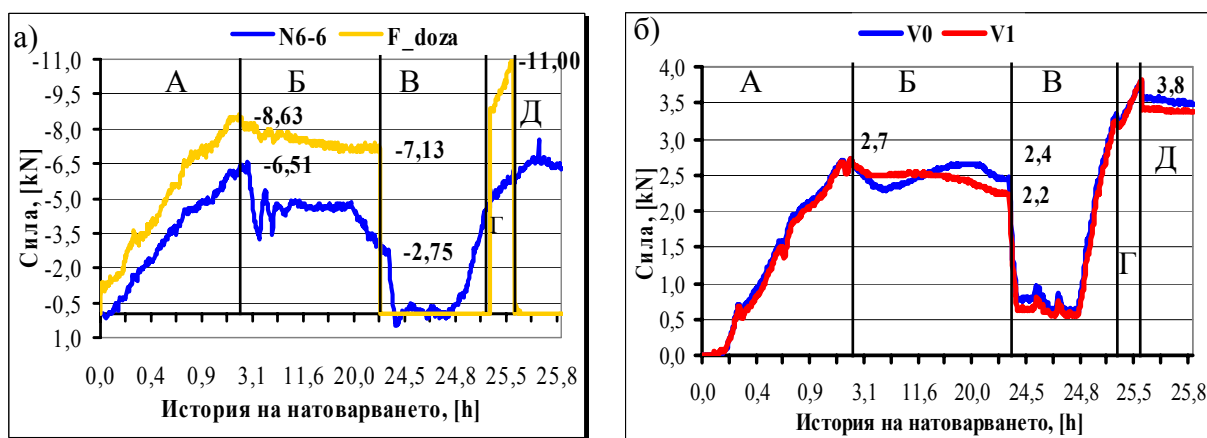


5.5 Основни резултати от експерименталния модел

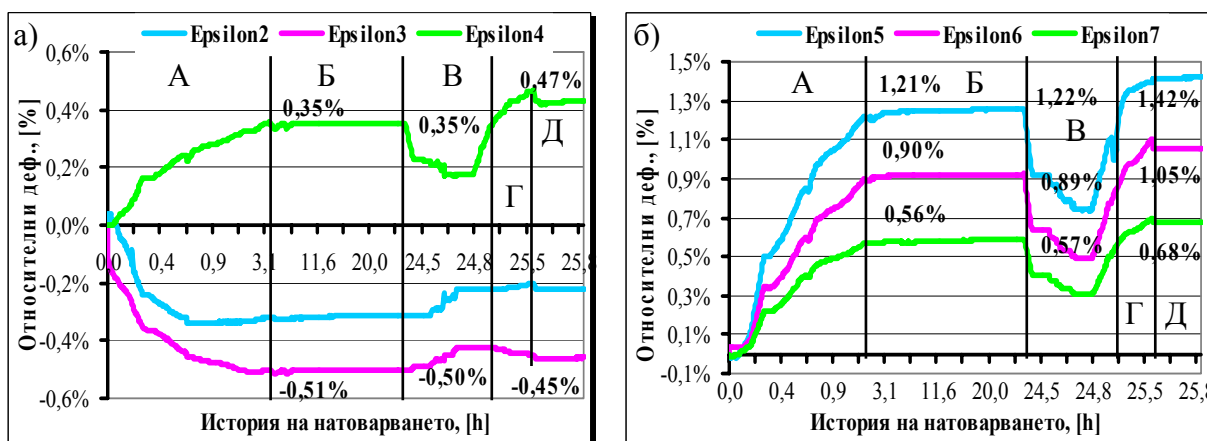
5.5.1 Резултати при предварителното налягане на мембраната

При предварителното налягане на мембранната повърхнина се замерваха деформациите в шест сечения на стоманената конструкция (Фиг. 5.58). Деформациите в пет сечения (Фиг. 5.59), две радиални и три тангенциални, на текстилната мембрана, силата в хидравличния крик и силите в контурните въжета. На следващите фигури са изобразени измерваните величини при различните етапи на експерименталното изследване като N6-6 е нормалната сила в пилон, F_{doza} е силата в мездозата над крика, V0 и V1 са силите във въжетата, а “Epsilon I” или “Ind I” относителните деформации в съответния датчик.



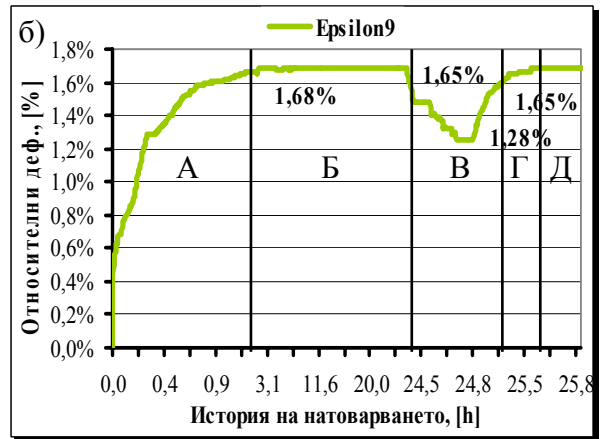
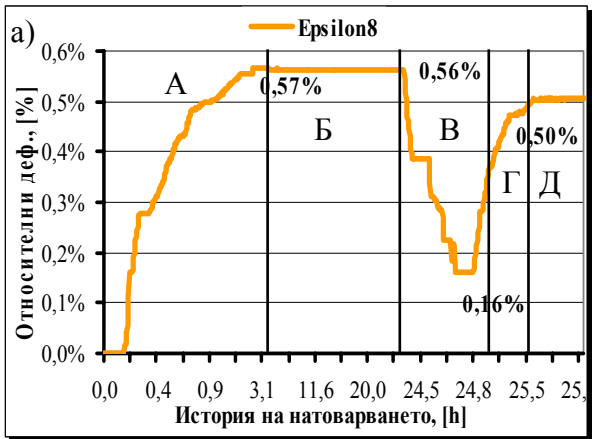
Фиг. 5.65: Нормална сила при [kN]

- а) сечение “6-6” в централния пилон и мездозата “F_{doza}”
 б) контурните въжетата “V0” и “V1”

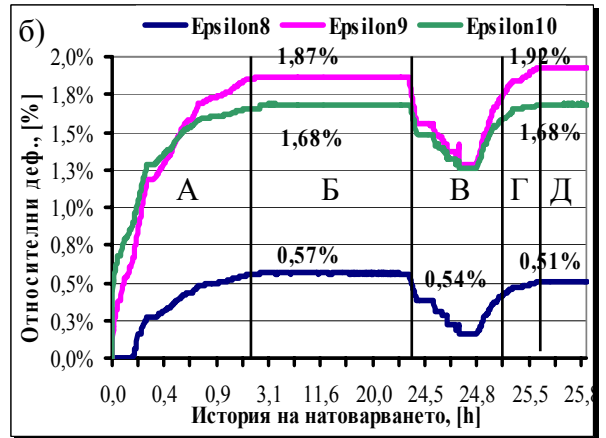
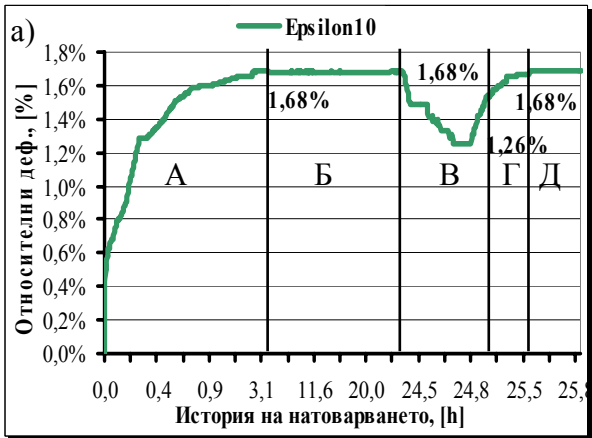


Фиг. 5.66: Относителни деформации в сечения в [%]:

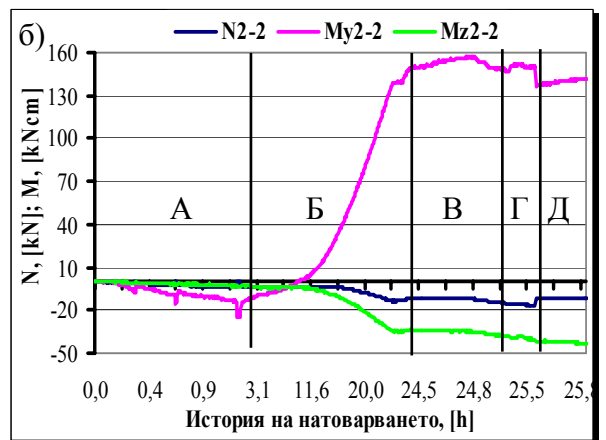
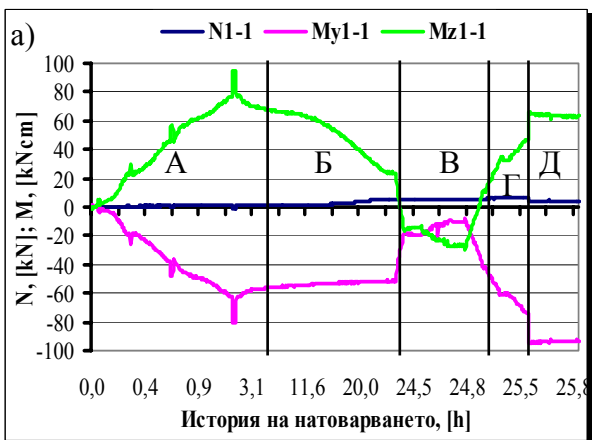
- а) сечение “7-7”
 б) сечение “8-8”



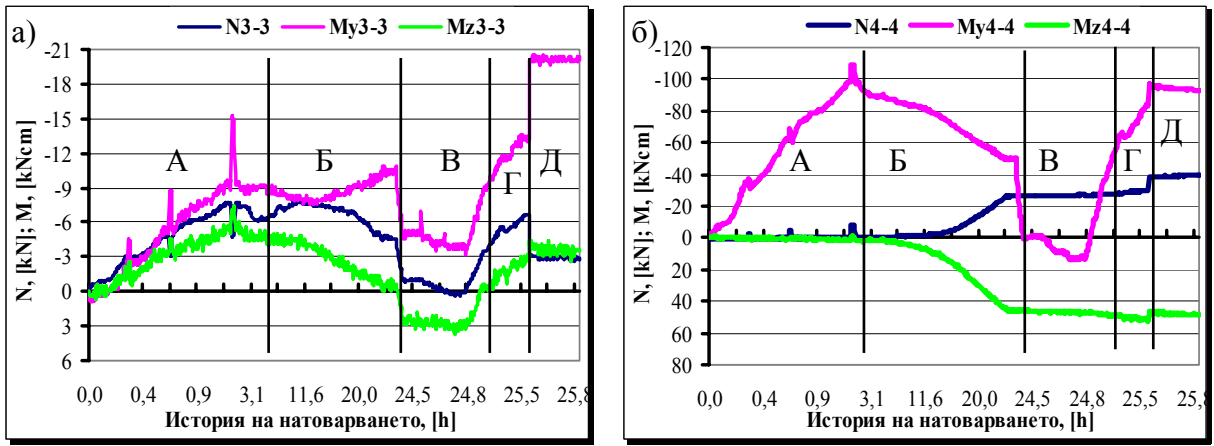
Фиг. 5.67: Относителни деформации в сечения в [%]:
 а) сечение "9-9";
 б) сечение "10-10".



Фиг. 5.68: Относителни деформации в сечения в [%]:
 а) сечение "11-11";
 б) сечения "9-9", "10-10", "11-11".

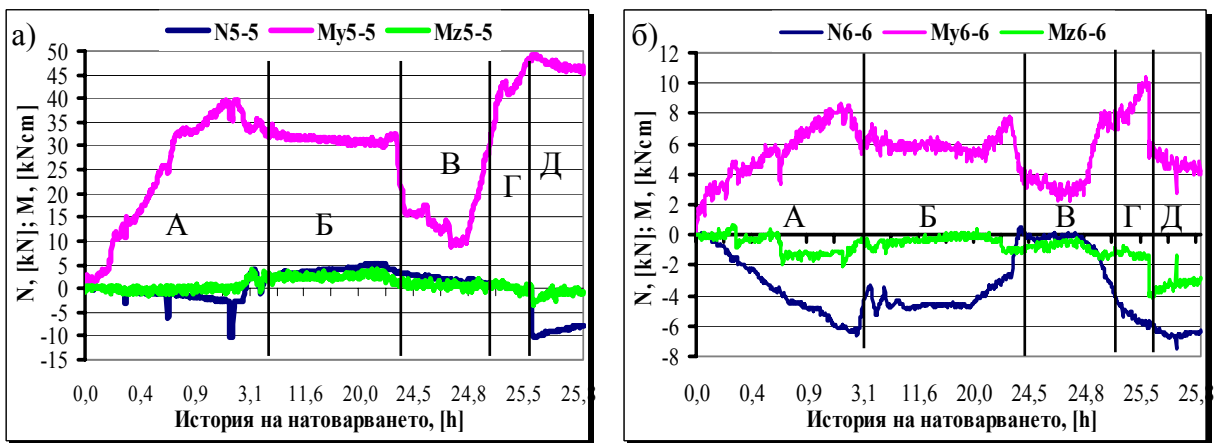


Фиг. 5.69: Разрезни усилия в сечения в [kN], [kNcm]:
 а) сечение "1-1";
 б) сечение "2-2".



Фиг. 5.70: Разрезни усилия в сечения в [kN], [kNcm]:

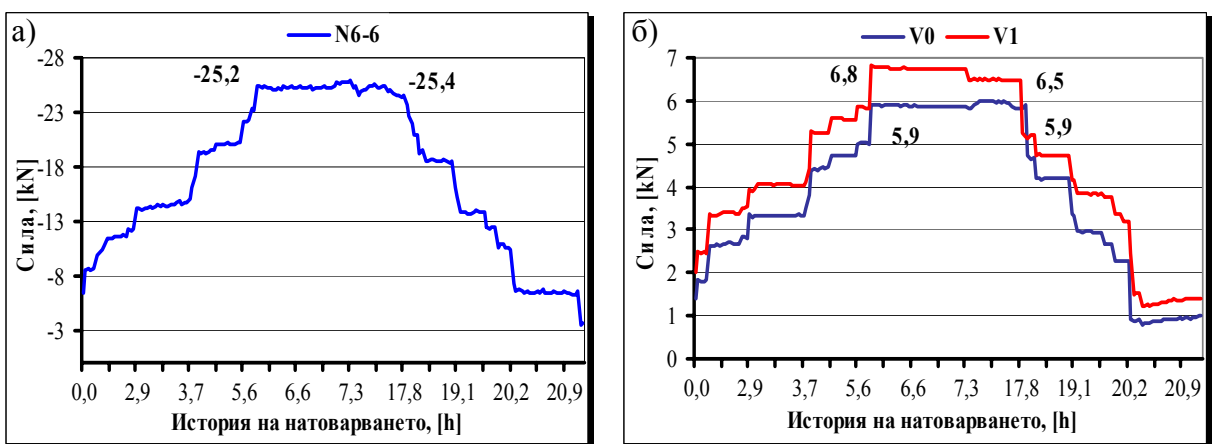
- а) сечение "3-3";
- б) сечение "4-4".



Фиг. 5.71: Разрезни усилия в сечения в [kN], [kNcm]:

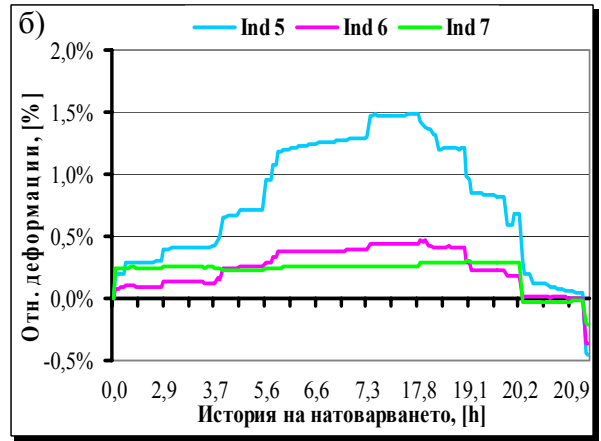
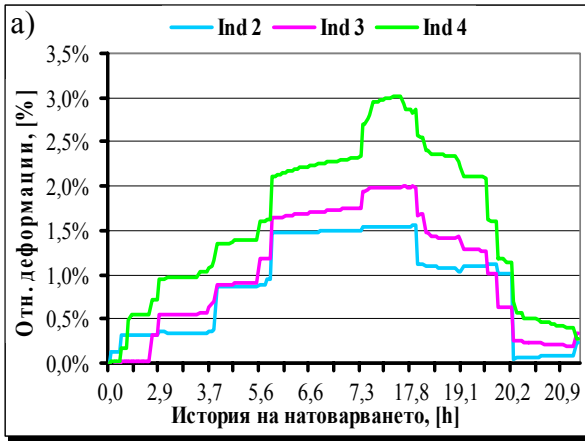
- а) сечение "5-5";
- б) сечение "6-6".

5.5.2 Резултати при пълно симетрично нормативно натоварване върху мембранната повърхнина



Фиг. 5.72: Нормална сила в [kN]:

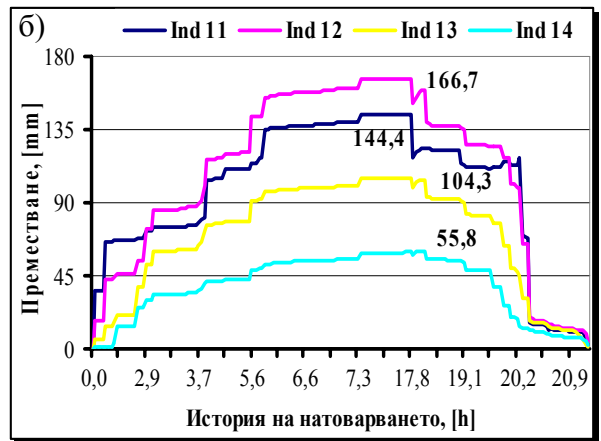
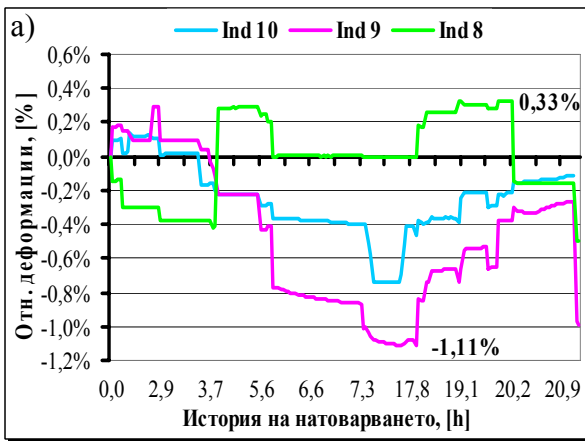
- а) в сечение "6-6" – централен пилон;
- б) в контурните въжета "V0" и "V1".



Фиг. 5.73: Относителни деформации в [%]:

а) в сечение "7-7";

б) в сечение "8-8".

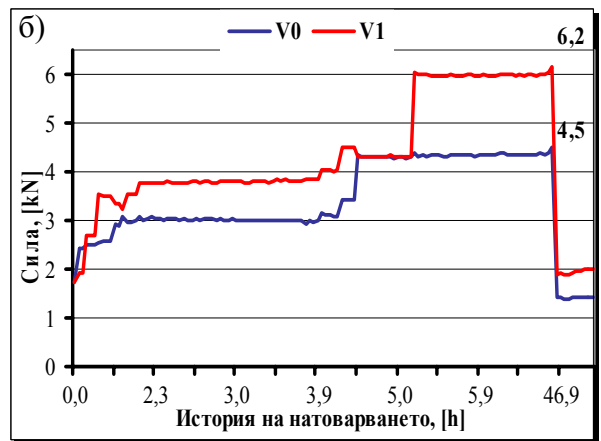
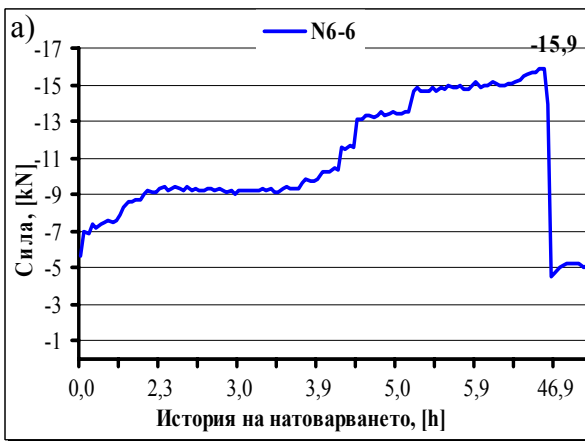


Фиг. 5.74: Относителни деформации в [%] и провисвания в [mm]:

а) в сечение "9-9", "10-10" и "11-11";

б) в датчици "Ind 11", "Ind 12", "Ind 13" и "Ind 14".

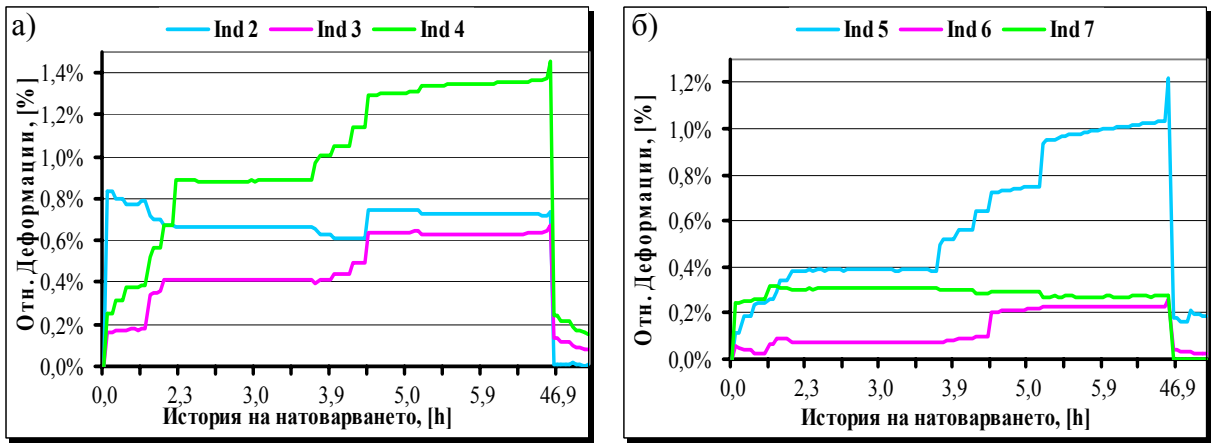
5.5.3 Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху 1/2 от мембранната повърхнина



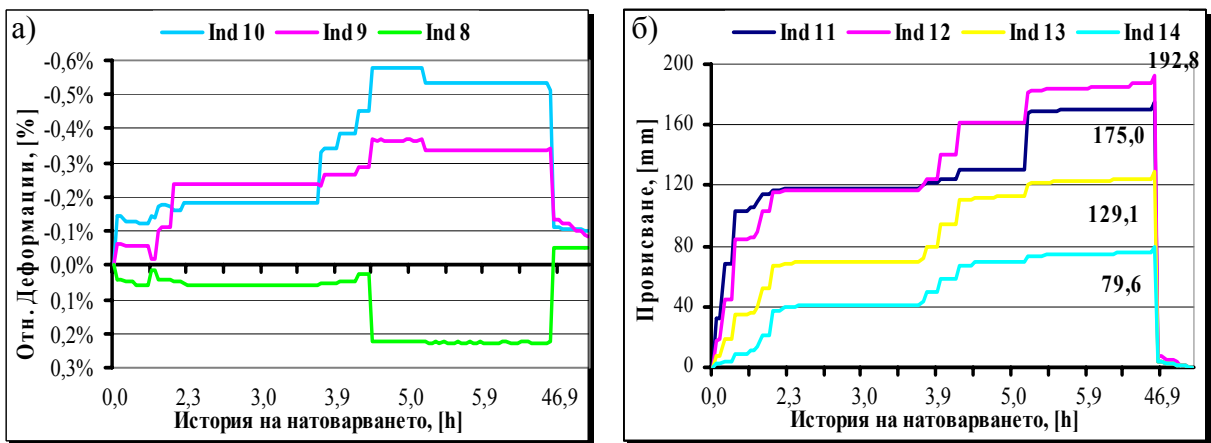
Фиг. 5.75: Нормална сила в [kN]:

а) в сечение "6-6" – централен пилон;

б) в контурните въжета "V0" и "V1".

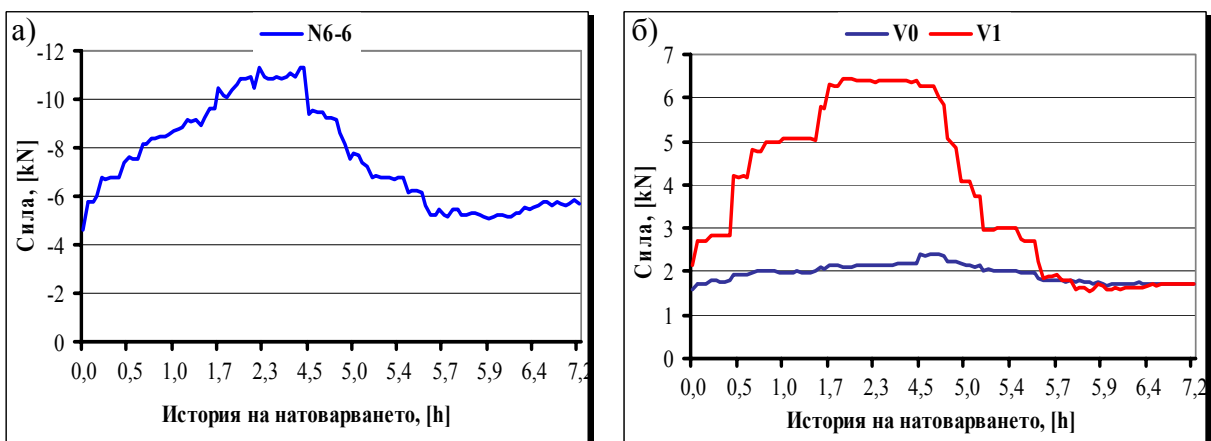


Фиг. 5.76: Относителни деформации в [%]:
 а) в сечение "7-7";
 б) в сечение "8-8".

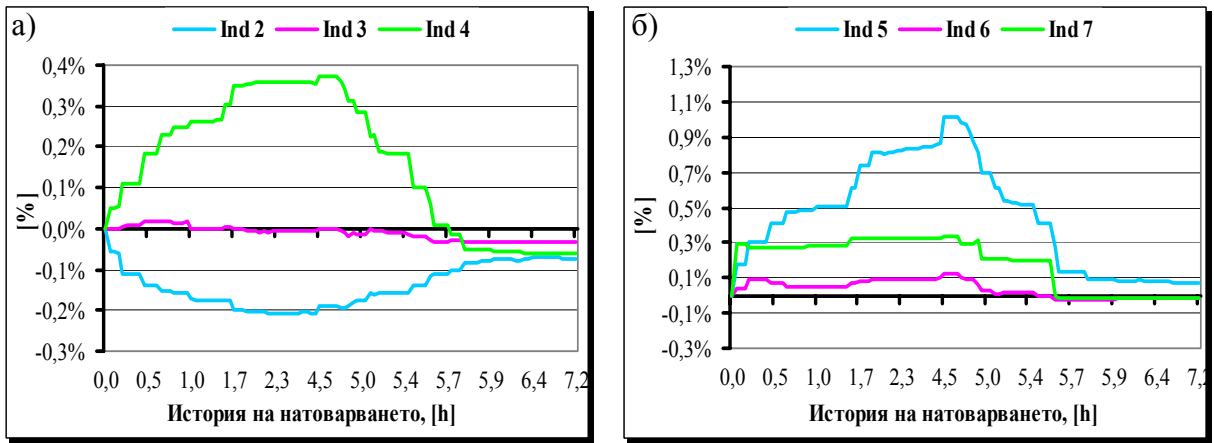


Фиг. 5.77: Относителни деформации в [%] и провисвания в [mm]:
 а) в сечение "9-9", "10-10" и "11-11";
 б) в датчици "Ind 11", "Ind 12", "Ind 13" и "Ind 14".

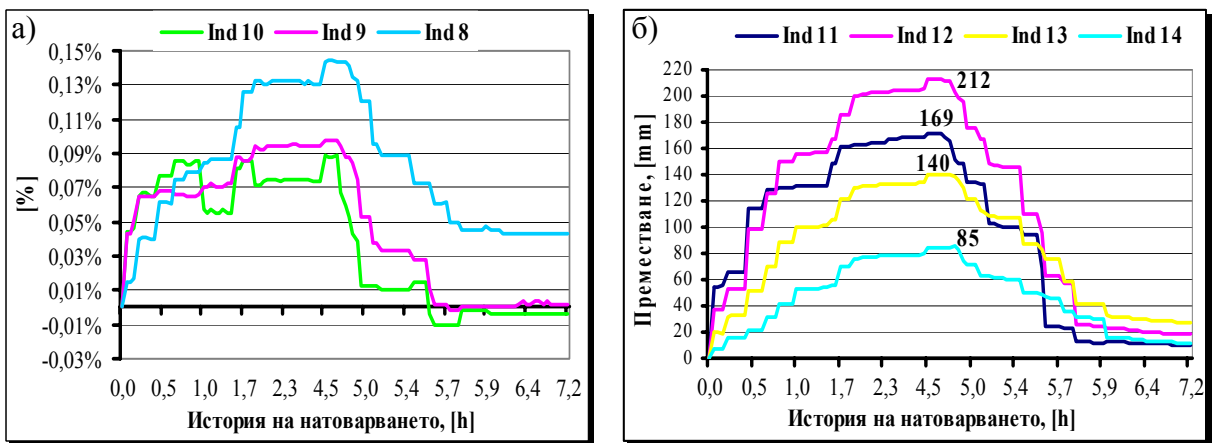
5.5.4 Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху $\frac{1}{4}$ от мембранната повърхнина между два диагонала



Фиг. 5.78: Нормална сила в [kN]:
 а) в сечение "6-6" – централен пилон;
 б) в контурните въжета "V0" и "V1".

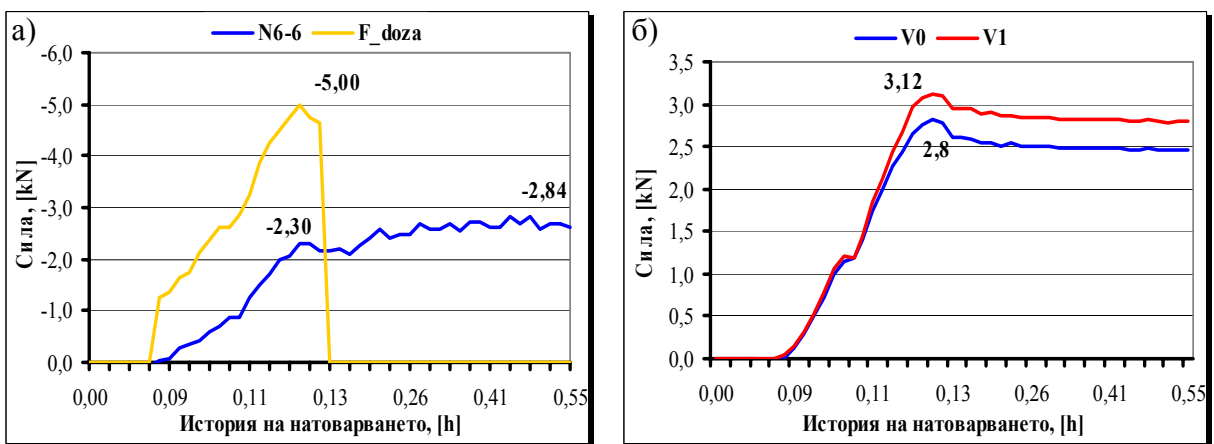


Фиг. 5.79: Относителни деформации в [%]:
 а) в сечение "7-7" по мембраната;
 б) в сечение "8-8" по мембраната.

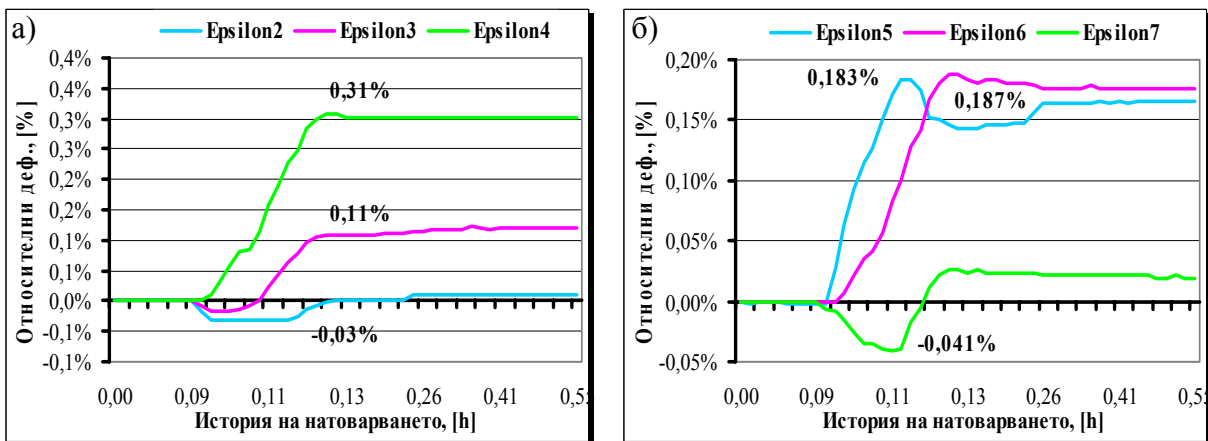


Фиг. 5.80: Относителни деформации в [%] и провисвания в [mm]:
 а) в сечение "9-9", "10-10" и "11-11";
 б) в датчици "Ind 11", "Ind 12", "Ind 13" и "Ind 14".

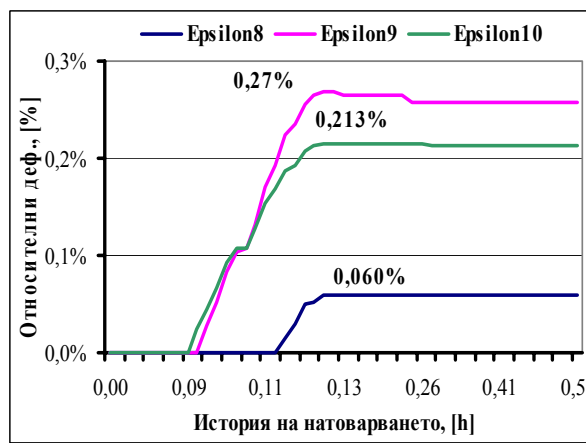
5.5.5 Резултати при повторно предварителното налягане на мембранната повърхнина след премахване на ъгловите обтегачи



Фиг. 5.81: Нормална сила в [kN]:
 а) в сечение "6-6" в централния пилон и мездозата "F_{doza}";
 б) в контурните въжета "V0" и "V1".

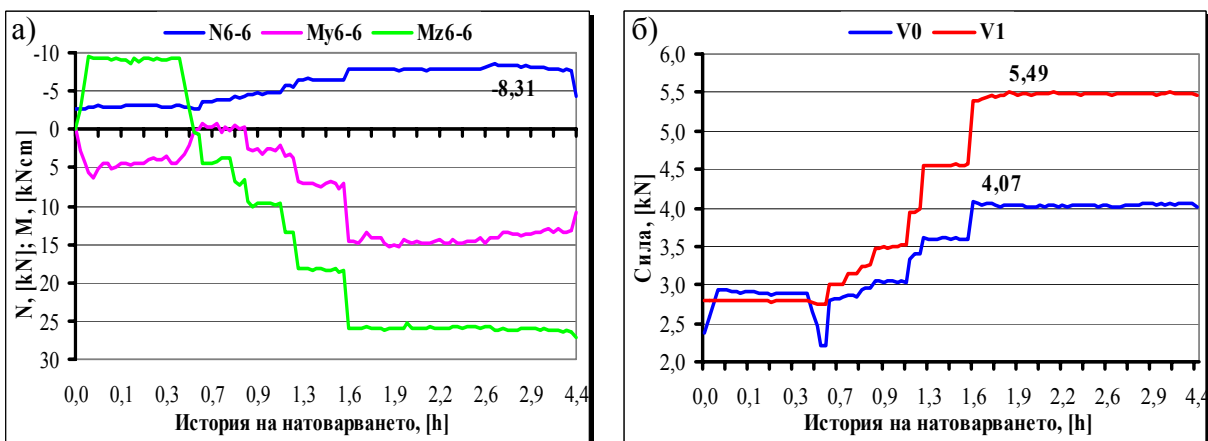


Фиг. 5.82: Относителни деформации в [%]:
 а) в сечение "7-7" по мембраната;
 б) в сечение "8-8" по мембраната.

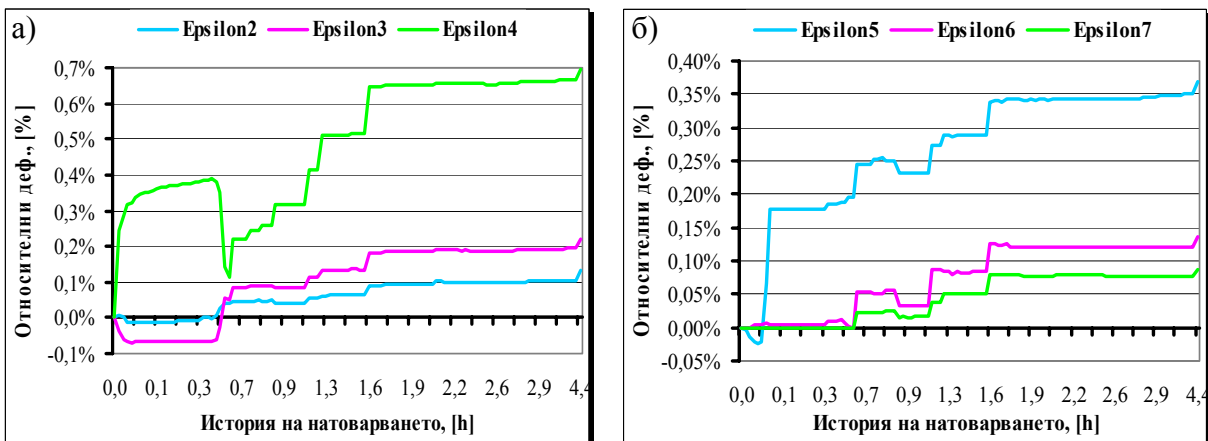


Фиг. 5.83: Относителни деформации в [%] в сечения "9-9", "10-10" и "11-11"

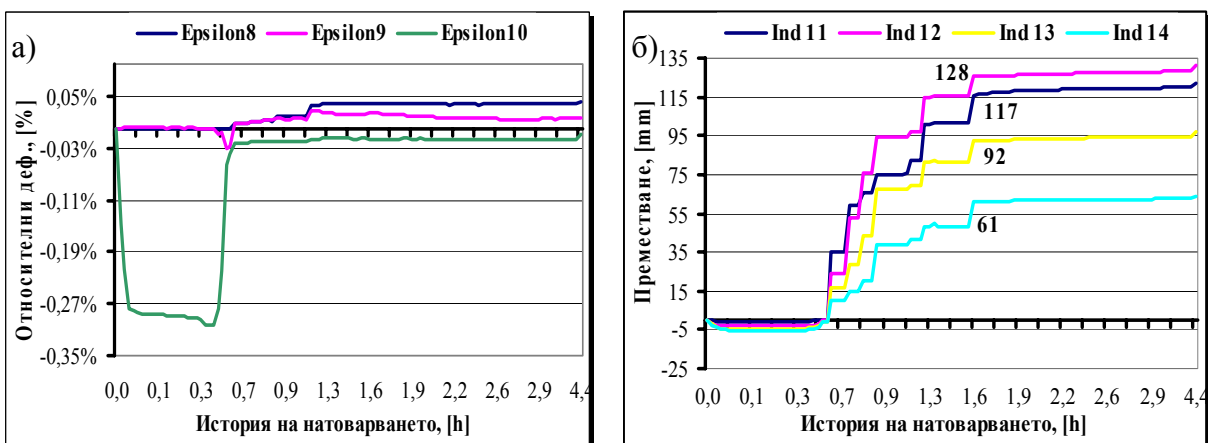
5.5.6 Резултати при несиметрично пълно нормативно натоварване върху 1/4 от мембранната повърхнина върху диагонала



Фиг. 5.84: Нормална сила в [kN] и моменти в [kNcm]:
 а) в сечение "6-6" – централен пилон;
 б) в контурните въжета "V0" и "V1".



Фиг. 5.85: Относителни деформации в [%]:
 а) в сечение "7-7" по мембраната;
 б) в сечение "8-8" по мембраната.



Фиг. 5.86: Относителни деформации в [%] и провисвания в [mm]:
 а) в сечение "9-9", "10-10" и "11-11";
 б) в датчици "Ind 11", "Ind 12", "Ind 13" и "Ind 14".

5.6 Анализ на резултатите

5.6.1 Предварителното налягане

Предварителното налягане на текстилната мембрана се проведе в продължение на два дни, при което се формираха няколко важни подетапа. На диаграмите с резултатите съответните етапи са обозначени от "А" до "Д". Подетапите в последователност от "А" до "Д" са както следва:

"А" – предварително налягане до достигане на проектната геометрия с обща продължителност 1h и 15min;

"Б" – релаксация на напреженията в период от 23h;

"В" – премахване на мездозата с крикът и опирание на централния пилон в стоманената конструкция (кинематични премествания) с продължителност 1h;

"Г" – доналягане чрез повдигане на централния пилон с 5cm, продължителност 10min;

"Д" – вторична релаксация, продължителност 20min.

Интерес предизвиква етап "В", при който имаме симултанен пад на всички измервани величини. Това се дължи на неизбежните кинематични премест-

вания при премахване на крика и на преразпределение на усилията в системата. Впечатление прави, че величини като “ N_{6-6} ”, нормалната сила в пилоната, остават със същата стойност преди повторното налягане, докато нормалната сила в контурните въжета се увеличава. Преразпределението на усилията не е мигнов процес, както се вижда от графиките и не е ясно дали е завършило преди повторното налягане.



Фиг. 5.87: Мембраната в процес на налягане

При сравнението на резултатите от числения модел и експериментално получените се установиха различия в нивото на напреженията на текстилната мембрана и контурните въжета, както в етап “А” така и след приключването на налягането в етап “Д”. В числения модел налягането на мембраната се реализира посредством радиален товар $F_r=3\text{kN/m}^2$ и отношение между радиалния и тангенциалния товар $\nu=0,32$, следователно $F_t=0,96\text{kN/m}$. Тази стойност на налягането се реализира на 1m от върха на конуса, т.е по контура налягането ще е по-малко, а при върха по-голямо. В резултат на това налягане, усилията в мембраната по радиално сечение в средата на страната варират в диапазона $F_r=1,69\div 6,97\text{kN/m}^2$ (Фиг. 5.7). В сечение по диагонала на рамката в диапазона $F_r=1,42\div 6,46\text{kN/m}^2$ (Фиг. 5.7). Тангенциалните усилия във мембраната са в диапазона $F_t=0,37\div 2,36\text{kN/m}^2$ и $F_t=0,88\div 2,30\text{kN/m}$ съответно в централно и диагонално сечения (Фиг. 5.9). Силите в контурните въжета са $F_v=18,6\div 19,1\text{kN}$ (Фиг. 5.11). За сравнение максималните относителни деформации в радиално сечение, през средата на страната на експерименталния модел, са съответно $\varepsilon_2=-0,34\%$, $\varepsilon_3=-0,52\%$ и $\varepsilon_4=0,47\%$, което съответства на следните сили от закона на Hook: $F_2=0\text{kN/m}$, $F_3=0\text{kN/m}$ и $F_4=1,88\text{kN/m}^2$. В сечение през диагонала $\varepsilon_7=0,69\%$, $\varepsilon_6=1,10\%$ и $\varepsilon_5=1,42\%$, което съответства на следните сили: $F_7=2,76\text{kN/m}^2$, $F_6=4,40\text{kN/m}^2$ и $F_5=5,68\text{kN/m}^2$. Относителните деформации в тангенциалните сечения са съответно $\varepsilon_8=0,57\%$, $\varepsilon_9=1,92\%$ и $\varepsilon_{10}=1,69\%$, което преобразувано в сили е: $F_8=1,71\text{kN/m}^2$, $F_9=5,76\text{kN/m}^2$ и $F_{10}=5,07\text{kN/m}^2$. Максималните сили във въжетата са съответно $V_0=3,4\text{kN}$ и $V_1=3,5\text{kN}$. За сравнение деформациите от числения модел за сечение през средата и диагонала са съответно: $\varepsilon_2=0,39\%$, $\varepsilon_3=0,50\%$, $\varepsilon_4=0,82\%$ и $\varepsilon_7=0,32\%$, $\varepsilon_6=0,41\%$ и $\varepsilon_5=0,74\%$. Относителните деформации в тангенциалните сечения в числения модел са съответно: $\varepsilon_8=0,15\%$, $\varepsilon_9=0,13\%$ и $\varepsilon_{10}=0,142\%$,

Анализирайки и резултатите в шестте сечения по стоманената конструкция (Фиг. 5.11, 5.12), нормална сила и огъващи моменти, се установява, че ин-

дуцираните напрежения в експерименталния модел са значително по-ниски (Фиг. 5.69÷5.71). При напъгането силата в мездозата “ F_{tr} ” и нормалната сила “ N_{6-6} ” в централния пилон се различават (Фиг. 5.65 а)) поради факта, че съществува триене между пилона и опорния възел (Фиг. 5.58 д), в резултат на което напъгащата сила е значително намалена. В етап ‘А’, нормалната сила в пилона е $N_{6-6} = -6,51 \text{ kN}$ и е два пъти по-малка в сравнение с числения модел $N_{числ. 6-6} = -11,6 \text{ kN}$.

Последният извод ни дава основание да заключим, че оптимално напъгане на конични повърхнини не е възможно, само чрез повдигане на централния опорен пръстен. В околната зона на опорния пръстен напреженията достигат предварително заложените, но в ниските зони на конуса напреженията бързо намаляват. Този факт се доказва и чрез усилията в контурните възета, които са изключително ниски в сравнение със същите в числения модел (Фиг. 5.11 и Фиг. 5.65 б)). Появата на гънки по повърхнината в процеса на напъгане е доказателство за неоптимално напъгане. Гънките са в тангенциална посока, което значи, че свиването е в радиална посока [50].



Фиг. 5.88: Наличие на гънки в тангенциална посока след напъгането

В Таблица 5.1 са групирани резултатите за етапа на предварителното напъгане.

Таблица 5.1: Резултати от експерименталния и числения модел – сили и деформации

Товарно състояние	Модел	Сили				Деформации в индуктивните датчици									
		R_0 [kN]	R_1 [kN]	F_{tr} [kN]	N_{6-6} [kN]	ϵ_2 %	ϵ_3 %	ϵ_4 %	ϵ_5 %	ϵ_6 %	ϵ_7 %	ϵ_8 %	ϵ_9 %	ϵ_{10} %	
Предварително напъгане	Числен	19,1	19,1	-	-11,6	0,39	0,50	0,82	0,74	0,41	0,32	0,15	0,13	0,142	
	Експериментален	3,4	3,5	-10,9	-6,7	-0,34	-0,52	0,47	1,42	1,10	0,69	0,57	1,92	1,69	

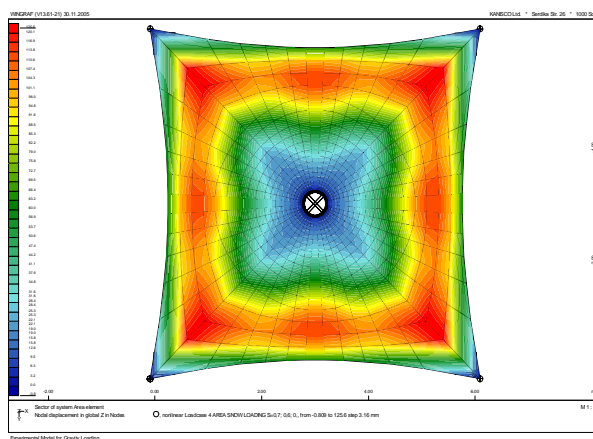
5.6.2 При симетричното снегово натоварване

Основното при тази товарна стъпка е проследяването на провисванията в мембраната и оценка на остатъчните деформации в мембраната. Симетричното снегово натоварване бе четвъртото по ред натоварване на мембраната. Голяма част от индуктивните датчици, като “Ind5”, “Ind6”, “Ind7”, “Ind8”, “Ind9” и “Ind10” при завършване на натоварването, са с отрицателна стойност, макар и малка. Това означава, че мембраната, при многократно натоварване и разтоварване, може да загуби своите предварителни напрежения в зони по-слабо напъ-

регнати. Този ефект се дължи, както на процеси на релаксация така и на процеси на пълзене три натоварване. Като цяло не се наблюдават остатъчни пластични деформации, което значи, че текстилният материал е работил в зона „А” от диаграмите на едноосов опън (Фиг. 3.14 и Фиг. 3.15).

При реализирането на пълното натоварване се установи, че качествено провисванията в изследваното сечение на мембраната съвпадат. Провисването е най-голямо при втория датчик “Ind12”. Така е и в численият модел. Провисването по датчици “Ind11”, “Ind12”, “Ind13” и “Ind14” е съответно $\Delta_{11}=145\text{mm}$, $\Delta_{12}=165\text{mm}$, $\Delta_{13}=105\text{mm}$, $\Delta_{14}=60\text{mm}$, докато в числения модел на текстилната мембрана са $\Delta_1=64\text{mm}$, $\Delta_2=112\text{mm}$, $\Delta_3=86\text{mm}$ и $\Delta_4=56\text{mm}$. Това е очакван резултат имайки предвид по-ниските начални напрежения в повърхнината в сравнение с численият модел.

Важно е обаче да се подчертае, че цялостното поведение на повърхнината (преместванията във вертикална посока) се различават коренно от численият модел. При численият модел най-големите премествания са в зоните над диагоналите, като имаме равномерно провисване в ниските зони (Фиг. 5.89).



Фиг. 5.89: Изолинии на вертикалните премествания в [mm]

Преместванията в диагоналните зони на експерименталният модел бяха най-малки, съответно: $\Delta_{51}=55\text{mm}$, $\Delta_{52}=77\text{mm}$, $\Delta_{53}=76\text{mm}$ и $\Delta_{54}=58\text{mm}$ определени от геодезичестото измерване. Най-големите провисвания се реализираха в средата на страната, съответно: $\Delta_1=134\text{mm}$, $\Delta_2=180\text{mm}$, $\Delta_3=185\text{mm}$, $\Delta_4=170\text{mm}$ и $\Delta_5=141\text{mm}$ от геодезичестото измерване (Фиг. 5.90).



Фиг. 5.90: Задържане на провисванията от ъгловият обтегач

Таблица 5.2: Резултати от експерименталният и численият модел при симетричен товар

Товарно състояние	Модел	Вертикални премествания в индуктивни датчици			
		Δ_{11}	Δ_{12}	Δ_{13}	Δ_{14}
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Симетрично снегово натоварване	Числен	64	112	86	56
	Експериментален	145	165	105	60

5.6.3 При несиметричното снегово натоварване и концентрирани товари

Характерно за несиметричното натоварване е увеличените провисвания в сравнение със симетричното. Провисването по датчици “Ind11”, “Ind12”, “Ind13” и “Ind14” е съответно $\Delta_{11}=175\text{mm}$, $\Delta_{12}=180\text{mm}$, $\Delta_{13}=125\text{mm}$, $\Delta_{14}=75\text{mm}$. Същевременно с това се наблюдава повдигане на мембраната в противоположната зона (Фиг. 5.91 и 5.30). Не се наблюдават остатъчни деформации в индуктивните датчици по мембраната.

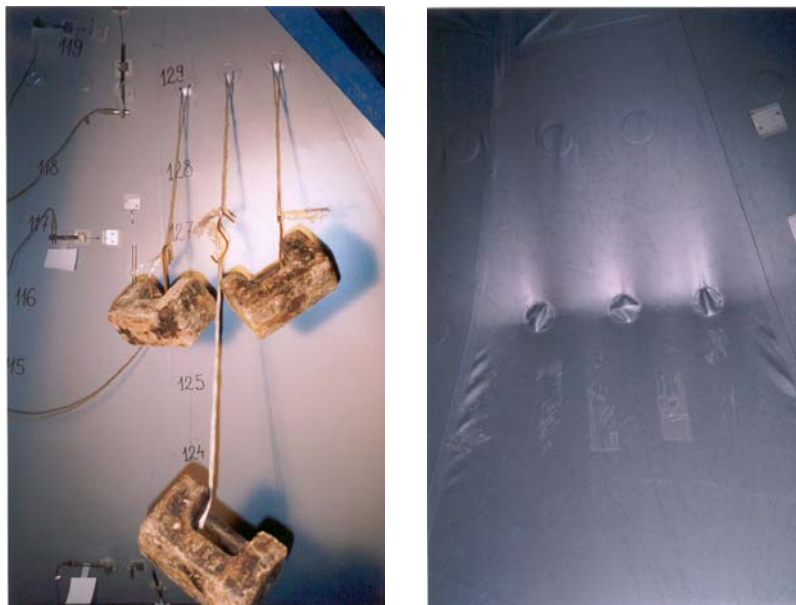


Фиг. 5.91: Несиметричен товар върху $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ от мембранната повърхнина

Таблица 5.3: Резултати от експерименталният и численият модел при несиметричен. товар

Товарно състояние	Модел	Вертикални премествания в индуктивни датчици			
		Δ_{11}	Δ_{12}	Δ_{13}	Δ_{14}
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Симетрично снегово натоварване	Числен	85	145	115	79
	Експериментален	175	180	125	75

Изпитването с концентрирани товари бе необходимо за да се оцени възможността за окачане на стационарно оборудване по текстилни мембранни повърхнини, както и възможността за движение на монтажник по повърхнината. За целта по долната повърхност предварително се поставиха допълнително заварени елементи с цел окачане на товари по тях. Изпитването бе направено с три концентрирани товара от 20kg разположени на разстояние 15cm един от друг. Забелязват се локални деформации по повърхнината бе да настъпват повреди и разрушения, както в мембраната, така и в заварените съединения (Фиг. 5.92).



Фиг. 5.92: Концентрирани товари и локални деформации и премествания

5.7 Основни изводи

Експерименталното изследване потвърди, че с избраната конструктивна форма на текстилната мембрана може сравнително лесно да се постигне необходимото предварително налягане за централната висока зона. За участъците от периферията, обаче, е целесъобразно да има възможност за допълнително налягане (обиране на луфтове) чрез контурните въжета. За налягането на помашабни конструкции не може да се разчита само на повдигане на централния пилон и трябва задължително да се осигури възможност за компенсация на контурните въжета. Релаксацията на мембраната в двумерно напрегнато състояние е в порядъка $14\div 16\%$, двойно по-малко в сравнение с релаксацията при едноосов опън, която е в границите на 30% .

При зададената обща конфигурация на текстилната мембрана върху разпределението на предварителното налягане в контурните части на мембраната оказват съществено влияние възловите стоманени плочи, разположени в ъглите. Според начина на тяхното окачване могат да се увеличават или намаляват кинематичните премествания на мембраната и контурните въжета.

Текстилната мембрана е в състояние да поема значителни концентрирани товари, но това води до прекомерни локални премествания, които могат да имат неблагоприятен експлоатационен ефект. Трябва да се подчертае, че ако тези товари са продължително действащи, не водят до локална инверсия на формата и са надеждно закрепени към повърхнината тяхното прилагане не проблематично.

Локалните несиметрични товари причиняват значително по-големи деформации и премествания в зоната на тяхното разположение в сравнение със симетричния товар със същата интензивност на това място. Този факт води до заключението, че при проверки по втора група гранични състояния е задължително изследването на несиметричните товари по повърхнината.

При предварителното налягане на текстилната мембрана чрез централна стойка, фиксирана към вътрешния опорен пръстен през определен интервал

чрез щифт, практически не е възможно да се контролира точно големината на предварителното налягане поради неизбежните луфтове и триене на пилона в опорната конструкция.

За да се получи удовлетворително предварително налягане на текстилната мембрана с изследваната конична форма е необходимо да се приложи в стойката налягаща сила, която създава налягане в централната зона не по-малки от 10÷15% от изчислителната носимоспособност на материала.

Якостта на материала, използван за изготвяне на текстилната мембрана (Preconstraint 705) се оказва достатъчна за използваните в модела размери.

При избраната конструктивна форма на текстилната мембрана е възможно да се образуват снежни торби в периферните зони и последващи “водни ями”. Това може да се избегне чрез корекция на разкроя, компенсацията и налягането на мембраната особено чрез контурните въжета.

В процеса на експерименталното изследване не са констатирани повреди в лепените шевове, с изключение на една малка зона, където повредата се локализира и не получи развитие. Приетата големина на застъпване на ивиците от 2 cm се оказва достатъчна за надеждността на шевовете. Проверката на шевовете не е регламентирана официално и не е ясен механизма на разрушението. Този вид основно съединително средство смятаме да бъде експериментиран и изучен в следващата разработка.

Използваната технология на разкрояване и слепване с непретенциозно технологично обзавеждане е ефикасно за изследваните размери на конструкцията.

Не отчетените в модела по крайни елементи ъглови обтяжки глобално променят работата на текстилната мембрана, както по време на предварителното налягане така и в последващите товарни състояния, не позволявайки на мембраната по протежение на диагоналната зона да провисне и опре в ригела. Това се доказва и чрез премахване на ъгловата обтяжка и последващо натоварване на модела, при което се реализира опирание на мембраната в опорния диагонал (Фиг. 5.93).



Фиг. 5.93: Опирание на мембраната в диагонала на рамката при натоварване