



A ráncosodás szerepe a ponyvaszerkezetek tönkremenetele során

Tudományos Diákköri Konferencia

Készítette: Fehér Eszter, építészmérnöki kar, 3. évf.

Konzulens: Dr. Hegyi Dezső, egyetemi docens
Dr. Halász Marianna, egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

BEVEZETÉS

A ponyvaszerkezeteket az építészetben főként térlefedésként lehet hasznosítani, mivel gazdaságosan tudnak lefedni nagy területeket. A ponyva anyag egyik fontos tulajdonsága, hogy csak húzást képes felvenni. A szerkezetek alakmeghatározásakor és kialakításakor alapvető követelmény, hogy ne ébredjen nyomófeszültség a ponyva egyetlen pontjában sem. Ha nem megfelelő egy szerkezet alakja, nem egyenletes a ponyvában a feszültségeloszlás vagy túlzott terhelés éri, akkor azokon a helyeken, ahol nyomófeszültségek keletkeznének, a ponyva ráncossá válik.

Egy ponyvaszerkezet részleges tönkremenetele során a feszültségeloszlás megváltozik a ponyvában és bizonyos részeken ráncok jelennek meg. Ezek a részek feszültségmentessé válnak, így veszélyesek például a szélteher szempontjából. Más megközelítésből nézve azonban peremkábel szerűen erősíthetik a szerkezetet.

A RÁNCOSODÁS

A ponyvaszerkezetek a szerkezet méreteihez képest nagyon vékony anyagból készülnek. Ezeknek az anyagoknak elhanyagolhatóan kicsi a hajlító merevsége, így már kis nyomóerő hatására is kihajlik: kis hajlítómerevséghez kis kritikus erő tartozik, így gyakorlatilag a szerkezet nem képes nyomófeszültség felvételére. A ráncok iránya merőleges a nyomófeszültség irányára.

BEVEZETŐ KÍSÉRLETEK

KERETEK

Feszített ponyvák legegyszerűbben egy merev keretre kifeszített anyaggal modellezhetők. A valós szerkezetek arányainak minél jobb megközelítése érdekében úgy kell megválasztani ezt az anyagot, hogy minél vékonyabb és minél rugalmasabb legyen. Ilyen tulajdonságú anyag például a nylon harisnya.

Az egyenletes feszültségeloszlás biztosítása és az alakváltozás megfigyelhetősége érdekében a felületre négyzethálót kell illeszteni. Az anyagban akkor lesz egyenletes a feszültségeloszlás a kifeszítés után, ha a négyzetháló megtartja az arányait.

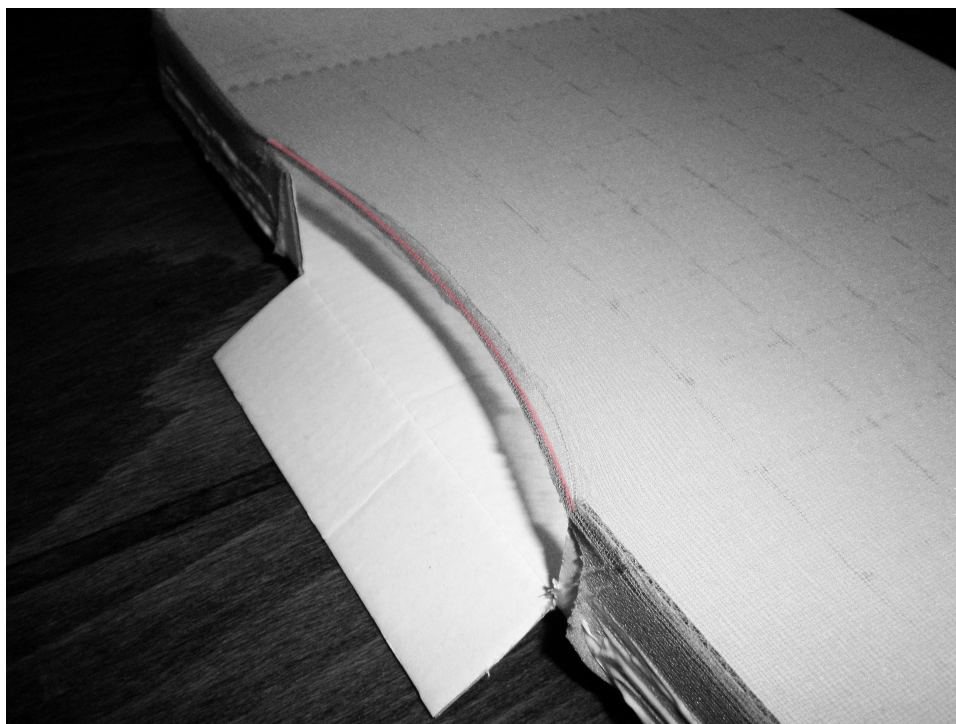
A szerkezet tönkremenetele modellezhető a kezdeti, egyenletes feszültségeloszlású helyzet megzavarásával. Ennek hatására a szerkezetben átrendeződnek a feszültségek és egy új egyensúlyi alak jön létre.

A keret megszakítása



Ráncosodott perem

Ha a keretet megszakítjuk egy adott szakaszon, egy olyan részt távolítunk el, ami az egyenletes feszültségeloszlást biztosításában vesz részt. A hiányzó részen, a ponyva anyaga helyettesíti a keretet. A kialakuló "peremesedett" élt ráncnak nevezzük.



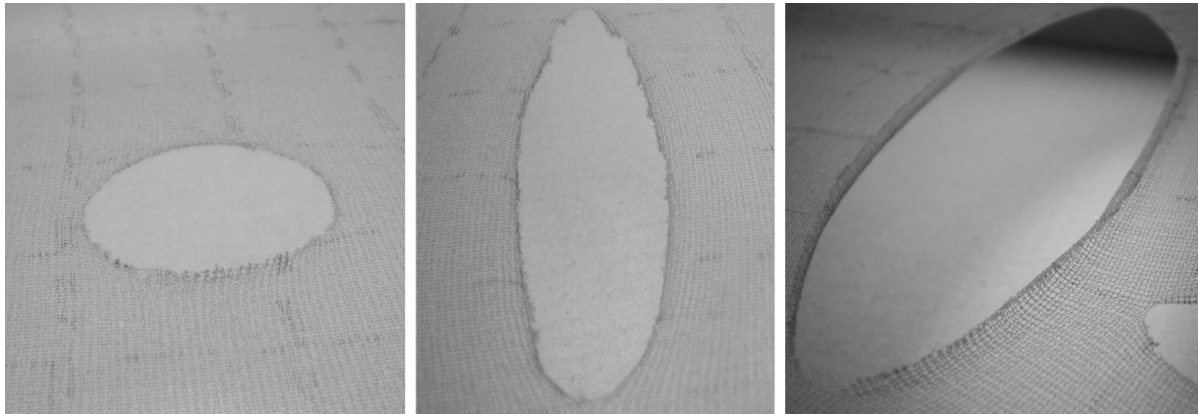
Peremkábellel erősített anyag

Ha azonban ugyanezt a kísérletet egy peremkábellel erősített anyaggal végezzük el, nem tapasztalható ráncosodás. A peremkábelek és a ráncok összefüggésben vannak, a ráncok

kábelként viselkednek és biztosítják a ráncon belüli rész egyensúlyát. A ránctól nagyobb távolságra a feszültségeloszlás egyenletes marad a harisnyára rajzolt hálózat tanúsága szerint (St. Venant elv).

A ponyva anyagának felhasítása

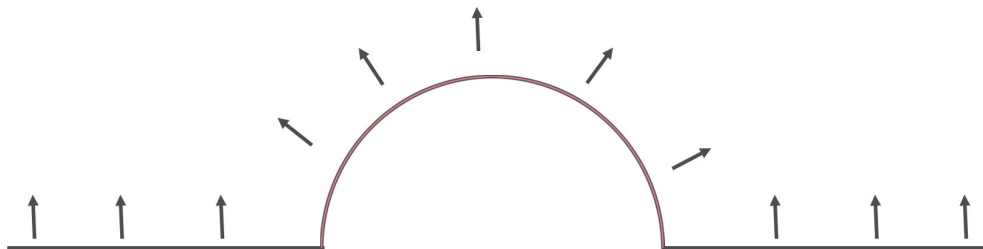
Ha egy bizonyos szakaszon belemetszünk a ponyvába, újabb ráncosodott peremek alakulnak ki. A metszés formája és iránya meghatározza a ráncosodás mértékét és alakját. A kör alakú metszés a legkedvezőbb a ponyva számára, így ilyen alak esetén ráncosodik legkevésbé a felület. A ponyva ortotróp viselkedéséből adódóan más tapasztalunk lánc- és vetülékirányú vágások esetén.



A különböző irányú vágásokhoz tartozó ráncok

Magyarázat és következtetés

A kerettel végzett kísérletek utalnak a peremkábelek és a ráncok közötti összefüggésre. Egy peremszakaszra 180-os szögből hatnak húzófeszültségek. Ha a ponyva hidrosztatikus feszültségállapotban van, azaz azonos a feszültség minden irányban, akkor a peremre merőlegesen minden irányban azonos nagyságú erő hat. Ilyen terhelés esetén a perem egyensúlyi alakja a körív lenne. Az alakváltozások hatására azonban a feszültségeloszlás is változik, így a perem valódi alakja kissé eltér az elméleti, körív alaktól.



A peremre ható feszültségek

SÁTRAK

Az építészetben a legelterjedtebb textil szerkezetek a sátorszerkezetek. Ezek sokkal bonyolultabbak, mint a fenti keretek, de jól használhatóak a ráncosodás megfigyelésére.

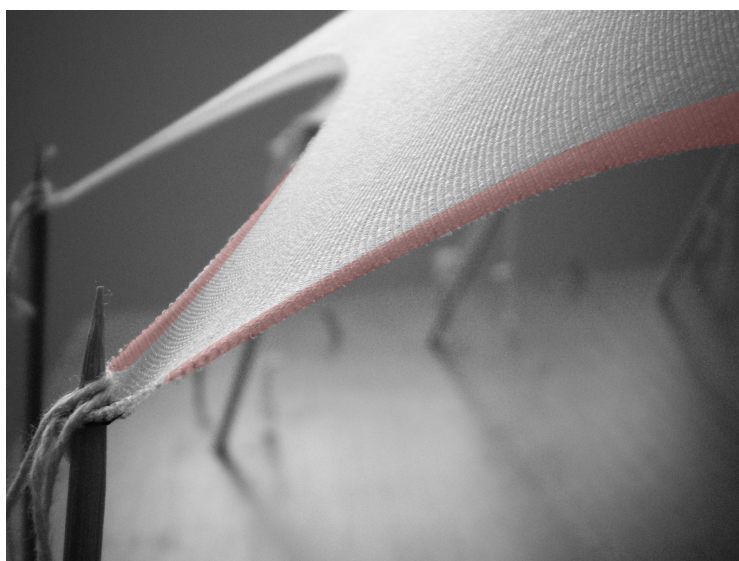


12 csúcsú sátor

Az alábbi sátor egy rétegelt lemez alaplapon áll, amihez minden rúdjaival csuklós kapcsolattal csatlakozik. A központi árbo és a szélső oszlopok között egy tizenkétszög fölött feszül ki az anyag. Minden csúcsban van egy oszlop, amihez 2-2 az alaplaphoz rögzített kötél csatlakozik.

Élek

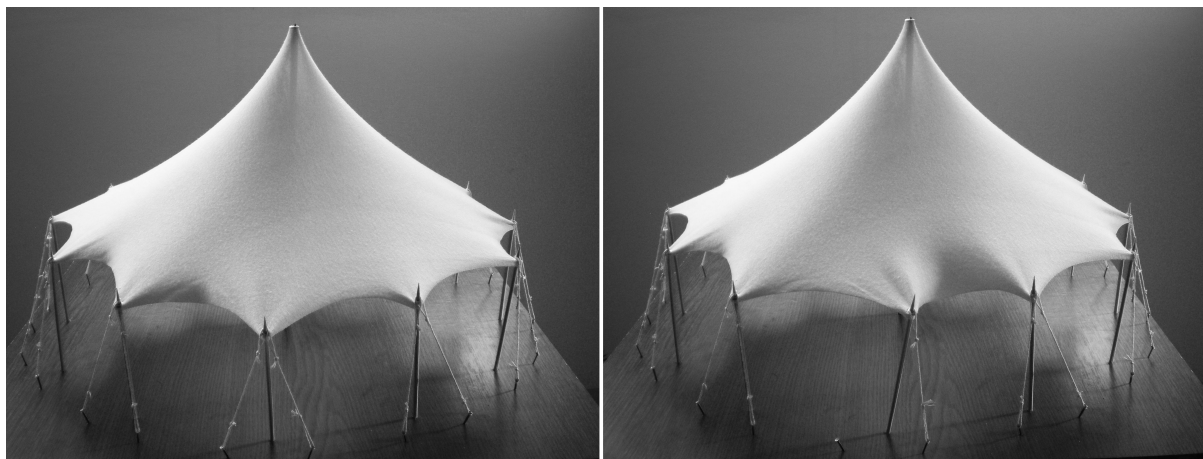
Ha a szabásmintát egyszerű tizenkétszög alakúra vágjuk, akkor a sátor minden éle a megszakított keretre feszített ponyvához hasonlóan fog viselkedni, azaz ráncosodik. Az élek ráncosodásának elkerülése érdekében a szabásmintát úgy kell megválasztani, hogy az élek ívesek legyenek és ezeket az éleket peremkábellel kell erősíteni.



Ráncosodott élek

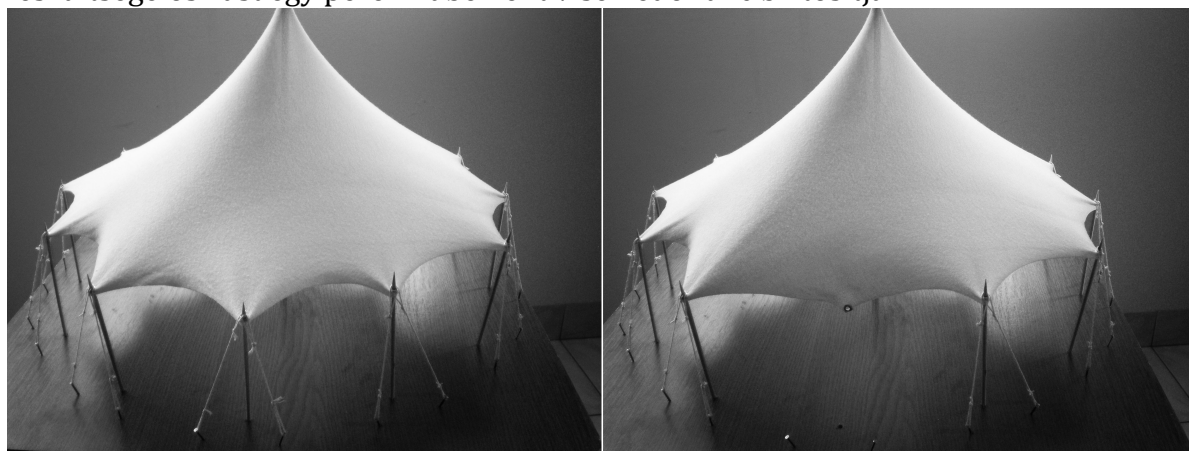
Sarkok és kábelek eltávolítása

Egy kábel eltávolítása után a szerkezet továbbra is statikailag határozatlan állapotban marad a külső kényszerek szempontjából (belsőleg túlhatározott), de megváltozik a támaszokban a feszültségeloszlás. Az oszlop és az alaplap közötti csuklós kapcsolat miatt a kábel eltávolítása után a sarok oldalirányban elmozdul. A megzavart csúcsból egy ránc indul ki, az elmozdulás irányában lévő szomszédos csúcspontba.



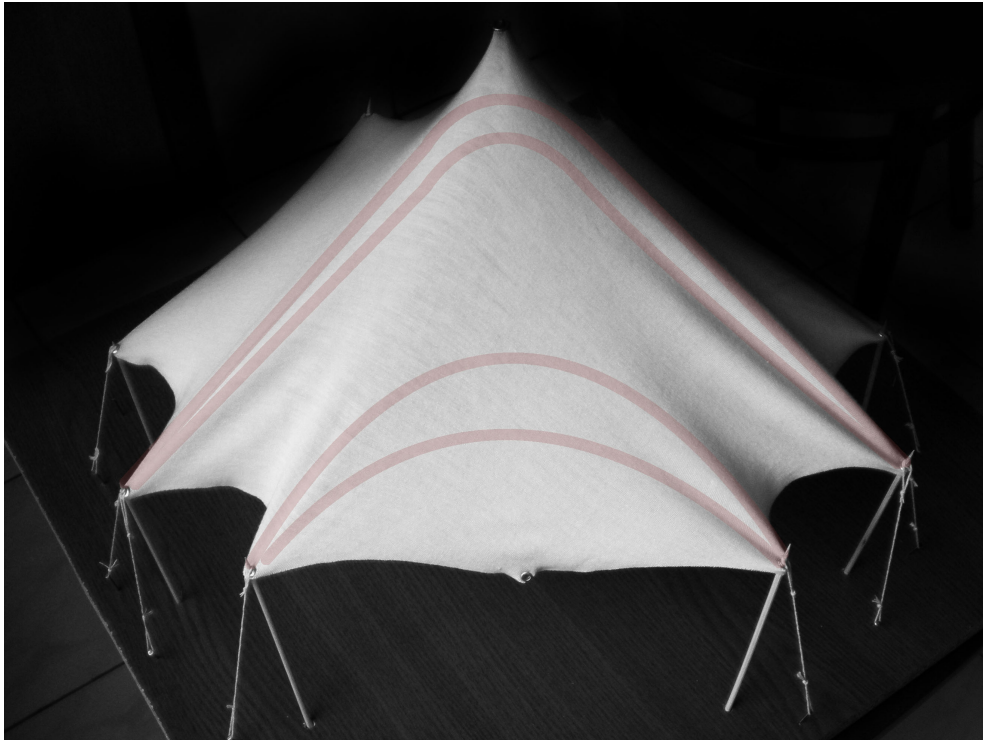
1 él eltávolítása

Egy sarok eltávolítása a keret megszakításához hasonló helyzetet hoz létre. Az eltávolított sarokkal egy új, nagyobb él alakul ki, amiben az egyenletes feszültségeloszlást egy peremkábelként viselkedő ránc biztosítja.



1 sarok eltávolítása

Sarkok és kábelek egyidejű eltávolítása komplexebb helyzeteket eredményez. A tönkremenetel hatására bizonyos támaszokban csökken, bizonyos támaszokban pedig nő a támaszerő. A később tárgyalt kísérletek alapján tapasztalható, hogy a ráncok mindig a nagy terhelésű csúcsokból indulnak ki.

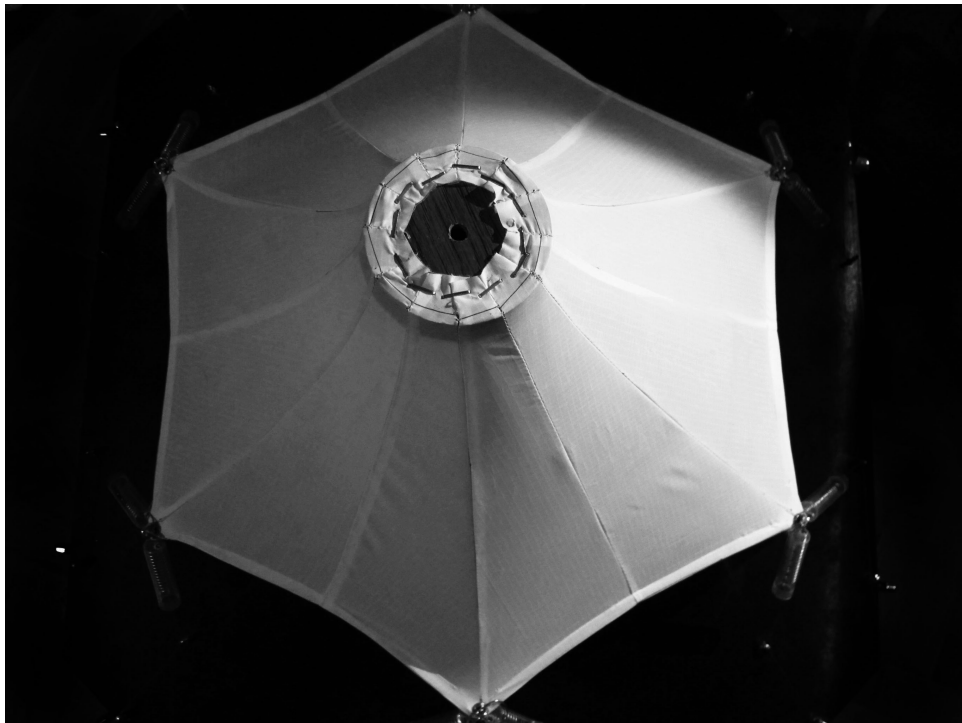


1 sarok és 2 kábel eltávolítása

A VÉGLEGES MODELL

Az eddigi modellek tanulságait felhasználva készült el egy összetettebb modell, aminek a célja a ráncosodás behatóbb vizsgálata.

FELÉPÍTÉS



A sátor

A sátor egy 65x65cm-es rétegelt lemez táblán áll. A 6 csúcs és a középső árboc között feszül ki. Minden csúcsban 1 oszlop és 2 kötél támasztja a szerkezetet.

A kötelek egyik végükön a csúcshoz rögzülnek, majd egy az alaplapba csavarható vezető karikán keresztül gitárhangoló kulcsra tekerve feszülnek meg.



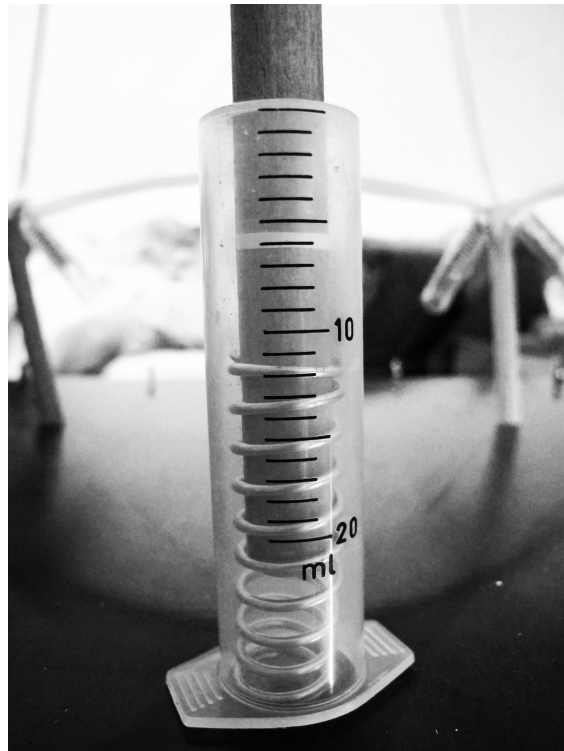
A vezető karika és a hangoló kulcs

Minden kötél egy rugós erőmérőn keresztül csatlakozik a csúcshoz, aminek a segítségével mérhető a bennük ébredő feszültség. A rugós erőmérők azonos méretre vágott húzórugókból készültek. A leolvasást a rugó köré rögzített, osztással ellátott műanyag cső teszi lehetővé. A rugó mindkét végén kampós kialakítású, az egyik oldalával a csúcson lévő karikába akad, a másik végére pedig hagyományos horogkötéssel rögzül a kötél.



Rugós erőmérő a kötelekben

Az árboc rugós erőmérőn keresztül kapcsolódik az alaplaphoz. A rugós erőmérő egy meghatározott rugóállandójú nyomórugóból készült. Az erő leolvasását egy a rugó köré rögzített, osztással ellátott műanyag cső teszi lehetővé.

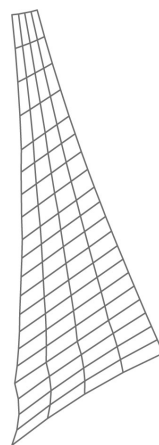


Rugós erőmérő az árbocban

Minden rúd egy, az alaplaphoz vágott mélyedésben áll, így a létrejövő csuklós kapcsolatok miatt egyik sem tud nyomatékot felvenni. Ha befogott rudak alkotnák a szerkezetet, a ponyva bizonyos részei elszigetelődhetnének.

A PONYVA

A ponyva szabásmintáját a peremek közé kifeszített Pelikán membránból számoltuk Hegyi Dezső programjával. A sátozt 12 összevarrt elem alkotja.



Szabásminta

Ezek alapján 2 elem csatlakozik minden csúcsban, amelyek a szerkezet leginkább igénybevett részei. A kísérletek során itt rongálódott először a ponyva. Az árboc és a ponyva egy fa korongon keresztül csatlakozik. A ponyva a koronghoz van erősítve, az árboc pedig a korongba vágott mélyedésbe illeszkedik bele, így csuklós kapcsolatban van a ponyvával.



Az árboc és a ponyva kapcsolata

3 féle anyagból készült sátor. A legerősebb anyag pamutból készült. A Polimertechnika tanszék vizsgálatai alapján ismert a rugalmassági modulusa és a nyírási merevsége, így számításokat tudunk vele végezni, amelyeket össze lehet vetni a modellen megjelenő értékekkel. A másik két anyag ugyanabból a polyester szálból készült, az egyik PVC bevonattal, a másik bevonat nélkül. A valós szerkezeteknél általában valamilyen bevonatos anyagot alkalmaznak például PVC bevonatos polyester anyagot, vagy PTFE bevonatos üvegszövetet.

A ponyva széleibe egy-egy kábel van bevarrva az egyenletes feszültségeloszlás érdekében. Valójában a modell arányai miatt a varrás húzómerevsége megközelíti a kábel húzómerevségét, így a varrott kapcsolat már önmagában is jelentős mértékben merevíti a szerkezetet. Ezt a jelenséget a katasztrófa helyzeteknél is megfigyelhetjük. A modell finomítása lágyabb varrott kapcsolatokkal, vékonyabb szállal történő varrással lehetséges.

ÉPÍTÉS

A sátrat úgy kell felépíteni, hogy egyenletes legyen benne a feszültségeloszlás. A gitár hangoló kulcsok segítségével fokozatosan és egyszerre lehet a köteleket feszíteni. Amennyiben nem egyszerre kerülnek megfeszítésre a kötelek, aszimmetrikus, nem megfelelő alakú egyensúlyi helyzetek jöhetnek létre. Ezek az alakok gyakran már az egyensúlyi helyzetben ráncosak, így nem alkalmasak a katasztrófa helyzetekben kialakuló ráncok vizsgálatára. Annak ellenére, hogy ilyen alakok mellett lehet

ugyanakkora támaszerő minden támaszban, az ilyen alakú sátrak viselkedése nem megfelelő egy esetleges terhelés esetén.

KATASZTRÓFA HELYZETEK

Katasztrófa helyzetnek azt nevezzük a dolgozatban, amikor valamelyik támasz hiányzik. Minden csúcspont egyensúlyát 2 kötél és 1 oszlop tartja fenn. Az oszlop a csúcspont függőleges támasztásáért felel. Így ha azt eltávolítjuk, a többi rúdban nő meg a támaszerő, de a ponyvára magára csak kis mértékben hat ez a beavatkozás.

Két azonos csúcspontban lévő kötél eltávolításakor az oszlop vízszintes egyensúlyát semmi sem biztosítja, így az elmozdul és nem vesz részt a továbbiakban az egyensúly fenntartásában.

A katasztrófa helyzetek vizsgálata 3 lépésben történik. Az első lépés a ráncok helyzetének és irányának megsejtése az eddigi megfigyelések alapján. A második lépés a helyzet előállítása a valóságban, a modellen. A harmadik lépés a pontos támaszerők számítása program segítségével.

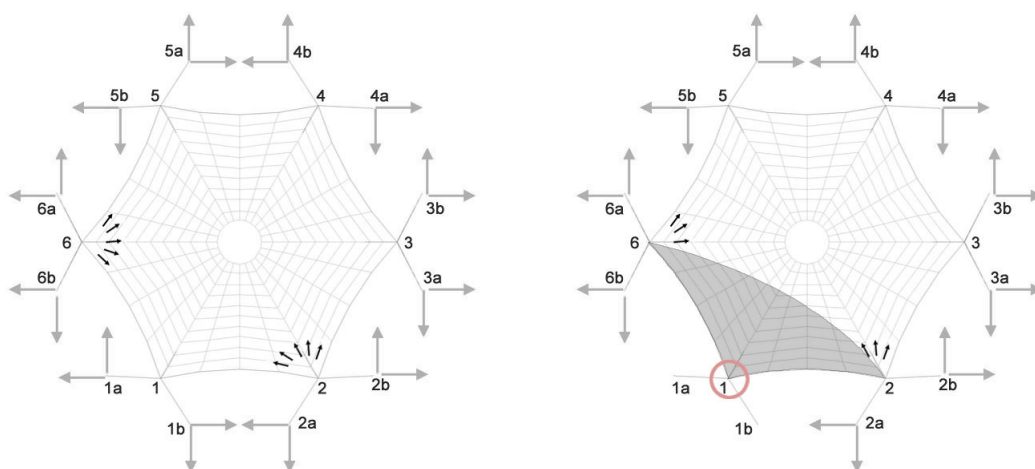
A program futtatása közben adódó problémák miatt, az elvégzett számítások még nem komplettek, inkább csak irányadóak. Az összes rögzített adat elemzése a program akadálymentes futtatása után válik lehetővé.

HIÁNYZÓ CSÚCSOK

A cél a legnagyobb terhelésű csomópontok meghatározása. A ráncok mindig a legterheltebb csomópontokat kötik össze valamilyen ívvel.

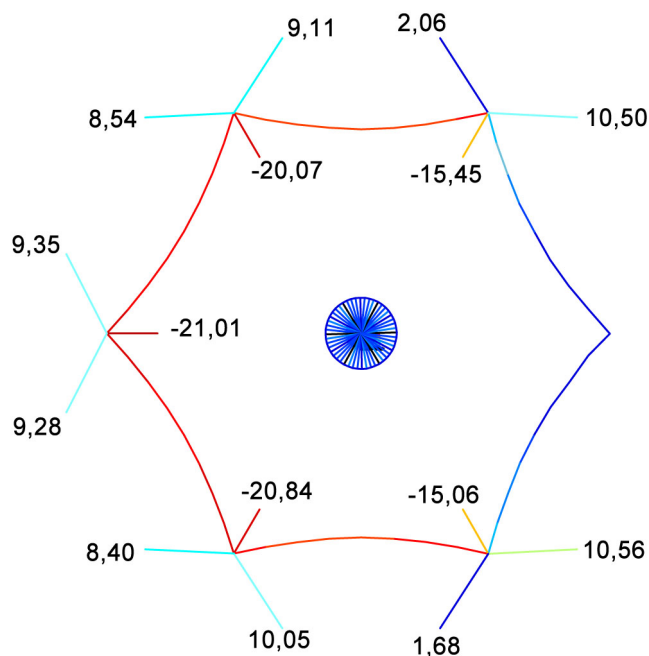
1 csúcs eltávolítása

Minden csúcspont egyensúlyát a ponyvában keletkező feszültség és a támaszok tartják fenn. Egy csúcspont támaszainak eltávolítása a ponyva egy részében megszünteti a feszültséget, így az ezen résszel határos csúcspontokra ható feszültségek eloszlása is megváltozik: az egyik irányban a ponyva és egy kötél biztosítja az egyensúlyt, a másik irányban csak egy kötél. Így ebben a kötélen megnő a feszültség.



1 csúcs eltávolítása

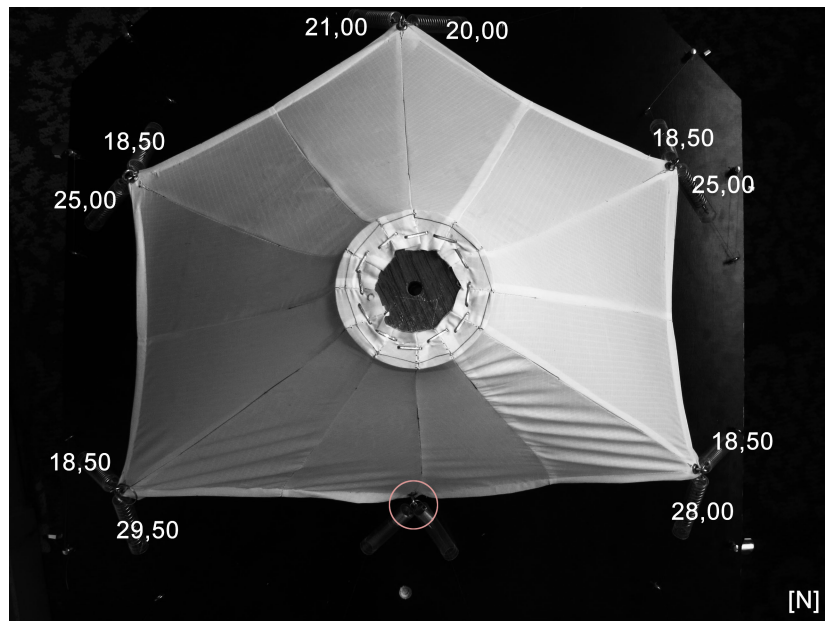
Az 1-es csúcspontban lévő támaszok eltávolítása a '6b' és a '2a' kötelekben növeli meg a feszültséget. Így az 1-es támasz eltávolítása után a keletkező ránc a 6-os és a 2-es csúcspontot fogja összekötni.



Számított támaszerők 1 csúcs eltávolítása esetén

A számítások igazolják a sejtést. Az 1-es támasz eltávolítása a '6a' csökkenti a feszültséget, míg a '6b' kötélen megnöveli, biztosítva a csúcspont egyensúlyát. A többi támaszban is megváltozik a feszültségeloszlás: azokban a támaszokban, amelyeknek van a csúcspontban lévő támaszerő eredőjével azonos irányú komponensük, megnő a feszültség, míg a párjukban csökken. Az eltávolított csúcsponttal szemben lévő pontban a szimmetria miatt a két kötélen közel azonos feszültség ébred.

A modellen egy csúcs támaszainak eltávolítása után hasonló arányú támaszerőket kapunk. Eredetileg minden kötélen 25N támaszerő volt.

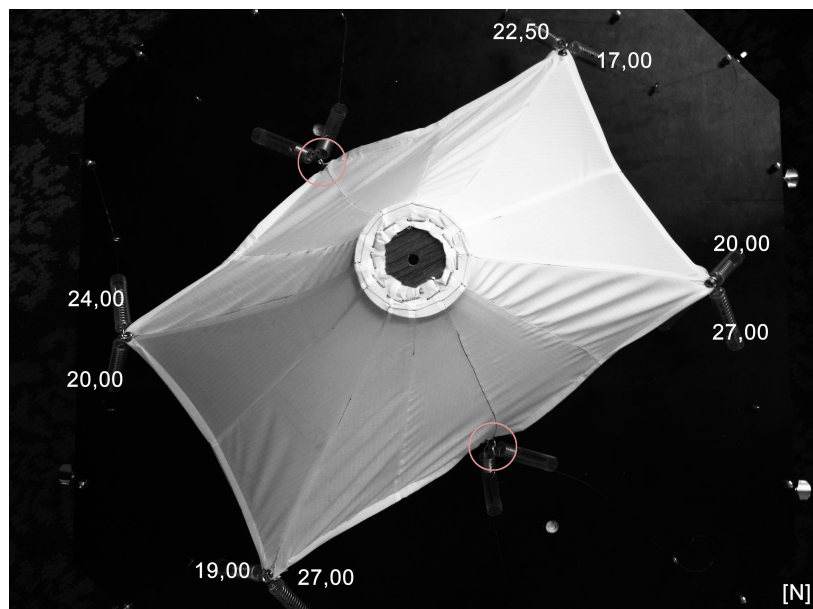


1 eltávolított csúcs

Megfigyelhető a varrás erősítő hatása két helyen is. A ráncok nem pontosan a csúcsból indulnak, hanem a varrás széléről, hiszen a feszítő kábelként húzza a ponyvát az árboc és az oszlop között. A közbenső varrások a ráncok nagy részét megszakítják, ez azonban a ráncok irányára nincs hatással. Ha képzeletben folytatjuk a ráncok ívét, a két oldal csatlakozik és egy parabolikus ívet hoz létre a két csúcspont között.

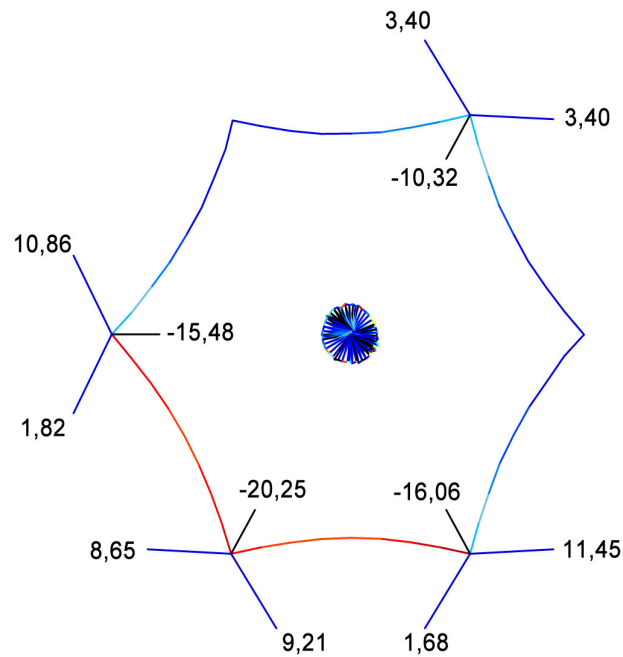
2 vagy több csúcs eltávolítása

Egymás melletti csúcsok eltávolítása az előzőhöz hasonló helyzetet eredményez. Létrejön egy új, megfeszítés nélküli él, amit a keletkező ránc peremkábelként fog erősíteni.

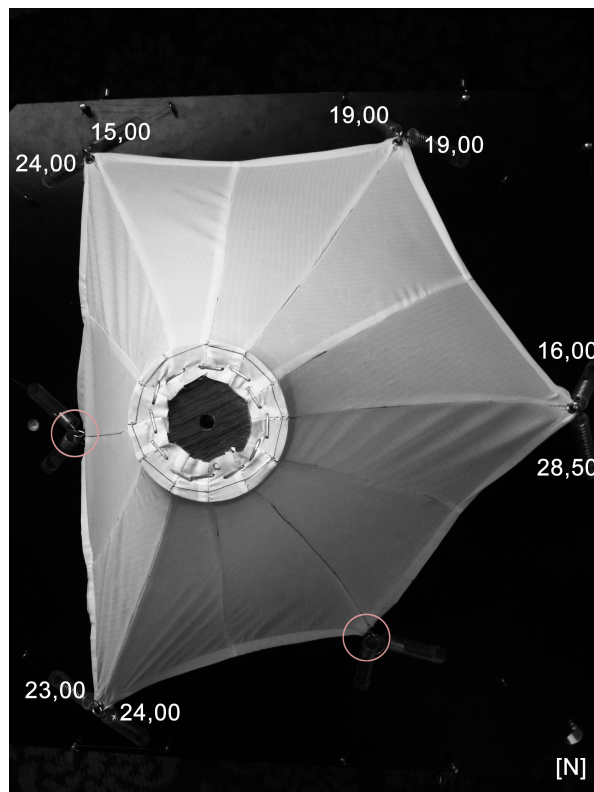


2 eltávolított csúcs

Ha a két eltávolított csúc között van egy vagy kettő érintetlen csúc, a szabály ugyanez marad. A csúc mellett két kábelben megnő a feszültség, majd a következő csúcsoknál azokban a kábeleknél, amelyekben lévő támaszerőknek van az eltávolított támasz eredőjének irányával megegyező komponense, megnő a feszültség, míg a párjában csökken.



Számított támaszerők 2 eltávolított csúc esetén



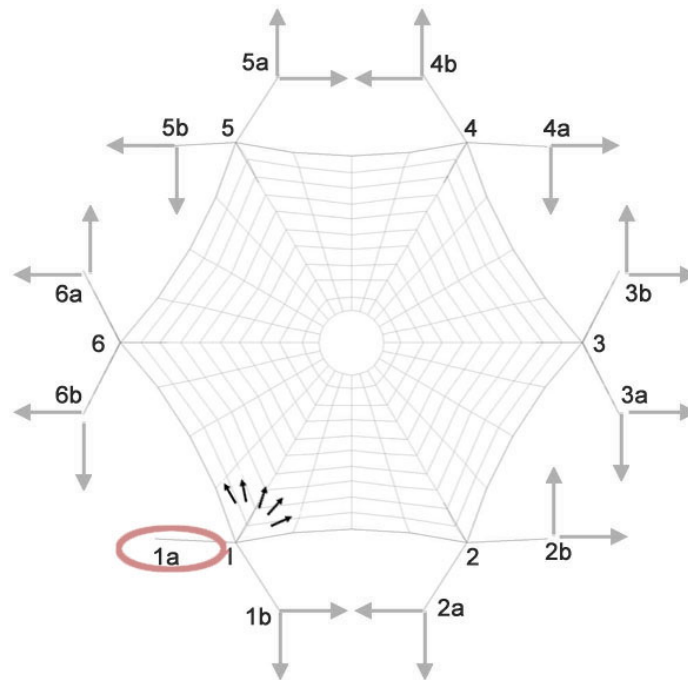
2 eltávolított csúc

Mivel egy csúcs eltávolítása mindig megnöveli a szomszédos csúcsokban a támaszerőt, ezért igaz az, hogy a keletkező ránc az eltávolított csúccsal szomszédos csúcsokat köti össze.

HIÁNYZÓ KÖTELEK

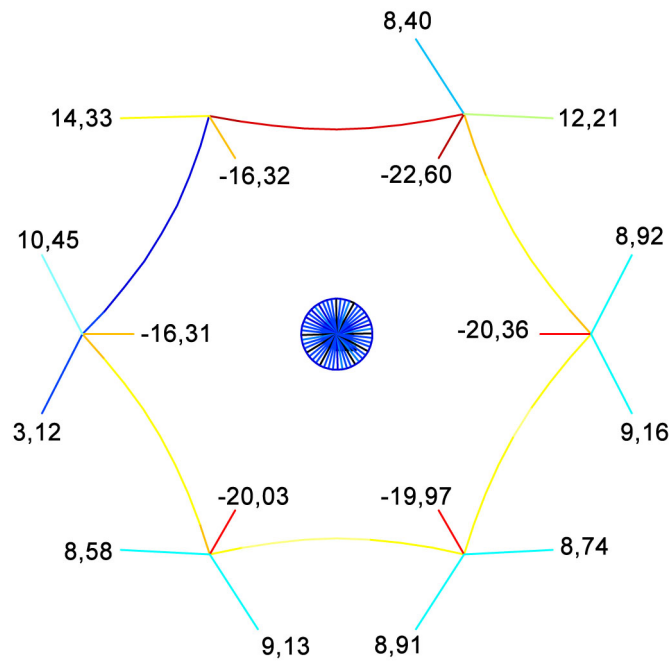
Kötelek eltávolításánál a megzavart csúcspontok elmozdulását kell meghatározni. A ráncok mindig a megzavart csúcspontból indulnak ki és az elmozdulás irányában lévő következő csúcspontba futnak.

Egy kötélt eltávolítása



1 kötélt eltávolítása

Ha egy kötelet eltávolítunk, a támasz egyensúlyát megbontjuk, a másik kötéltre nagyobb terhek jutnak. Az oszlop csuklós kapcsolata miatt a csúcs oldalirányban elmozdul, ezzel a szomszédos kötelek egyikében növeli a feszültséget, a másikban csökkenti.



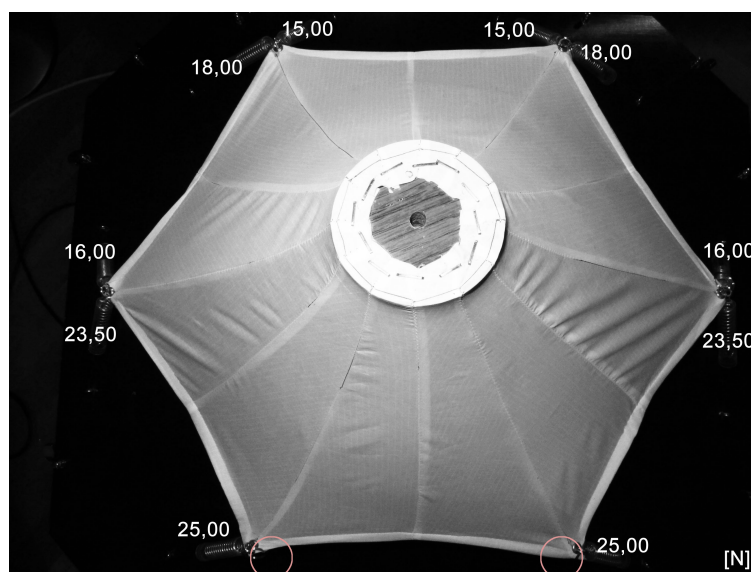
Számított támaszerők 1 eltávolított kötél esetén

Ebben az esetben egy ránc figyelhető meg. A ránc a megzavart csúcspontból indul és a csúcspont elmozdulásának irányában lévő szomszédos csúcsba tart.

Két kötél eltávolítása

Ha a két kötél egymás mellett és ugyanabban a csúcspontban van, akkor az oszlop kimozdul a helyéről így a csúcs elveszti a funkcióját.

Ha a két kötél egymás mellett van, de nem ugyanabban a csúcspontban, akkor mindkettő úgy viselkedik, mint amikor egy kötelet távolítunk el. Azaz a két szomszédos kötélben megnöveli a feszültséget, a két következőben pedig csökkenti.

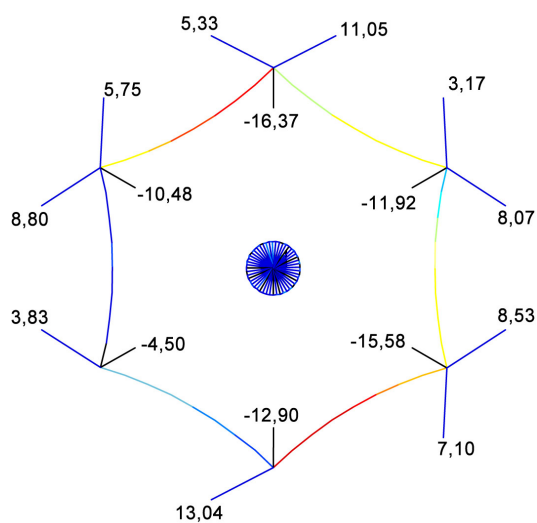


2 egymás melletti kötél eltávolítása

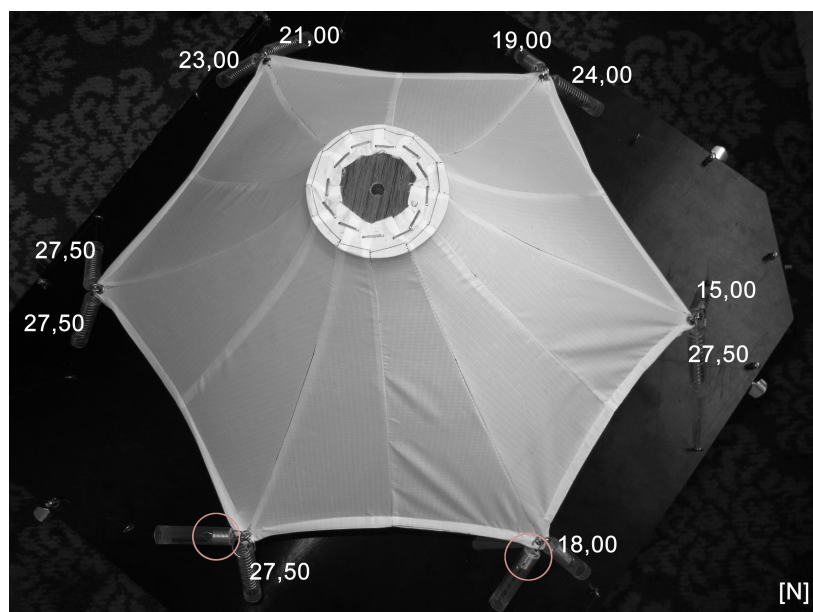


2 egymás melletti kötél eltávolítása oldalnézetből

Ha a két kötél között van egy érintetlen kötél, akkor egy aszimmetrikus helyzet jön létre. Itt már nem lesz igaz, hogy az eltávolított kötelekkel szomszédos kötelekben nő meg a támaszerő. Ilyenkor a két eltávolított kötél kölcsönösen befolyásolja a környezetüket. A ráncok viszont továbbra is a megzavart csúsból az elmozdulás irányában lévő szomszédos csúcsba futnak.



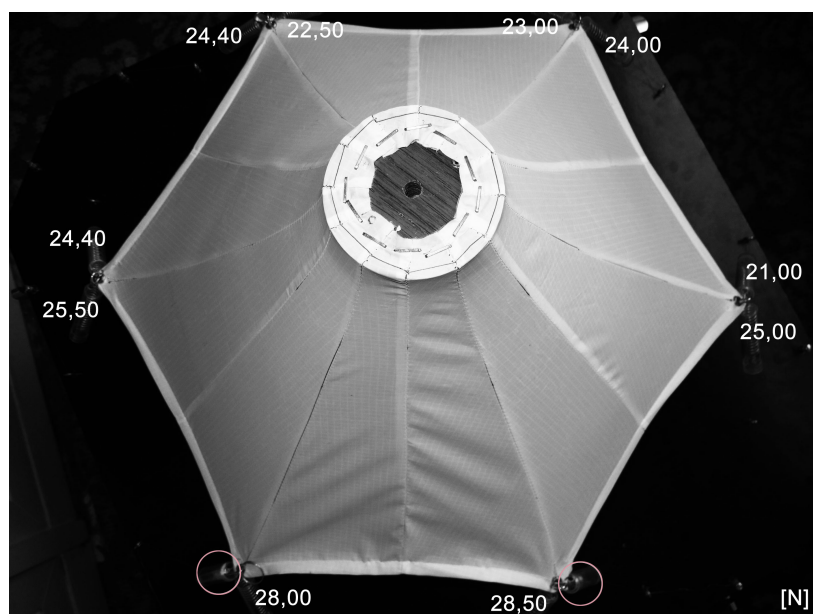
Számított támaszerők aszimmetrikus helyzetben



2 hiányzó kötél

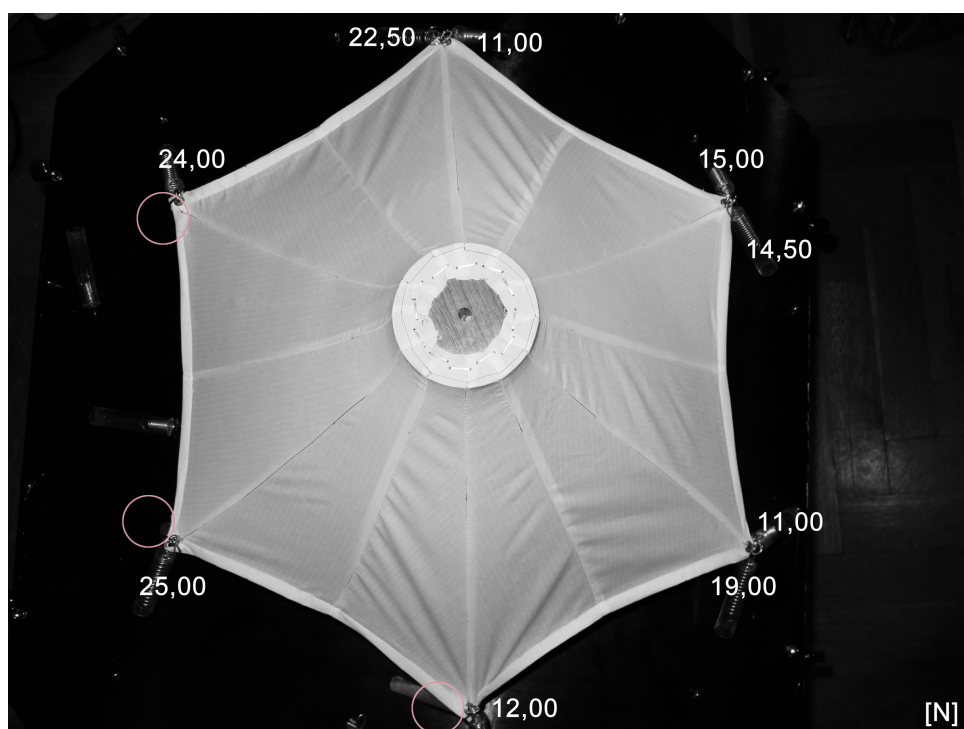
Ha a két kötél között kettőnél több érintetlen kötél van, akkor gyakorlatilag egymástól függetlenül befolyásolják a többi kötélben lévő erőket.

Az alábbi példában mindkét kötél eltávolítása ugyanazt a szakaszt teszi ráncossá, így ebben az esetben a varrás merevítő hatása ellenére látható, hogy a ráncok valóban a két csúcspontot kötik össze egy-egy ívvel.

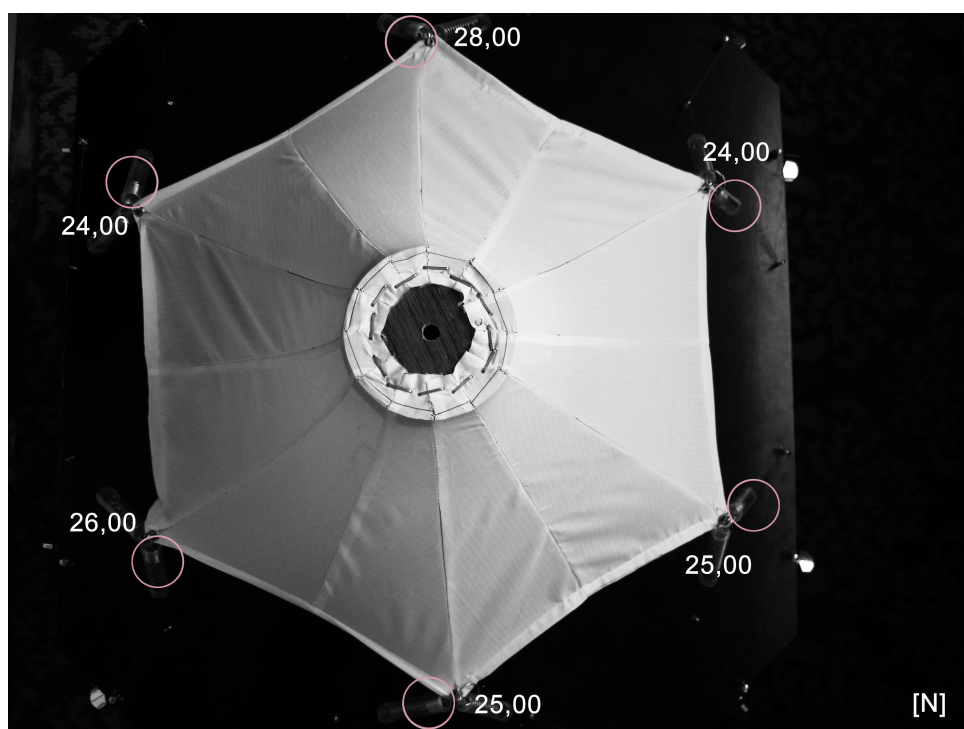


2 hiányzó kötél csatlakozó ráncokkal

3 vagy több kötél eltávolítása

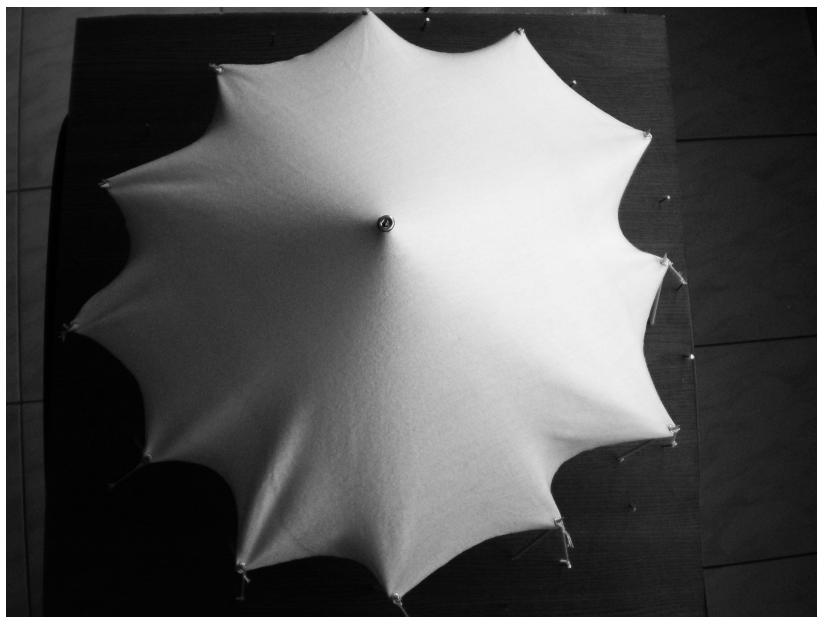


3 hiányzó kötél



6 hiányzó kötél

Ha az összes támaszból kivesszük az egyik kötelet, akkor az összes szomszédos csúcsot össze fogja kötni egy-egy ránc.



Minden támaszban 1 hiányzó kötél

KOMBINÁLT ESETEK

Kombinált esetekben a két hatás összegződik. Eltávolított csúcs esetén a két szomszédos csúcsot köti össze a ránc, eltávolított kötél esetén az elmozdulás irányában keletkezik ránc.



3 hiányzó sarok és 6 hiányzó kötél

KÜLÖNBÖZŐ ANYAGOK

A különböző tulajdonságú anyagok segítségével mutatható meg a hajlítómerevség és a ráncosodás kapcsolata. Minél merevebb az anyag, annál kevésbé ráncosodik ugyanakkora kezdeti feszültségeloszlás esetén.

A ráncok alakjában is figyelhetünk meg különbségeket. A hullámok sűrűsége annál nagyobb, minél kevésbé merev az anyag.



Kenetlen poliészter



Kent poliészter

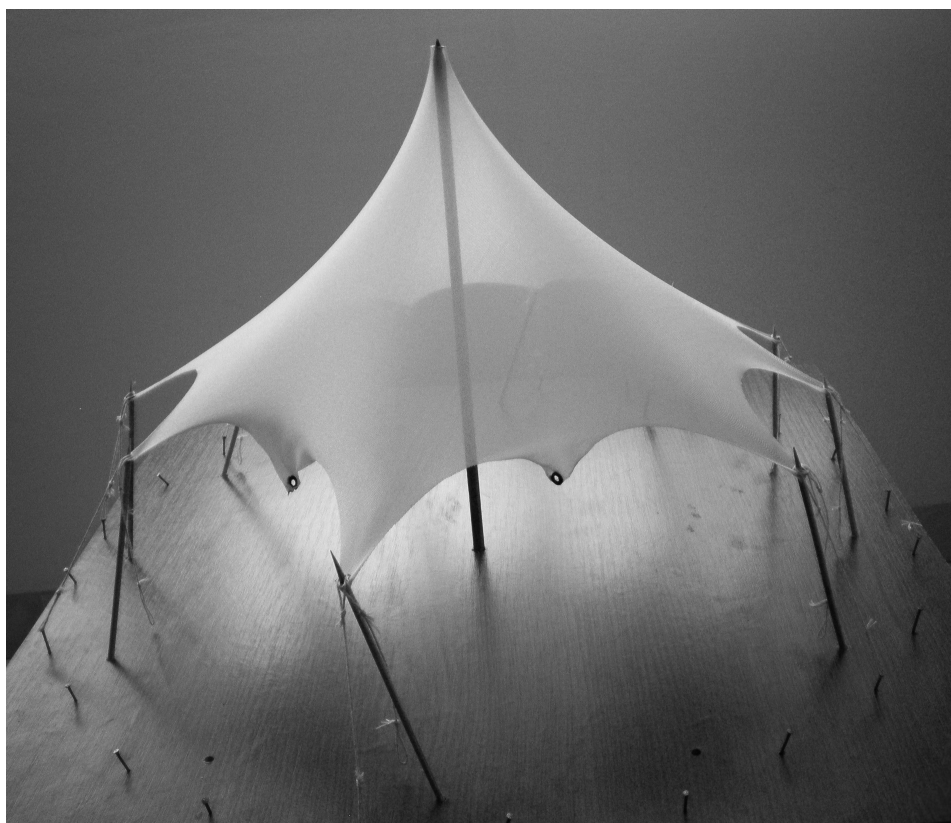


Pamut

A KEZDETI FESZÜLTÉG ÉS A RÁNCOSODÁS KAPCSOLATA

Ahhoz, hogy a ráncosodás kialakuljon, arra van szükség, hogy a szerkezet megzavarása után legyenek olyan pontok, ahol nyomófeszültség jönne létre. Minél nagyobb a kezdeti feszültség a ponyvában, annál nagyobb zavarásra van szükség ahhoz, hogy ránc alakuljon ki. A varrott modellek a varrott kapcsolatok gyengesége miatt nem feszíthetők meg akkora mértékben, hogy a legegyszerűbb zavarás esetén még ne keletkezzenek rajtuk ráncok.

Egy varrott kapcsolatok nélküli különösen elastikus anyag esetében viszont létrehozható akkora kezdeti feszültség, hogy akár összetettebb tönkremenetel esetén is csak nagyon kis mértékben ráncosodjon.



Különösen rugalmas anyag összetett katasztrófa helyzet esetén

ÖSSZEFOGLALÁS

EREDMÉNY

Ez a dolgozat a ponyvaszerkezetek tönkremenetele során keletkező ráncok kialakulásának okát és a ráncok helyzetét vizsgálja. A ráncok pontos helye és a ponyvában keletkező feszültségek közötti összefüggés a feszültségek pontosabb számítása után lehetséges. A kiszámolt eredmények még csak a körülbelüli támaszerőket adják meg, de magában a ponyvában keletkező feszültségekről nem szólnak. Látható azonban, hogy a szerkezet erőjátékának megváltozása után a támaszerők nagyságrendjének ismerete már elegendő információ ahhoz, hogy következtetni lehessen belőlük a ráncok helyzetére.

TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A dolgozat a ráncosodást, mint jelenséget csak önmagában vizsgálta. A valóságban azonban a ráncok a szerkezet terhelt állapotában jelenthetnek problémát. A modell segítségével megfigyelhető a ráncosodott felület viselkedése és teherbírásának megváltozása különböző jellegű terhekre. Gyakorlatilag a szélteher az, ami a legveszélyesebb egy ráncosodott felület esetében a laza felületek belebegése miatt. A pontos számítások után pedig a ráncok pontosabb helyére, méretére, alakjára is lehet következtetni, majd ezeket a terhelt esetben tapasztalt viselkedéssel összevetni.

A kísérletek során csak megadott tönkremeneteli helyzetek esetében keletkező ráncokat vizsgáltam, de nem foglalkoztam a kezdeti támaszerők és a később kialakuló ráncok viszonyával. Megfigyelhető azonban, hogy a ráncok csak bizonyos kezdeti támaszerő túllépése után jelennek meg bizonyos tönkremenetelek során. Ezt a jelenséget jobban megvizsgálva információt kaphatunk a ponyvában a ráncosodott részek környékében keletkező feszültségekről, ami összevethető a számításokkal.

A modelltől készültek 3D-ben scannelt ábrák a tönkremeneteli helyzetekben, ezen ábrák azonban még feldolgozás alatt vannak. Az ábrák a továbblépést segíthetik a modellen lévő ráncok méretének, helyének, alakjának pontos meghatározásával

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Hegyi, D.: NONLINEAR ANALYSES OF TENT STRUCTURE AND TECHNICAL TEXTILE BY NUMERICAL AND EXPERIMENTAL METHODS, PHD DISSERTATION, BME, DEPARTMENT OF MECHANICS, MATERIALS & STRUCTURES (2006)
- [2] Kollár, L.: *PONYVASZERKEZETEK*, TTI, BUDAPEST (1988)
- [3] Gil, A. & Bonet, J.: FINITE ELEMENT ANALYSIS OF PARTLY WRINKLED REINFORCED PRESTRESSED MEMBRANES (2006),
[HTTP://WWW.SPRINGERLINK.COM/CONTENT/0807K3R764136V44/](http://www.springerlink.com/content/0807K3R764136V44/) (2011-03-28)