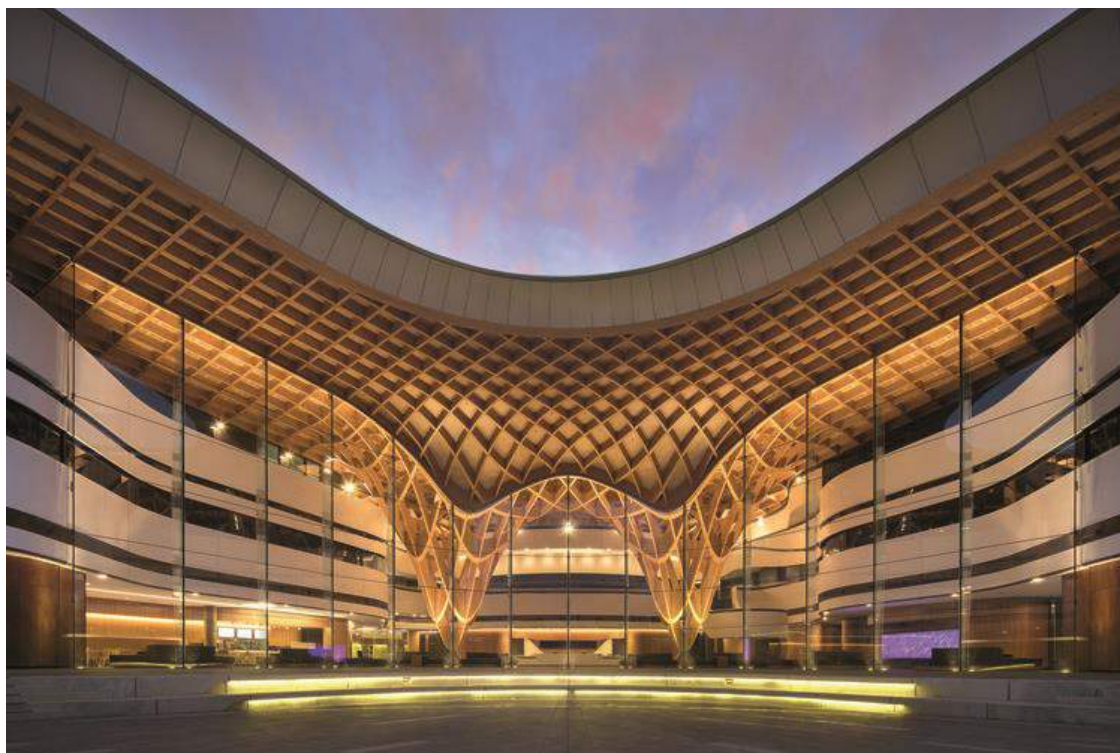
**Bunjil Place, Нарре Варрен, Австралия <sup>40</sup>**

Обект	<b>Bunjil Place, Австралия</b>
Архитект	FJMT Sydney
Година	Реализация – 2017г.
Предназначение	Обществена сграда
Размери	РЗП= 24 500 кв.м.
Тип конструкция	Мрежеста черупкова конструкция със свободна форма
Подпорно разстояние	Височина – над 20м., подпорно разстояние – 20м.
Покритие	Покривни панели

Bunjil Place е вътрешен градски културен и развлекателен център в Мелбърн. Крайната форма се дължи от една страна на свободната форма в план, а от друга на вертикалните „преливания“ на мрежестата черупкова конструкция в пространствени колони. Черупковата конструкция е с еднослойна,

<sup>40</sup> ('Bunjil Place' n.d.)

равномерна, мрежеста структура изградена от греди от слепена дървесина (GLULAM).



Фигура 3. 22 Снимка Bunjil place <sup>40</sup>

### 3.7.2 Плътни черупкови конструкции от дървесина със свободна форма

#### Параклис на Християнската общност в Страуд, Англия <sup>41</sup>

Обект	Параклис Християнската общност в Страуд, Англия
Архитект	Nicolas Pople Architects
Година	Реализация – 2020г.
Предназначение	Параклис
Размери	РЗП= 500 кв.м.
Тип конструкция	Плътна черупкова конструкция със свободна форма
Подпорно разстояние	Височина – 7м., подпорно разстояние – 12м.
Покритие	Ламаринени керемиди

Плътната черупкова конструкция от дървесина със свободна форма е поредна стъпка напред в развитието и прилагане на конструкциите от дървесина въобще. В случая свободната фасетирана форма е постигната поради многоъгълния контур на сградата в план, което разбира се е търсен ефект. Пресичането на плоскостни елементи (CLT панели) от покривната и от ограждащата конструкция е постигнато с голяма прецизност, но впечатляващото е, че е постигната непрекъснатата повърхнина с двойна кривина.

<sup>41</sup> ('Stroud Christian Community Chapel - Wood Awards' n.d.)



**Фиг. 4. 1 Снимка Параклис, Страут, Англия <sup>41</sup>**

Пластиката на архитектурния обем на разгледаните примери на мрежестите черупкови конструкции от слепена дървесина със свободна форма е трудно достижима при плътна структура на конструкцията. Самата плътна структура на ЧКД при свободна форма по-скоро предполага да бъде решена като фалтова конструкция. CLT панелите или LVL плоскостите, с които би могла да се реализира плътната структура биха участвали ефикасно в конструкцията като фалти, а не като черупкова конструкция.

### **3.8 Изводи**

От анализираните примери на архитектурни реализации на сгради и съоръжения с черупкова конструкция от дървесина, могат да бъдат изведени следните заключения и насоки:

- ЧКД биха могли да намерят много по-широко приложение при реализирането на различни типове сгради и съоръжения.
- ЧКД са рационално решение за покривана и ограждаща конструкция при сгради и съоръжения с големи подпорни разстояния без допълнително подпиране.
- ЧКД отговарят на всички естетически, функционални, икономически и технологични изисквания.
- Този тип конструкции съчетава най-съвременните подходи, както в проектирането, така и в производството в заводски условия.
- Линейните конструктивни елементи от слепена дървесина са Glulam и високоякостни греди и колони от LVL. Повърхнинните елементи са LVL и CLT. Този тип конструкции могат да се прилагат при подпорно разстояние до над 100 m.



- Използването на съвременните технологии при проектиране (BIM технологията) и заводското производство на конструкцията (с машини с цифрово програмирано управление - ЦПУ), правят възможни и технологични подобни реализации.

- ЧКД би могла да остане видима в интериорното пространство, без необходимост от допълнително обшиване.

- Конструктивната структура на ЧКД може да бъде плътна (гладка), мрежеста, комбинирана (плътна + мрежеста), ребреста (при ротационни форми) и клетъчна.

- Разнообразие при формообразуването - тенденция за изграждане на по-сложни, аморфни форми.

- Прилагането на ЧКД са предпоставка за устойчиво развитие на отделните архитектурни технологии и технически инсталации.

Конструкциите от слепена дървесина намират приложение и имат предимства в следните типове сгради:

- Обществени сгради – концертни зали, училища, университети, офисни сгради търговски центрове, всякакъв тип зални сгради и други

- Промислени и складови – при производства в условия на „агресивна среда“ в строителството.

- При складови сгради за съхранение на соли, биологични продукти.

- Сгради и съоръжения за спорт и рекреация – плувни басейни - при условия на „агресивна среда“, мултифункционални зали, стадиони, зали за зимни спортове, покрити тенис кортове, зали за водни спортове, зали за лека атлетика, колоездене и др.

- Съоръжения от градската среда.

Развитието на науката и индустриалните технологии е довело до създаване на съвременни строителни продукти и системи, както и до дигитализиране на проектирането и строителството. Като резултат, съвременното строителството с дървесина е бързо и високотехнологично, а черупковите конструкции от слепена дървесина предлагат надеждно решение за широк диапазон от архитектурни форми, в това число и обеми с параметричен дизайн.

## **Глава 4: Предполагаеми предимства и недостатъци на ЧКД пред алтернативата със стомана и стоманобетон**

### **4.1 Сравнение на черупкови конструкции от дървесина и стомана**

Заводската заготовка се прилага и при стоманени и стоманобетонни конструкции. Предимствата на дървените конструкции спрямо стоманените са:

- По-ниско обемно тегло (значително по-леки елементи) – улесняване транспортиране и монтаж;

- Естетическото предимство на дървения материал пред стоманата;

- Детайлите за монтаж са подобни като принцип или по-лесни. Няма заварки

- По-добри топлоизолационни характеристики;

- Устойчивост на корозия и агресивна среда и др.

Недостатъците на дървените конструкции спрямо стоманените са:

- Трудност за постигане на корава връзка между елементите, за целта се използват стоманени елементи във възлите;
- Икономически – по-скъп материал, ограничено производство в България и необходимост от сертифициране на стр. материали от дървесина, липса на квалифицирана работна ръка;

#### **4.2 Сравнение на черупкови конструкции от дървесина и стоманобетон**

Предимствата на дървените конструкции спрямо стоманобетонните сглобяеми конструкции са:

- Избягване на мокри процеси;
  - По-ниско обемно тегло (значително по-леки елементи) – улеснява транспортиране и монтаж;
  - Има възможност за моделиране на пространствени параметрични форми, които не могат да се изпълнят със СТБ;
  - Естетическо въздействие;
  - По-добри топлоизолационни характеристики и др.
- Недостатъците на дървените конструкции спрямо стоманобетонните сглобяеми конструкции са:
- Невъзможност за изпълнение на конструктивни елементи от нулевия цикъл на сградата;
  - Икономически – по-скъп материал, ограничено производство в България и необходимост от сертифициране на стр. материали от дървесина, липса на квалифицирана работна ръка;

#### **4.3 Съвременните черупкови конструкции от слепена дървесина – предполагаеми предимства и недостатъци**

Предимства:

- Всички структурни елементи допринасят за носимоспособността на конструкцията, което води до спестяване на материал.
- Товарите са равномерно разпределени към основите.
- Има голям избор при реализирането на подпирането
- Има голям избор на формата.
- Овъглява се при пожар. При преоразмеряване на сечението на конструктивните елементи би могъл да отговори на изискванията за ПАБ.
- Пространствените структури са обикновено модулни.

Недостатъци:

- Изпълнението им е икономически необосновано при малки подпорни разстояния в сравнение с алтернативни конструкции.
- Необходимо е да се следи да има оптимален брой възлови съединения – изпълнението им е трудоемко, но от друга страна то отговаря за фасетирането на формата.
- При завишени изисквания към пожарната безопасност се изисква сериозен разход за обезпечаването ѝ.



- Подобни архитектурно-конструктивни решения представляват интерес за архитектите и инженерите, както поради тяхната конструктивна ефективност, така и поради елегантния им външен вид.

Тънкостенните пространствени конструкции обикновено се характеризират с крива повърхнина и статическа схема, работеща на натиск в няколко направления и разпъващи усилия в конструктивните елементи. Въпреки различните усилия, всички елементи на конструкцията работят едновременно в различните посоки. Едновременната работа на елементите на черупките води до оптимална работа на конструктивния модел и оптимизиране на сеченията на носещите елементи често стигащи до 1/1000 от подпорното разстояние. Тези конструктивни форми водят до икономични решения по отношение на вложения материал и работа на конструкцията. Поради изчистената конструктивна схема на този тип конструкции е изключително подходящо и приложението на слепена конструктивна дървесина.

- Дървесината е материал, който е по-лек от бетона и метала и при изчистена конструктивна схема дава оптимални решения. Тънкостенните пространствени конструкции от слепена дървесина имат приложение както за покриване, така и за цялостно ограждане на пространства.

Основните предимства на черупковите конструкции от слепена дървесина са следните:

- Естествен материал, лесен за добиване, обработка и снабдяване, което отговаря на съвременните тенденции за устойчива архитектурна среда.

- Тънкостенните черупкови конструкции позволяват конструкция без колони при голямо подпорно разстояние.

- Естетическо въздействие на материала

- Вековните народни традиции в строителството с дървесина

- Представените модели на конструкции са приложими при реализирането на сгради с различни функции – спортни зали, басейни, складови и производствени сгради и други.

- Висока енерго-ефективност.

- Плътните черупки със CLT и LVL панели са съвременно решение, преплитащо в себе си иновативен материал, прилагане на цифрови технологии при проектиране и изпълнение. Аналогия на това решение може да се търси в стоманобетонните черупки, но плътните черупки с CLT и LVL имат следните предимства - естетиката на дървесината, избягване на изпълнението на сложен кофраж, избягване на мокри процеси, изключителна прецизност на изпълнението, улеснен монтаж.

#### 4.4 Изводи

Предложена е класификация за черупковите конструкции от слепена дървесина, която да допълни и надгради вече съществуващите.

Разгледаните примери показват голямо разнообразие, което предлагат от възможни решения съвременни конструкции от слепена дървесина, при големи подпорни разстояние. Във всички реализации е видим достижението за сградите с подобни конструкции.

## Глава 5: Заключение

От анализиранияте примери на архитектурни реализации на сгради и съоръжения, решени с черупкова конструкция, можем да изведем следни заключения и насоки:

- Черупковите конструкции от слепена дървесина биха могли да намерят много по-широко приложение при реализирането на различни типове сгради и съоръжения.

- Черупковите конструкции от слепена дървесина са рационално решение за покривана и ограждаща конструкция при сгради и съоръжения с големи подпорни разстояния без допълнително подпиране.

- Черупковите конструкции от слепена дървесина отговарят на всички естетически, функционални, икономически и технологични изисквания.

- ЧКД съчетава най-съвременните подходи, както в проектирането, така и в заводска заготовка;

- Линейните конструктивни елементи от слепена дървесина са Glulam и високоякостни греди и колони от LVL. Повърхнинните елементи са LVL и CLT. Този тип конструкции могат да се прилагат при подпорно разстояние до над 100м.

- Използването на съвременните технологии при проектиране (BIM технологията) и заводското производството на конструкцията (с машини с цифрово програмирано управление - ЦПУ), правят възможни и технологични подобни реализации;

- Пространствата създадени от подобни пространствени структури са впечатляващи, като за това благоприятстват както материалите вложени в конструкцията, която остава видима, така и.....

- Възможно е изграждането на конструкцията на гладка черупка от строителния продукт от слепена дървесина;

- При формообразуването - има тенденция за изграждане на по-сложни, аморфни форми;

Конструкции от слепена дървесина намират приложение и имат предимства в следните типове сгради:

- Обществени сгради;

- Промислени и складови – при производства, при условия на „агресивна среда“ в строителството.

- При складови сгради за съхранение на соли, биологични продукти и др.

- Сгради и съоръжения за спорт и рекреация – плавни басейни - при условия на „агресивна среда“, мултифункционални зали, стадиони, зали за зимни спортове, покрити тенис кортове, зали за водни спортове, зали за лека атлетика, колоездене и др.;

- Съоръжения от градската среда;

## Оценка на приносите:

### Научни приноси:

- Изследвани са сгради и съоръжения решени с черупкова конструкция от дървесина. Предложена е актуализация на класификацията на черупковите конструкции от дървесина. Същата е разгледана в Глава 3;
- Изследвана е свободната архитектурна форма и са предложени дефиниция и подходи за анализ на формообразуването ѝ.
- Изследвана е структурата на черупковите конструкции от дървесина;
- Изведени са обемно-пространствена и конструктивна типология на сградите реализирани с черупковите конструкции от слепена дървесина;
- Направен е преглед на историческото развитие на черупковите конструкции от дървесина и анализ за развитието им.

### Научно-приложни приноси:

- Систематизирана е информацията относно черупковите конструкции от дървесина, която може да се приложи в практиката от проектантите, инвеститори и изпълнители.
- Систематизирани са основните характеристики на конструктивните елементи и пространствените възли.
- Направена е ориентиловъчна съпоставка за черупковите конструкции при приложение на различен материал - дървесина, стомана, стоманобетон.

### Приложимост на труда

Поради наличието на потенциал за развитие на строителството на черупкови конструкции от слепена дървесина в България, труда би могъл да служи като основа за предпроектно проучване за инвеститори, строители и проектантите.

## Библиография

1. Tilev, J. (2013). *Technological Theory of Architecture*, ISBN 978-954-724-052-0.
2. Reinboth, L. Zollingerdach: Roof structure with a long history, [https://www.dach-holzbau.de/artikel/bhw\\_dachtragwerk\\_mit\\_langer\\_geschichte\\_2591996.html](https://www.dach-holzbau.de/artikel/bhw_dachtragwerk_mit_langer_geschichte_2591996.html).
3. Liddell, I. (2015). *Frei Otto and the development of gridshells*, Case studies in structural engineering, (2015), 39-39, 4.
4. <https://mannheim-multihalle.de/en/architecture/>, Date accessed: 05.2021.
5. <https://www.wealddown.co.uk/buildings/downland-gridshell>, Date accessed: 01.2022.
6. Melnhold, B. (2011). <https://inhabitat.com/savill-buildings-curvaceous-locally-sourced-wood-roof-resembles-a-giant-fallen-leaf/>, Date accessed: 01.2022.
7. Centre Pompidou-Metz / Shigeru Ban Architects, 25 Jan 2020. ArchDaily. Accessed 23 Sep 2021. <https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects>, ISSN 0719-8884.
8. <https://architectureworkshop.co.nz/projects/waitomo-caves-visitors-centre/>, Date accessed: 01.2022.
9. <https://www.archilovers.com/projects/87775/toledo-gridshell.html#info>, Date accessed: 02.2022.
10. <https://www.rhino3d.com>. Date accessed: 04.2022.
11. <https://grasshopperdocs.com>. Date accessed: 04.2022.
12. Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, Winter (2008). *Timber construction manual*. Berlin: Birkhauser.
13. Naicu, Harris, Williams (2014). *Timber gridshells: Design methods and their application to a temporary pavilion*. [https://www.researchgate.net/publication/264539965\\_Timber\\_gridshells\\_Design\\_methods\\_and\\_their\\_application\\_to\\_a\\_temporary\\_pavilion](https://www.researchgate.net/publication/264539965_Timber_gridshells_Design_methods_and_their_application_to_a_temporary_pavilion), Date accessed: 01.2022.
14. <https://knappconnectors.com>, Date accessed: 05.2021.
15. Rad A, Asce A, Henry; Burton V, Asce M, Weinand Y (2019), *Macroscopic Model for Spatial Timber Plate Structures with Integral Mechanical Attachments*, ISSN 0733-9445.
16. Robeller, Ch. (2019). *HexBox Canopy*. <https://www.architektur.uni-kl.de/dtc/2019/08/17/hexbox-canopy-sydney/>. Date accessed: 01.2021.
17. <https://www.fosterandpartners.com/projects/crossrail-place-canary-wharf/>. Date accessed: 07.2020.
18. Leonardo da Vinci Pilot Projects. 2008. *Handbook 1 - Timber Structures*. Leonardo da Vinci Pilot Projects.
19. Турковский, С.Б. 2013. *Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стрелках в современном строительстве (система ЦНИИСК)*.
20. Popov, prof. arch. Atanas. 1972. *Architectural Constructions*. Sofia: National publisher "Tehnika".
21. Angelov, prof. arch. Milko. 1989. *Architectural constructions*. Sofia: National publisher "Tehnika".
22. Teravicharov, prof. eng. Angel. 2003. *Building of gridshells in Bulgaria*. Sofia: UACEG, Sofia.
23. Alison Furuto. "KREOD / Chun Qing Li of Pavilion Architecture" 06 Oct 2012. ArchDaily. Accessed 23 Sep 2020. <https://www.archdaily.com/275460/kroed-chun-qing-li-of-pavilion-architecture>. ISSN 0719-8884.

24. <https://carpenteroak.com/projects/chiddingstone-orangery/>. Date accessed: 07.2021.
25. <https://www.xylotek.co.uk/projects/westonbirt-shelter>. Date accessed: 07.2022.
26. Robeller C., Weinand Y, Konavic M, Dedijer M, Pauly M (2016). *A Double-Layered Timber Plate Shell – Computational Methods for Assembly, Prefabrication, and Structural Design*. DOI: 10.3218/3778-4\_9.
27. "Landesgartenschau Exhibition Hall" (2014). <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/landesgartenschau-exhibition-hall/>. Date accessed: 07.2020.
28. Robeller C., (2019). *Recycleshell*. <https://www.architektur.uni-kl.de/dtc/2019/09/05/recycleshell/>. Date accessed: 06.2020.
29. "Elephant House Zoo Zürich / Markus Schietsch Architekten" 10 Jul 2021. ArchDaily. Accessed 23 Sep 2022. <<https://www.archdaily.com/770772/elephant-house-zoo-zurich-markus-schietsch-architekten>> ISSN 0719-8884.
30. "Paper dome / Shigeru Ban Architects". [http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998\\_paper-dome/](http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_paper-dome/). Date accessed: 09.2020.
31. <https://www.epfl.ch/labs/ibois/projects>. Date accessed: 09.2019.
32. "Toskana therme / Ollertz Architekten BDA" (2009). <https://www.hess-timber.com/en/references/detail/toskana-therme/>. Date accessed: 09.2020.
33. "Cité du Vin / XTU Architects" 31 May 2016. ArchDaily. Accessed 3 Sep 2020. <https://www.archdaily.com/788446/cite-du-vin-xtu-architects>. ISSN 0719-8884.
34. "La Seine Musicale / Shigeru Ban Architects" 28 Jun 2017. ArchDaily. Accessed 13 Sep 2020. <https://www.archdaily.com/874535/la-seine-musicale-shigeru-ban-architects>. ISSN 0719-8884.
35. "Dolunay Villa / Foster + Partners" 30 Mar 2020. ArchDaily. Accessed 18 Sep 2021. <https://www.archdaily.com/936438/dolunay-villa-foster-plus-partners>. ISSN 0719-8884.
36. <https://coque.lu/qui-sommes-nous/les-infrastructures>. Date accessed: 09.2021.
37. "Bad Durrheim" (1987). <https://www.suedkurier.de/region/schwarzwald/bad-duerrheim/>. Date accessed: 09.2020.
38. Clinton J.C., Abel J.F (2011). *50 Years of "New Shapes for Shells" : Preface by Guest Editors*. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures 52(3):131-134.
39. "Swatch and Omega Campus / Shigeru Ban Architects" 10 Oct 2019. ArchDaily. Accessed 05 May 2022. <https://www.archdaily.com/926166/swatch-and-omega-campus-shigeru-ban-architects>. ISSN 0719-8884.
40. "Bunjil place / FJMT Architects (2017). <https://www.hess-timber.com/en/references/detail/bunjil-place/>. Date accessed: 02.2020.
41. "Stroud Christian Community Chapel / Nicolas Pople Architect" (2020). <https://woodawards.com/portfolio/stroud-christian-community-chapel/>. Date accessed: 11.2021.