

ГЛАВА VI

КОНСТРУКТИВНИ ПРЕПОРЪКИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕТО НА ТЕКСТИЛНИ МЕМБРАННИ КОНСТРУКЦИИ

6.1 Общи положения

Настоящите препоръки се отнасят за покривни конструкции, изпълнявани от различни видове текстилни тъкани (материали), подробно описани в Глава II, пригодни за използване в строителството. Производствената гама на текстилните материали е много широка, поради факта, че приложението им е най-разнообразно. Поради тази причина влагането на текстилни материали в строителни конструкции, произведени с друго предназначение е абсолютно недопустимо. Текстилните материали за строителни конструкции са със специални защитни покрития гарантиращи тяхната дълготрайност и съхранение на механичните характеристики през периода на експлоатация.

Текстилните мембрани **нямат огъвна коравина и коравина на натиск, а работят само на опън в своята равнина**. Този факт е изключително важен, за цялостното конструктивно композиране и конструиране, като непознаването и осъзнаването му води до груби грешки в процеса на проектиране.

За определяне на натоварването и въздействията върху текстилните мембрани се използват предписанията на Европейските норми (EN 1990, EN 1991). При изследването на ветрови въздействия задължително се отчита пулсационната компонента от ветровото натоварване. По-точното изследване е динамично изследване във времето чрез набор от ветрови записи генерирани изкуствено.

Стоманените опорни части (опорни пръстени, стойки, мачти и др.), налягащи въжета, ванти, закотвящи устройства и др. се проектират и изчисляват съгласно EN 1993 и EC 1998.

Текстилните мембрани са много гъвкави конструкции и реализират големи премествания под действие на външните въздействия (сняг, вятър и др.). Още в началните етапи на натоварване текстилният материал работи нелинейно. Поради това за изчисляването на текстилните мембрани трябва задължително да се използва специализиран софтуер, който отчита геометрическата (физическата нелинейност само в изключителни случаи) нелинейност на текстилния материал, въжетата и др.

За да се съхрани проектната конструктивна форма на текстилните мембрани е наложително **предварително налягане**. Системата за предварително налягане и последователността на налягането трябва да бъдат детайлно отработени и отразени в конструктивния проект. Нивото на предварително налягане трябва да се съобрази с вида на мембраната, релаксацията, опасността от пълзене, трудоемкостта при реализирането му и др.

Материалите за текстилни мембрани са патентно защитени и обикновено се произвеждат по специална заявка. За проверка характеристиките на материала, използван за изготвяне на дадена мембранна конструкция трябва да се предвидят **опитни изследвания на едноосов и двуосов опън** на определен брой образци. Тестовете проведени в "УНИЛ" - учебно и научно изследователска ла-

боратория при катедра "МДПК" и описани в Глава III на настоящата дисертация, показват че опитите на едноосов опън покриват много добре данните за механичните характеристики дадени от производителите. Тестовите на двуосов опън са обаче са задължителни за определянето на **модулите на еластичност по основата и вътъка както и компенсационните модули на еластичност необходими при компенсиране на материала**. Когато опитно определената якост се оказва по-ниска от предписаната съгласно сертификата, продукцията трябва да се бракува.

Когато се използва **уникална пространствена** конструктивна форма с големи размери е необходимо да се предвидят и експериментални изследвания върху мащабни модели.

Необходимо е да се обърне специално внимание на опасността от образуване на водни или снежни торби и акумулиране на товари, които биха надвишили значително проектните.

Текстилните мембрани са по-уязвими от традиционните конструкции. Възможно е текстилната тъкан да се разпори с остър нож или да се разруши някое от въжетата при злоумишлени или вандалски действия. Поради това за мащабни конструкции е необходимо да се вземат предохранителни мерки срещу авария, да се използват дублиращи носещи конструктивни елементи, системи и др.

Ориентацията на нишките в текстилната тъкан трябва да се съобразява с посоката на **главните нормални напрежения**. В зависимост от това дали доминира натоварването от сняг или ветровото въздействие от смучене се определя ориентацията на нишките от "основата" и "вътъка". Ориентацията на нишките е изключително важна и за процеса на компенсация на разкроените ивици. Грешна ориентация на нишките може да доведе до изцяло погрешен компенсационен анализ, а оттам и грешна изработка на повърхнината.

При конструктивното формообразуване на текстилните мембрани трябва да се използват **конструктивни форми, които осигуряват възможността текстилната тъкан да работи на опън**. Тези конструктивни форми са обусловени от повърхнини с отрицателна Гаусова кривина и поради това строителните конструктори имат водеща роля в концептуалното решение за общата конструктивна композиция.

Текстилните мембрани изискват много грижливо детайлизиране на съединенията в контактните зони. Прикрепванията към опорния контур, окачването върху пилоните, разположението на контурните въжета, окачвачите и др. трябва да се решават в контекста на общата концепция за цялата конструкция. Тези детайли обикновено са видими и изискват специално оформление, подчертаващо както тяхната функция, така и начина на работа. Необходимо е пълно съответствие между конструктивна и изчислителна схема.

За разкрояването на текстилната мембрана са необходими софтуерни продукти позволяващи такъв вид анализ. При разкрояване на повърхнината трябва да се съблюдават и ограничения продиктувани от широчината на произвежданите материали. Оптимизирането на разкроя по отношение на минимизирането на остатъчният материал е задача, от което решение зависи глобалният разход на материал. Трябва да се подчертае, че разхода на материал може да

надхвърли два и повече пъти площта на повърхнината. За разкроят на повърхнината се оформят **производствени чертежи с точни размери на отделните части**. Необходимо е и предварително точно разкрояване на контурните въжета и носещите кабели. Трябва да се има предвид, че корекции на място са практически невъзможни, като водят или до пренапрягане на определени конструктивни елементи или до слабо налягане на цялата конструктивна система.

Текстилните мембрани се различават според вида на материала, от който се изготвят, формата на повърхнината и др. Но най-съществен показател от гледна точка тяхната надеждност е ролята им за поемането на товарите и въздействията, действащи върху цялата конструкция. В съвременната инженерна практика са се обособили две групи конструктивни системи според това дали текстилната мембрана е основна носеща част или е второстепенна част във веригата при предаването на товарите. В първия случай носимоспособността на текстилната мембрана е решаваща за общата пространствена устойчивост на цялата конструктивна система, а във втория е само конструктивна част със второстепенно значение.

6.2 Области за ефективно приложение

Конструкциите с текстилни мембрани се прилагат в разнообразни сградни системи за различни цели. Основното предимство на текстилните мембрани е, че могат да **съвместяват носещи и ограждащи функции** [49]. Високата якост и относителна лекота на текстилната тъкан позволява да се преодоляват големи пространства без междинни опори, а плътността на материала е надеждна преграда срещу атмосферните въздействия (дъжд, сняг, вятър, слънчева радиация и др.) подробно описани в Глава I. Повишеният интерес на архитектите, строителните конструктори и инвеститорите към използването на текстилните мембрани се дължи и на редица други техни положителни качества, като:

- Прозрачност;
- Разнообразни и експресивни архитектурни форми;
- Възможност за повторен монтаж и демонтаж;
- Възможност за 100% рециклиране PES/PVC тъканите (Екологичност);
- Адаптивност;
- Намалени инвестиции за производство в сравнение с други строителни материали.

Прозрачността е много ценно качество на текстилната тъкан, благодарение на което в някои случаи текстилните мембрани са единствената алтернатива за решение на проблема. Тя зависи от вида на фибрите, пълнителя и цвета на покритието като за стандартните тъкани варира от 10% до 20%, но е възможно да се достави текстилна тъкан с прозрачност 40%. Прозрачността на текстилната мембрана позволява да се използва естествено осветление и да се намалят разходите на енергия (Фиг. 6.1). Прозрачността на материята е много съществена за архитектурното въздействие особено в съчетание с нощно осветление, като може да се придаде скулптурна форма на конструкцията.

Уникалните форми на текстилните мембрани притежават естествена красота, което само по себе си е архитектурна изразителност. Добре проектира-

ните текстилни мембрани могат да се вписват умело в околната среда или сградно пространство. Те могат да бъдат проектирани и разглеждани като скулптурни части, придаващи нов смисъл на съществуващото застрояване и внушаващи нови идеи. Чрез текстилните мембрани могат да се моделират перфектни повърхности и геометрични форми, основани на строга механическа (физична) логика.



Фиг. 6.1: Inland Revenue Centre, Amerity Building, Nottingham

Мобилността и гъвкавостта са естествено присъщи за текстилните мембрани. Лекотата на материала и възможността за сгъване в малки обеми позволяват безпроблемно демонтиране и пренасяне на ново място. Тези характеристики са много подходящи за временни и мобилни конструкции, които са много ценни в случай на бедствия (напр. земетресение) или извънредни обстоятелства, когато трябва да се даде подслон на много хора, спешно да се организират медицински пунктове, заслони и др. Мобилните и временните жилища от текстилни мембрани могат да се използват и в пренаселените градски територии до задоволяване на съответните потребности.

Възможността за рециклиране е много важна за запазване на екологичното равновесие. Съвременните производствени технологии позволяват пълното рециклиране на текстилните тъкани, които отново да влезнат в употреба.

Адаптивността на текстилните мембрани се използва за изграждането на конструкции, които могат да се отварят и затварят според климатичните особености (подвижни конструкции). Това спомага за съхраняване на енергията, хармонията с природата и бърза смяна на архитектурното пространство.

Опитът показва, че капиталните вложения за организиране производството на текстилни мембрани са многократно по-малки от тези за производство на стомана и бетон.

При нормални експлоатационни условия конструкции от текстилни тъкани проявяват и някои недостатъци, за които трябва да се държи сметка при тяхното приложение. Основните недостатъци се заключават в следното:

- Висока деформативност;
- Анизотропност на материала;

- Нелинейно поведение;
- Старееене;
- Ниско температурно съпротивление;
- Уязвимост от пожар, злоумишлени действия и др.

Деформациите в текстилните мембрани са неколкократно по-големи от тези в традиционните конструкции. Гъвкавостта на опорите също спомага за допълнително увеличение на тази деформативност. Граничната стойност на деформациите трябва да се определя според изискванията за нормална експлоатация, съобразени със спецификата на текстилните мембрани. Същевременно, трябва да се има предвид, че повишената деформативност може да играе и положителна роля, защото позволява преразпределяне на товара и "нагаждане" на конструктивната форма към външното въздействие.

Анизотропността се изразява в различните свойства на текстилната тъкан по направление на основните нишки и нишките от вътъка. Необходимо е да се прилага такава ориентация на нишките, при която ще може да се използват максимално съответните якостни характеристики.

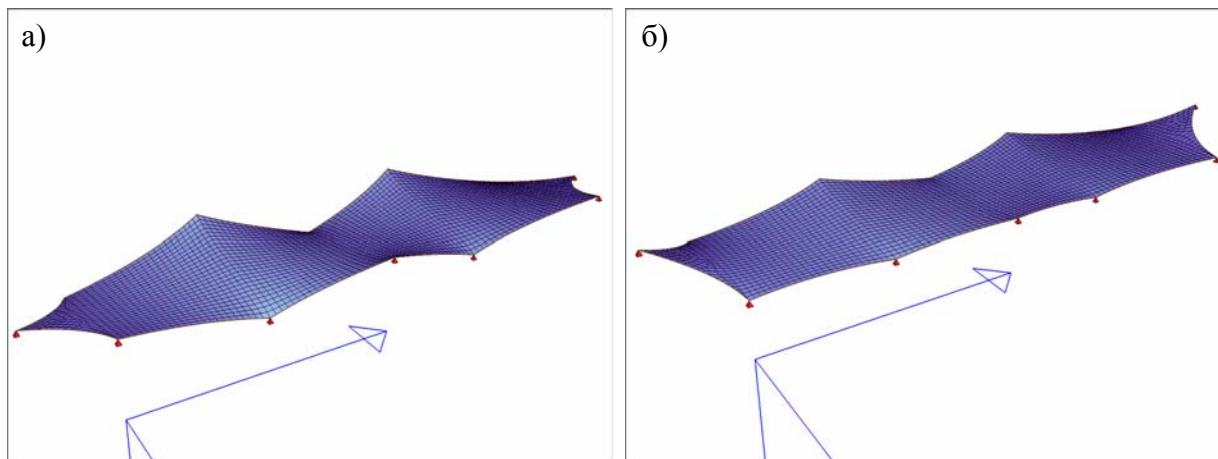
Нелинейното поведение на материала налага да се провеждат специални изследвания за изучаване зависимостта деформации-напрежения. Върху нея оказва влияние и историята на натоварване.

Старееенето е свързано с промяна в механическите характеристики на материала с течение на времето и е резултат от проявите на **пълзене**, релаксация и редуциране на якостта с течение на времето. За изучаване на тези фактори са необходими допълнителни изследвания, но на база на опита до сега може да се приеме, че ТМт от Polyester/PVC имат 20÷25г. живот, а Fiberglass/PTFE повече от 30г.

6.3 Опорен контур и предварително налягане – Форма

В процеса на конструктивното формообразуване, в началните етапи на проектиране на конструкциите с текстилни мембрани трябва да се обърне внимание на двата основни параметъра, опорен контур и налягане, от които изцяло зависи формата на повърхнината. В Глава IV, с направеното числено експериментиране, са определени диапазоните на вариране на геометричните параметри и степента на налягане, при които коничната повърхнината може да изпълнява изискванията за нормална експлоатация. **Основното при определянето на формата на повърхнината е опорният контур: размери в план, вида на контура гъвкав или корав и височините на отделните опорни точки. Предварителното налягане е второстепенен параметър, с които може леко да се модифицира формата, а не да се промени глобално.**

На (Фиг. 6.2) е представено хиперболично покритие, при което са променени височините на контурните точки при двата анализа за намиране на формата. Разликите в повърхнините са съществени и не могат да бъдат постигнати само чрез промяна на налягането по повърхнината.



Фиг. 6.2: Форми на похърхнината при:

- а) ъглови точки с $h=4,5\text{m}$ и контурни точки с $h=3\text{m}$ и $h=6,2\text{m}$;
- б) ъглови точки с $h=6,2\text{m}$ и контурни точки с $h=3\text{m}$ и $h=4,5\text{m}$.

При коничната форма е препоръчително да се спазват ограниченията дадени в Глава IV, Таблица 5.7.

6.4 Натоварвания

Товарите и въздействията при текстилните мембранни конструкции могат да се класифицират, по същия начин както при традиционните. Особеното е, че тук някои товари получават първостепенно значение (предварително налягане, сняг и вятър), докато други като собственото тегло и сеизмичните въздействия са изключително редуцирани и могат да бъдат пренебрегнати при анализа. Важно е да се отбележи, че изследването на едно или друго товарно състояние изцяло зависи от експертната оценка на проектанта. При текстилни мембрани покрития, с малки кривини на повърхнината, където е възможно снегозадържане е необходима и оценка на сеизмичното въздействие. Появяват се и нови товари и товарни състояния, които не съществуват при стандартните конструкции (аварийно товарно състояние). Като строителни конструкции те следва да се натоварват и оразмеряват съобразно метода по **гранични състояния**, макар че при голяма част от реализираните конструкции е използван метода по **допустими напрежения за оразмеряване на мембранната повърхнина**. Поради относително скорошното им приложение в практиката и краткия срок за наблюдение на ефектите от товарите и разрушенията множество товари не са добре изучени и липсват съответни предписания в нормите за натоварвания и въздействия.

Натоварванията и въздействията са подробно разгледани в Глава II. Тук те ще бъдат само синтезирани и представени по подходящ начин за проектиране.

6.4.1 Постоянни товари

Собствената маса на текстилните мембрани обикновено е в порядъка $0,7$ до 2 kg/m^2 . Тази стойност се дава от производителите, като осреднена за дадения тип мембрана. Коефициент на сигурност по натоварване $\gamma_{f,m}=1,10$.

Предварителното налягане при текстилните мембрани е един от най-важните товари, поради факта, че те не могат да съществуват ненапрегнати. В

зависимост от формата и геометрията на повърхнината предварителното налягане може да е в границите от $0,7\text{kN/m}^2$ до 10kN/m^2 . Като принцип, стойностите на предварителното налягане не трябва да са по-ниски от упоменатите в Таблица 2.4 в Глава II. Коефициента на сигурност по налягане варира в зависимост:

$\gamma_{f,p}=1,30$ – при оценка на максималните възможни наляганя;

$\gamma_{f,p}=0,90$ – при оценка на максималните деформации.

6.4.2 Временни товари

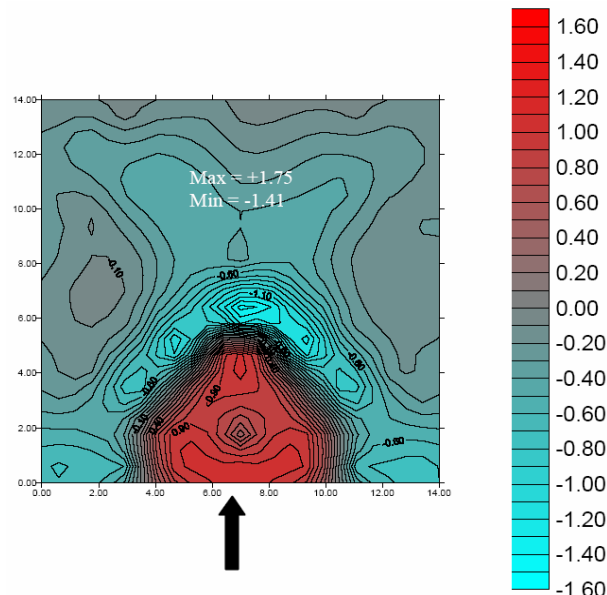
Снеговото натоварване е основен товар при изследването на мембраните конструкции. Като принцип, стойностите му се дават за квадратен метър от земната повърхност. В нормативните документи за натоварване няма оказани схеми за разпределение на снеговото натоварване върху типичните за текстилните мембрани форми (конична, хиперболична, седловинна). Важно е да се използват и схеми за несиметрично натоварване, които служат за оценка на възможността за поява на недопустими провисвания. Схемите на несиметрично натоварване най-често се дължат на свличания на снега в по-стръмни зони и съответно неговото задържане в хоризонталните части от повърхнината. Често срещана схема е и свличането на сняг от високи зони на мембранната повърхнина и акумулирането му в ниските зони. Препоръчва се натоварването от сняг да се отчита до наклони на повърхнината 60° , макар и наблюденията да показват задържане и при по-стръмни наклони. Коефициента на сигурност по натоварване е:

$\gamma_{f,w}=1,40$ – при симетрични натоварвания;

$\gamma_{f,w}=1,60$ – при несиметрични натоварвания.

Ветровото натоварване принципно се разделя на статична и динамична компонента. Статичната компонента отразява промяната на налягането върху повърхността на мембраната при обтичането ѝ от флуида. Динамичната компонента се дължи на поривите в скоростта на флуида и турбуленцията.

Ветровото натоварване е изключително опасно при леките конструкции, при които се наблюдават ефекти като флатер. В нормативните документи липсват стойности за аеродинамичните коефициенти “ c_p ” за конструктивни форми като коничната и хиперболичната, което затруднява анализа дори при отчитане само на статичната компонента. За текстилни мембрани със сложна геометрия е необходимо и провеждането на тестове в аеродинамични тунели за получаване на аеродинамичните “ c_p ” коефициенти. Такъв тест за конична повърхнина е извършен в аеродинамичен канал и представен в [45]. На (Фиг. 6.3) са показани изолиниите на разпределение на коефициентите на наляганята по повърхнината “ c_{p_e} ”.



Фиг. 6.3: Разпределение на коефициентите на наляганията по конична повърхнина

Температурата като товар е необходимо да се отчита за поддържащата конструкция и контурните въжета. Съксяването или удължаването на контурните въжета може да предизвика локални претоварвания в мембраната. Промяната на температурата на текстилната мембрана не води до съществена промяна на нивото на напреженията в нея.

6.4.3 Въздействия

Сеизмичните въздействия не са меродавни за текстилните мембранни конструкции поради изключително ниската маса на покритието, а оттам и малките инерционни сили. Анализ е необходимо да бъде провеждан в случаите, когато по повърхнината е възможно задържането на сняг. Задължително е отчитането на текстилното мембранно покритие за коректното разпределение на силите в системата и добрата му демпфираща способност.

Аварийните състояния са нов вид въздействия, които не се срещат при конвенционалните конструкции. Необходимо е доказването на стабилитета на опорните елементи в състояние при разкъсване на текстилната мембраната. Тези състояния могат да бъдат индуцирани както от стареене на материала така и от умишлена злоупотреба. Трябва да се ограничи верижното разрушение на системата. Като принцип текстилните мембранни покрития са многократно неопределени системи, но често срещано конструктивно композиране е определена система без отчитането на мембраната. В аварийно състояние, когато мембраната се разкъса, е възможно разрушаването и на друг конструктивен елемент, при което системата е податлива на верижно разрушение, поради статическата си изменяемост.

6.5 Оразмеряване

Оразмеряването на детайлите и съединенията при текстилните мембранни конструкции е една от най-сложните задачи. Липсата на експериментални изследвания за поведението на детайлите при връзка мембрана-опорна конструкция не дава възможност да се изучат вида и начина на разрушение. От друга страна детайлите са трудни за моделиране по крайни елементи, поради множеството явления, които трябва да се отчетат. Препоръчва се експериментално изпитване на детайли за определяне на тяхната носимоспособност. Оразмеряването трябва да е предшествано от надеждно конструиране и след това с приблизителни и консервативни проверки да се докаже носимоспособността на съединението. В места, където концентрацията на напрежения е установена от модела по МКЕ е препоръчително удвояването на текстилния материал. Друга мярка е увеличаването на коефициента $\gamma_m=2,50$ на $\gamma_m=3,0$ или $\gamma_m=3,50$, при конкретното оразмеряване. Препоръчвам текстилният материал да се оразмерява в духа на метода по гранични състояния. Това ще спомогне за формирането на еднотипен модел при оразмерителните процедури и ще даде възможност за сравнение на резултатите с тези получени от метода по допустими напрежения.

6.6 Основни конструктивни детайли

6.6.1 Основни принципи при конструктивното оформяване

Конструктивното оформяване на възлите от текстилните мембрани се извършва паралелно с общото проектиране. Възлите изразяват едновременно своята функция и начин на работа на конструкцията. Те трябва да бъдат конструирани по такъв начин, че да функционират надеждно през целия експлоатационен период и да работят съобразно заложените предпоставки в изчислителния модел.

В световната практика има регистрирани голям брой конструктивни възли, представляващи фирмени патенти. Бурното развитие на технологията на текстилните мембрани съдейства за появата на нови разнообразни конструктивни решения на възли и съединения. Независимо от конструктивното многообразие, при конструктивното оформяване се използват няколко основни конструктивни принципа, както следва:

- Пряко предаване на товарите;
- Приспособимост към деформации;
- Компактност, достатъчна якост, устойчивост и дълготрайност;
- Гарантирана конструктивна цялост на системата при местни повреди;
- Възможност за предварително напъгане и напасване.

Възлите трябва да позволяват проектно заложената възможност за преместване (линейно, ъглово) в определените граници без да се нарушава тяхното общо положение, направление и ъглова ориентация.

Конструктивните възли трябва да са прости, гъвкави, с минимален обем и да изразяват спецификата на текстилните мембрани.

Якостта, устойчивостта и дълготрайността на конструктивните възли играят основна роля за надеждността на цялата конструкция. Възлите трябва да

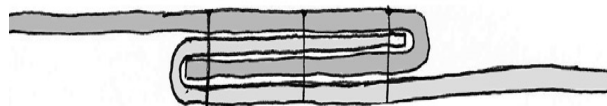
бъдат интегрирани в общата конструктивна система и да спомагат тя да изглежда като едно цяло.

Поради опасността от злоумишлени действия трябва да бъде предвидена надеждна дублираща система при аварийна ситуация в някое от полетата на текстилната мембрана. За целта могат да се предвидят аварийни въжета за пилоните, резервни ванти и др. Тези елементи се включват в работа само при настъпване на авария в някои от частите на текстилната мембрана.

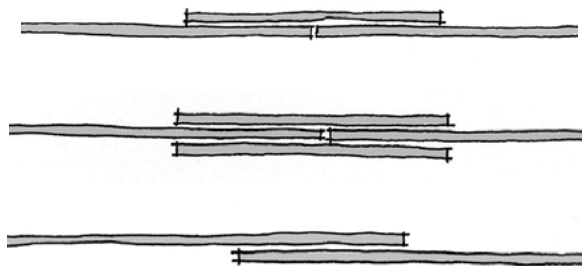
По време на монтажа на текстилната мембрана трябва да се използва подходяща екипировка за създаване на необходимото предварително налягане, както и да се предвидят съответни подходящи места за осъществяване на налягането. Обикновено налягането се осъществява във външните ръбови точки и във вътрешните точки, където има някакво окачване при подпиране. Възлите трябва да се конструират така, че да дават възможност за донатягане, в случай, че има остатъчни деформации след продължително натоварване. **Контурните въжета по мембраната трябва задължително да бъдат проектирани с възможност за компенсирание, в противен случай вероятността за недобро (различно с модела по крайни елементи) налягане е нараства многократно [56].**

6.6.2 Начини на свързване на ивиците от текстилната тъкан

Ивиците от текстилната тъкан се свързват помежду си чрез линейни надлъжни връзки. Когато тези връзки се изпълняват в заводски условия се използват няколко начина на свързване:



Фиг. 6.4: Стъгане и припокриване със заваряване или зашиване



Фиг. 6.5: Заваряване

- в) Комбинирано свързване
- г) Слелване.

Стъгане и припокриване се прилага при голямо натоварване, когато няма друга възможност. Този тип съединение е много надеждно, но същевременно и значително по-скъпо.

Съединяване чрез заваряване е най-често срещаното съединение поради своята водонепропускливост и възможността добре да се контролира произ-

водствения процес. Якостта на съединението се увеличава с увеличаване широчината на застъпване.

За текстилна тъкан от PVC се използват следните методи на заваряване:

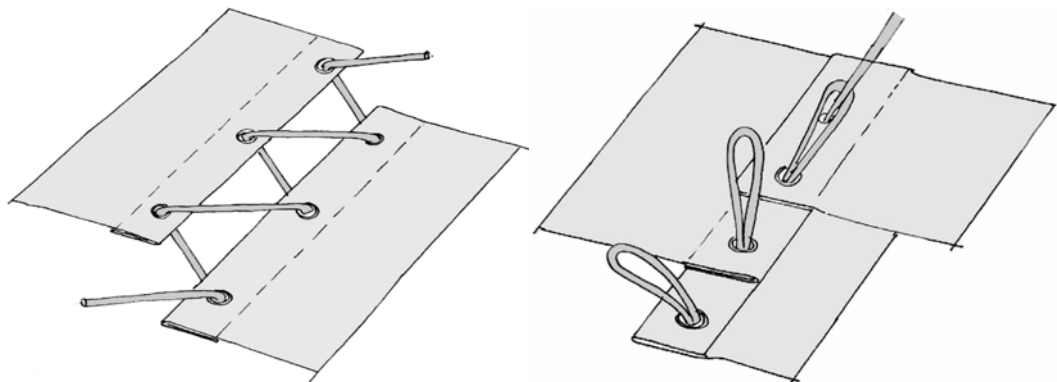
- Заваряване с високочестотни вълни;
- Горещо заваряване с притискане;
- Заваряване с горещ въздух.

Необходими са експериментални доказателства за якостта на съединението, както и строг производствен контрол при изпълнението на текстилната мембрана.

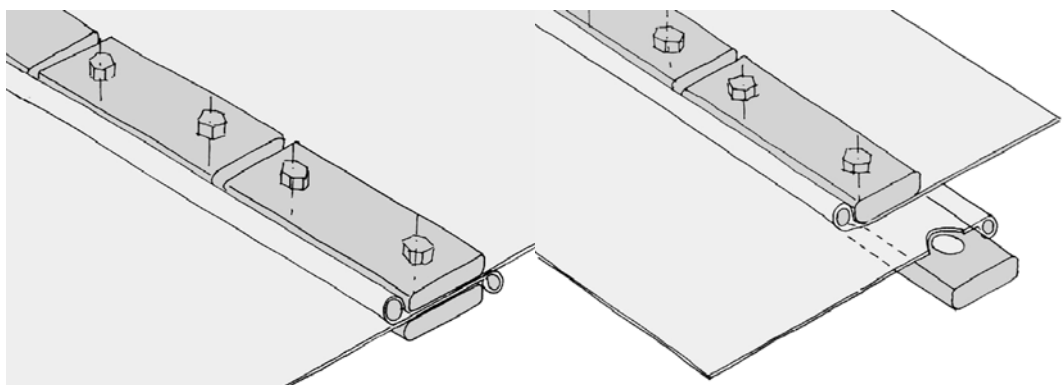
При комбинираното съединение се използва едновременно сгъване, припокриване и заваряване. Чрез застъпването се повишава якостта на съединението при по-високи температури, но това свързване е относително по-скъпо.

Слепването се прилага относително по-рядко при текстилните мембрани. То е по-трудоемко и е подходящо при ремонтни работи на обекта.

За свързването между частите на текстилната мембрана на строителната площадка се използват основно следните два начина [33]:



Фиг. 6.6: Свързване чрез оплитане



Фиг. 6.7: Свързване чрез притискане

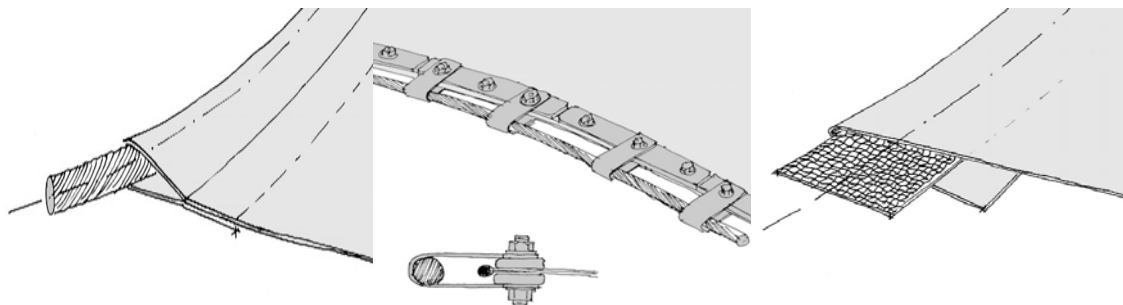
Свързването чрез оплитане позволява лесно сглобяване и разглобяване на двете съседни части от текстилната мембрана. За целта се използва здрав шнур и капсуловани отвори в текстилната тъкан. Обикновено определящи за якостта на съединението са усилванията около отворите.

При свързването чрез притискане се използват като крайници стоманени плочи, които позволяват да се използва болтова връзка между съединяваните части. Чрез този тип съединения може да се осъществява и прикрепване към корави елементи.

6.6.3 Прикрепване към опорните части

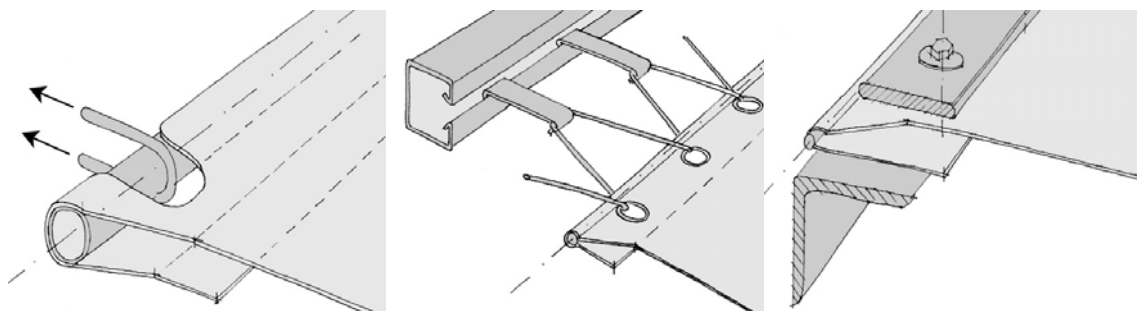
Чрез тези съединения се прехвърлят усилията от текстилната мембрана към опорния контур на конструктивната система. Използват се главно 2 типа връзки:

а)



Фиг. 6.8: Гъвкави връзки

б)

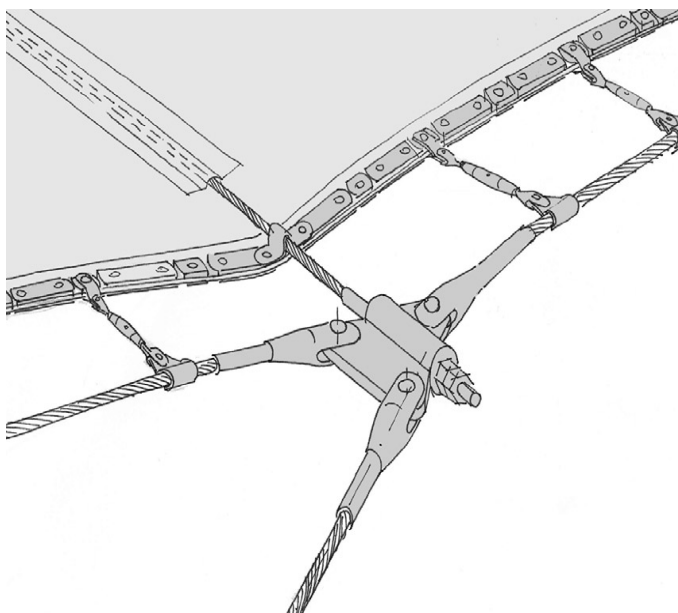


Фиг. 6.9: Корави връзки

6.6.4 Прикрепвания във вътрешните зони

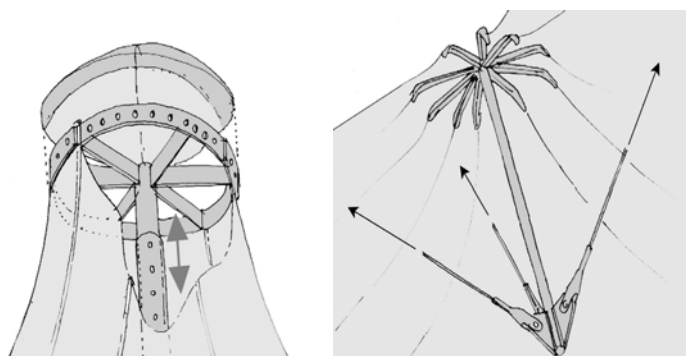
Опиранията във вътрешните зони могат да бъдат **линейни** и **точкови**.

Характерен пример за линейно прикрепване във вътрешните зони е пресечната линия на повърхнините с двойна кривина. (Фиг. 6.10). Съединението трябва да позволява да се натяга поне един от двата кабела (билния кабел и кабела по уламата).



Фиг. 6.10: Кабел по уламата

При точковото опиране (например, върху пилон) се използва стоманен или алуминиев пръстен, върху който се окачва текстилната мембрана (Фиг. 6.11).



Фиг. 6.11: Опорен пръстен

6.6.5 Прикрепвания в ъглите

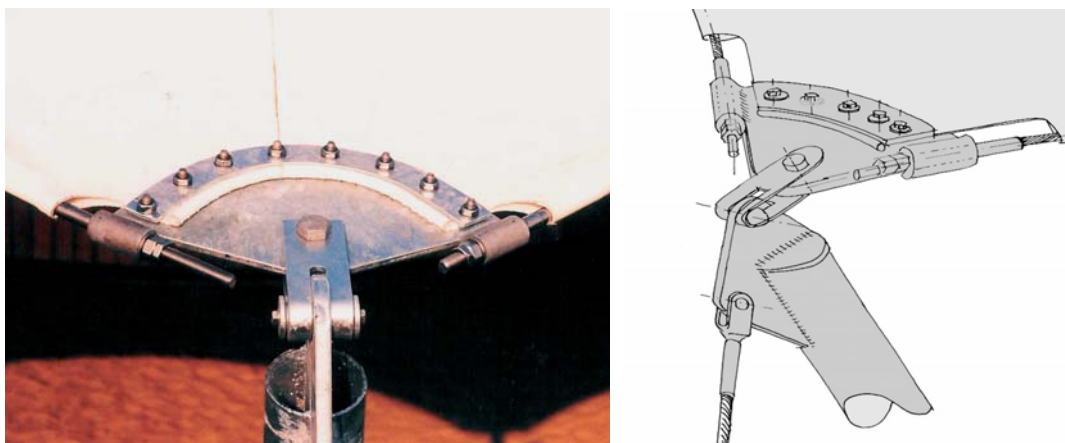
Чрез конструктивните възли в ъглите усилията от бордовите кабели се предават върху опорните части. Тези възли обикновено изпълняват различни функции в процеса на монтажа и по време на експлоатацията (Фиг. 6.12).



Фиг. 6.12: Опорна плоча с ъглов обтегач

В началото на монтажа при окачването на текстилната мембрана усилията в резултат на натоварването от собствена маса на мембраната преминават чрез мембраната пряко в ъгловата зона.

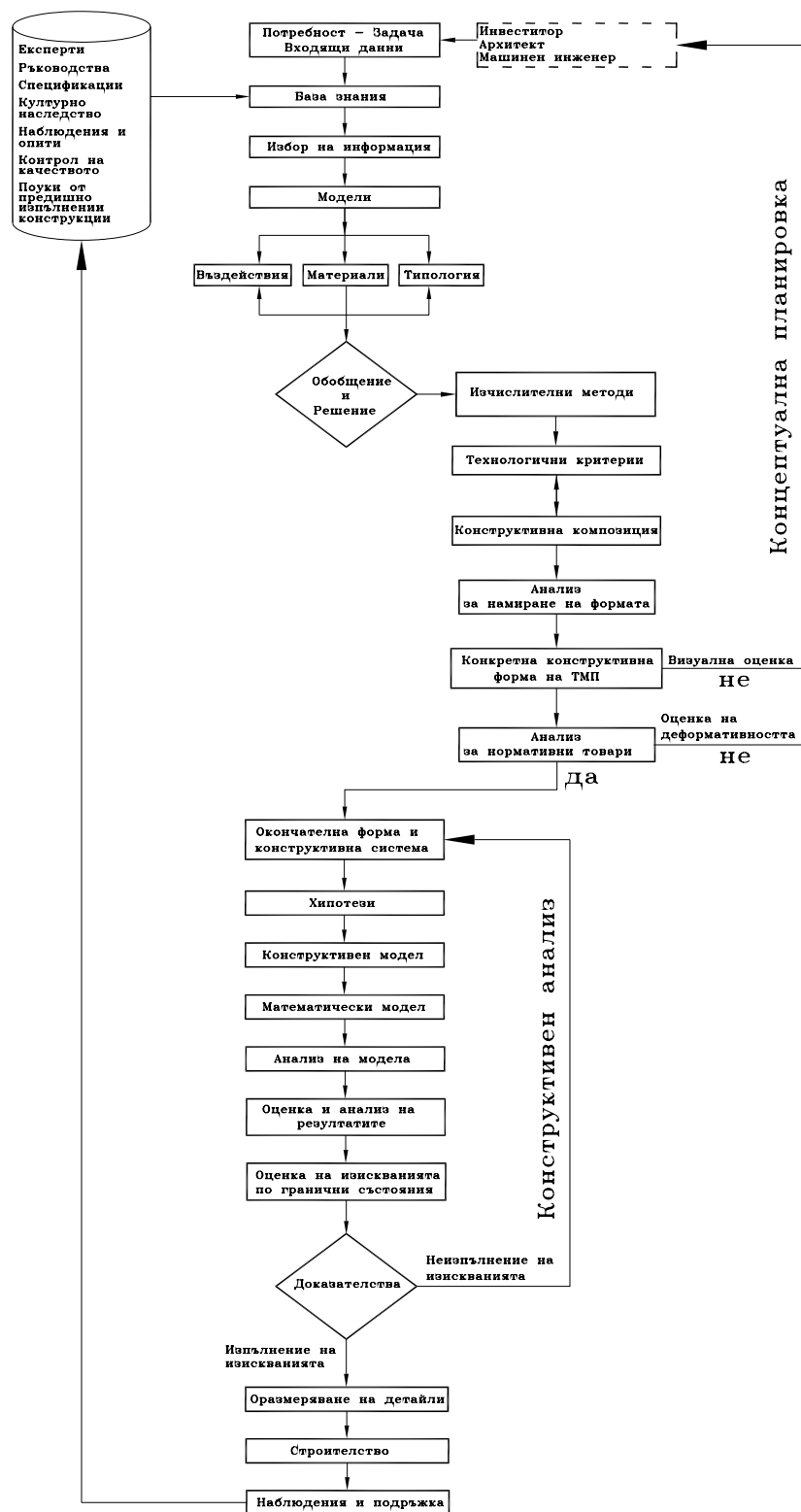
След монтирането на текстилната мембрана и опъването на контурните кабели усилията протичат в опората главно чрез кабелите. За по-добро предварително напъване на текстилната мембрана трябва да се предвиди възможност за натягане и на кабелите по контура (Фиг. 6.13).



Фиг. 6.13: Опорен плоча с втулки за закотвяне на въжетата

6.7 Блок схема за процеса на проектиране на текстилни мембранни конструкции

В Глава IV е разгледан проблема с конструктивното формообразуване при конични повърхнини, като е предложена блок схема за последователността от действия при намиране формата на покритието. Тази блок схема е само една малка част от целия процес на проектиране. Тук е представено обобщение на световния опит в областта, като е предложена блок схема описваща целият процес на проектиране на текстилни мембранни конструкции (Фиг. 6.14).



Фиг. 6.14: Блок схема за процеса на проектиране и наблюдение на ТМК

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Предложен е алгоритъм за определяне формата на покритието при текстилните мембранни конструкции в процеса на конструктивно композиране. Изследвани са границите на изменение на геометричните параметри при конична повърхнина в условията на нормална експлоатация с отчитане влиянието на опорния контур (гъвкав или корав).
2. Проведено е оригинално експериментално изследване на натурен модел с конична форма като е направено сравнение между числените и експериментално определените резултати.
3. Доказано е експериментално невъзможността за оптимално налягане на конична повърхнина само чрез повдигане на върха и, а е необходимо и налягане чрез контурните въжета.
4. Изследвано е влиянието на ъгловите обтегачи за напрегнатостта на повърхнината в експерименталния модел, като е установено, че за коректното изчисляване на текстилните мембранни конструкции е необходим подробен модел по МКЕ.
5. Дадени са някои конструктивни препоръки за проектирането на конструкции с текстилни мембрани.

НАСОКИ ЗА БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

1. Параметрично изследване на вариацията на параметрите на други базови повърхнини като хиперболична, седловинна и вълнообразна.
2. Експериментално изследване на конструктивни детайли на прикрепяне на текстилна мембрана към опорен контур. Анализ на вида и начина на разрушение. Предлагане на начин за оразмеряването им.
3. Изследване на текстилни мембранни конструкции с помощта на изкуствено генерирани ветрови записи и сравнения с предложената методика с пулсационна компонента в нормативните документи.

ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Танев, В., Текстилни мембранни конструкции – видове и материали за изпълнението им. Строителство, кн. 1, 2004;
2. Даков, Д., В. Танев Относно избора на материал за текстилни мембрани, Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия – София, Том XLI, Свитък V, 2003-2004.
3. Dakov, D., V. Tanev Problems, concerning the design and construction of membrane textile roofings at existing buildings and facilities, Proceedings Volume C, Eurosteel Conference, 2005.
4. Dakov, D., V. Tanev, Experimental investigation of a steel frame model covered with textile membrane, Proceedings Volume C, Eurosteel Conference, 2005.
5. Tanev, V. Current Development of Practical Realizations and Theoretical Investigations of Textile Membrane Structures in Bulgaria, International Symposium, Proceedings of the 11- International Symposium of MASE, 2005.

ИСПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Hebbelinck S., M. Mollaert, J. Haase, From Small Parts to Large Structures, Bauen mit Textilien Heft, Vol 4, 2001.
- [2]. Shaeffer, R. Tensioned Fabric Structures – A Practical Introduction, 1996.
- [3]. Mollaert, M. Membrane structures: understanding their forms, Vrije Universiteit Brussel.
- [4]. Drew, P. Tensile Architecture, Westview Press, Boulder, CO, 1979.
- [5]. TensiNet Symposium, Designing Tensile Structure, September 19th-20th 2003, Brussels.
- [6]. <http://www.bstu.ru/ru/common/shukhov/> .
- [7]. Отто, Ф. Висячие покрытия их формы и конструкции, 1960.
- [8]. <http://freiotto.com/FreiOtto%20ordner/FreiOtto/Hauptseite.html> .
- [9]. Отто, Ф., Тростелы, Р. Пневматические строительные конструкции, 1962.
- [10]. Отто, Ф., Шлейер, Ф. Тентовые и вантовые строительные конструкции, 1966.
- [11]. Ермолов, В. Бэрд, У., Бубнер, Э. Пневматические строительные конструкции, 1983.
- [12]. Ishii, K., Membrane Design and Structures in the World, 1999.
- [13]. Schlaich, J. R. Bergemann, Light Structures, Prestel, 2003.
- [14]. www.tensinet.com - TensiNet – The Communication Network for Tensile Structure in Europe.
- [15]. <http://www.uni-stuttgart.de/ilek/Bib/Bib.html>
- [16]. Schek, H. J., The force density method for formfinding and computation of general networks, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, 115-134, 1974.
- [17]. Linkwitz, K. About formfinding of double-curved structures, Engineering Structures, Vol. 21, Issue 8, 709-718, 1999.
- [18]. Linkwitz, K., Formfinding by the “Direct Approach” and Pertinent Strategies for the Conceptual Design of Prestressed and Hanging Structures, International Journal of Space Structures, Vol. 14, No 2, 1999.
- [19]. Day, A. S. and Bunce, J. W., Analysis of cable network, Civil Engineering and Public Works Review, April 1970.
- [20]. Barnes, M. R. Dynamic Relaxation Analysis of Tension Networks, Proceedings of International Conference on Tension Structures, London, April 1974.
- [21]. Barnes, M. R., Application of Dynamic Relaxation to the Design and Analysis of Cable, Membrane and Pneumatic Structures, Proceedings of 2nd International Conference on Space Structures, Guildford, September 1975.
- [22]. Barnes, M. R., B.H.V. Topping, D. S. Wakefield, Aspects of Formfinding Using Dynamic Relaxation, International Conference on Slender Structures, London, September 1977.

- [23]. Barns, M.R. Form-finding and Analysis of Prestressed Nets and Membranes, *Computers & structures* Vol. 80, № 3, 685-695, 1988.
- [24]. Barns, M.R., Form and Stress Engineering of Tension Structures, *Structure Engineering Review*, Vol. 6, № 3-4, 175-201, 1994.
- [25]. Haug, E. Powell, G.H., Analytical shape finding of cable nets, *Proceedings IASS symposium pacific Part II on tension structures and space frames*, Tokyo and Kyoto, 83-92, 1971.
- [26]. Haug, E. Powell, G.H., Finite element analysis of nonlinear membrane structures, *Proceedings IASS symposium pacific Part II on tension structures and space frames*, Tokyo and Kyoto, 83-92, 1971.
- [27]. International Standard – ISO 1421, Second edition 15.06.1998. Rubber or plastics-coated fabrics – Determination of tensile strength and elongation at break.
- [28]. Proposal for A General Approval of Coated Fabrics – Test Methods, Laboratory BLUM, Stuttgart.
- [29] Танев, В., Текстилни мембранни конструкции – видове и материали за изпълнението им. Строителство, кн. 1, 2004;
- [30]. Ishii, K. Form Finding Analysis in Consideration of Cutting Patterns of Membrane Structures, *International Journal of Space Structures*, Vol. 14, No. 2, 1999.
- [31]. TensiNet Symposium at Vrije Universiteit Brussels, The Design of Membrane and Lightweight Structures, September 15th-16th 2000, Brussels.
- [32]. Houtman, R., M. Orpana Materials for membrane structures. - *Bauen mit Textilien* Heft 4, 2000.
- [33]. Forster, B., M. Mollaert *European Design Guide for Tensile Surface Structure*.
- [34]. Даков, Д., В. Танев Отчет по тема: “Текстилни мембранни конструкции със стоманен опорен контур” – I^{ви} етап, договор №БН-36 към ЦНИП при УАСГ.
- [35]. Даков, Д., В. Танев Отчет по тема: “Текстилни мембранни конструкции със стоманен опорен контур” – II^{ви} етап, договор №БН-36 към ЦНИП при УАСГ.
- [36]. Танев, В. Отчет по тема: “Изследване на образци от текстилни материали”, договор Д-20 към ЦНИП при УАСГ.
- [37]. Drusedau, H., M. Dickson, J. Henicke *IL15 Air Hall Handbook*, Institut für leichte Flachentragwerke, Universität Stuttgart.
- [38]. ISO 1421, Second edition 1998-06-15, Rubber or plastics-coated fabrics. Determination of tensile strength and elongation at break.
- [39]. ISO 2411:2000, Rubber or plastics-coated fabrics. Determination of coating adhesion.
- [40] FERRARI, *Textiles Architectoniques – Precontraint*, Product Catalogue, 2004.
- [41]. Даков, Д., В. Танев Относно избора на материал за текстилни мембрани, *Годишник на Университета по архитектура, строителство и геодезия – София*, Том XLI, Свиськ V, 2003-2004.

- [42]. Харолд Фулър, Ричард Фулър, Робърт Фулър, Физиката в живота на човека, Издателство наука и изкуство, София, 1988.
- [43]. A. S. Day "A general computer technique for form finding for tension structures, IASS Conference, Shell and Spatial Structures, The Development of Form, Morgantown, USA, 1978.
- [44]. SOFiSTiK – help documentation.
- [45]. Shell and Spatial Structures from Models to Realization - International Association for Shell and Spatial Structures, Symposium Montpellier, France, 2004.
- [46]. SOFiSTiK Membranes – Form finding and structural analysis, 2000.
- [47]. Simiu, E., R. Scanlan Wind Effects on Structures, Fundamentals and Applications to Design, John Wiley&Sons, Inc, USA, 1996.
- [48]. Dyrbye, C., S. O. Hansen Wind Loads on Structures, John Wiley&Sons, Inc, USA, 1997.
- [49]. Dakov, D., V. Tanev Problems, concerning the design and construction of membrane textile roofings at existing buildings and facilities, Proceedings Volume C, Eurosteel Conference, 2005.
- [50]. Dakov, D., V. Tanev, Experimental investigation of a steel frame model covered with textile membrane, Proceedings Volume C, Eurosteel Conference, 2005.
- [51]. Newland, D. E. An Introduction to Random Vibration and Spectral Analysis, Longman, UK, 1980.
- [52]. Бобев, Т., Н. Танков, Т. Тодоров Стоманени решетъчни мачти с обтяжки, Издателство „Техника“, София 1989.
- [53]. Pilkey, W. D., W. Wunderlich, Mechanics of Structures Variational and computational methods, Volume I, CRC Press, 1990.
- [54]. Pilkey, W. D., W. Wunderlich, Mechanics of Structures Variational and computational methods, Volume II, CRC Press, 1990.
- [55]. Pilkey, W. D., W. Wunderlich, Mechanics of Structures Variational and computational methods, Volume III, CRC Press, 1990.
- [56]. Tanev, V. Current Development of Practical Realizations and Theoretical Investigations of Textile Membrane Structures in Bulgaria, International Symposium, Proceedings of the 11- International Symposium of MASE, 2005.

