

Struktur Bentang Lebar

Sistem Struktur Bentuk Aktif
(*Form Active Structural System*):

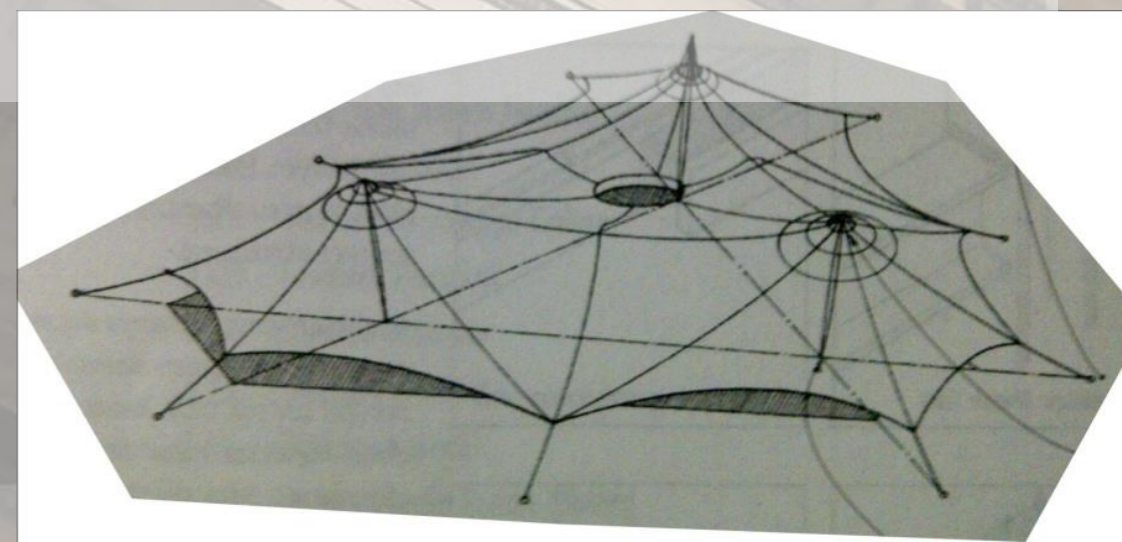
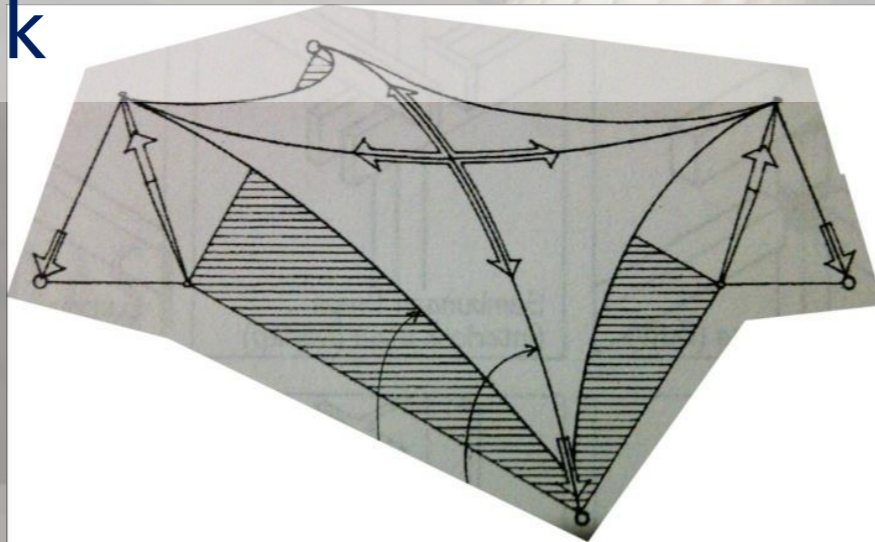
Struktur Tenda (*Tent Structure*)

M. AGUNG WAHYUDI, ST.MT.

PRODI ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK & INFORMATIKA
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG

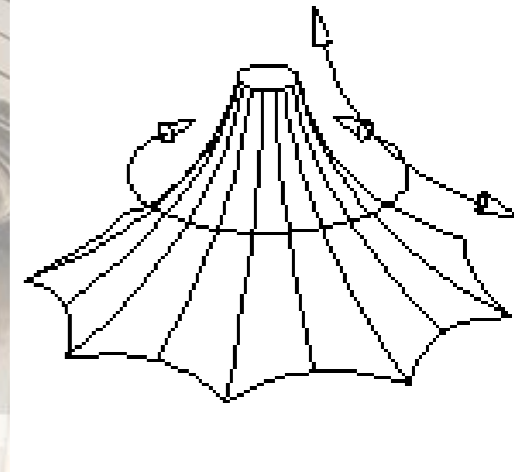
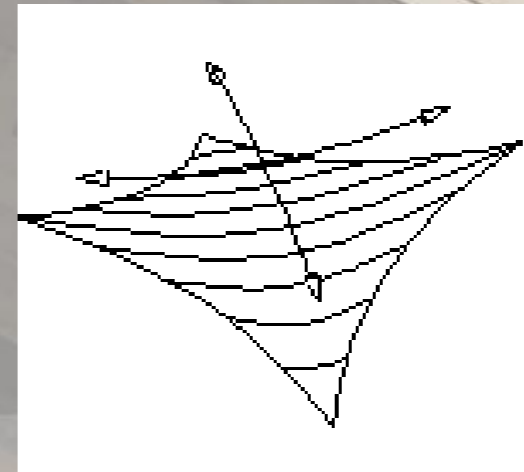
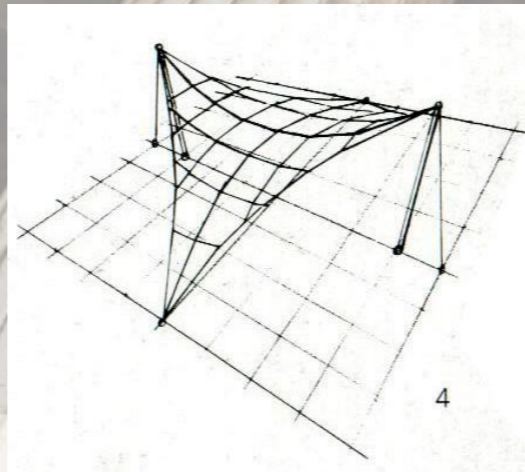
PENGERTIAN

- Struktur tenda adalah struktur membran yang bekerja dengan memberikan gaya eksternal yang menarik membran. (Schodek, 1998)
- "Struktur tenda adalah membran yang ditegangkan oleh gaya eksternal agar dapat berdiri kokoh di bawah semua kondisi beban yang mungkin terjadi. Untuk menghindari kekuatan tarik yang sangat tinggi, sebuah struktur tenda harus memiliki lengkungan-lengkungan yang relatif tajam dalam arah yang berlawanan" – *Ching, The Visual Dictionary of Architecture*.
- Struktur **membran** merupakan struktur *funicular* yang memanfaatkan gaya tarik murni sehingga disebut dengan '*tensile structure*'. Membran adalah suatu struktur permukaan fleksibel tipis yang memikul beban terutama melalui poses tegangan tarik



PENGERTIAN

- Karena sifatnya sangat elastis, tenda perlu ditunjang oleh tiang atau jaringan kabel sebagai pengaku, agar menjadi lebih kaku dan memiliki bentuk.
- Salah satu cara untuk memberikan prategang pada membran adalah dengan memberikan gaya *jacking* yang cukup untuk tetap menegangkan membran pada berbagai kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Gaya *jacking* berasal dari kata '*jack*' yang berarti dongkrak.
- Prinsip kerja dari struktur membran prategang ini adalah mempertahankan semua permukaan membran mengalami tarik dalam semua kondisi pembebanan



SEJARAH STRUKTUR TENDA

Vladimir Shukhov adalah insiyur Rusia yang pertama kali mengembangkan struktur membran & sistem tarik. Pada tahun 1896 ia merancang 8 struktur tenda untuk pameran di Nizhny Novgorod dengan area seluas 27.000 m².

Konsep ini dikembangkan oleh seorang insinyur Jerman *Free Otto* yang untuk pertama kalinya membangun "**German Pavilion at Expo 67**" di Montreal.

Pada tahun 1972 Otto menggunakan struktur tenda (atap membran) untuk atap **stadium Olimpiade di Munich**.

Sejak saat itu struktur tenda mendapat promosi dari para insinyur maupun arsitek seperti *Buro Happold* yang mengerjakan struktur dari **Millennium Dome**, dan *Horst Berger* yang mengerjakan King Abdul Aziz International Airport, Jeddah.

PRINSIP DASAR STRUKTUR TENDA

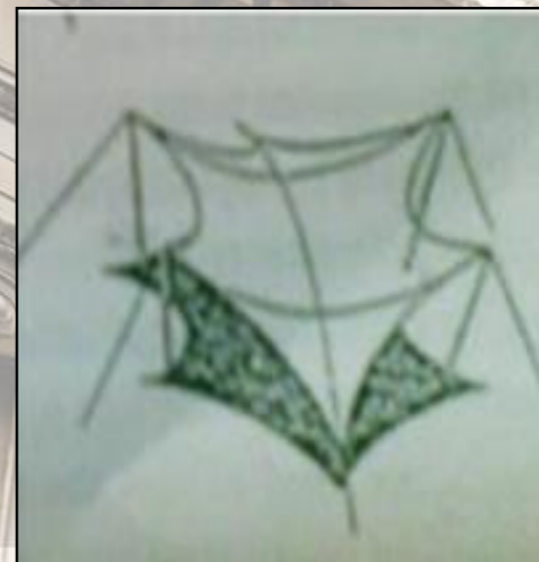
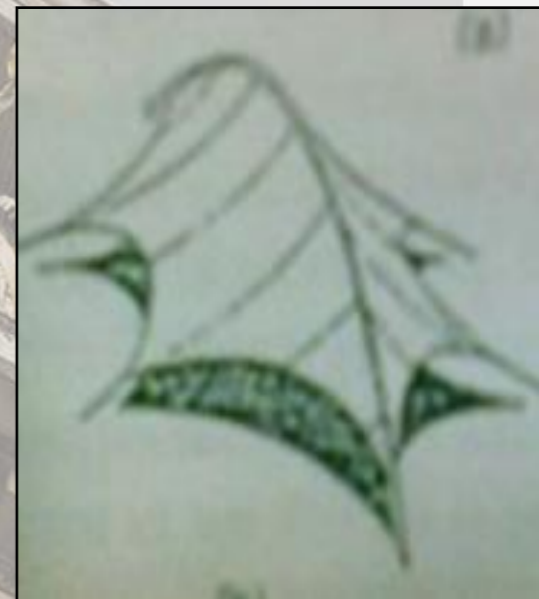
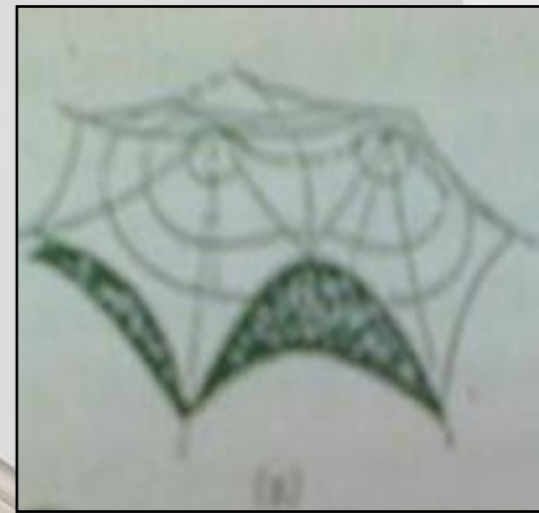
- Untuk menstabilkan membran dapat digunakan rangka penumpu dalam yang kaku ataupun pra-tegang pada permukaan membran.
- Mekanisme pikul beban utama pada struktur membran adalah tegangan tarik, yang dibantu oleh gaya tegangan geser tangensial.
- Sedapat mungkin menghindari bentuk permukaan datar yang membutuhkan prategang besar.
- Prategang diberikan pada permukaan membran, berupa gaya eksternal yang menarik membran. Biasanya, diberikan dalam arah tegak lurus di seluruh permukaan membrane
- Tegangan tarik yang bekerja pada permukaan harus mampu dipertahankan/tetap dan tidak boleh menyebabkan tegangan membran melebihi kapasitas material yang digunakan.

TIPE STRUKTUR TENDA

- Untuk menstabilkan membran dapat digunakan rangka penumpu dalam yang kaku ataupun pra-tegang pada permukaan membran.
- Mekanisme pikul beban utama pada struktur membran adalah tegangan tarik, yang dibantu oleh gaya tegangan geser tangensial.
- Sedapat mungkin menghindari bentuk permukaan datar yang membutuhkan prategang besar.
- Prategang diberikan pada permukaan membran, berupa gaya eksternal yang menarik membran. Biasanya, diberikan dalam arah tegak lurus di seluruh permukaan membrane
- Tegangan tarik yang bekerja pada permukaan harus mampu dipertahankan/tetap dan tidak boleh menyebabkan tegangan membran melebihi kapasitas material yang digunakan.

JENIS-JENIS STRUKTUR TENDA

- 1. Internal Masts.** tiang terdapat didalam membran, dimana tiang menompang membran.
- 2. Internal Arch.** tidak menggunakan tiang, tetapi menggunakan **struktur lengkung** untuk menompang membran.
- 3. External Masts.** Menggunakan tiang tetapi untuk ditopang pada tengah membran namun di ujung tepinya.



SISTEM PEMBEBANAN STRUKTUR TENDA/MEMBRAN

**KELENGKUNGAN/
BENTUK PERMUKAAN**

**SISTEM
PEMBEBANAN**

**KONDISI/
TIPE TUMPUAN**

**TUMPUAN
TITIK**

**TUMPUAN
DINDING**

Struktur tenda

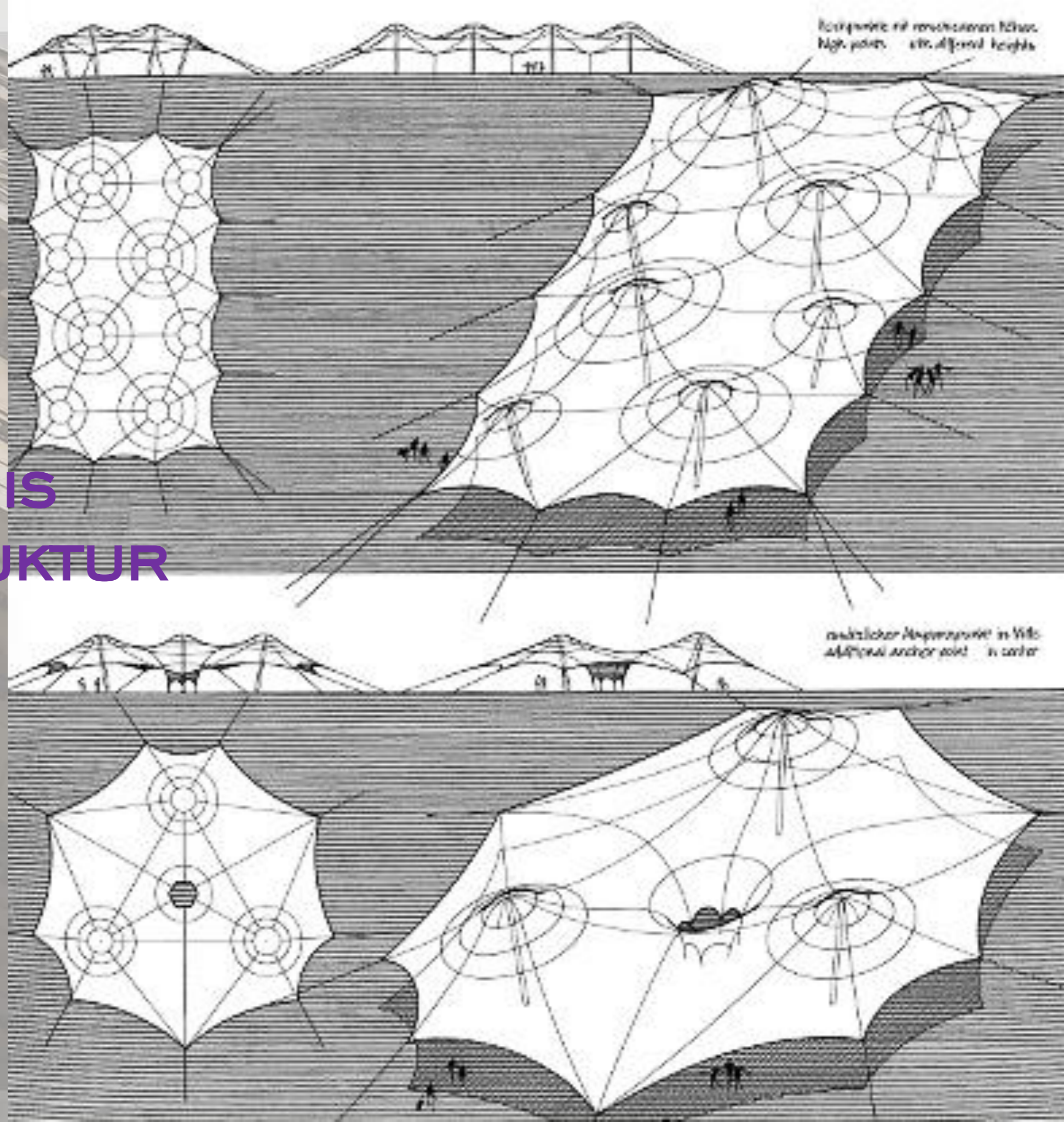


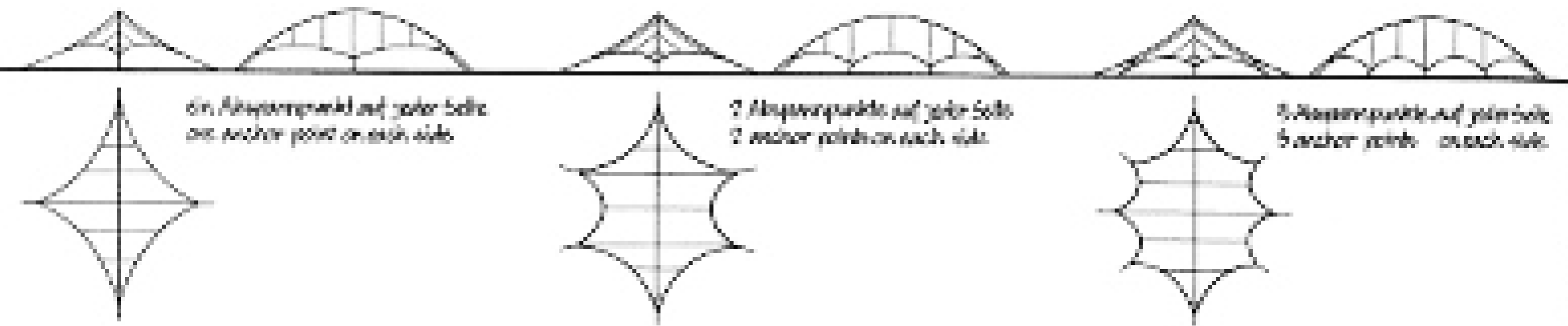
KOMPONEN UTAMA STRUKTUR TENDA

Ada 3 macam komponene utama dalam struktur tenda yaitu:

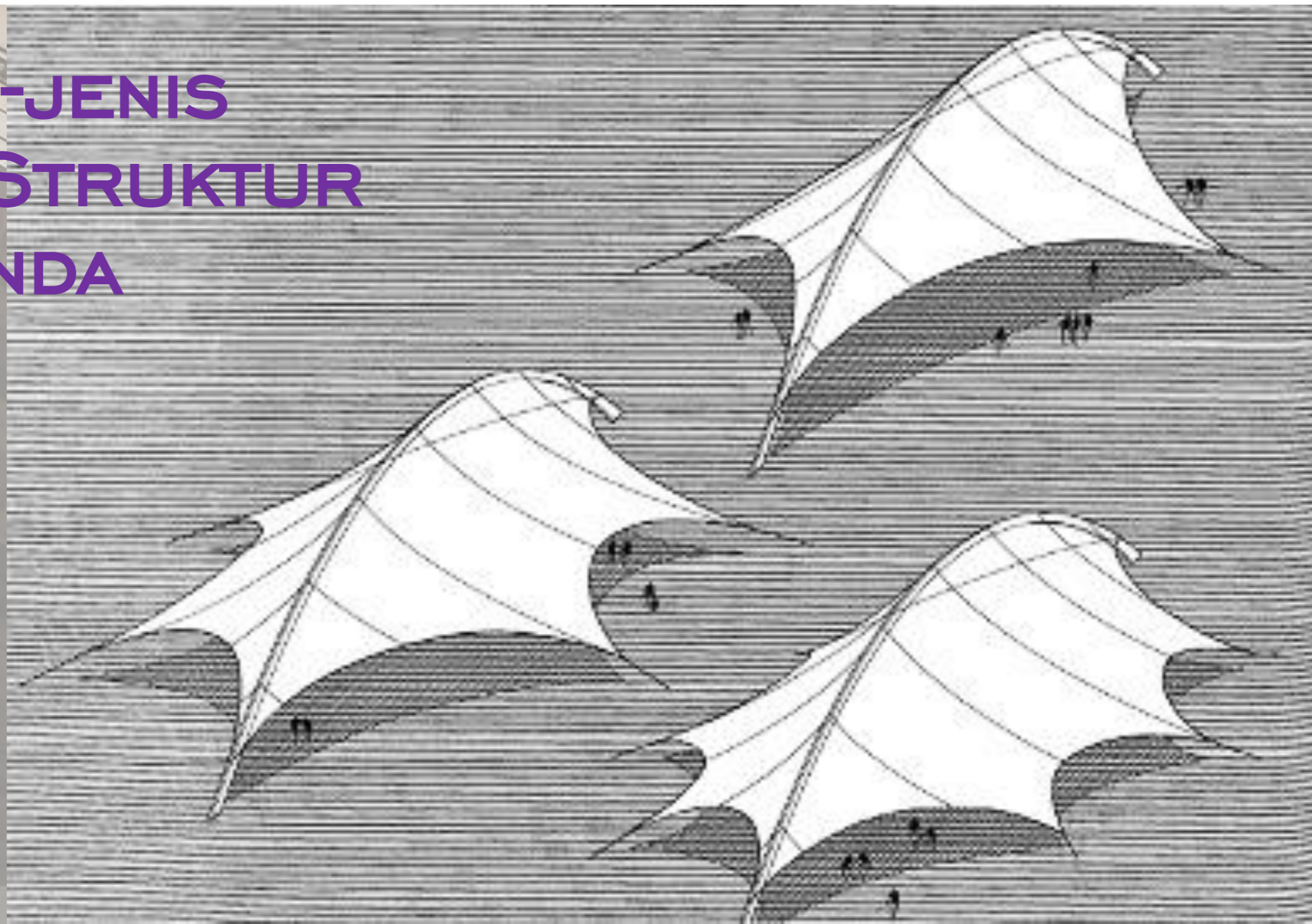
1. **Membran luar** : bahan utama tenda yang melindungi interior dari kondisi luar & meneruskan beban ke kerangka
2. **Bingkai (*frame*)** : tempat membran luar yang tipis melekat. Bisa berupa **tiang memanjang kaku** yang meneruskan beban mirip kolom atau **batang fleksibel** yang meneruskan beban seperti lengkungan.
3. **Angkur (*anchorage*)**: terdiri dari tab pd membran yang ada kaitnya & dihubungkan dengan sangkutan yang ditanam ke dalam tanah.

JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA

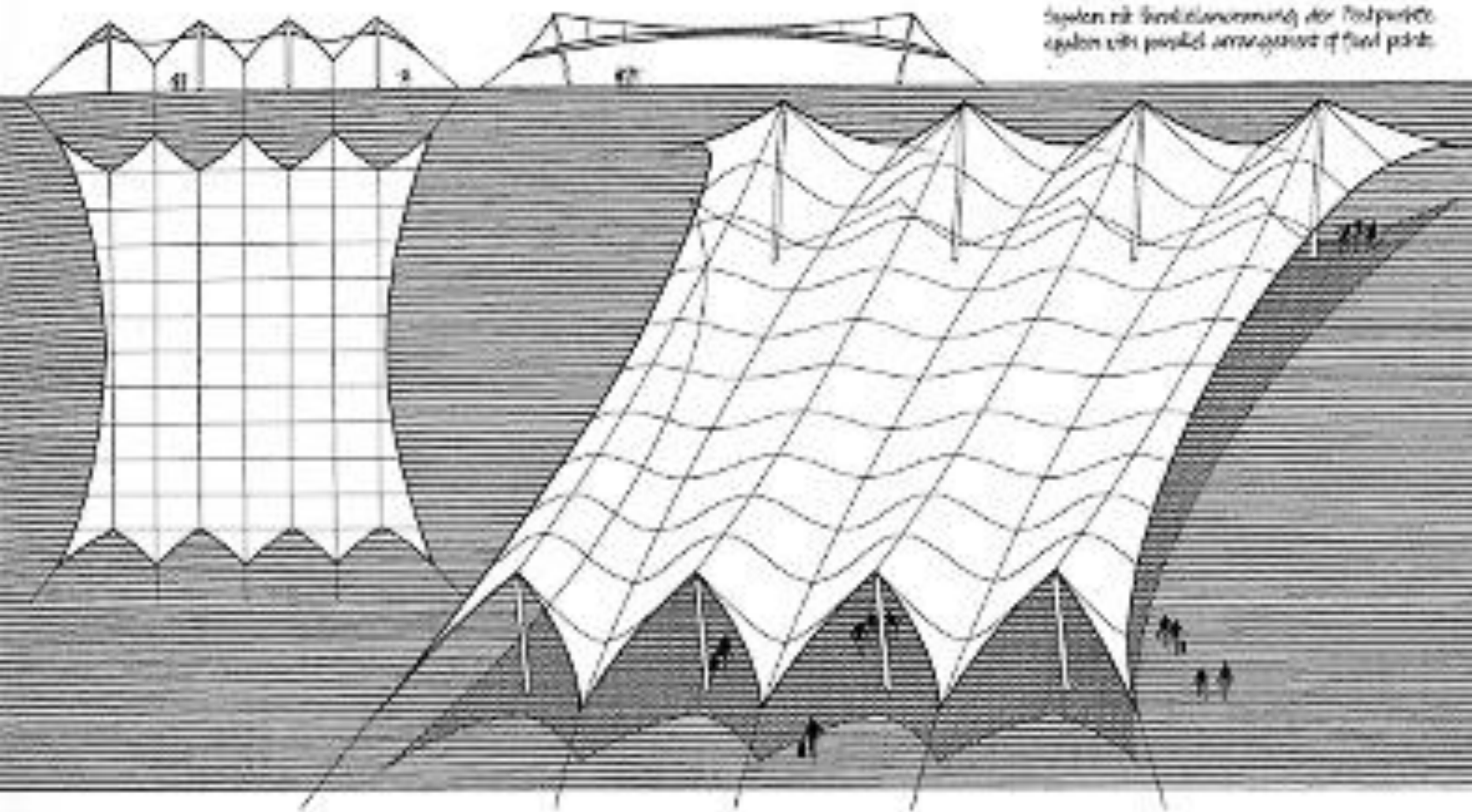




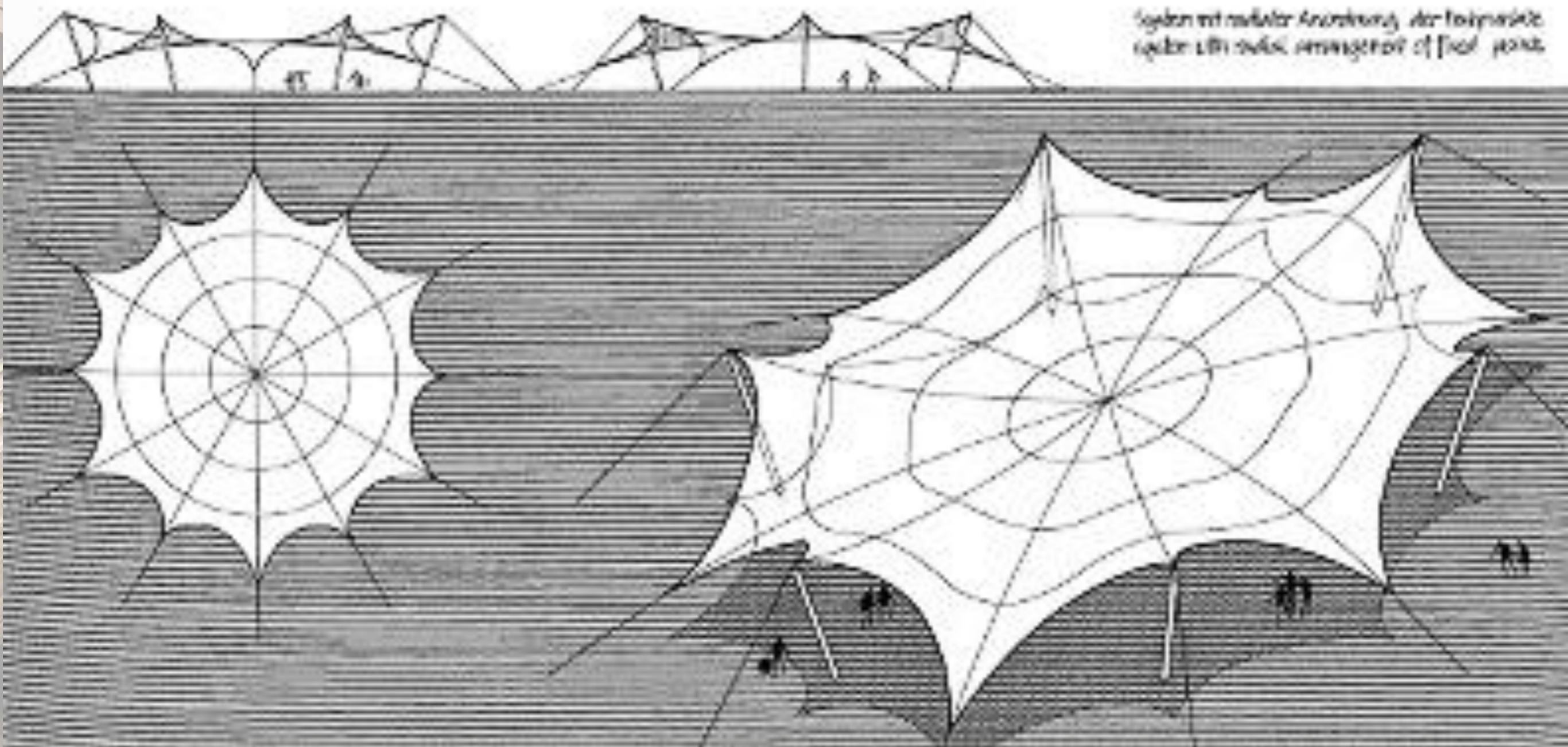
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA

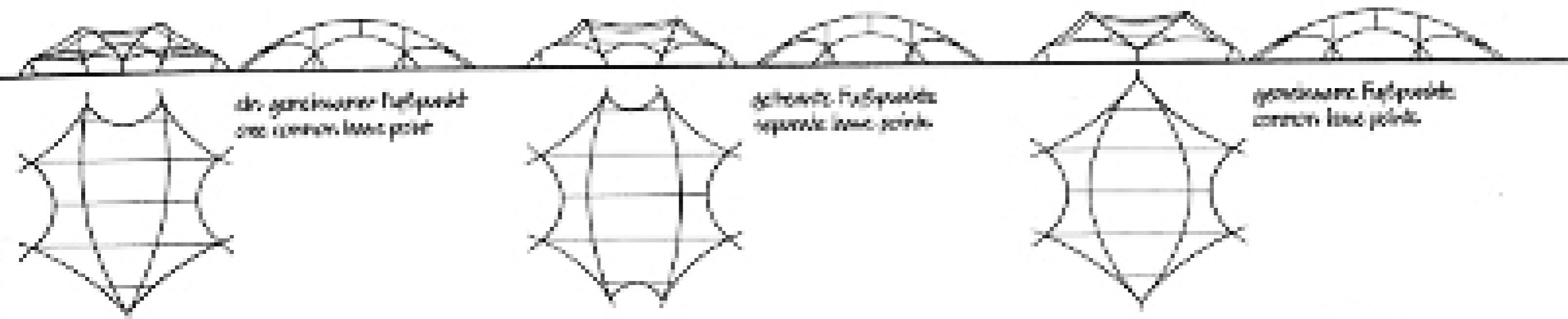


JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA

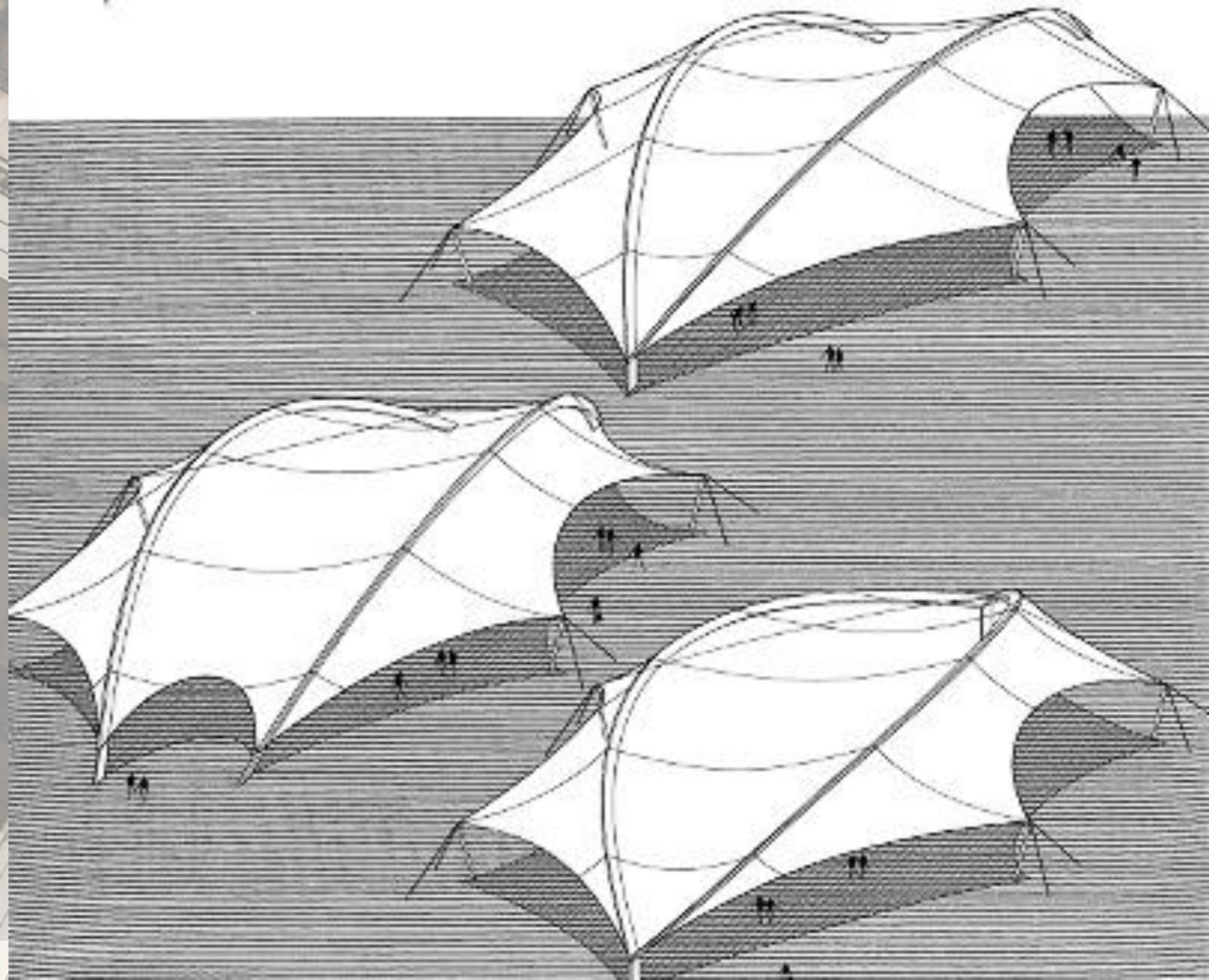


JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA





JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA

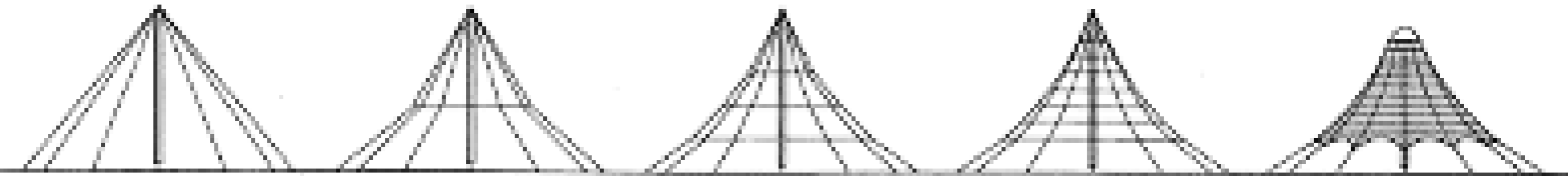
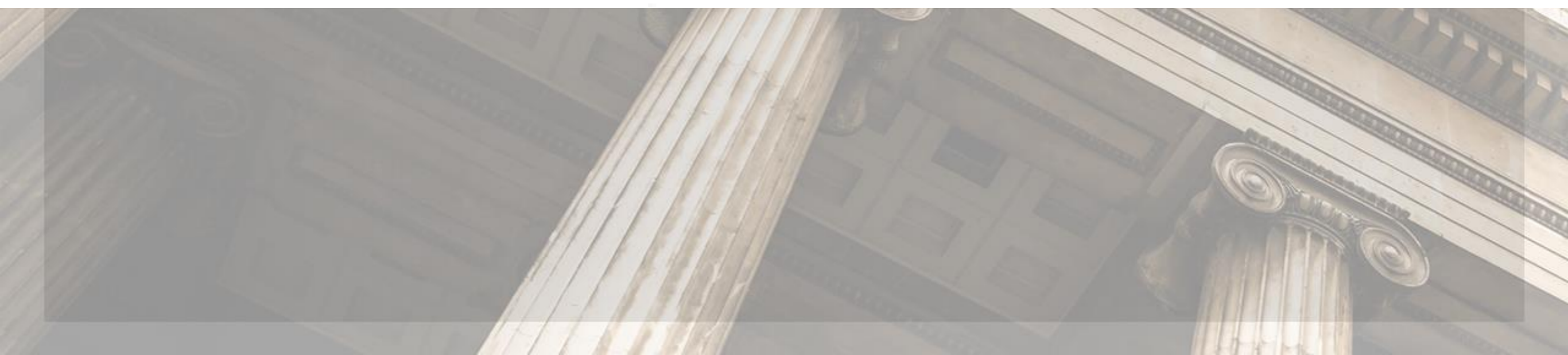


Abbildung der Deckfläche vom kegelförmigen Gerüst

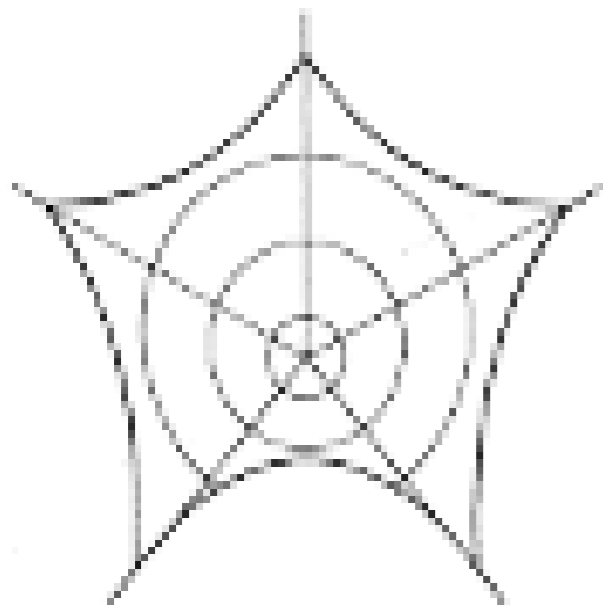
Durch Einordnung mit horizontalen Ringen, wird Widerstandsfähigkeit gegen asymmetrische Lasten erhöht. Verstärkung der Kragende und Verstärkung führt zur Abminderung. Wegen Konzentration der Kräfte in Hochpunkt muß Fläche des Hochpunktes vergrößert werden. Es entsteht die Deckfläche.

Derivation of hemispherical surface from cone-shaped cable net

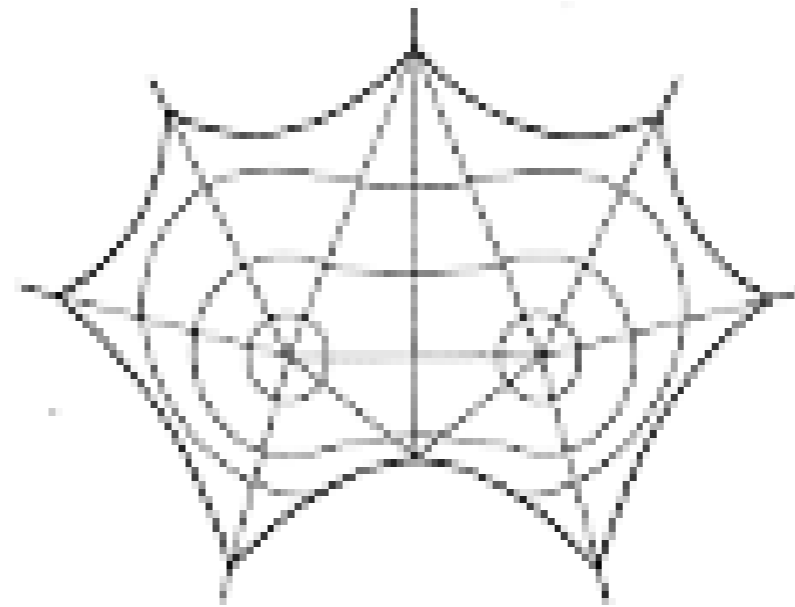
through introduction with horizontal ring cables resistance against asymmetrical loads is increased. reinforcement of circular and rotational cables leads to the last members. because of concentration of forces in the high point the top must be flattened for enlargement of surface. the form becomes hemispherical



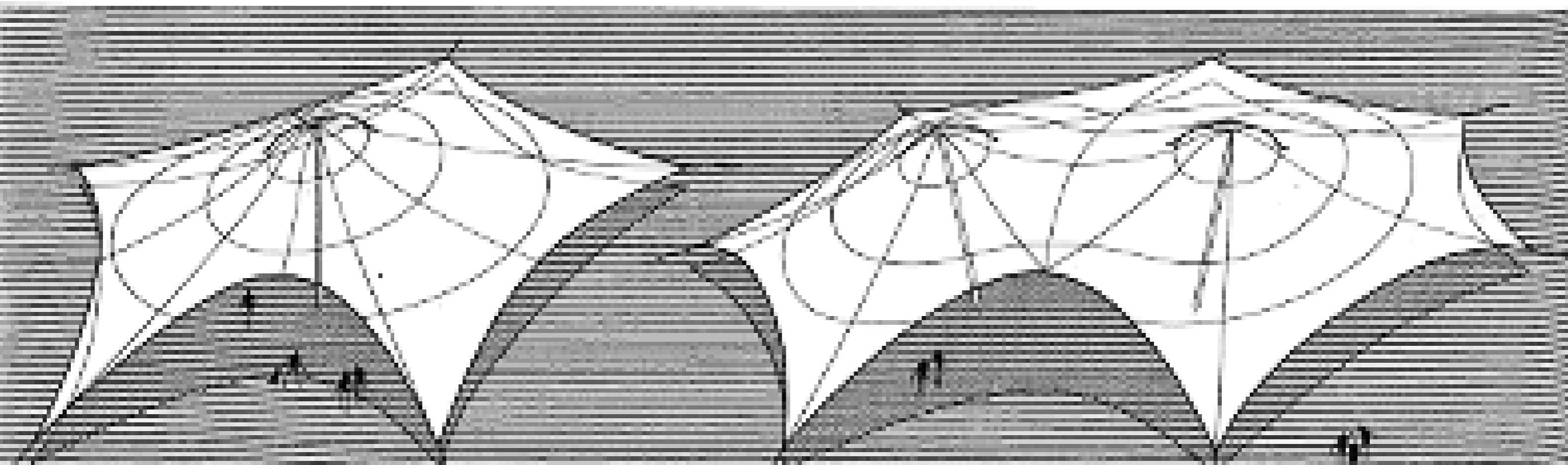
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



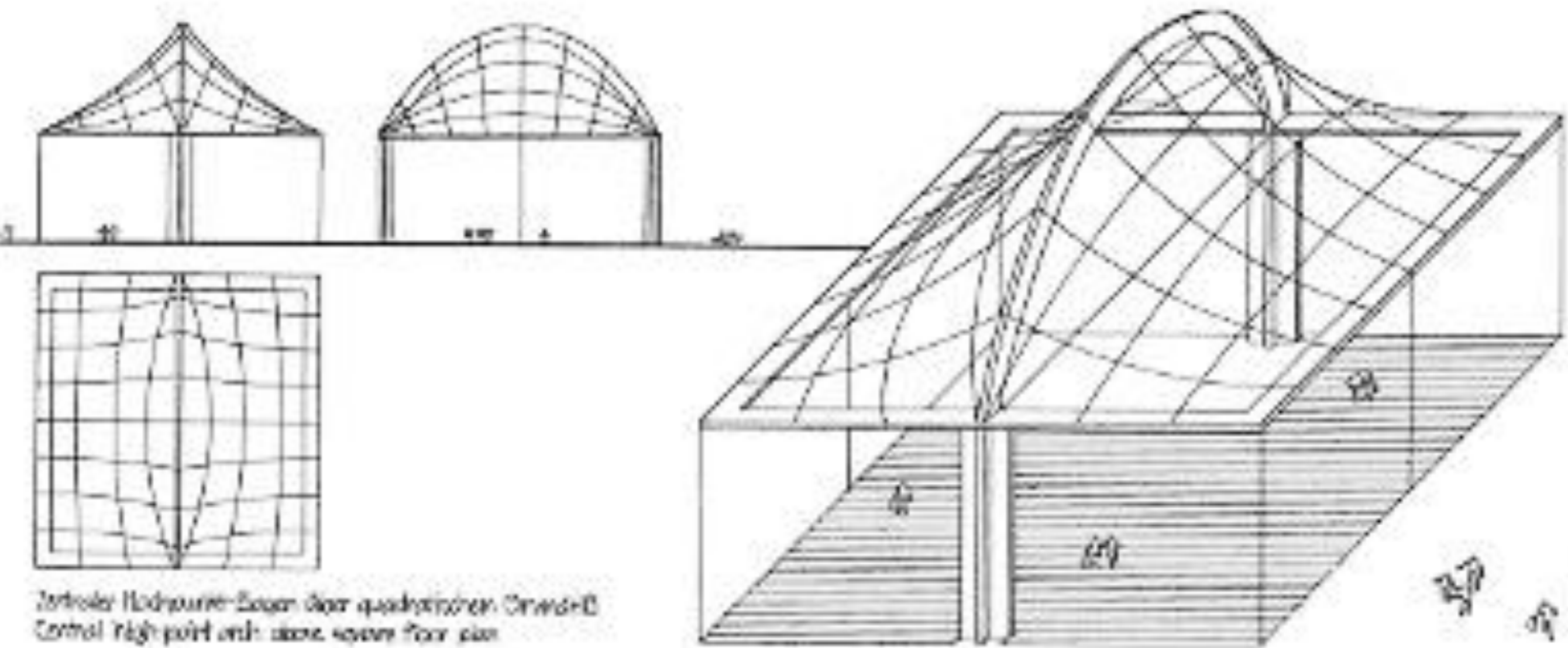
System mit einem Hochpunkt
system with one high point



System mit zwei Hochpunkten
system with two high points



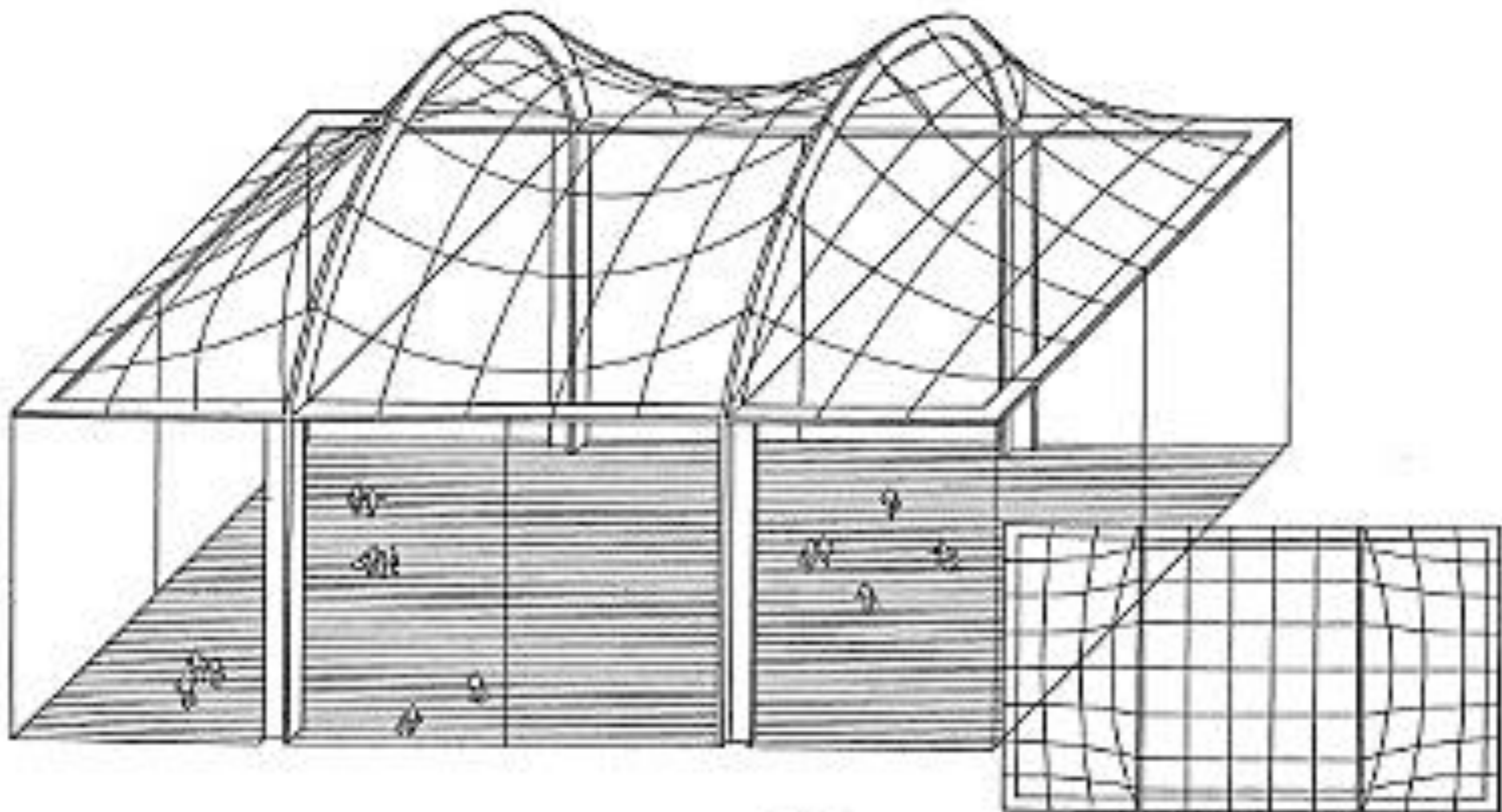
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



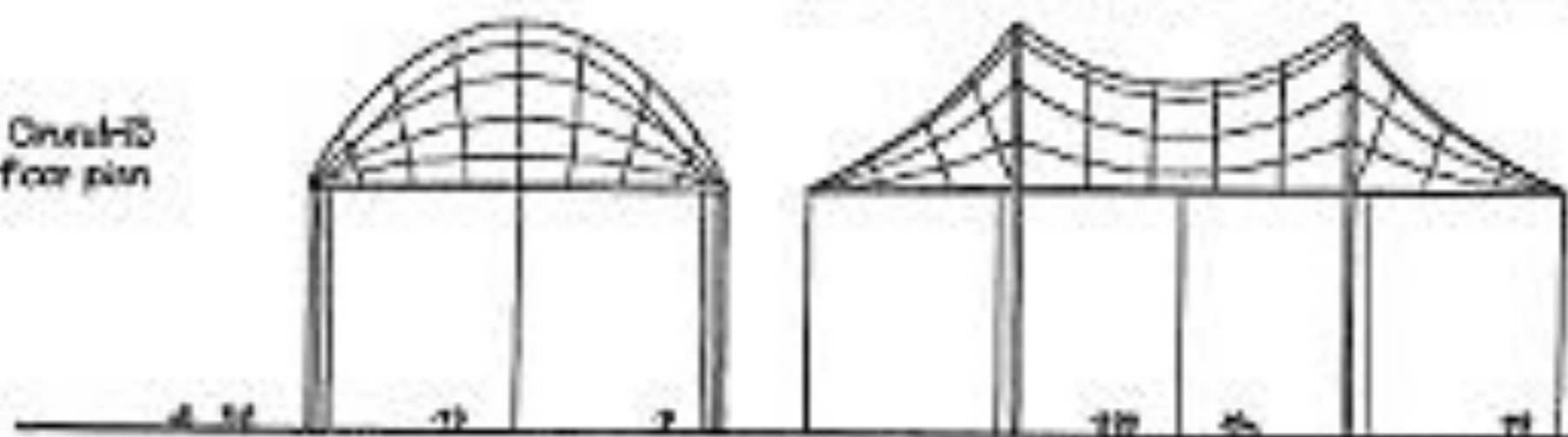
Zentraler Hochpunkt-Zacken über quadratischem Grundriss
Central high point arch above square floor plan

Zelttypen zur Überdachung von geraden Maschinen
Innenleben als Hochpunkt-Konstruktion

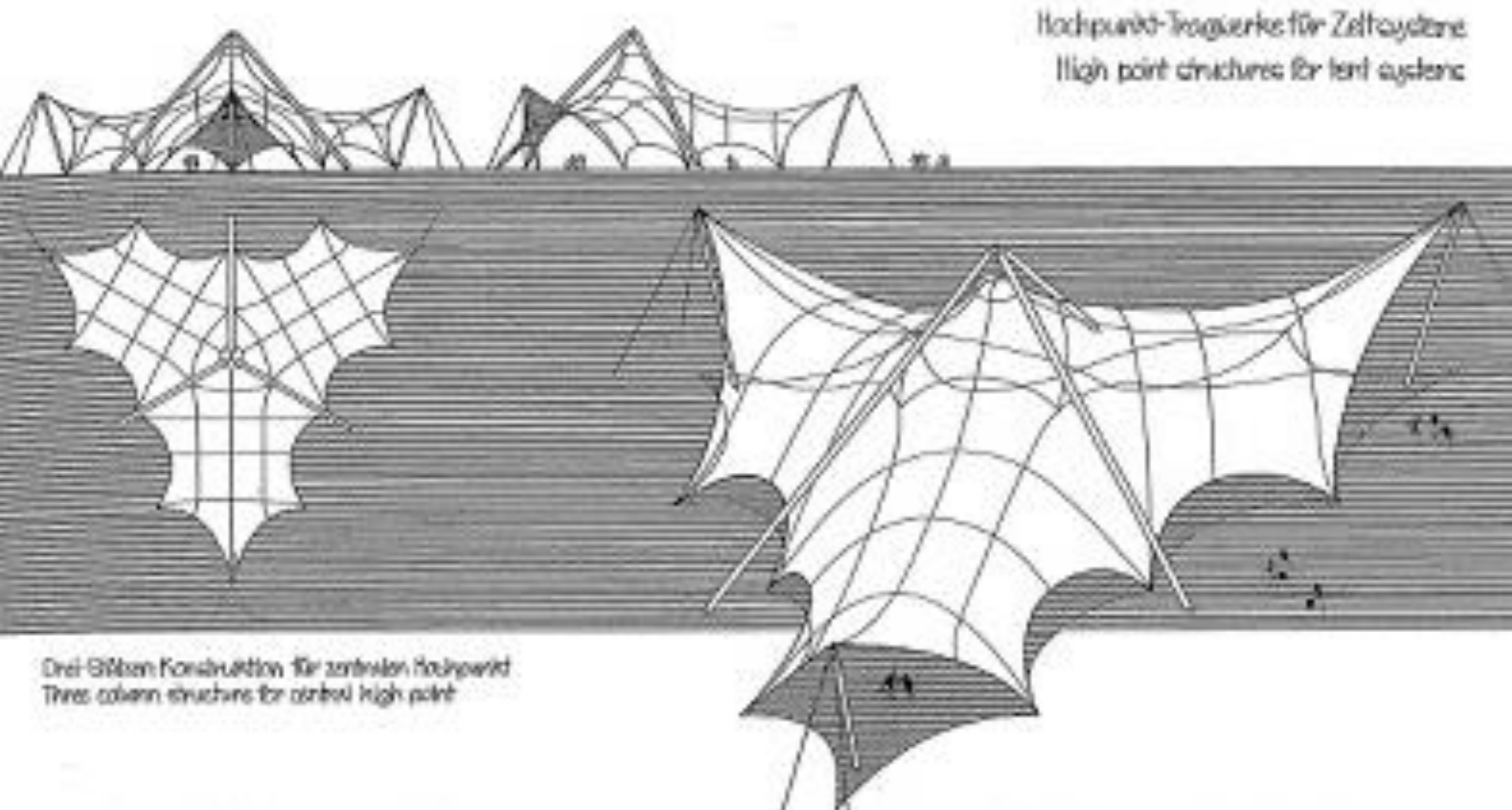
Tent systems for spanning rectilinear solid substructures
interior arches as high point constructions



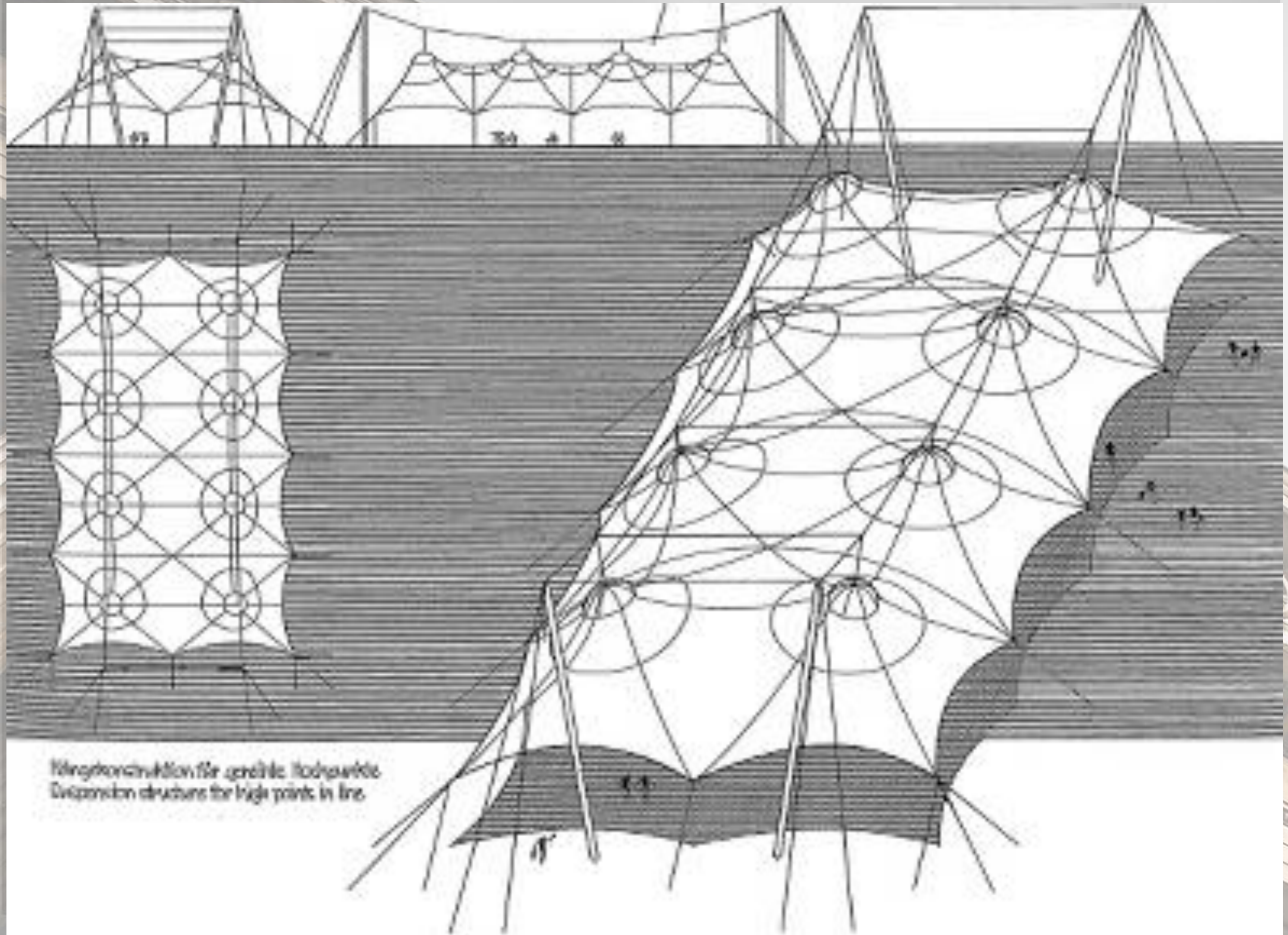
Parallel High-point Arches above rectangular Ground-
 Parallel High-point arches above rectangular floor plan



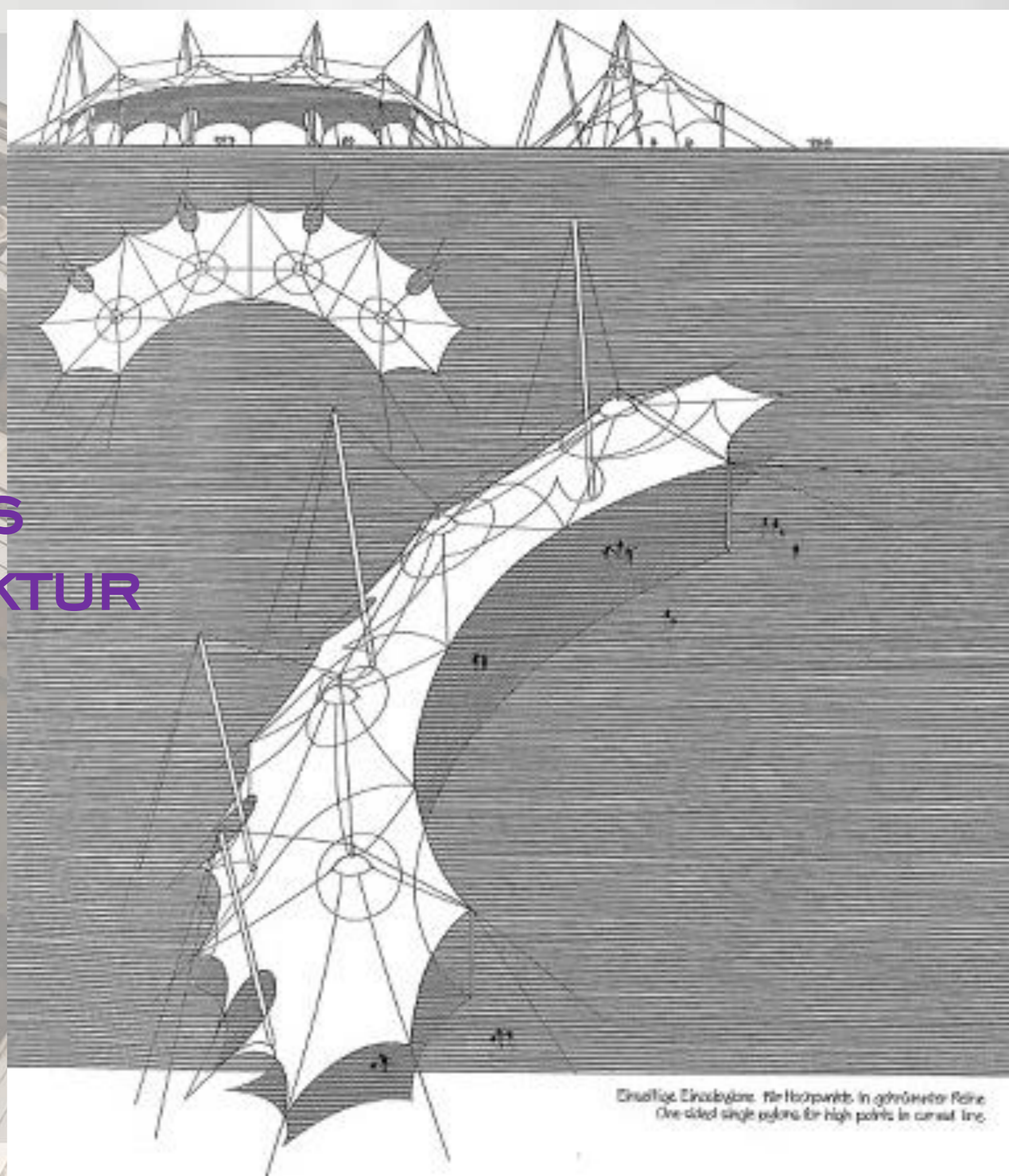
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



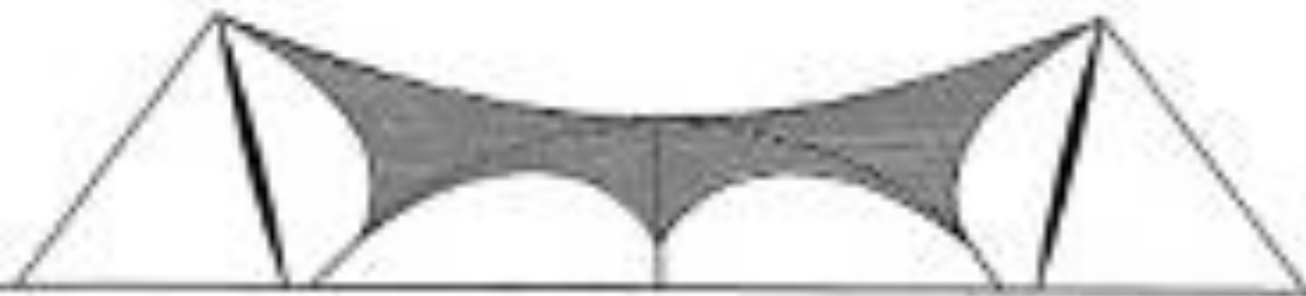
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



Direkte Konstruktionssysteme für Hochpunkte
direct construction systems for high points

Außenstützen für periphere angeordnete
Hochpunkte / exterior supports for high points
arranged peripherally



Innenstützen für axial (linear) angeordnete
Hochpunkte / interior arch for high points
arranged axially

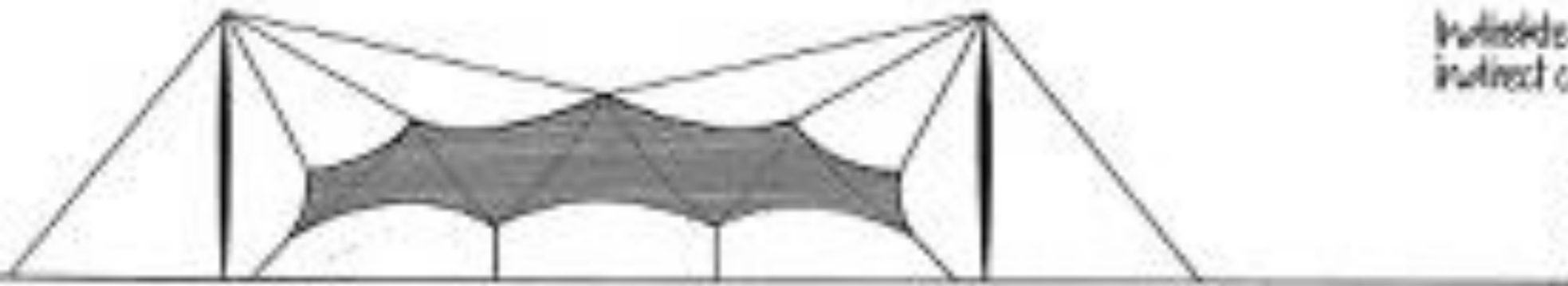


Innenstützen für mittig angeordnete Hoch-
punkte / interior supports for high points
arranged centrally



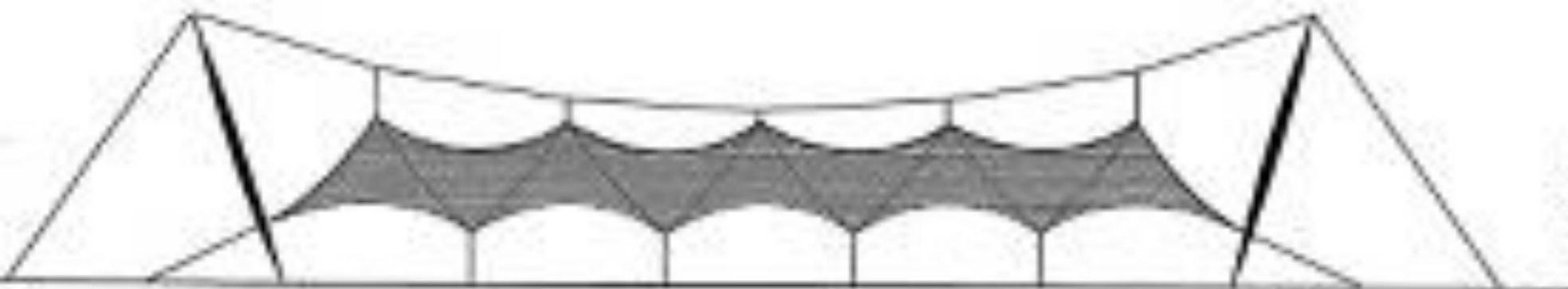
Außenstützen für mittig angeordnete Hoch-
punkte / exterior supports for high points
arranged centrally

JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA

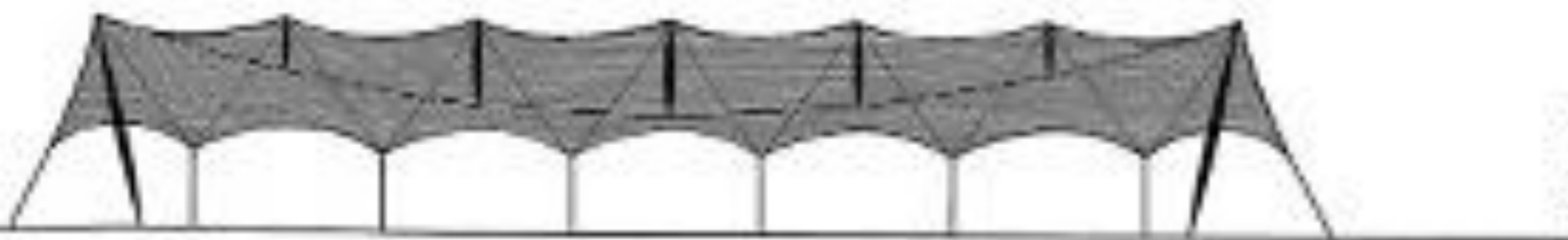


Indirekte Konstruktionsysteme für Hochpunkte
indirect construction systems for high points

Aufbauweise mit Anspannung für mittig angeordnete Hochpunkte / exterior supports with hanger cables for high points arranged centrally



Aufbauweise mit Trussell für Abhängungen mittig angeordneten Hochpunkten / exterior supports with load cable for suspension of high points arranged centrally

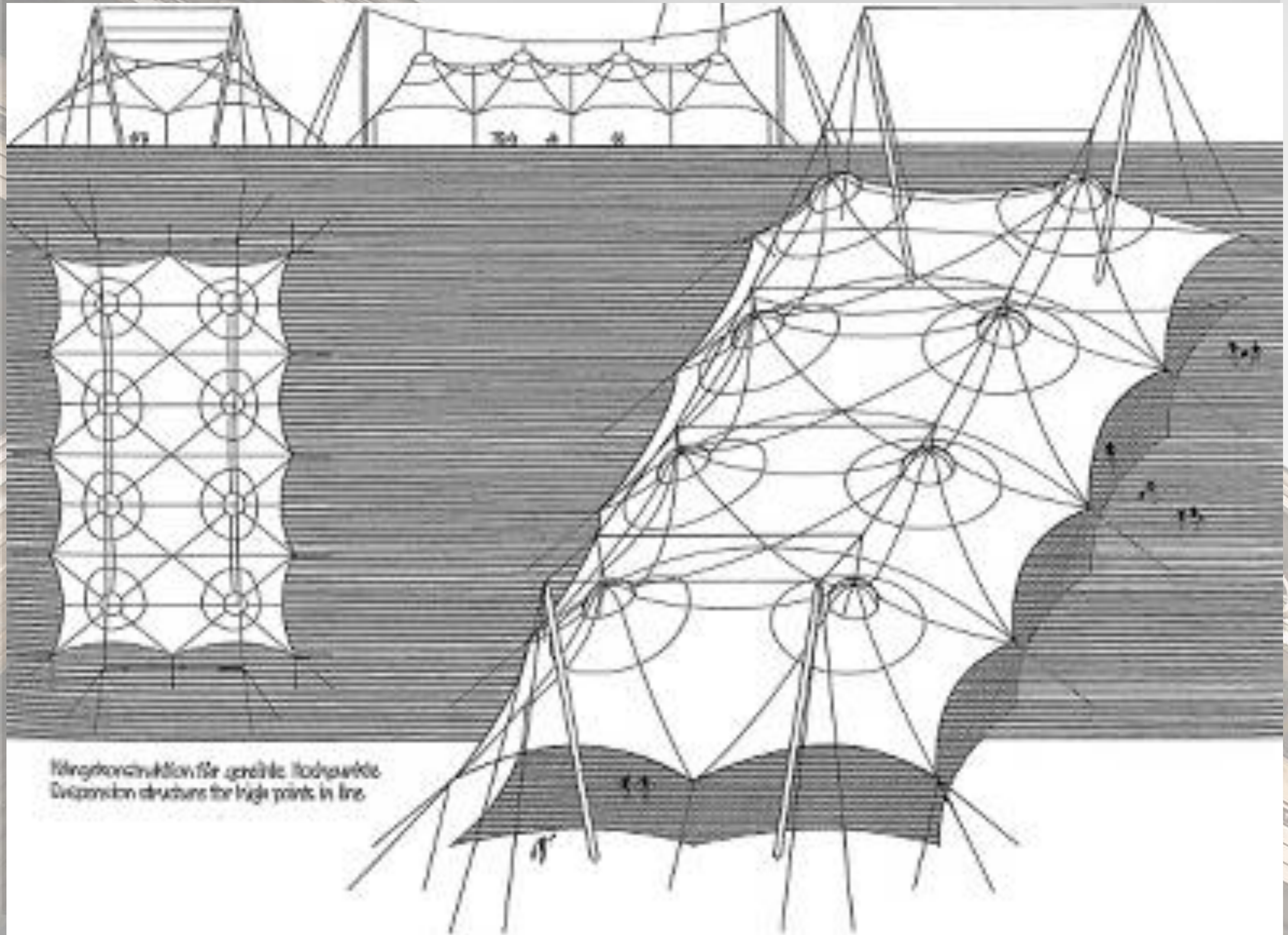


Innenstützen mit Trussell für Überstützungen mittig angeordneten Hochpunkten / interior supports with load cable for support of high points arranged centrally

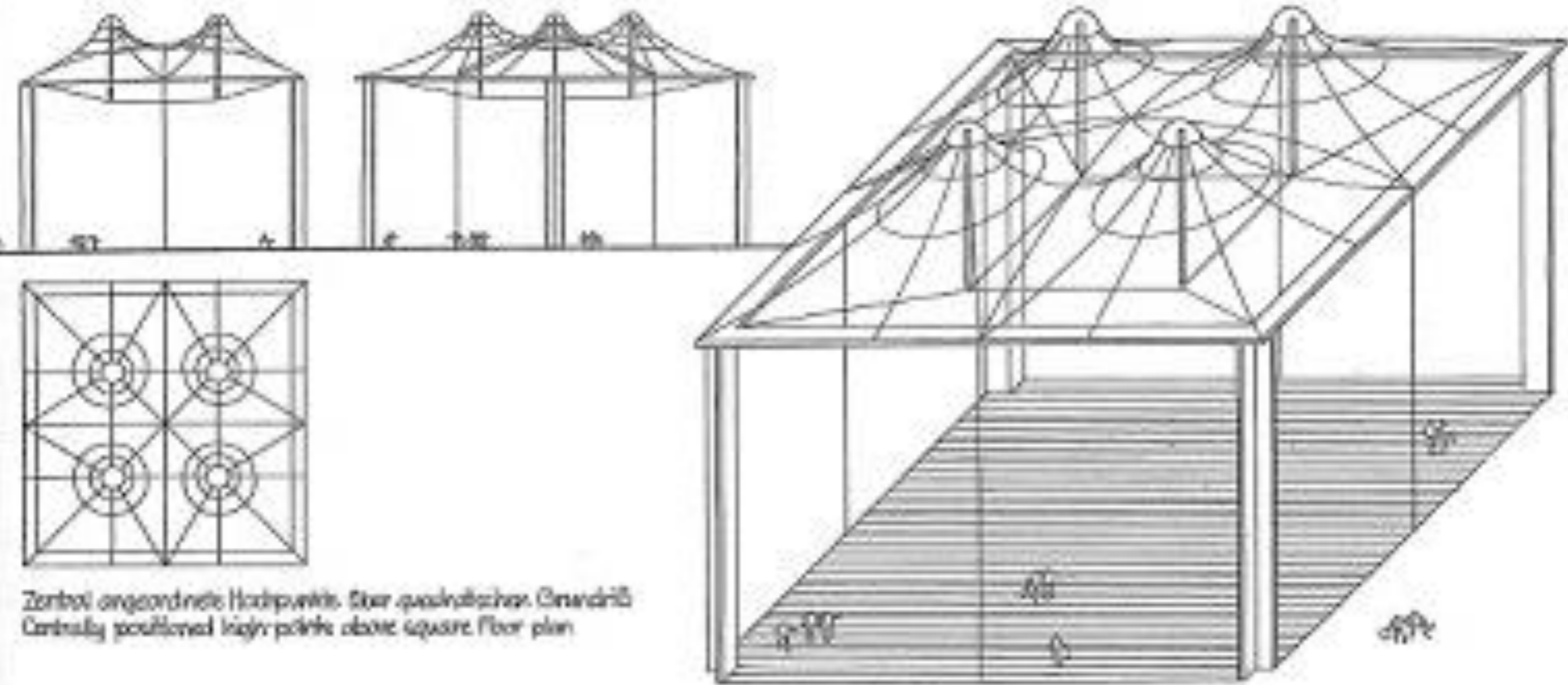


Aufbauweise für periphere Hochpunkte mit Anspannung für zusätzlichen mittig angeordneten Hochpunkt / exterior supports for peripheral high points with hanger cable for additional high point arranged centrally

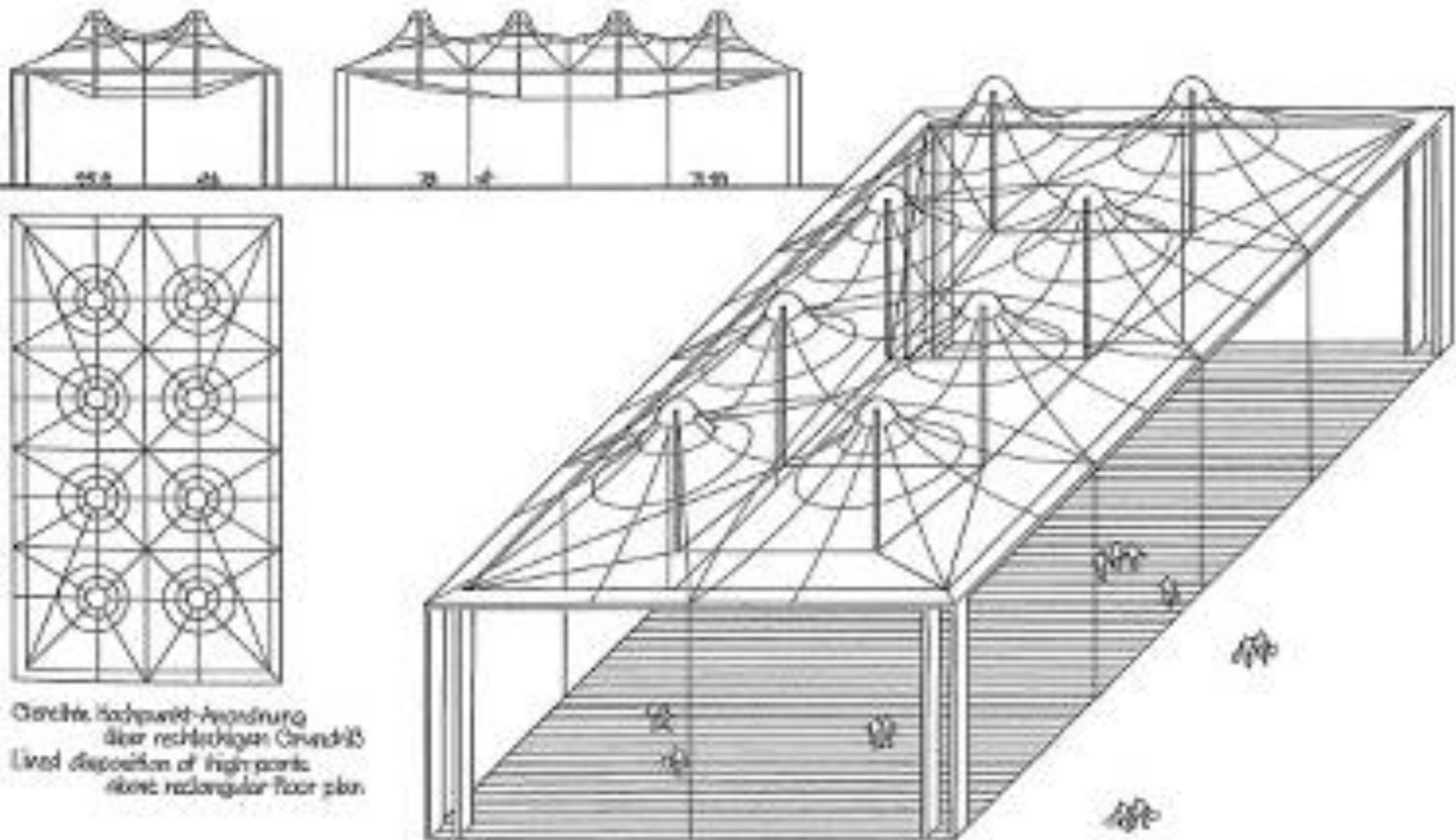
JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS BENTUK STRUKTUR TENDA



JENIS-JENIS MATERIAL TENDA

Dalam konstruksi modern, struktur membran dibangun dari material-material sintetis yang tipis dan ringan yang diberi kekuatan 'prategang' (*prestressed*) sehingga meningkatkan kekuatan tarik, kekakuan, kestabilan struktur serta mempertahankan bentuknya.

Terdapat 3 jenis material yang sering digunakan dalam penerapan struktur membran pada bangunan bentang lebar, yaitu :

1. PVC (Poly Vinyl Chloride)
2. PTFE (Poly Tetra Fluoride Ethylene)
3. ETFE (Ethylene Tetra Fluoride Ethylene)

JENIS-JENIS MATERIAL TENDA

1. **PVC (*Poly Vinyl Chloride*)** merupakan bahan dari serat polyester yang sangat tinggi yang melindungi kedua lapisan membran PVC terutama dari sinar matahari sehingga daya gunanya bisa lebih lama. PVC ini biasa dilapisi semacam *Polyvinylidene* (PVDF). PVC mampu bertahan selama 20 tahun, transparansi bahan membran bagian dalam dapat mencapai lebih dari 50%.
2. **PTFE (*Poly Tetra Fluoride Ethylene*)** adalah Kain fiberglass yang dilapisi dengan *politetrafluoroetilena* (PTFE). Merupakan Fabric Arsitektur paling tahan lama yang tersedia saat ini. Punya kemampuan bertahan hingga 30 tahun & memiliki Transparansi bahan yaitu 10% -22%.

JENIS-JENIS MATERIAL TENDA

3. **ETFE (*Ethylene Tetra Fluoride Ethylene*)** Bahan membran ETFE tidak memiliki inti kain dan hanya terdiri dari film ETFE. Materi yang tergandung dalam ETFE ini memiliki bahan kimia yang baik sehingga tidak diperlukan perlindungan yang khusus untuk permukaannya. ETFE mampu bertahan antara 20-30 tahun & memiliki transparansi sekitar 95%.

PROSES KONSTRUKSI

Di bawah ini adalah proses konstruksi struktur tenda menurut spesifikasi struktur tenda yang dikeluarkan oleh Eide Industries, Inc.

1.Pre-fabrikasi Membran

Hal yang pertama dilakukan sebelum konstruksi adalah proses pembuatan membran. Membran dibuat dalam pabrik membran yang terstandarisasi. Pertama-tama, pada lembaran membran dicetak pola-pola yang diinginkan menggunakan *Plotter CNC (Computer Numerical Controller) Plotter*. *Plotter CNC* ini adalah *plotter* yang dapat terhubung dengan CAD Program sehingga cetakan dapat disesuaikan dengan desain. (Wikipedia, 2011)

PROSES KONSTRUKSI

2. Konstruksi

Proses konstruksi struktur tenda terdiri dari:

- a. persiapan lahan,
- b. pemancangan pondasi dan struktur pendukung,
- c. penyusunan,
- d. pemasangan
- e. penarikan,
- f. pengujian,
- g. pengevaluasian.

Persiapan lahan dilakukan untuk membersihkan lahan yang akan dibangun sebelum dilakukan konstruksi. Dan terakhir, dilakukan pengujian, pengevaluasian dan pelaporan mengenai proses konstruksi yang telah dilakukan.

KELEBIHAN STRUKTUR TENDA

- A. Struktur ini bisa digunakan untuk membuat bentukan-bentukan mulai dari yang sederhana sampai yang kompleks
- B. Tahan terhadap temperatur ekstrim
- C. Bentuk konstruksi yang menarik
- D. Sifat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan tertentu -tidak mudah terbakar, tahan terhadap sinar UV, buram untuk transparan, membersihkan diri, dll
- E. Hal ini dapat mencakup rentang lebih dari 15 meter jika diperkuat dengan anyaman kain atau kabel

KEKURANGAN STRUKTUR TENDA

- A. Sangat peka terhadap efek aerodinamika sehingga mudah mengalami getaran dan tidak dapat menahan beban vertical.
- B. Struktur Fabric memiliki kekakuan yang sedikit atau tidak ada.
- C. Hilangnya ketegangan berbahaya bagi stabilitas struktur dan jika tidak dipelihara secara teratur akan menyebabkan kegagalan struktur.
- D. Susah untuk mengendalikan air dari struktur sistem terbuka

CONTOH BANGUNAN BERSTRUKTUR TENDA



CONTOH BANGUNAN BERSTRUKTUR TENDA



CONTOH BANGUNAN BERSTRUKTUR TENDA



STUDI KASUS: LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

- Lokasi : Venafrò, Italia.
- Tahun : 1992
- Arsitek : Samyn et Associes



STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

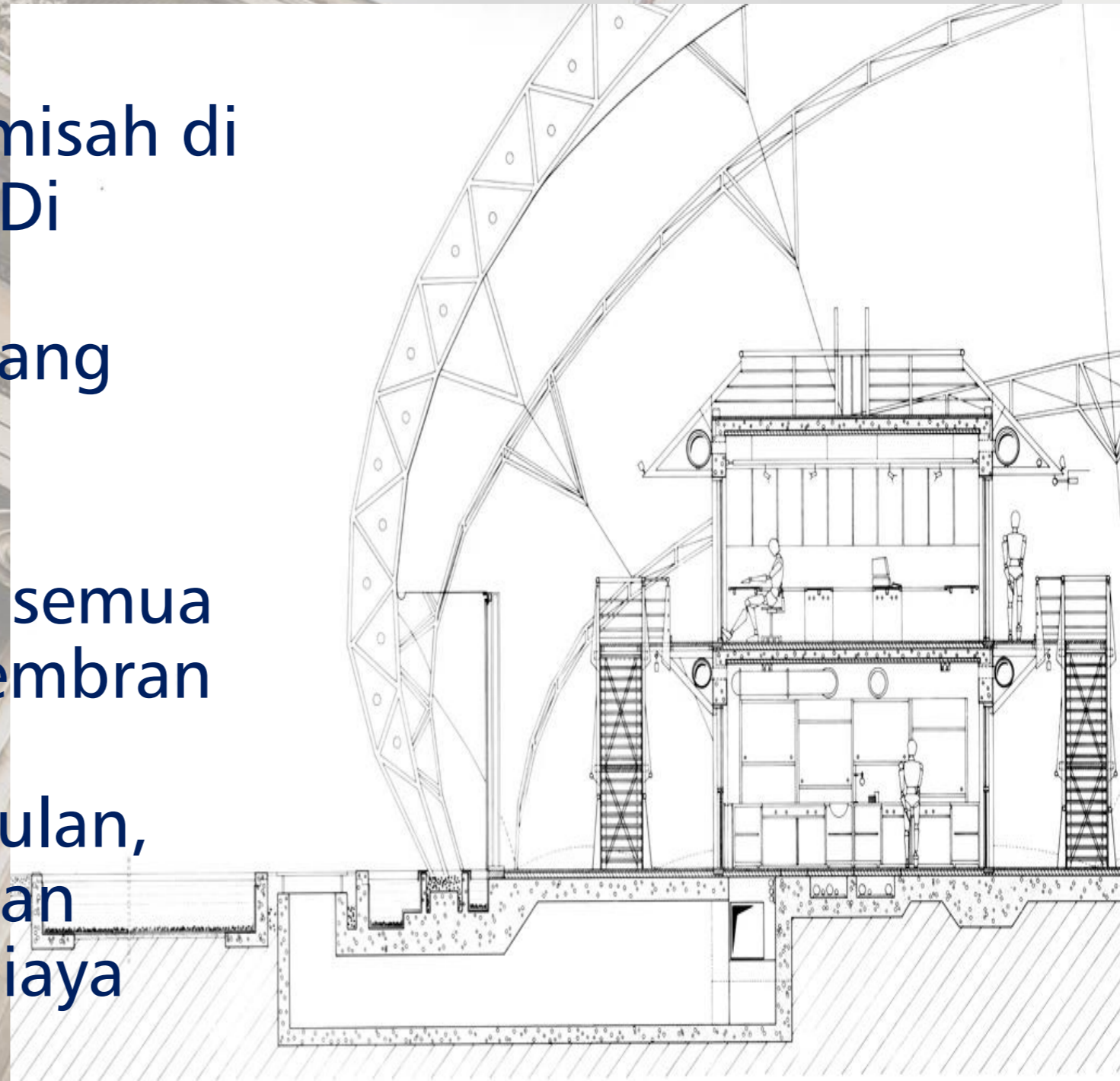
- Fasilitas riset kimia untuk M&G Ricerche, yang dirancang oleh arsitek Belgia, **Philippe Samyn**, selesai dibangun di Venafro, Italia pada tahun 1992.
- Bangunan ini menggunakan selubung membran satu lapis untuk menggabungkan program kantor, laboratorium, dan ruang penelitian, dimana riset untuk grup Sinco berlangsung.



STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

- Beton konvensional dan konstruksi
- **Blockwork** digunakan untuk membentuk sekat-sekat pemisah di dalam selubung membran. Di dalam struktur ini, terdapat fasilitas yang terbagi-bagi yang membutuhkan tingkat pengawasan yang berbeda.
- Keputusan untuk menutupi semua fasilitas dengan struktur membran dapat mengurangi periode pembangunan sampai 10 bulan, dan menghasilkan lingkungan interior yang baik dengan biaya rendah.



STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

Struktur Atap

Supaya volume bangunan dapat digunakan dengan maksimal, *PVC coated polyester* putih ditopang oleh enam rangka lengkung baja. Baja tabung tiga dimensi ini dijajarkan secara melintang oleh kabel baja *pre-stressed*, yang terhubung ke piramida baja terbalik di bagian bawah rangka baja. Rangka-rangka lengkung ini memiliki ketinggian yang bervariasi, dengan ketinggian 16 meter pada bagian tengahnya. Struktur baja yang sangat ringan ini disusun dari 1764 balok baja yang dipotong menjadi 441 konfigurasi berbeda, direalisasikan dengan bantuan metode konstruksi yang canggih pada saat itu. Dengan menjaga konstruksi interior terpisah dengan selubung membran luar, masalah untuk mengkoneksikan bentuk lengkung dengan konstruksi yang tegak lurus menjadi terhindari. Namun, untuk menghadirkan sinar matahari dan View ke luar bangunan, panel-panel kaca pun dipakai pada bagian samping bangunan setara dengan level tanah. Kaca ini terhubung ke tepi membran utama dengan penutup PVC transparan.

STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

Rangka lengkung baja masing-masing diselubungi oleh membran PVC transparan. Penggunaan membran transparan ini ditujukan untuk menghadirkan sinar matahari ke bagian tengah bangunan dan untuk mengekspos rangka baja sebagai struktur penopang utama

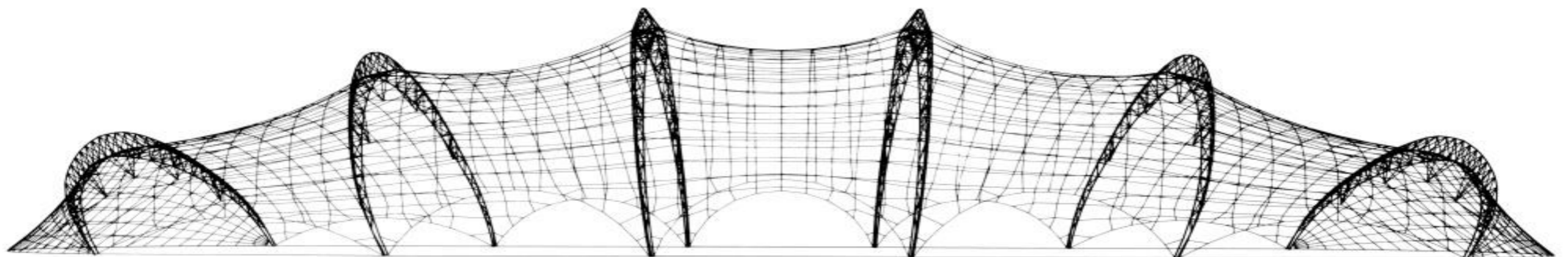


STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

Aspek Lingkungan

Proyek ini menunjukkan bagaimana selubung membran dapat digunakan untuk menciptakan lingkungan dengan suhu yang ideal, dimana di dalamnya dapat mengakomodasi berbagai macam aktivitas. Dengan meletakkan bangunan di tengah-tengah danau, perancang mengharapkan adanya pengurangan energi, sehingga pada musim panas danau tersebut dapat membantu mengurangi suhu udara pada bangunan.



STUDI KASUS:

LABORATORIES FOR M&G RICERCHE

- Untuk lebih mendinginkan ruang dalam, udara ditarik ke dalam gedung melalui shaft bawah tanah dan melalui ventilasi udara yang rata dengan permukaan kolam, menyebabkan udara yang memasuki gedung menjadi dingin tanpa perlu bantuan AC. Lebih lanjut, dengan meletakan bangunan di tengah danau, sang arsitek menghindari masalah keamanan yang diakibatkan oleh struktur membran; kemungkinan struktur membran untuk rusak karena lalu lintas orang yang lewat menjadi terminimalisasi.
- Penggunaan membran dilakukan dalam upaya penghematan energi seperti yang diaplikasikan pada bangunan M&G Ricerche di Venafre, Italia. Dengan penanganan yang baik, membran bisa digunakan untuk menciptakan suhu ruang yang baik dan mencegah pengguna di dalamnya untuk menggunakan pendingin ruangan

STUDI KASUS: LABORATORIES FOR M&G RICERCHE



STUDI KASUS: CARLOS MOSELEY MUSIC PAVILLION, NEW YORK

Bangunan ini berfungsi sebagai wadah pertunjukan musik yang dapat dipindahkan dan dibongkar pasang dalam beberapa jam. Proses pemindahannya saja akan memerlukan tujuh buah truk, tiga di antaranya membawa tiga buah rangka *truss* sepanjang 20 meter dan empat truk lain membawa membran beserta perlengkapan lainnya. Proses konstruksi pavilion ini dimulai dengan pemasangan rangka *truss* membentuk semacam tripod untuk menopang tenda. Pemasangan *truss* tersebut dimulai dengan meletakkan ujung dari dua *truss* pertama di titik-titik yang ditentukan, kemudian dibangun panggung berukuran 12 x 24 meter di antara kedua titik tersebut.

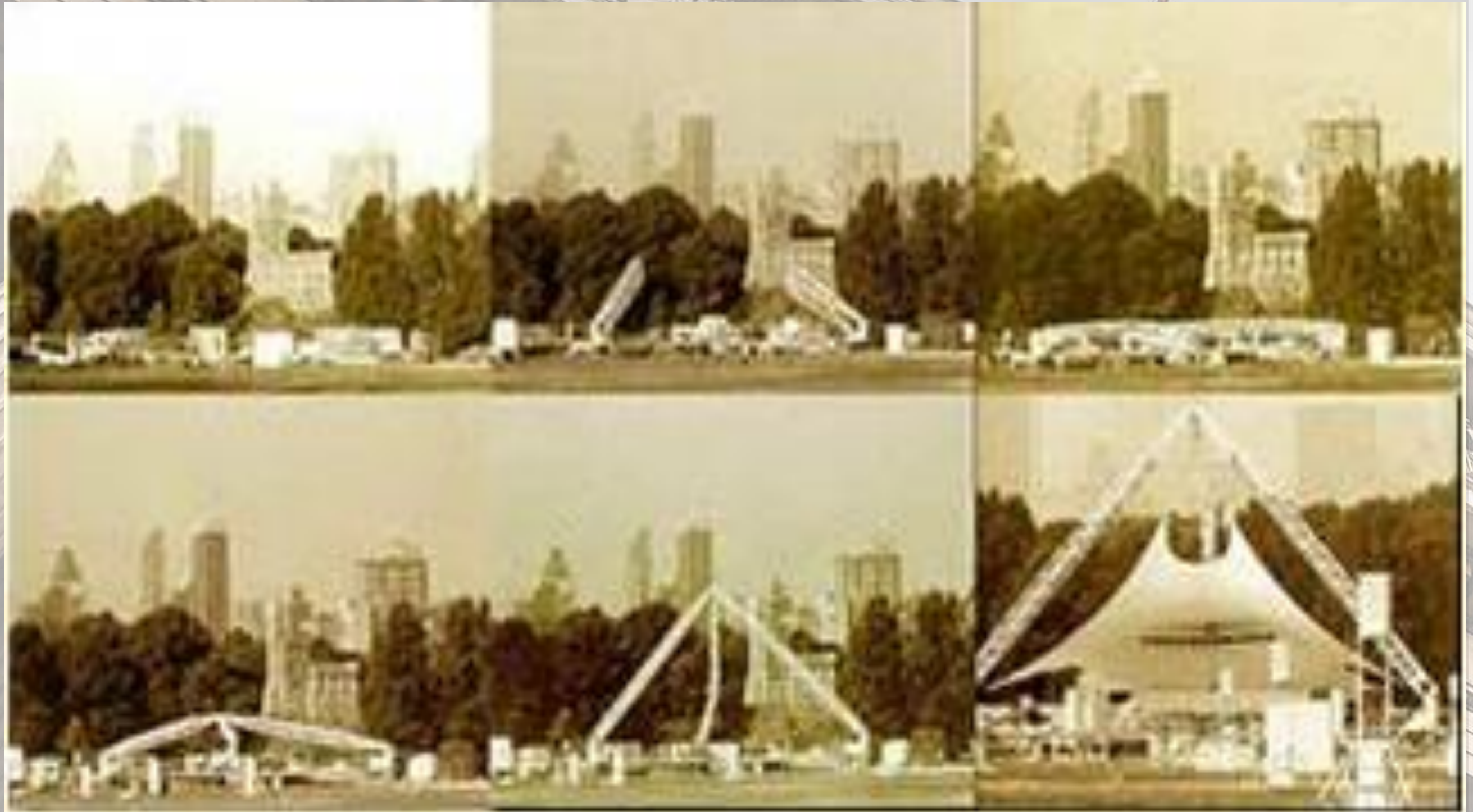
STUDI KASUS: CARLOS MOSELEY MUSIC PAVILLION, NEW YORK

Lalu dibangun pula bantalan pondasi berukuran besar untuk menopang pompa hidrolik yang mendorong kedua *truss* melintasi panggung dan menempelkan kedua ujungnya satu sama lain. Kedua ujung *truss* ini ditempelkan, dikunci menjadi satu, dan digabungkan dengan rangka *truss* ketiga yang masih terlipat. *Truss* ketiga ini kemudian ikut mendorong kedua batang *truss* lain perlahan-lahan menjadi tegak. Saat posisi struktur setengah tegak, membran dipasang pada kabel-kabel. Terakhir, struktur *tuss* dinaikkan kembali sehingga menarik dan menegangkan membran penutup sesuai rancangan.

STUDI KASUS: CARLOS MOSELEY MUSIC PAVILLION, NEW YORK



STUDI KASUS: CARLOS MOSELEY MUSIC PAVILLION, NEW YORK



STUDI KASUS: YANG BUKAN STRUKTUR TENDA

Bangunan-bangunan di Indonesia yang menggunakan struktur tenda sebagian besar menggunakan rangka kaku untuk menopang membran, Struktur semacam itu tidak dapat dikategorikan sebagai struktur tenda (*tensile structure*). Contoh bangunan dan cara konstruksinya adalah sebagai berikut:

MARGO CITY, O-ZONE CONNECTOR TENT

Bangunan ini berlokasi di Jl. Margonda Raya, Depok Indonesia dan dikonstruksi oleh salah satu kontraktor lokal yang berspesialisasi pada struktur membran. Namun struktur membran yang digunakan pada bangunan ini bukan termasuk *Tensile Structure*, melainkan struktur membran dengan rangka kaku pendukung. Cara konstruksinya adalah dengan mendirikan pondasi dan rangka kaku pendukung, kemudian menegangkan permukaan membran pada rangka tersebut. Sistem struktur ini tidak memberikan gaya *jacking* pada membran seperti halnya yang terjadi pada struktur tenda. Oleh karena itu kedua sistem struktur ini sama sekali berbeda satu sama lainnya.

MARGO CITY, O-ZONE CONNECTOR TENT

