

## FESZÍTETT PONYVASZERKEZETEK SZABÁSMINTÁINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

HINCZ KRISZTIÁN\* – DR. GALASKÓ GYULA\*\*

tudományos munkatárs

egyetemi docens

Jó ponyvaszerkezetek tervezésének egyik sarkalatos pontja, hogy a térbeli felület (elméleti alak) síkba terítése után kapott szabásmintákból összeállított szerkezetnél milyen feszültségek keletkeznek, illetve a konfekcionált ponyva mennyire pontosan adja vissza a tervezett (térbeli) alakot.

A síkba terítés pontatlanságai és a gyártási hibák miatt kialakuló ráncokat eltüntetni és a ponyvaszerkezet teherbírását biztosítani (kellően erős anyagok esetén) megfelelő kezdeti feszítéssel lehet. A kezdeti feszítés mértékét úgy célszerű meghatározni, hogy a gyakran előforduló terhek esetén ráncmentes (nyomásmentes) maradjon a ponyva, extrém terhek esetén ráncok megjelenése megengedhető.

A kezdeti feszültséget a gyakorlatban kétféleképpen lehet biztosítani:

- a szabásminta zsugorításával (visszavágásával) vagy
- a peremek megváltoztatásával (az árbocok túlemelésével és/vagy rövidebb peremkábelek beépítésével).

Az első esetben az elméleti alak síkba terítésével kapott szabásminta pontjainak koordinátáit egynél kisebb számmal megszorozzák (zsugorítják). Az így gyártott ponyva tehát kisebb lesz az elméleti alaknál, tervezett formája és a kezdeti feszültségmező az elméleti alaknak megfelelő peremekre történő feszítés során alakul ki. Abban az esetben, ha a szabásmintát nem zsugorítják, a ponyva feszültségmentes mérete megfelel a kiindulási peremfeltételeknek, tehát a megkívánt kezdeti feszítés a peremek megváltoztatásával érhető el.

Ebben a cikkben numerikus módszerekkel azt vizsgáljuk, hogy a különböző számítási módszerek alapján előállított szabásmintákhoz milyen feszültségeloszlás tartozik. Jelen cikkben kizárólag a kezdeti feszítésből származó feszültségek-

\* MTA Numerikus Módszerek Munkacsoportja. Tel.: 463-1433; e-mail: hincz@hotmail.com

\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék. Tel.: 463-1345; e-mail: galasko@epito.bme.hu

kel foglalkozunk, az egyes terhek hatásával nem. Az árbocokkal és külső peremekkel megfeszített, egyébként általános elrendezésű ponyvaszerkezetek elemzése során nyert tapasztalatokat egy egyszerű szerkezetre vonatkozó numerikus eredményeken keresztül mutatjuk be.

## 1. A SZABÁSMINTÁNAK MEGFELELŐ EGYENSÚLYI ALAK MEGHATÁROZÁSA

Ponyvaszerkezetek statikai számítása során általában azt a módszert követik, hogy az elméleti alak meghatározása [1, 2, 5, 8] után elvégzik az állapotváltozás-vizsgálatot. Ha a szél-, illetve hőteher hatására, az alkalmazásra kerülő ponyva anyagjellemzői esetén nem keletkeznek a szerkezetben a megengedettnél nagyobb feszültségek, elmozdulások, illetve extrém hőtehertől eltekintve ráncmentes marad a ponyva, akkor meghatározzák a szabásmintákat (ellenkező esetben az elméleti alakot és/vagy az elméleti alakhoz tartozó feszültségeloszlást módosítják). Ez a számítási menet nem ad lehetőséget a szabásminta elkészítése során tett esetleges közelítések, a zsugorítás, illetve ortotrop anyag esetén a tényleges lánc- és vetülékirány figyelembevételére. Ezért dolgoztunk ki egy olyan eljárást, és számítógépes programot, amelynek segítségével adott peremek és szabásminták esetén meg lehet határozni a ponyvaszerkezet alakját, belső erőit [7] és az így kapott tényleges szerelési alakon el lehet végezni az állapotváltozás-vizsgálatot. A program segítségével tetszőleges számú árboccal (az árbocok körüli merev peremgyűrűkkel), külső merev peremekkel és kábelekkel megfeszített ponyvaszerkezeteket vizsgálhatunk.

Kiindulási adatként meg kell adni a külső peremek és az árbocok körüli peremgyűrűk helyzetét, a szabásmintacsíkok koordinátáit a lánc- és vetülékirány által meghatározott koordinátarendszerben, a szabásmintacsíkok elrendezését (topológiáját), valamint a ponyvaanyaghoz és a peremkábelekhez tartozó anyagjellemzőket.

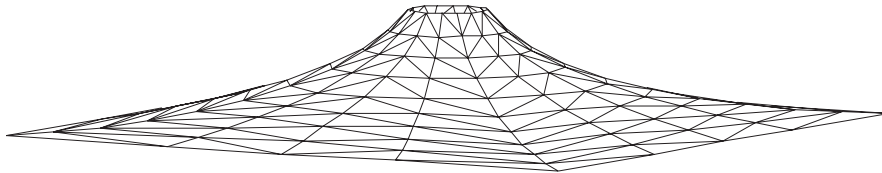
A program alapja a 'dinamikus ellazítás' nevű, fokozatosan közelítő eljárás [1]. A dinamikus ellazítás célja az adott kiindulási adatokhoz tartozó egyensúlyi helyzet meghatározása. Az eljárás segítségével egy közel tetszőleges kiindulási alakból, fiktív mozgás során jut el a szerkezet az egyensúlyi helyzetig. A számítás során síkbeli háromszögelemekből álló végeselemes hálózattal közelítjük a ponyva kétszeresen görbült felületét. A végeselemes hálózat egy-egy eleméhez a szabásminta egy-egy háromszög alakú részét rendeljük. Minden iterációs lépésben számítjuk a végeselemekben az aktuális csomóponti koordinátákból és a háromszögelemek feszültségmentes hosszából (a szabásminta egy adott része!) az oldalak

nyúlásait, az anyagjellemzők és a láncirány ismeretében pedig a feszültségeket lánc- és vetülékirányban.

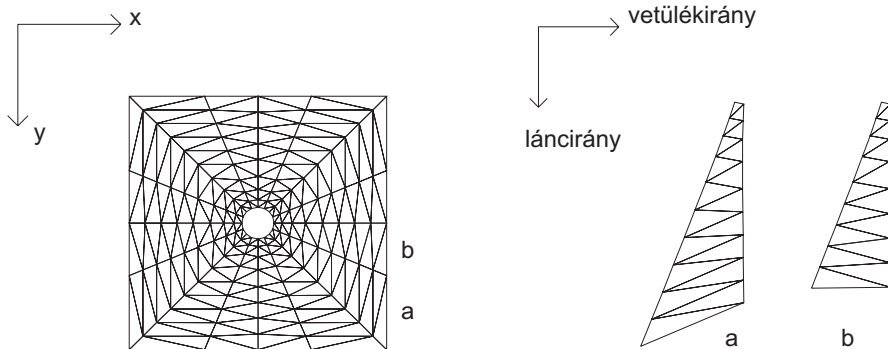
A cikk további részében különböző módszerekkel kapott szabásminták esetén az egyensúlyi helyzethez tartozó feszültségmezőket elemezzük.

## 2. 'KÍNAI SAPKA' ALAKÚ FELÜLET SZABÁSMINTÁINAK ELŐÁLLÍTÁSA

Az egyik legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott sátor alaknál egy négyzet alakú, azonos magasságú perem közepe fölé egy körgyűrűt helyezünk el, és ezen síkgörbék közé feszítjük ki a ponyvafelületet. Mintapéldánkban a négyzet oldalhossza 4 méter, a gyűrű sugara 25 cm, és 70 centiméterrel magasabban van, mint a négyzet (1. ábra). A mintapélda többszörös szimmetriája és mérete miatt 16 darab, kétféle alakú ponyvacsíkkal lefedhető a teljes felület (2. ábra). Itt jegyezzük meg, hogy a merev peremek elrendezése miatt a felület sarkaiban, konstans felületi metszeterők esetén, szingularitás jelentkezik differenciálgeometriai vizsgálat során. Ez azonban a diszkretizálás miatt nem okoz nehézségeket a számítás során.



1. ábra. Kínai sapka alakú szerkezet



2. ábra. Az alkalmazott végeselemes hálózat és a szabásminta csíkok

A szerelési alak meghatározása során ortotrop anyagmodellt alkalmaztunk, a rugalmassági modulus láncirányban  $E_1 = 200$  kN/m, vetülékirányban  $E_2 = 100$  kN/m, a nyírési modulus  $G = 7,5$  kN/m, a Poisson-tényezők  $\nu_{12} = 0,1$ ,  $\nu_{21} = 0,05$ .

Különböző módszerekkel állítottunk elő szabásmintákat kötélhálómodell és membránmodell alapján meghatározott, különböző feszültségeloszlásokhoz tartozó elméleti alakok alapján. A továbbiakban az alkalmazott eljárásokat, programokat mutatjuk be röviden.

## 2.1 KÖTÉLHÁLÓMODELL ALAPJÁN MEGHATÁROZOTT ELMÉLETI ALAK SÍKBA TERÍTÉSE ÉS A SZABÁSMINTA EGYENLETES ZSUGORÍTÁSA

A ponyvaszerkezetek számítására alkalmas derékszögű kötélhálómodell több mint 20 éve került kidolgozásra a BME Tartószerkezet Mechanikája Tanszékén. A módszer alkalmazása során a lefedendő területre egy olyan derékszögű hálózatot illesztünk, amelynek (az algoritmus egyszerűsítése céljából) a felosztása irányonként azonos. A hálózat egy vonala mentén az előírt kötélterők vízszintes vetülete állandó. A hálózat metszéspontjaiba általában 4, a peremeken 3 vonal (kötél) fut be. A metszéspontok vízszintes ( $x$  és  $y$ ) koordinátáit rögzítve a függőleges vetületi egyenletben ismeretlenként csak a pontok magassága szerepel. Az így kapott lineáris egyenletrendszer megoldásából a felületnek egy egyszerű közelítését kapjuk.

A derékszögű hálózat mentén levő pontok alapján közvetlenül nem lehet egy árboc körüli (sugaras elrendezésű) szabásmintát kiteríteni. Következő lépésként meg kell tervezni a szabásminta-kiosztást és a szabásminták vonalai mentén elhelyezkedő pontok számát úgy, hogy a két szomszédos oldalon levő pontok számának különbsége legfeljebb egy lehet. Ezután a szabásminta pontjainak magasságát az első lépésben meghatározott pontok közé interpoláljuk. Az interpolálás azon alapszik, hogy megkeressük a szabásminta vizsgált pontjához legközelebb eső három pontját a derékszögű hálózatnak. A három térbeli pont egy síkot határoz meg, amelyen belül lineáris interpolálással határozzuk meg a szabásminta pontjának magasságát.

A kiterítés ún. háromszög-módszeren [3] alapuló elve Majoros Gábortól származik. A módszernek az a lényege, hogy a kiterítendő felületet a szabásmintának megfelelő csíkokra osztjuk, és síkháromszögekkel közelítjük. A felületen ezen háromszögek térbeli oldalhossza egyszerűen számítható. Az így kapott háromszögek egymás mellé illesztése a síkban eredményezi a szabásmintát.

Számos sátor szabásmintája készült hazánkban ezzel a módszerrel. A szabásmintákat az első számítógépi programok még kevesebb ponttal, kevésbé pontosan számolták, ezért zsugorítást annak néhány kedvezőtlen kezdeti tapasztalata miatt csak ritkán alkalmaztak a szabásminták készítése során (zsugorítás nélkül készült

szabásmintákkal foglalkozik a 2.6 pont). Olyan szerkezetek esetében, amikor nem lehetett kezdeti feszültséget a peremek változtatásával biztosítani, ott a gyártás során a ponyvát a gyakorlati tapasztalatok alapján visszavágták, azaz a peremmel nagyjából párhuzamosan kivágtak egy csíkot. Ez a tapasztalati módszer – a mai napig meglévő sátrak tanúsága szerint – eredményes volt.

A szabásminta készítésénél azonos mértékű zsugorítást alkalmaztunk lánc- és vetülékirányban. A továbbiakban bemutatásra kerülő módszereknél is hasonlóan jártunk el, tehát nem vettük figyelembe a zsugorítás során a ponyvaanyagok jellemzően eltérő viselkedését lánc- és vetülékirányban.

## 2.2 KÖTÉLHÁLÓMODELL ÉS A SZABÁSMINTA FESZÜLTÉGÁRÁNYOS ZSUGORÍTÁSA

Ez a módszer az előző továbbfejlesztése. A sátorfelület statikai modelljét jelentő kötélnáló kezdeti feszítéséből az egyensúlyi alakhoz tartozó kötélterők nagyságai meghatározhatók. Ha a feszítőerők vízszintes  $H_x$  és  $H_y$  komponense ismert, és az erő iránya az  $x$  tengellyel  $\alpha$ , a vízszintessel  $\beta$  szöget zár be, akkor a térbeli erő nagysága a  $(H_x \cdot \cos\alpha + H_y \cdot \sin\alpha) / \cos\beta$  képlettel számítható ki. A ponyva anyagjellemzőinek és a fenti erőnek az ismeretében a zsugorítás a feszültségek arányában is meghatározható [4].

Ebben az esetben a térbeli felületen határozzuk meg a szabásmintát alkotó háromszögek oldalai mentén keletkező kötélterőket. Ezzel az erővel egyenes arányban csökkenti a módszer a szabásminta elemeinek oldalhosszát a kiterítési síkban. Ha a szabásminta két hosszú oldala mentén levő kötelekben a peremtől (pl. árboc-tól) azonos távolságra levő erők eltérnek egymástól, akkor a két oldal rövidülése nem egyforma, tehát a feszültségárányosan, illetve a lánc- és vetülékirányban azonos mértékben zsugorított szabásminták alakja (íve, kardossága) eltér egymástól.

## 2.3 MEMBRÁNMODELL, KONSTANS REDUKÁLT METSZETERŐK, EGYENLETES ZSUGORÍTÁS

Az elméleti alak meghatározásához kidolgoztunk egy, a dinamikus ellazításon alapuló, membránmodell alkalmazó programot [5]. A számítás során sugaras elrendezésű végeelemes hálózatot alkalmazunk (2. ábra), a háromszög alakú, sík végeelemekben állandónak tekintjük a feszültségeket. Az elméleti alak meghatározása során adott peremekhez és a felvett feszültségeloszláshoz keressük az egyensúlyi alakot. A felvett feszültségeloszlás nagymértékben befolyásolja az elméleti alakot.

Kétféle feszültségeloszlás közül választhatunk. „Valódi hártya” modell esetén a ponyva minden pontjában, minden irányban állandó nagyságú metszeterők működnek (2.4). Konstans redukált metszeterőkről beszélünk, ha a metszeterők vízszintes síkra vonatkozó, függőleges vetületei az alaprajzi  $x$  és  $y$  irányokban konstansok. Az  $x$  és  $y$  irányú redukált metszeterők arányának változtatásával, különösen több árboc esetén, kedvezően befolyásolhatjuk az elméleti alakot [6]. Azonos  $x$  és  $y$  irányú redukált metszeterők esetén az adott peremekhez tartozó Pelikán-féle hártyafelületet kapjuk eredményül. A számítás kezdetén úgy célszerű felvenni a végeselemes hálózatot, hogy a sugár irányú vonalak közötti tartományok egy-egy ponyvaanyag csíknak feleljenek meg a síkba terítés után. Az így felvett hálózat alapján meghatározott egyensúlyi alak további közelítés nélkül, csikoként egyszerűen síkba teríthető, zsugorítható. A zsugorítás során az összes háromszögelemet azonos mértékben zsugorítjuk. Az egyenletes zsugorítás és a ponyvaanyag ortotrop viselkedése miatt a tényleges szerelési alak nem egyezik meg az elméleti alakkal, de a két felület közötti eltérés nem jelentős, ahogy azt korábbi cikkekben már bemutattuk [6, 7].

#### 2.4 MEMBRÁNMODELL, KONSTANS FELÜLETI METSZETERŐK, EGYENLETES ZSUGORÍTÁS

Ebben az esetben a ponyva minden pontjában minden irányban állandó normál irányú felületi metszeterőt feltételezünk az elméleti alak meghatározása során, így a peremfeltételekhez tartozó minimális felületű elméleti alakot kapjuk (abban az esetben, ha a peremfeltételek mellett létezik összefüggő egyensúlyi alak). Az egyenletes feszültségeloszlás és a minimális felület gazdaságos szerkezetet eredményez. Adott geometriájú peremek esetén azonban az árbocmagasság csak addig növelhető, amíg van olyan összefüggő egyensúlyi alak, amelyhez konstans felületi metszeterők tartoznak. A példaként bemutatott kínai sapka alakú felület esetén a kritikus árbocmagasság (~75 cm) fölött a valóságos szappanhártya két síkfelületté szakad, egy a külső peremek által határolt négyzetté és a peremgyűrű által határolt körre, az egyensúlyi helyzet meghatározásánál alkalmazott eljárás pedig nem konvergál. Mivel a kritikus árbocmagasság a gyakorlati esetekben gyakran kisebb, mint a megkívánt árbocmagasság, és így nincs a peremfeltételeknek és a konstans felületi metszeterőknek megfelelő összefüggő egyensúlyi alak, nem mindig lehet ezt a modellt alkalmazni az elméleti alak meghatározása során (a 2.3 pontban bemutatott modellt minden esetben alkalmazhatjuk).

## 2.5 EGY KERESKEDELMI FORGALOMBAN LÉVŐ PROGRAM, A PATTERNER 3.0 SZABÁSMINTÁI

A Phaedrus Publishing Ltd. által forgalmazott *Patterner 3.0* programot több vállalkozás is használja Magyarországon szabásminták előállítására. Ez az indoka annak, hogy a világon használt számos program közül annak ellenére ezt választottuk nemzetközi összehasonlítás céljára, hogy a programleírás nagyon szűkszavú és például nem tér ki a szabásminta kiterítésének részleteire.

A program előnye, hogy egyszerűen, könnyen kezelhető. Gyorsan előállítja a kezdeti alakot és szabásmintákat is ad, viszont nem lehet a feszítőerők arányát változtatni. A program két lehetőséget ajánl fel a szabásminták számítására: az egyszerű, illetve a geodézia vonal mentén történő kiterítést. A leírás az utóbbit ajánlja, míg az előbbiről semmit sem mond. (Ennek ellenére ennek a módszernek az eredményeit is összehasonlítottuk saját programjaink eredményeivel.)

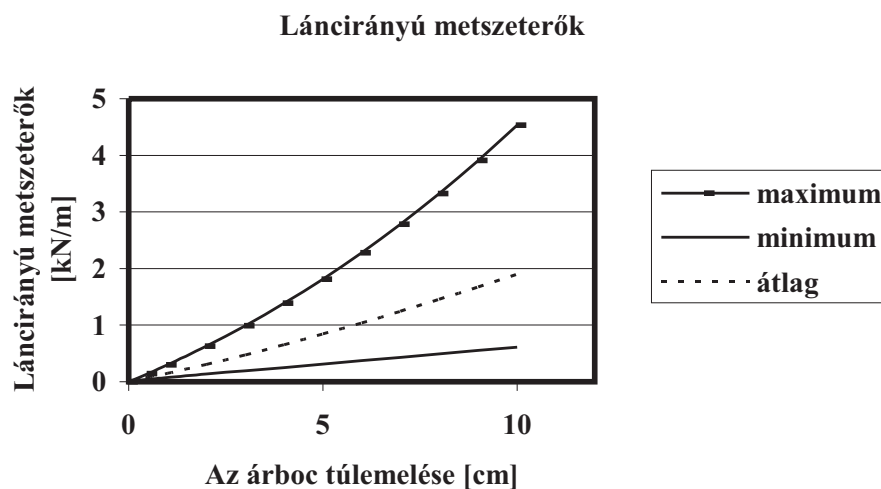
Geodézia vonal alatt egy olyan térgörbét értünk, amelyen az egyik térbeli pontból a legrövidebb úton juthatunk a felület egy másik pontjába. A geodéziai vonal mentén történő kiterítés célja, hogy a síkba terített csíkok egyik oldala lehetőleg egyenes legyen. Ez az iteráció elég hosszadalmas, mert a számítógép minden iterációban újraszámolja az alakot, úgy módosítva a felületen a pontok koordinátáit, hogy az azok által meghatározott szabásminta egyik oldala minél közelebb legyen az egyeneshez. Ezért sok osztáspont esetén már 'közepes' pontosság mellett (a leírás nem definiálja, hogy ez pontosan mit jelent) is sokperces futási időre kell számítani és ennél a feladatnál a 'gyors' és a 'lassú' változat által számolt szabásminták között a legnagyobb különbség csak 3 mm volt, miközben a futási idő tizenöt-szöröse nőtt.

## 2.6 ZSUGORÍTÁS NÉLKÜLI SZABÁSMINTÁK

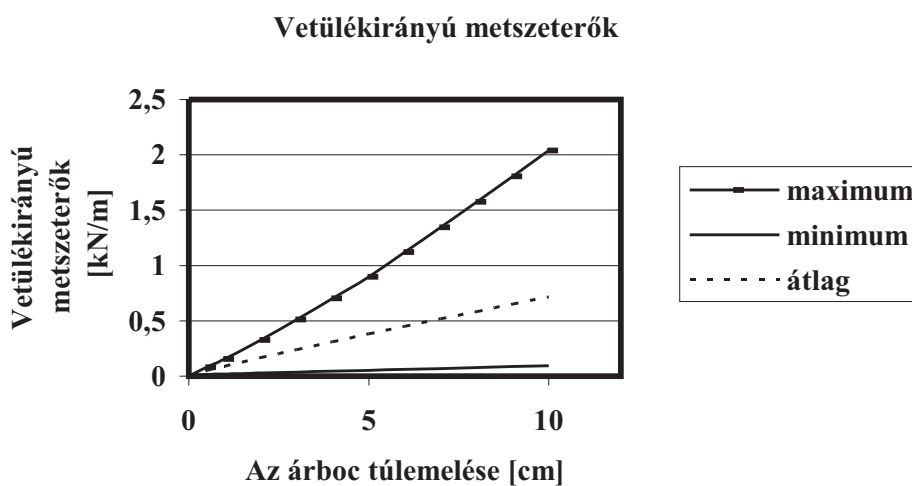
A gyakorlatban gyakran előfordul, hogy nem alkalmaznak zsugorítást a szabásminta elkészítése során. Ebben az esetben a teherbíráshoz szükséges húzófeszültségeket az árbocok emelésével (az elméleti alakhoz viszonyított túlemeléssel), illetve a peremkábelek feszítésével (rövidebb peremkábelekkel az elméleti alakhoz képest) hozzák létre. Szerkezetek szerelési alakjának elemzése során azt tapasztaltuk, hogy az ilyen módon történő megfeszítésnél a feszültségek eloszlása sokkal egyenetlenebb, mint zsugorított szabásmintáknál (3. pont).

A mintapélda esetén az elméleti alak meghatározásához a 2.3 pontban bemutatott, a Pelikán-féle hártayafelületnek megfelelő membránmodellt alkalmaztuk és a síkba terítés után nem zsugorítottuk a szabásmintát. A szerelési alak meghatározása során az elméleti alaknak megfelelő 70 cm-ről 1 cm-es lépésekben 80 cm-ig emeltük az árboc, illetve a belső peremgyűrű magasságát (5–6. ábra). A

3. és 4. ábrán a lánc- és vetülékirányú metszeterők alakulása látható az árboc elméleti alakhoz viszonyított túlemelésének függvényében.

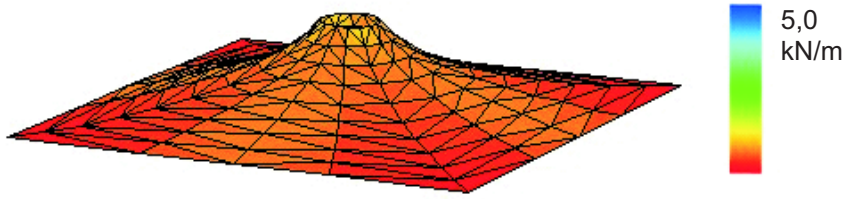


3. ábra. A láncirányú metszeterők alakulása az árboc túlemelésének függvényében



4. ábra. A vetülékirányú metszeterők alakulása az árboc túlemelésének függvényében

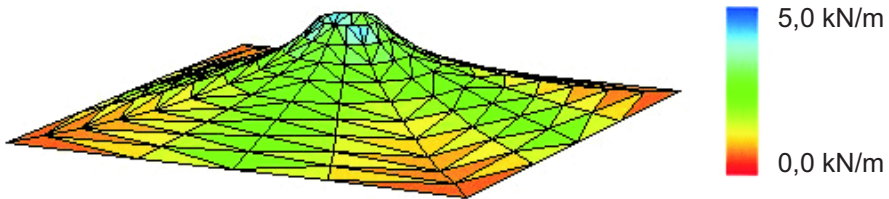




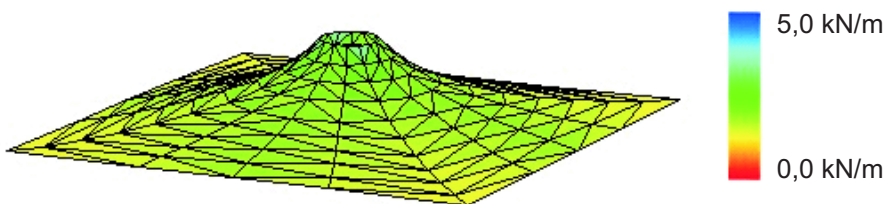
5. ábra. Szálirányú metszeterők az árboc 3 cm-es túlemelése és zsugorítás nélküli szabásminta esetén



6. ábra. Szálirányú metszeterők az árboc 5 cm-es túlemelése esetén



7. ábra. Szálirányú metszeterők az árboc 9,21 cm-es túlemelése esetén



8. ábra. Szálirányú metszeterők az árboc túlemelése nélkül, 1%-os zsugorítás esetén

1. táblázat

	kötélhálómodell		membránmodell			Patterner	
	állandó zsgug.	fesz.arányos	konst. redukált	árbocemelés	min. felület	egyszerű	geod. vonal
láncirányú metszeterők [kN/m]							
max.	2,59	3,50	3,86	6,63	1,81	2,98	3,33
min.	1,37	1,14	1,5	1,06	1,49	1,62	1,59
átlag	1,70	1,70	1,74	1,74	1,66	1,82	1,83
vetülékirányú metszeterők [kN/m]							
max.	1,59	1,83	1,59	1,74	1,80	1,89	1,80
min.	1,03	0,13	1,12	0,17	1,06	0,94	0,93
átlag	1,33	1,59	1,33	0,86	1,35	1,29	1,30

### 3. SZABÁSMINTÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Ebben a pontban bemutatjuk a lánc- és vetülékirányú metszeterők alakulását különböző módszerekkel kapott szabásmintáknak megfelelő szerelési alakok esetén. Az 1. táblázat soraiban a lánc- és vetülékirányú metszeterők maximális, minimális és átlagos értékeit tüntettük fel. Az átlagos metszeterőket a háromszögelemek területével súlyozva számítottuk.

A táblázat oszlopaiban a különböző módszereknek megfelelő értékek találhatóak. Az első két oszlopban a kötélhálómodell alapján meghatározott elméleti alak síkba terítésével, állandó és feszültségárányos zsugorítás esetén kapott értékek láthatók. Az állandó zsugorítás esetén 1%-os zsugorítást alkalmaztunk, ez az érték a gyakorlatban egy gyenge-közepes feszítésnek felel meg. Feszültséggel arányos zsugorítás esetén ilyen számérték nem adható meg, hiszen elemenként különbözik az erő és ennek következtében a zsugorítás is. Ebben az esetben az összehasonlíthatóság kedvéért úgy választottuk meg a zsugorítást, hogy annak hatására láncirányban pontosan az állandó 1%-os zsugorításhoz tartozó átlagos metszeterő keletkezzen. A metszeterők összehasonlítása során azt tapasztaltuk, hogy állandó zsugorítás mellett kedvezőbb (egyenletesebb) a metszeterők eloszlása. A feszültségárányos zsugorítás módszeréből adódik, hogy ahol nagyobb a metszeterő az elméleti alakban, ott erőteljesebb a zsugorítás, és a visszaépített ponyvában nagyobb metszeterők (és nyúlások) keletkeznek, mint állandó zsugorítás esetén. A gyen-

gében megfeszített részeken viszont (például az árbocok és a külső peremek környékén tangenciális irányban) kedvezőtlenül alacsony metszeterőket kapunk feszültségáramos zsugorítás esetén. A fenti okok miatt nem javasoljuk a szabásminták feszültségáramos zsugorítását.

A 3–5. oszlopokban a membránmodell alapján kapott eredmények láthatók, konstans redukált metszeterők, Pelikán-féle hártárfelület esetén 1%-os zsugorítás mellett (3. oszlop) és zsugorítás nélkül (4. oszlop), illetve konstans felületi metszeterők, valódi hártárfelület esetén 1%-os állandó zsugorítás mellett (5. oszlop). A zsugorítás nélküli, tehát az árboc túlelemelésével megfeszített szerkezet elemzése során interpolálással meghatároztuk azt az árbocmagasságot (79,21 cm), amihez ugyanakkora láncirányú átlagos metszeterő tartozik (7. ábra), mint az 1%-os zsugorítással előállított szabásmintához (8. ábra). Azt tapasztaltuk, hogy ugyanakkora láncirányú átlagos metszeterő esetén a lánc-, illetve vetülékirányú metszeterők szórása az árboc túlelemelésével megfeszített ponyva esetén lényegesen nagyobb, a külső peremek, sarkok környékén a túlelemeléssel történő feszítés hatékonysága jelentősen kisebb (az itt jelentkező minimális feszültség láncirányban körülbelül fele, vetülékirányban tizede az egyenletes zsugorítás esetén jelentkező feszültségeknek). A peremek közelében levő felület a kisebb görbületek miatt egyébként is hajlamos a belebegésre, ezért az árboc túlelemelése esetén kapott lényegesen kisebb minimális metszeterők kedvezőtlenül befolyásolhatják a ponyva viselkedését. A fenti okok miatt a ponyvaszerkezetek szabásmintáinak zsugorítását előnyösnek találtuk.

Minimálfelület esetén a metszeterők nagyon kedvező eloszlását tapasztaljuk lánc- és vetülékirányban egyaránt. (Izotrop anyag esetén a szerelési alakhoz is konstans metszeterők tartoznának.)

Az utolsó két oszlopban a Patterner által előállított szabásmintáknak megfelelő metszeterőket tüntettük fel.

Végül két olyan érdekességre szeretnénk felhívni a figyelmet, amit a szabásminták elemzése során tapasztaltunk. Egyrészt egyenletesen zsugorított szabásminták esetén a szerelési alakhoz tartozó metszeterők nemlineárisan függnek a zsugorítás mértékétől (tehát kétszer akkora zsugorításhoz nem kétszer akkora feszültségek tartoznak). A lineáris viselkedéstől való kismértékű eltérés abból ered, hogy a szerelési alakban a nyúlások eltérnek a szabásminta zsugorításánál alkalmazott értéktől, ezért a zsugorítás  $N$ -szeresére történő megváltoztatásával a háromszögelemek nyúlásai és metszeterői nem  $N$ -szeresükre változnak, így a szerelési alak is kismértékben változik. A lineáris viselkedéstől való eltérés a szerkezet alakjától és az anyagjellemzőktől függ.

A másik megfigyelt jelenség a szerelési alak, illetve a hozzá tartozó metszeterők pontatlansággal szembeni érzékenysége. Kezdetben minden adatot mm pontossággal adtunk meg, tekintettel arra, hogy az építőmérnöki gyakorlatban ennél

nagyobb pontosság nem várható el. Ilyen pontosság mellett azonban azt tapasztaltuk, hogy a futtatási eredmények alapján rajzolt zsugorítás-metszeterő, árboce-melés-metszeterő függvények 'fűrészfog' jellegűek voltak. Ezt az okozta, hogy például 1%-os zsugorítás esetén a peremgyűrűnél 10 cm-nél keskenyebb szabásmintacsíkok zsugorításának mértéke nem éri el az 1 mm-t, tehát a szabásmintacsík méretének és a peremgyűrű-pontok koordinátáinak 0,5 mm-es hibával megadott értékei nagyobb hibát vihetnek a számításba, mint amekkora a zsugorítás. A fix pontok és a szabásmintacsíkok koordinátáinak századmilliméter pontossággal történő megadása után a fenti függvények kisimultak (3–4. ábra). A gyakorlat szempontjából ennek az lehet a jelentősége, hogy a konfekcionálás (leszabás, hegesztés), illetve a peremek pontatlanságai nagymértékben befolyásolhatják a szerelési alakot, illetve a kialakuló metszeterőket.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben egy jellegzetes alakú feszített ponyvaszerkezet különböző módszerekkel előállított szabásmintáit vizsgáltuk. Röviden bemutatunk a szabásminták alapjául szolgáló elméleti alak meghatározására és a szabásminták elkészítésére szolgáló eljárásokat. Egy saját fejlesztésű programrendszer segítségével elemeztük az azonos peremekhez és különböző szabásmintákhoz tartozó szerkezetekben a metszeterők eloszlását. A bemutatott numerikus eredmények és számos további szerkezet elemzése alapján javaslatot tettünk a szabásminták készítése során alkalmazandó zsugorítás módjára, és felhívtuk a figyelmet a szabásminták elkészítésével kapcsolatos néhány jellegzetességre.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció az FKFP 0308/2000 számú kutatási projekt támogatásával jött létre.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Barnes, M. R.: Form-finding and analysis of prestressed nets and membrans. *Computers & Structures* 1988. 30 (3). 685–695.
- [2] Galaskó Gy., Gáspár Zs., Nouri-Baranger, T., Leon, J. C., Trompette, P., Veron, P.: Comparison of tent structures calculation in Hungary and France. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* 1995–96. 107 (1–2). 27–36.
- [3] Galaskó Gy., Trompette, P.: Calculation of cutting patterns using triangles. In: *Euromech 334. Textile Composites and Textile Structures*. Lyon 1995. 327–337.

- [4] Galaskó Gy.: *Ponyvaszerkezetek tervezésének néhány kérdése*, Ph.D. dolgozat, 1997. 23.
- [5] Hincz K., Gáspár Zs.: *Ponyvaszerkezetek szerelési alakjának meghatározása. Építés-Építészettudomány* 1998. XXVII (1–2). 41–67.
- [6] Hincz K., Gáspár Zs.: The effect of the approximations used during generation of membrane cutting pattern. *Archives of Civil Engineering* 1999. XLV (2). 221–230.
- [7] Hincz K.: Determination of the cutting patterns of prestressed tent structures. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas* 2000. 47. 45–49.
- [8] Pálfalvi D., Hegedűs I.: On the statical problems for determination of the shape of prestressed tents. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.* 1998. 42 (2). 163–169.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MEMBRANE CUTTING PATTERNS

### *Summary*

Cutting patterns of a simple form of a tent, so called ‘Chinese hat’, were analyzed in the paper. Stress distributions in prestressed membrane structures, according to cutting patterns prepared by the help of various numerical methods, were compared. A recently developed computer program, based on the dynamic relaxation method was used for the numerical analysis.

The close connection between the shrinking of the cutting pattern and the stressing process of the tent was shown. Shrinking of the cutting pattern means that the stress free size of the tent is smaller than the boundaries of the theoretical shape, the tent structure achieves its shape and prestress during stressing on the original edges. The shrinking can be uniform or proportional to the stresses in the theoretical shape. The cutting pattern prepared without shrinking, produces tent surface that fits to the original boundaries without any strain and stress. To get prestress in the structure, the boundary conditions have to be changed.

Cutting patterns prepared by the help of different methods and based on various models, without shrinking and with different shrinking, were analyzed. After the short demonstration of the different methods, the stresses in warp and weft directions were compared in the different construction shapes.

**Keywords:** membrane structures, cutting patterns, effect of shrinking