

**УНИВЕРСИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ**  
**катедра “Метални, дървени и пластмасови конструкции”**

**инж. ВЪТЮ ТАНЕВ ТАНЕВ**

**ТЕКСТИЛНИ МЕМБРАННИ КОНСТРУКЦИИ СЪС  
СТОМАНЕН ОПОРЕН КОНТУР**

**ДИСЕРТАЦИЯ**

**за присъждане на образователна и научна степен  
“Доктор”**

**Научна специалност  
02.15.04 – “Строителни конструкции”**

**Научен ръководител : Проф. д-р инж. Димитър Даков**

**София, 2005г.**

# СЪДЪРЖАНИЕ

Увод .....	5
Основни термини и съкращения .....	7
Глава I .....	8
Състояние на проблема .....	8
1.1 Исторически преглед на текстилните мембранни конструкции.....	8
1.2 Някои сведения за по-известни конструкции с текстилни мембрани реализирани в последните десетилетия.....	13
1.2.1 Конструкции, в които текстилната мембрана е основна носеща и стабилизираща част.....	13
1.2.2 Конструкции, в които текстилната мембрана е второстепенна част.....	19
1.3 Анализ на предишни изследвания (теоретични и експериментални) .....	27
1.4 Цели и обхват на дисертацията.....	29
Глава II .....	30
Обща характеристика на конструкциите с текстилни мембрани .....	30
2.1 Специфични особености на конструкциите с текстилни мембрани .....	30
2.2 Материали за изготвяне на текстилни мембранни покрития.....	32
2.2.1 Общи положения.....	32
2.2.2 Видове нишки, използвани за текстилни платове.....	34
2.2.3 Видове покрития за полимерни платове.....	35
2.2.4 Видове текстилни тъкани – механични характеристики. Предимства и недостатъци.....	36
2.3 Основни товари и въздействия върху текстилните мембранни .....	40
2.3.1 Постоянни натоварвания.....	40
2.3.1.1 Собствено тегло.....	40
2.3.1.2 Предварително налягане .....	42
2.3.2 Кратковременни натоварвания .....	43
2.3.2.1 Вятър.....	43
2.3.2.2 Сняг.....	46
2.3.2.3 Дъжд.....	48
2.3.3 Особени натоварвания .....	48
2.3.3.1 Сеизмично натоварване.....	48
2.3.3.2 Аварийно състояние .....	48
Глава III.....	49
Експериментално изследване на стандартни образци от текстилна тъкан и коэффициенти на сигурност на материала .....	49
3.1 Общи сведения за определяне на механичните характеристики.....	49
3.2 Експериментално изследване.....	51
3.2.1 Статично натоварване .....	51
3.2.1.1 SATTLER – Polyester/PVC Тип I.....	54
3.2.1.2 SATTLER – Polyester/PVC Тип III .....	55
3.2.1.3 SATTLER – Polyester/PVC Тип V .....	56
3.2.1.4 FERRARI – Polyester/PVC Тип I .....	57
3.2.1.5 Анализ на резултатите от статичното изпитване .....	58
3.2.1.6 Коэффициенти на сигурност на материала.....	61
3.2.2 Циклично натоварване .....	63
3.2.2.1 Анализ на резултатите от цикличното изпитване .....	64
3.2.3 Релаксация .....	65
3.2.3.1 Анализ на резултатите от релаксацията.....	66

3.3	Експериментално изследване на съединения, реализирани посредством високочестотно слепване (заваряване)	66
3.3.1	Постановка на експеримента	66
3.3.2	Резултати от експерименталното изследване	67
3.3.2.1	Резултати от изпитването на образци с шев $d=20\text{mm}$	69
3.3.2.2	Резултати от изпитването на образци с шев $d=40\text{mm}$	69
3.3.2.3	Резултати от изпитването на образци с шев $d=60\text{mm}$	69
3.3.3	Анализ на резултатите от експерименталното изследване	69
3.3.4	Числено изследване на съединение с препокриване	71
3.3.4.1	Обосновка на изследването	71
3.3.4.2	Числен модел	72
3.3.4.3	Резултати от числен модел с шев $d=20\text{mm}$	73
3.3.4.4	Анализ на резултатите	75
Глава IV		76
	Методика за конструктивно формообразуване при текстилните мембранни покрития	76
4.1	Физични аналогии	76
4.2	Критерии при подбор на конструктивна форма на ТМП	78
4.2.1	Архитектурно – функционални	79
4.2.2	Конструктивно – изчислителни	80
4.2.3	Експлоатационни	81
4.2.4	Технологични	81
4.3	Методология при търсене на конструктивно-архитектурна форма на конична повърхнина	83
4.3.1	Постановка на задачата	83
4.3.2	Изследване	84
4.3.2.1	Резултати от изследването на модела с квадратна основа	87
4.3.2.2	Резултати от изследването на модела с кръгла основа	95
4.3.3	Изводи от изследването	99
4.4	Методика за намиране на форма на повърхнината при ТМК	100
Глава V		101
	теоретично (численно) и Експериментално изследване на конична мембранна повърхнина със стоманена пространствена рамка	101
5.1	Обосновка и цели на експерименталното изследване	101
5.1.1	Избор на експериментален модел и форма	101
5.2	Числен модел	102
5.2.1	Резултати при предварително налягане на мембраната	106
5.2.2	Резултати при симетрично снегово натоварване	107
5.2.3	Резултати при несиметрично снегово натоварване	110
5.2.3.1	Резултати при натоварване на $\frac{1}{2}$ от повърхнината	110
5.2.3.2	Резултати при натоварване на $\frac{1}{4}$ от повърхнината между два диагонала	113
5.2.3.3	Резултати при натоварване на $\frac{1}{4}$ от повърхнината върху диагонала	115
5.3	Експериментален модел	118
5.3.1	Опитна постановка	118
5.3.2	Обхват на изследването	120
5.4	Методика на експерименталното изследване	123
5.4.1	Методика за изследването	123
5.4.2	Апаратура за изследването	124
5.5	Основни резултати от експерименталния модел	125
5.5.1	Резултати при предварителното налягане на мембраната	125

5.5.2	Резултати при пълно симетрично нормативно натоварване върху мембранната повърхнина .....	127
5.5.3	Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху $\frac{1}{2}$ от мембранната повърхнина .....	128
5.5.4	Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху $\frac{1}{4}$ от мембранната повърхнина между два диагонала.....	129
5.5.5	Резултати при повторно предварителното налягане на мембранната повърхнина след премахване на ъгловите обтегачи.....	130
5.5.6	Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху $\frac{1}{4}$ от мембранната повърхнина върху диагонала .....	131
5.6	Анализ на резултатите.....	132
5.6.1	Предварителното налягане .....	132
5.6.2	При симетричното снегово натоварване .....	134
5.6.3	При несиметричното снегово натоварване и концентрирани товари .....	136
5.7	Основни изводи .....	137
Глава VI.....		139
конструктивни препоръки при проектирането на текстилни мембранни конструкции .....		139
6.1	Общи положения .....	139
6.2	Области за ефективно приложение.....	141
6.3	Опорен контур и предварително налягане – Форма .....	143
6.4	Натоварвания .....	144
6.4.1	Постоянни товари.....	144
6.4.2	Временни товари .....	145
6.4.3	Въздействия .....	146
6.5	Оразмеряване.....	147
6.6	Основни конструктивни детайли.....	147
6.6.1	Основни принципи при конструктивното оформяване .....	147
6.6.2	Начини на свързване на ивиците от текстилната тъкан.....	148
6.6.3	Прикрепване към опорните части.....	150
6.6.4	Прикрепвания във вътрешните зони .....	150
6.6.5	Прикрепвания в ъглите .....	151
6.7	Блок схеми за процеса на проектиране на текстилни мембранни конструкции .....	152
Научни и научно-приложни приноси .....		154
Насоки за бъдещи изследвания.....		154
Публикации свързани с темата на дисертацията.....		154

## УВОД

Стремежът към олекотяване на носещите конструкции е основен принцип в съвременното конструктивно проектиране, благодарение на който бяха създадени нов клас конструкции за покриването на големи пространства – леки пространствени конструкции. Най-общо към леките конструкции следва да се отнасят тези, при които теглото от собствената маса на конструкцията е по-малко от очакваното експлоатационно натоварване по време на проектния срок за експлоатация.

Леките пространствени конструкции се изпълняват обикновено от алуминий, стомана, дърво и др. В последните три десетилетия за покриването на голямоотворни пространства все по-често започнаха да се използват и текстилни тъкани в съчетание с конструктивни части от друг конструктивен материал – стомана, алуминий, дърво и по-рядко стоманобетон. Не са изключение и случаите, при които текстилната тъкан (текстилната мембрана) има основна носеща роля.

С развитието на технологиите в областта на химическата промишленост и непрекъснатото подобряване на качествата на материалите за направа на текстилни мембранни конструкции се утвърди един принципно нов етап в развитието на конструктивното инженерство. Текстилните материали дават, както на инженерите така и на архитектите, възможността да експериментират с формите и да създават нови впечатляващи решения на традиционни проблеми. Конструкциите с текстилни мембрани са не само визуално запомнящи се, но същевременно са екологично ориентирани и икономически конкурентни.

Най-новите материали за текстилни мембрани като стъклени нишки с тефлоново (PTFE – Teflon) покритие, стъклени нишки със силиконово покритие и полиестер с поливинилхлоридно покритие, са водонепропускливи и изискват малка поддръжка. Поради факта, че тези материали са изключително леки и с висока опънна якост, конструкциите изпълнени с текстилни мембрани са изключително ефективни за голямоотворни приложения, като икономия се реализира и в опорната конструкция.

При традиционните конструкции се разчита на пространствена коравина на конструктивните елементи, за да се постигне едновременно достатъчна якост и устойчивост. Конструкциите реализирани с текстилни тъкани нямат огъвна коравина и притежават ниска коравина на срязване, а същевременно трябва да изпълняват същата функция както традиционните. Това налага формата на текстилната мембранна повърхнина да има двойна отрицателна Гаусова кривина и да бъде предварително напрегната. Сложната геометрия на повърхнините, съчетано с предварителното налягане, както и изключително силно изразеното нелинейно поведение, дължащо се на текстилния материал, допринася за извънредно комплицираното изследване на тези конструкции. Нелинейното поведение е и в резултат на съществените промени в геометрията (геометрична нелинейност), която обикновено се проявява при натоварване, дори и материала да работи линейно. Това е свойство, което е съзнателно търсено и ако конструкцията е проектирана правилно, тя ще увеличава

носещата си способност при деформиране. Всъщност, тези конструкции са в състояние да поемат процентно много по-голям товар в сравнение със собственото си тегло, отколкото стоманена или стоманобетонна конструкция със същия отвор.

Многообразието от конструктивни форми, видове материали, подходи за детайлиране изключително много затрудняват изследването на текстилните мембранни конструкции. Фирмите, специализирани в проектирането и изпълнението на текстилни мембранни конструкции, притежават богата база данни в областта, но не са заинтересовани в популяризирането и. Липсата на нормативни документи също е пречка както за изследването така и за реализацията на текстилните покрития.

В настоящата разработка са описани специфичните особености на текстилните мембранни покрития и особеностите при натоварване. Изследвани са основни конструктивни форми, като са дадени критерии при определяне на формата на повърхнината. Извършено е числено и експериментално изследване на конична мембранна повърхнина и опорна стоманена конструкция, при което са изследвани ефекти като релаксация, начини за предварително налягане, деформативност на повърхнината при съответни схеми на снегово натоварване. В последната глава са дадени конструктивни препоръки за проектирането на конструкции с текстилни мембранни покрития. Изложеният материал, в нея, е своеобразна сентенция на световният опит в областта, както и практическият опит, натрупан у нас в последните години.

## ОСНОВНИ ТЕРМИНИ И СЪКРАЩЕНИЯ

Като относително нов тип, конструкциите с текстилни мембрани налагат изясняването на специфични термини, възникнали с тяхното развитие. Някои от тези термини не се срещат при традиционните конструкции и са изцяло непознати за инженерната колегия.

**Фибра** – изключително тънко влакно (от 1 до 3 микрона) получено от естествени или изкуствени материали. Основна съставна част на нишката;

**Нишка** – съставена е от стотици фибри и служи за изтъкване на базата;

**Warp (wr)** – основа, основни нишки;

**Weft (wf)** – вътък, нишки по вътъка;

**База** – полимерен плат състоящ се от основни нишки и вътъчни нишки разположени в две взаимно перпендикулярни посоки;

**Адхезионни покрития** – покрития върху базата, осигуряващи нейната защита срещу стареене и водонепроницаемост. Инат висока адхезия към базата;

**Текстилен материал (ТМт)** – съвкупност от полимерен плат (база) и нанесени адхезионни покрития, осигуряващи съвместната им работа при натоварване;

**Текстилна мембрана (ТМб)** – повърхнина, реализирана посредством текстилен материал;

**Текстилно мембранно покритие (ТМП)**

**Текстилна мембранна конструкция (ТМК)** – съвкупност от текстилна мембрана и опорна конструкция, обединени в интегрална система позволяваща поемането на всички външни натоварвания;

**Кибитка** – леко преносимо жилище с цилиндрични стени и коничен покрив у номадските племена;

**МКЕ** – метод на крайните елементи;

**NSA** - Non-linear stiffness analysis (нелинеен деформационен анализ);

**DR** - Dynamic relaxation (динамична релаксация);

**FD** - Force Density (плътност на силите);

**PVC** – Polyvinyl chloride (поливинилхлорид);

**PES** – Polyester (полиестер);

**PTFE** – Polytetrafluorethylen (Teflon) (политетрафлуоретилен);

**PVDF** – Polyvinylidene fluoride;

**Si** – Silicone (силикон);

**Seam (sm)** – шев, реализиран посредством високочестотно слепване (заваряване) или зашиване.