



A Nemzeti Atlétikai Stadion membránszerkezete és egyéb textíliák a világbajnokságon

összeállította:
Kutasi Csaba

2023. április



Bevezetés



WORLD ATHLETICS CHAMPIONSHIPS BUDAPEST 23



- a Nemzetközi Atlétikai Szövetség által szervezett **szabadtéri atlétikai világbajnokságra 2023. augusztus 19-27. között** kerül sor **Budapesten** - a Csepel-sziget északi részén, a Ráckevei-Soroksári Dunaág és a Duna part mellett - az újonnan épült **Nemzeti Atlétikai Stadionban**
- a **stadion szerkezetépítési** munkáihoz közel **100.000 köbméter földet** termeltek ki
- a **cölöpök alapozáshoz 1.200 tonna betonacélt** ill. kb. **13.000 köbméter betont** használtak fel
- az ún. **felszerkezet** (gerendarácsok és fejtömbök) **4.300 tonna betonacélból**, és megközelítőleg **40 000 köbméter betonból** készült
- az **acél** és a **kábeltető szerkezet** megvalósítását a **bim.GROUP** vezette, a **27 ezer négyzetméteres membrán szerkezetet** a **győri Graboplan-Industrie Kft.** gyártotta és helyezte fel
- az atlétikai világbajnokságon használt **egyes sporteszközök**, valamint **kiegészítők** is kapcsolatosak a **textilszakmával**

A Nemzeti Atlétikai Stadion építésének fázisai



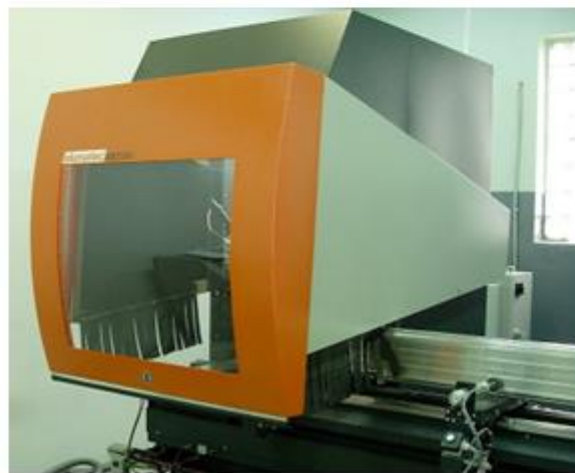
A győri Graboplan-Industrie Kft. készítette a tetőfedő membránt

- a tetőfedő membrán szerkezetet (összesen $\approx 27\,000\text{ m}^2$) a Graboplan-Industrie Kft. (9027 Győr, Bútorgyári u. 4.) készítette, a Napur Architect Kft. terve alapján
- a győri gyártóüzem - a központi irodaépülettel - több, mint $20\,000\text{ m}^2$ területen helyezkedik el (a bécsi reptértől egy, a budapesti reptértől másfél órányira)
- az egyes membránelemek szabása számítógép vezérelt szabásgépen történik (ha több egyforma elem szükséges a konfekcionáláshoz)
- az egyedi formák - mint, jelen esetben -, nem szériatermékek esetén a szabást továbbra is manuálisan, kézi vágógéppel hajtják végre
- az idomok egyesítését speciális gépeken és technológiával végzik, 22 db nagyfrekvenciás hegesztőgép, 12 db speciális nagyteljesítményű vasalógép áll rendelkezésre
- az alapanyagok tesztelését a saját anyagvizsgáló laboratórium látja el, ilyen pl. a beérkező méteráru alapanyagok nyúlás-, szilárdsági (szakító- és tépőerő) vizsgálata
- külön kontrollálják a textilalapú anyagok és a hegesztési varratok különböző hőmérsékleten történő változásait, a rögzítések húzó- és szakítószilárdságát is; ezen kívül átvilágítással is ellenőrzik a beérkezett membrán méteráru hibamentességét



A győri Graboplan-Industrie Kft.

(9027 Győr, Bútorgyári u. 4.)






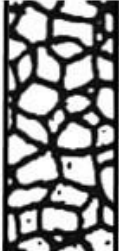

A tetőfedő membrán főbb műszaki adatai

az üvegszövet vázból és a kétoldali poli-tetra-fluoretilén bevonattal ellátott, nagy fesztávolságú membránanyag jellemzői:

- hordozó alapanyag: **üveg multifilament, panama kötésű szövet,**
- mindkét oldal bevonata: **PTFE (poli-tetra-fluoretilén),**
- szennytaszítás: a **PTFE bevonat biztosítja,**
- méteráru szélesség: **300-500 cm,**
- területi sűrűség: **650-1.600 g/m²,**
- sávszakítóerő: **láncirányban 3.500-8.000 N/5 cm, vetülékirányban 2.500-8.000 N/5 cm,**
- tépőerő (tovább-szakítóerő): **láncirányú próbasávon a vetülékfonalak terhelésénél 200-500 N, a vetülékirányú próbasávon a láncfonalak terhelésénél 250-500 N,**
- maradó nyúlás: **láncirányban 2-4 %, vetülékirányban 3-6 %,**
- rugalmas nyúlás: **láncirányban 4-10 %, vetülékirányban 6-10 %,**
- UV-sugárzás állóság: **20-25 év,**
- UV-sugárzás áteresztés: **nincs,**
- fényáteresztés: **10-20 %,**
- öntisztuló képesség: **„nagyon jó” fokozatú,**
- tűzálló képesség: **A2/B-s1, d0 (A2 azaz nem éghető minősítésű anyag, de tartalmaz éghető anyagot; B-s1, d0 azaz éghető anyagok, korlátozottan járulnak hozzá a tűzhez)**

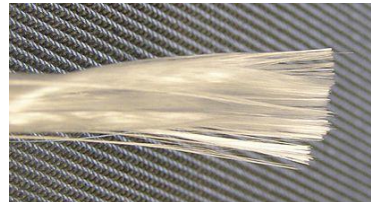
Egyes szálanyagok szerkezeti összefoglalása

- a szerves polimerekből húzott szálak anizotróp tulajdonságúak, a láncmolekuláik száltengellyel párhuzamos elhelyezkedése tökéletesen nem valósítható meg
- pl. az aromás poliamidok merev, pálcikaszerű polimerláncai nagy szilárdságot biztosítanak, amihez a kötéstengely körüli elfordulás korlátozása is nagyban hozzájárul
- a rétegformás szénszálakban a kétdimenziós kovalens kötések és a parakristályosság (a rácukban rövid és közepes hatótávolságú sorrend jellemző) révén nagy húzó- és nyomószilárdság érhető el
- a kovalenskötések ellenére az izotróp kerámiaszálakra - az orientáció hiányában - kisebb modulusz (anyagra jellemző állandó, a húzó- vagy nyomófeszültség és a fajlagos nyúlás arányos összefüggése) és szilárdság jellemző; az üvegszálak modulusza az amorf állapot és az orientáltság hiányában még kisebb

szál	hagyományos pl. poliamid, poliészter	aromás poliamid	szénszál	kerámia-szál pl. Al ₂ O ₃ , SiC	üvegszál
szerkezet	 1D	 1D	 2D	 3D	 3D
	szálforma		rétegforma	izotróp	
orientáció	kicsi	nagyon nagy	nagy	nincs	nincs

Az üvegszálak jellemzői

- az első üvegszálak a 19. század végén kuriózumként már megjelentek, azonban ipari méretű előállításuk 1930 körül kezdődött
- elterjedésüket többek között a nagy szilárdság, a jó vegyszerállóság, a kiváló hőállóság, az éghetetlenség, a kismértékű nedvességfelvétel és a mikroorganizmusokkal szembeni ellenállás fokozta
- az üvegszál a szervesetlen mesterséges szálak csoportjába tartozik, mint túlhűtött folyadék
- ameddig a természetes és döntően a mesterséges szálak láncmolekulákból felépülő polimerek, addig az üvegszálakat a folytonos térhálós szerkezet jellemzi
- háromdimenziós, izotróp szerkezetűek, amorf építésűek
- a stabil felépítésű üveganyagot szilícium-dioxid alapú szervesetlen „polimernek” is nevezik
- a szálgyártások során a húzott üvegszál sokszerűen hűl le, így belső feszültségek halmozódnak fel és hibahelymentes felület alakul ki
- ezzel magyarázható, hogy a tömbüveghez képest az üvegszálak rendkívül nagy szilárdsággal rendelkeznek (a nagy szakítóerővel rendelkező szerves polimerszálaknál kétszer erősebbek)
- a különböző tulajdonságú üvegszálak képzésénél a felhasználásra kerülő üveg összetételének minőségi- és mennyiségi változtatásával érik el a rendeltetésnek megfelelő tulajdonságokat
- a számos üvegszál változatot betűkkel jelölik (pl. A, AR, C, D, E, M, R, S, T)
- a kompozitok vázszerkezetét főleg az E-üveg alapú szálakat használják
- ezek tömegszázalékos összetétele: szilícium-dioxid (SiO_2) 50,33 %, nátrium-oxid 1-2 %, (Na_2O), kálium-oxid (K_2O) 0,5 %, bór-trioxid (B_2O_3) 10-12 %, alumínium-oxid (Al_2O_3) 13,15 %, kalcium-oxid (CaO) 15 %



Az üvegszál előállítása



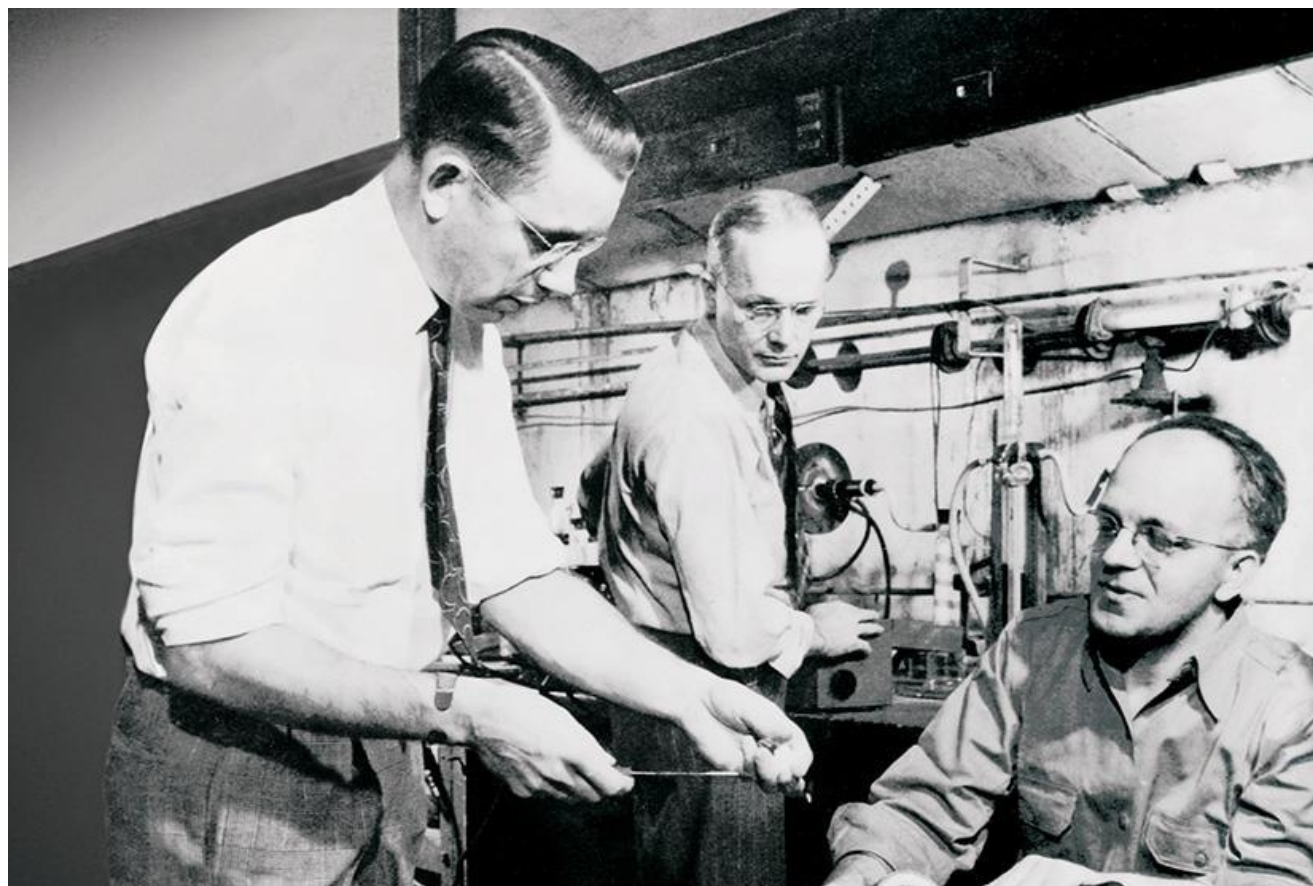
← az 1340°C-on olvadt üvegből
húznak szálát



↑ a képződött szálakat vízpermettel hűtik

A poli-tetra-fluoretilén (PTFE) felfedezése

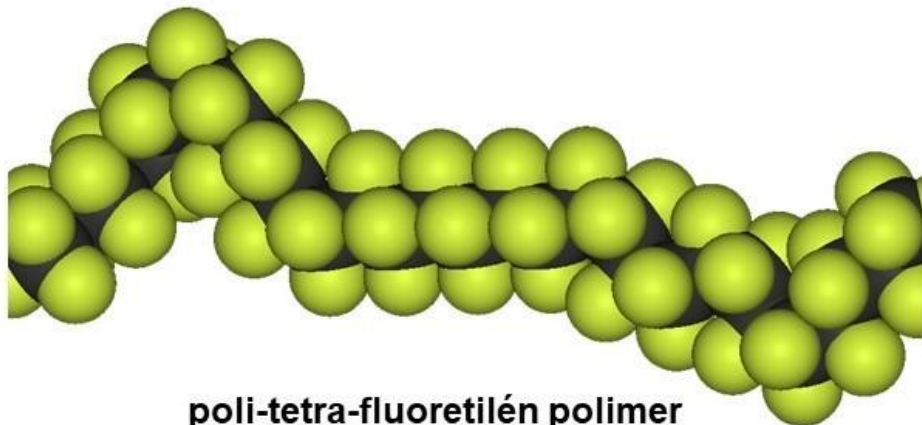
- 1938. április 6-án Dr. Roy J. Plunkett a hűtőközegekként alkalmazható gázokkal kísérletezett, ennek során egy fagyasztott, préselt tetrafluor-etilénminta ellenőrzése után ő és társai váratlan anyagot tapasztaltak, a spontán polimerizációval fehér, viaszos jellegű szilárd anyag (poli-tetra-fluoretilén) keletkezett
- 1945-évi bejegyzése óta a Teflon® - a DuPont a fő gyártócég által kizárólagosan birtokolt - védjegy ismert márkánévvé vált a kiváló egyedi tulajdonságai miatt



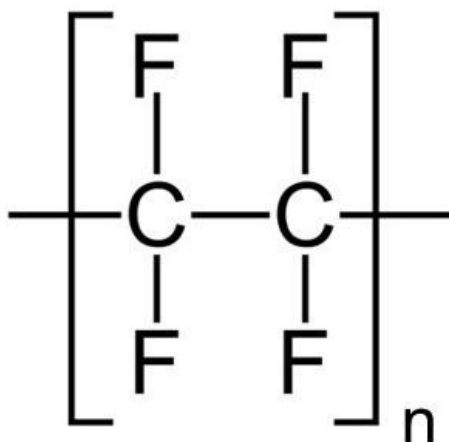
A PTFE felfedezői (a képen baloldalon Roy J. Plunkett)

A poli-tetra-fluoretilén jellemzői

- a tetrafluoretilén monomert gyökös láncreakcióval állítják elő, a nagy molekulatömegű poli-tetra-fluoretilént polimerizációval képezik (fluoropolimernek is nevezik)
- szilárdsága nem nagy, ugyanakkor fajlagos sűrűsége $2,3 \text{ g/cm}^3$
- kémiaailag rendkívül ellenálló (vegyszerek, szervesoldószerek nem károsítják), víz- és olajtaszító képességű [a láncvégi hidrogénatomok kivételével csak szén- és fluoratomokból áll, így a hidrofil (vízkedvelő) és a hidrofób (víztaszító) folyadékok nem nedvesítik], továbbá fény-, időjárás- és hőálló



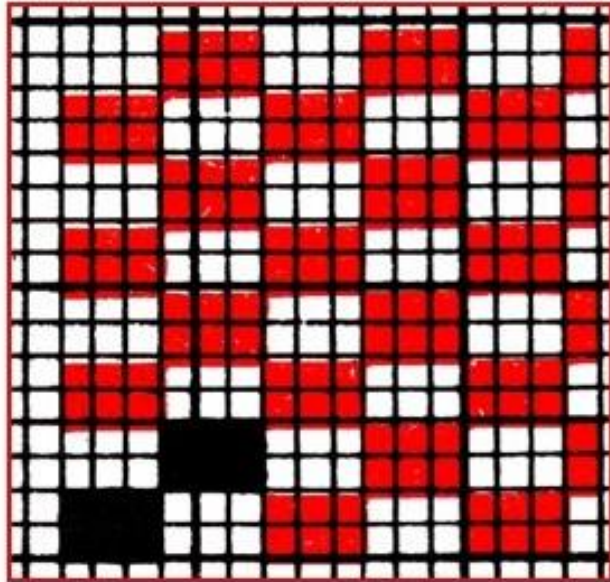
poli-tetra-fluoretilén polimer



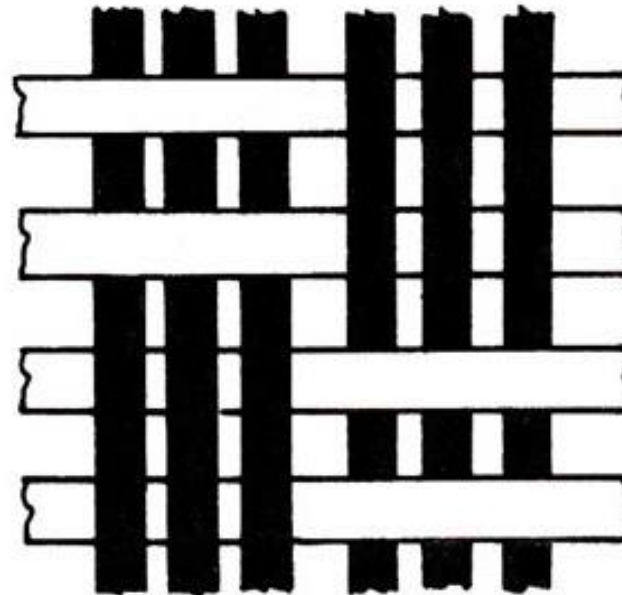
tetrafluoretilén monomer

A tetőfedő membrán szerkezete

- a nagy fesztávolságú membránanyag panama kötésű üvegszövet vázból és kétoldali poli-tetrafluoretilén bevonattal ellátott



kötésrajz



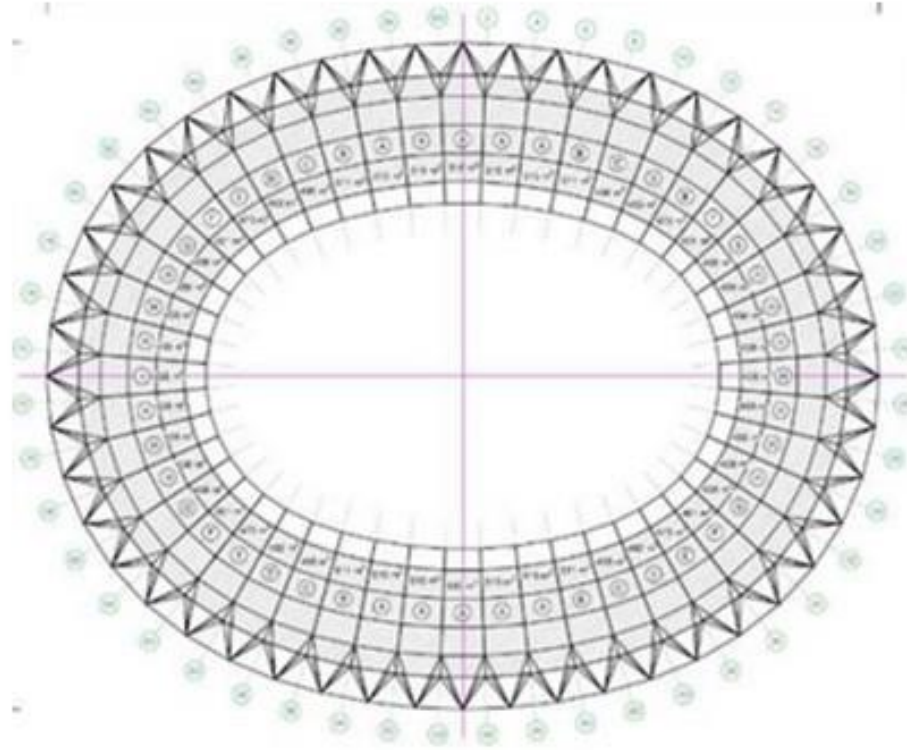
fonalak kereszteződése
a mintaelemen belül

A tetőfedő membrán kialakítása

- a stadion fedését **nagy fesztávolságú membránnal** (kétszer görbült felületek, melyek rendelkeznek inflexióval) végezték
- a **szabászati terítékrajzok** készítése speciális **EASY 3D** nem lineáris végeselem **tervező programmal**, az **idom szabás** számítógép vezérelt **automata jelölő** és **vágógéppel** történt
- az **idomegyesítést-konfekcionálást** speciális **nagy teljesítményű vasaló géppel** végezték (átlapolás 50-100 mm) a
- 233,3 × 293,7 m méretű **Nemzeti Atlétikai Stadion** lefedése 8 féle típusú, összesen **48 db membránegységgel** valósult meg, az **összes tető felület** $\approx 27\ 000\ \text{m}^2$
- a szomszédos **membrán mezők közötti rész**, a **membrán** és **acélszerkezet rögzítések lezárása** membránlepelletel **történt, helyszíni hegesztéssel** (30 m magasságban hordozható eszközzel)
- a **tető membrán** elemek az **acélkábel szerkezethez**, és az **acélszerkezeten kialakított peremekhez** speciális **alumínium profillal** és **acélbilincsekkel** feszítettek
- a tetőfedéshez használt **építési panelek** legyártása **minden egyes elem** esetében **más mérettel** és **más geometriával** készült
- a **drótkötélszerkezetre felkerült elemeket** rögzítés után **egyenként kifeszítették**
- a **tetőmembrán méretét megnövelő szétfeszítés** után nyerte el **teljes teherbírását**
- nagyon fontos, hogy az **acélszerkezet** és a **drótkötélszerkezet feszültségállapota** és geometriája **optimális** legyen; a **textilanyag nyúlása** is **lényeges befolyásoló tényező**



A tetőfedés és egy eleme



a tetőfedő membrán felülnézetben



egy acél és drótkötél elem
membránnal fedve

A tetőfedő membrán telepítésének folyamata



A telepített tetőfedő membrán részlete



Egyéb textilvázú és -anyagú eszközök az atlétikai világbajnokságon

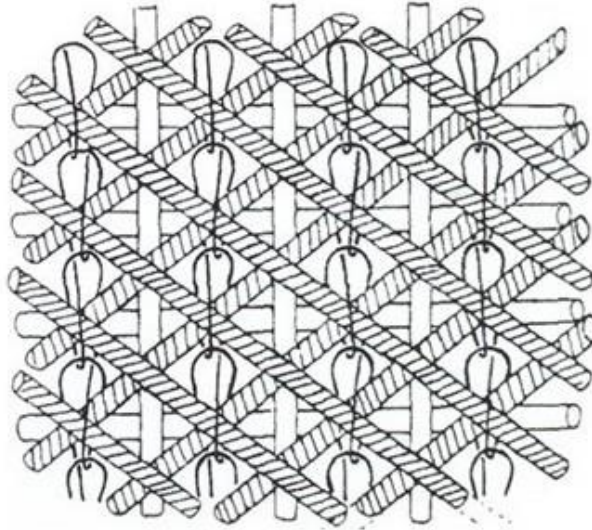
A gerely

- fontos kialakítási szempont a kisebb amplitúdójú rezgés és a **gyorsabb csillapodás** elérése, amely **csökkenti a gerely légellenállását**, hozzásegít a **nagyobb dobási teljesítmény** eléréséhez
- a **kompozitanyagú** gerely üreges vagy kis sűrűségű, általában **kör keresztmetszet** testű, kis átmérőjű **elülső** és a **hátsó hegy** jellemzi, nagyjából középen éri el a nagy átmérőt; készülhet **alumíniumból is**
- a **kúpos átmérők** és az **általános csúcs**, ill. a **markolat** jellemzőinek a **Nemzetközi Olimpiai Bizottság követelményeit** kell kielégíteni
- a **gerelytest** egy vagy két darabból készülhet, és több **aromás-poliamid** (pl. Kevlar®) vagy **üvegszál** előfeszített tekercsrétegből áll
- ezek egy **alsó rétegből**, és **több, előfeszített előimpregnált textilrétegből** épülnek fel; a **kétrészes** konstrukcióban a **súlyeloszlás** és az **összetett súlypont** a testen belül állítható, így a gerely **hozzáhangolható a sportoló egyéni dobási jellemzőihez**

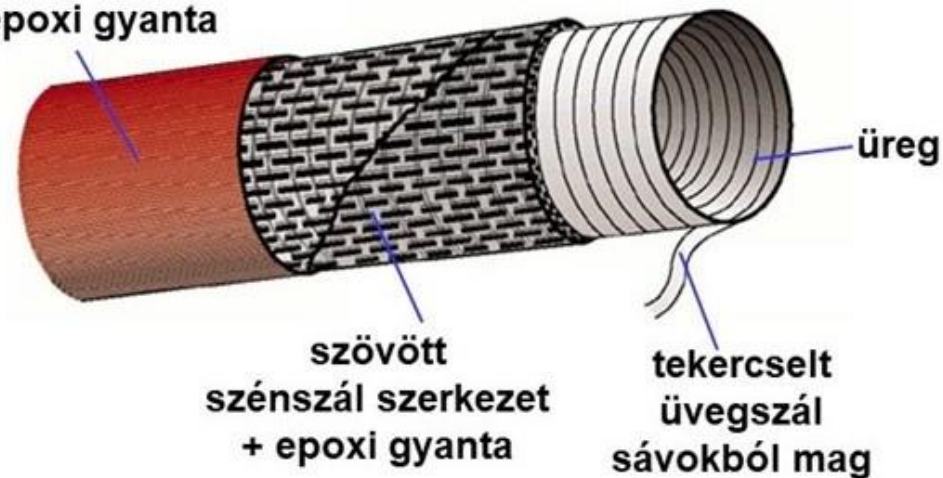


Rúd az ugráshoz

- a rúdugráshoz használt ún. **rudakat** megfelelő **üveg-** ill. **szénszálból** felépülő speciális **textilfelületekből tekerceslik**, majd a **mátrix anyagát** képező **műgyantával átitatják** és végül **hőkezelik**



multiaxiális
szénszál szerkezet
+ epoxi gyanta

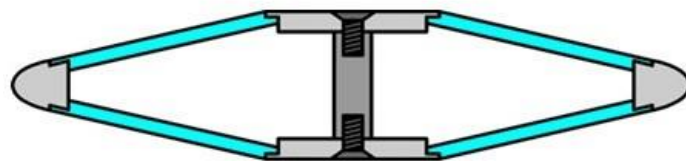


A diszkosz

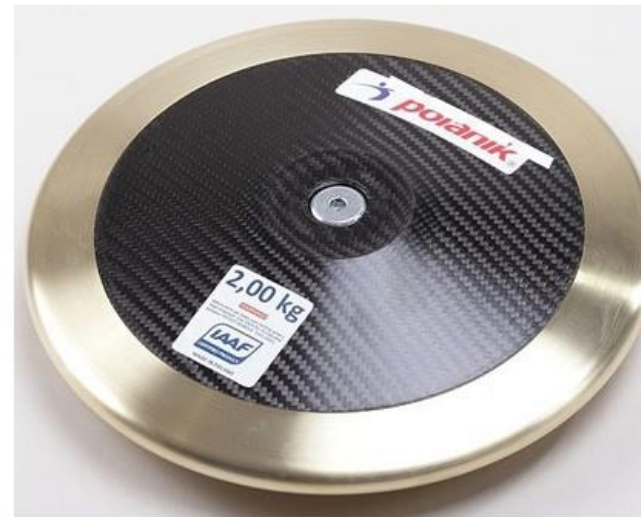
- a diszkosz korong oldalai műanyagból, fából, üvegszálból, szénszálból vagy fémből készülnek, fém peremmel és fém maggal
- a szükséges súly eléréséhez férfiaknál 2 kg súlyú (22 cm átmérőjű), nőknél 1 kg (18 cm átmérőjű) diszkoszt használnak



„az atlétikát megidéző diszkosz alakzatú stadion”

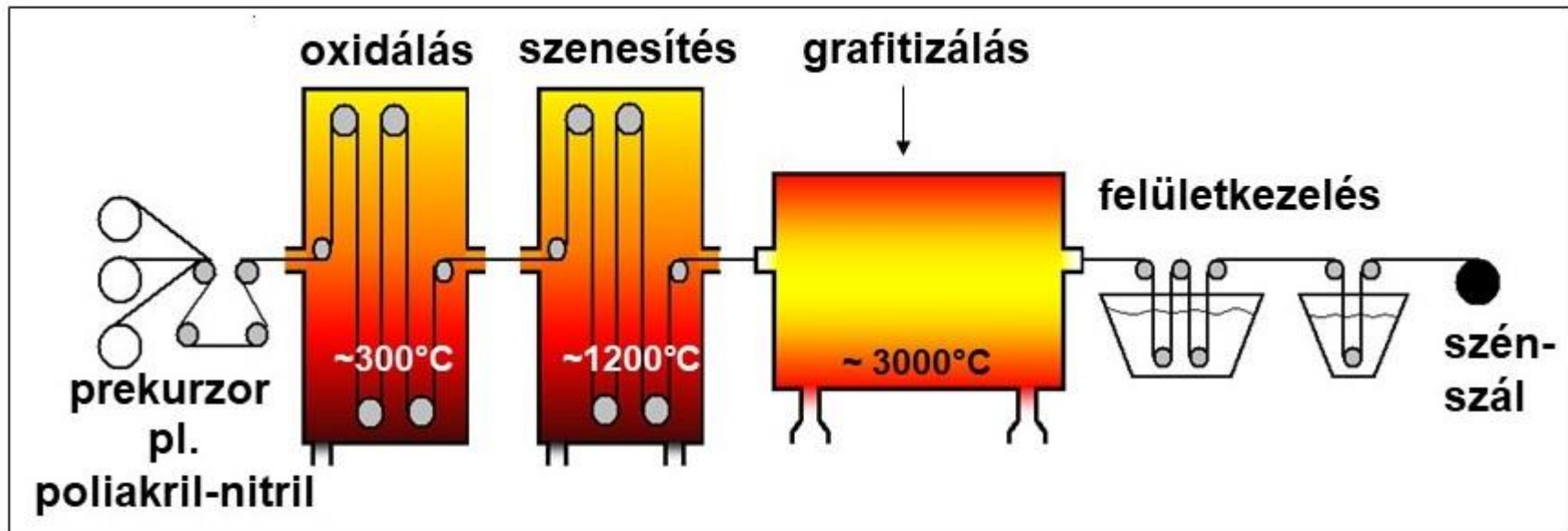


diszkosz metszete



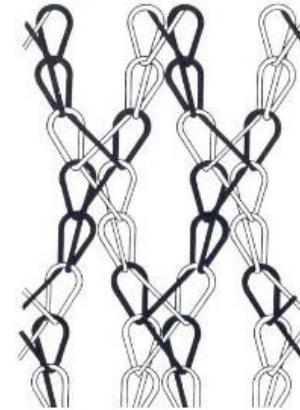
kompozit oldallemek (szénszál és üvegszál alapú textilfelület, poliészter epoxigyanta)

A szénzál előállítása



A különböző védőhálók

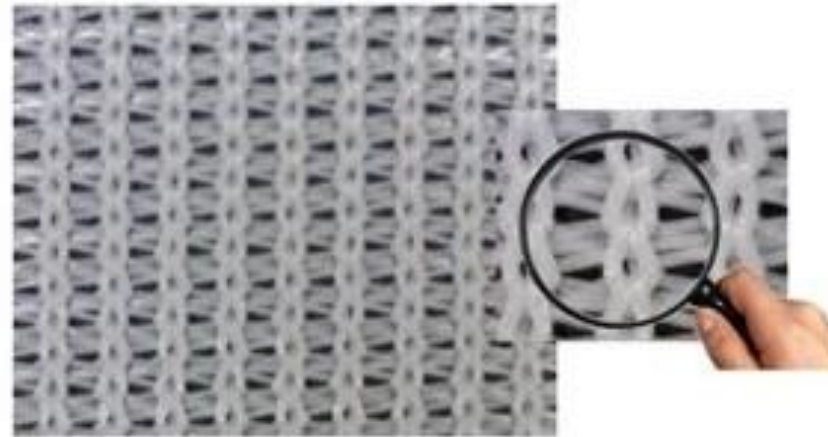
- különböző **dobószámoknál** alkalmazott **védőhálók** esetében a **láncrendszerű kötőgépen** készült védőhálók legnagyobb előnye a **csomómentesség**; így **nem akadnak össze** (nem kuszálódnak), **kezelésük könnyebb** (mozgatásuk, felszerelésük egyszerűbb)
- a **kötött szerkezet** kialakítása **szilárd**, a **nagy nyílásméretű hálóknál sem** következik be **deformáció**, a **nyílások mérete és alakja változatlan** marad; a felhasznált fonalak általában **poliészter, polietilén, polipropilén** összetételűek



csomómentes, raschel-
-gépi, láncrendszerű
kötött háló

Zászlók

- a **kültéri zászlók** kelmealapanyagai főként **láncrendszerű kötött** (pl. zsinórfektetéses és háromugrásos féltrikó fektetésű kelmeszerkezet kombinációjával) előállított **poliészter kelmékből** készülnek; az ilyen szerkezetű textilfelületek **mindkét kelmeirányban minimális nyúlásúak, alacsony területi sűrűségűek** (kb. 110 g/m²) és a csapadéktól **átnedvesedett** zászlók **gyorsan száradnak**
- a különböző **kémiai mintázások** kétoldalas **kivitelezésére** is **kedvezőbbek** a kötéssel készült **láncrendszerű zászlóalapanyagok**
- a nemzeti- és egyéb zászlókat általában **fehér** és **színes kelmék** felhasználásával, ill. **kémiai mintázóeljárással** (pl. síkfilmnyomás, digitális nyomtatás) állítják elő
- egyre jobban terjednek a **lyukacsos szerkezetű „lock-filé”** változatú zászlókelmék is
- főként a **nagyobb méretű zászlók** céljára a **szövött poliészter alapanyagok kevésbé** használatosak, mert **zártabb szerkezettel** és **nagyobb fajlagos tömeggel** rendelkeznek



poliészter láncrendszerű kötött kelme

Felhasznált irodalom

- <https://www.portfolio.hu/ingatlan/20230328/elkeszult-az-atletikai-stadion-605802>
- <https://www.magzarepito.hu/hu/referenciak/nemzeti-atletikai-koezpont>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845695583500120>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Roy_J._Plunkett
- https://en.wikipedia.org/wiki/Discus_throw
- https://en.wikipedia.org/wiki/Javelin_throw
- <https://flags.co.uk/what-is-the-best-flag-material/>
- Fenyvesi Éva: Újszerű textilipari és műszaki szálanyagok, Magyar Textiltechnika 1994. évi különszáma
- A Graboplan-Industrie Kft.-től származó műszaki leírások

Köszönöm szíves figyelmüket!

kutasicsa@gmail.com