

Mezi investory a architekty nacházejí pro svou flexibilitu, lehkost i poměrně příznivou pořizovací cenu stále větší oblibu membránové konstrukce. Uplatňují se zejména v místech, kde jsou požadovány velké rozpory.

# Textilní architektura

Ing. arch. Zdeněk Hrnšal



Nádraží u letiště v Lipsku - skelná textilie s povlakem PTFE.

Textilní konstrukce známe již více než dva tisíce let. Tehdy se objevily v podobě primitivních přístřešků, dodnes se vyskytují v téměř nezměněné formě jako beduínské stany či mongolské jurty. Vojenské a cirkusové stany jsou stále k vidění prakticky po celém světě.

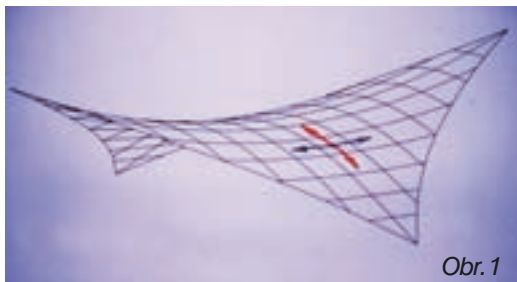
Důvodem pro používání v dnešní době jsou zejména flexibilita tvaru a současně relativně příznivá cena. Oblibu u architektů a investorů si získaly membránové konstrukce díky své eleganci a nevšednosti tvarů a leh-

kosti výrazu. O membránách se hovoří jako o pátém stavebním materiálu - vedle betonu, skla, dřeva a hlíny.

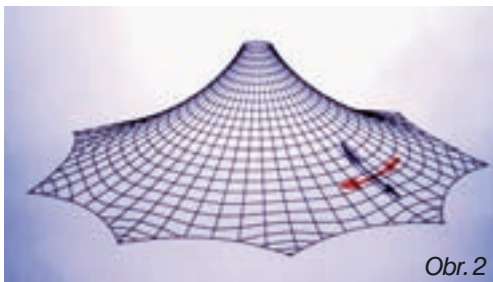
Membránové konstrukce mají velmi široké spektrum použití - nejklaštější je ochrana před sluncem, dále ochrana před deštěm a čím dál častěji také před chladem. Sportovní stavby, dopravní stavby, překrytí atrií, ale i drobná stínící technika, akustické konstrukce nebo doplňky architektury - textilní artefakty, tady se textilie vyskytují nejčastěji.

## Proč právě membrány ?

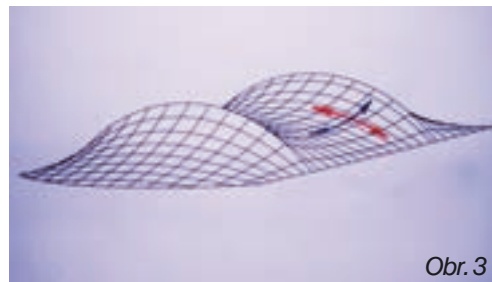
Membrány se uplatňují zejména tam, kde požadujeme velké rozpory. Díky nízké plošné hmotnosti (175 - 3000g/m<sup>2</sup>) mají menší nároky na podpůrnou konstrukci a tím i na její cenu. Přitom jejich pevnost (při přetržení) je velmi vysoká - až 20kN/5cm. I přes tuto pevnost se jedná o velmi světlopropustné až průhledné materiály. Textilní konstrukce není jen látka či fólie - finální produkt sestává z projektové přípravy, která využívá speciální software,



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3

pomocí kterého se jednak definuje tvar, posoudí se jeho statické vlastnosti, odvodnění plochy membrány a nakonec se tvar rozloží na stříhové plány. V návaznosti na tuto fázi se navrhne podkonstrukce z oceli, dřeva či jiného materiálu, přes kterou jsou zachycovány, ev. přenášeny síly ze zatížení membrány. Vzhledem k silám v kotvení membrány je mylná představa o oddělení nosné konstrukce od membrány samotné - zde se pak jedná opravdu jen o obal, který nemá požadované mechanické vlastnosti. Další etapou je pak zhotovení membrány a výroba konstrukce. Poslední, avšak velmi podstatnou částí je montáž, kdy se látka spojí s konstrukcí a poté se do membrány vnáší potřebné předpětí. Pro představu o únosnosti se dá zmínit, že i ty nejmenší membrány jsou bez problémů pochůzné - jejich pevnost je kolem 3000N/5cm.

### Principy navrhování

Membránové, textilní nebo také fóliové konstrukce nejsou pouze povlakem či obalem jiné primární konstrukce, ale mají skutečné konstrukční vlastnosti. Svým tvarem a pevností materiálu vytvářejí plochy s vysokou únosností. Té je dosaženo jednak tvarem - zakřivením - a dále vneseným předpětím. Zakřivení je nutné provést ve dvou rovinách pro dosažení tvaru, který ideálně převádí zatížení v podobě tahových sil do okolních konstrukcí. Optimální zakřivení je přibližně 10%, jelikož plošší membrány přenesou do okraje větší zatížení. Způsob zakřivení může být protisměrný antiklastický (bodová plachta) nebo synklastický (jehož tvar je typický pro pneumatické konstrukce).

Rozeznáváme prakticky tři základní principy tvaru membránové plochy:

#### Bodová plachta

Tvaru je dosaženo střídáním horních a spodních kotevních bodů (min. čtyř). Tvar hyperbolického paraboloidu pak přenáší jak sání větru - červeně, tak tlak větru a zatížení sněhem - modře. Obr. 1.

#### Kuželová (trychtýřová) membrána

Tvar je dosažen převýšením (ev. snížením) bodu v ploše plachty. Zakřivený tvar přenáší jak sání větru - červeně, tak tlak větru a zatížení sněhem - modře. Obr. 2.

#### Membrána na obloucích

Tvar je definován tvarem podkonstrukce. Sání větru - červeně, tlak větru a zatížení sněhem - modře. Obr. 3.

### Materiály

V současnosti se používají tkané textilie, nebo netkané - fóliové - materiály. Tkaniny mohou být bez povrchové úpravy (bavlna, PTFE t.j. polytetrafluoretylen alias teflon, tkanina z aramidových vláken), nebo s povrchovou úpravou, která zvyšuje jejich odolnost, především proti UV záření a proti přilnavosti znečištění.

#### Bavlněná textilie

- upravuje se pomocí impregnace, avšak trvanlivost je velmi omezená.

#### Polyesterové tkaniny

- mohou být potaženy vrstvou PVC, s případným zalakováním akrylovým lakem nebo lakem PVDF.

#### Tkaniny ze skelných vláken

- s povrchovou úpravou z PTFE nebo se silikonovým zátěrem.

#### Fólie ETFE

- netkané materiály - fólie

### Vlastnosti používaných materiálů

#### Mechanické

Membrány jsou navrhovány tak, aby přenášely optimálně tahové síly. Tkaniny mají většinou rozdílnou pevnost v osnově a útku, avšak u některých výrobců (např. Ferrari) ji mohou mít v obou směrech i shodnou. Textilní materiály přenášejí síly z povrchu přes vlákna do okrajových lan a dále do okolní konstrukce, případně až do základů. Pojem Typ I až VI označuje únosnost (potažmo sílu či plošnou hmotnost) tkaniny, viz tabulka.

#### Tepelné

Membránové konstrukce jsou ve většině případů zhotoveny jako jednovrstvé. Jejich tepelně-izolační schopnosti jsou tudíž omezené. V případě, že je tepelná izolace požadována, lze zhotovit membránu jako vícevrstvou s vloženou izolací. Ta může být klasická či translucentní. Další formou tepelně-izolační membrány jsou nafukovací polštáře - jednovrstvé či vícevrstvé. Jejich izolační schopnost



Letiště Mnichov, nafukovací polštáře v kombinaci horní membrána PTFE, dolní ETFE, podporovaná lankovou síťovinou.

se dá ovlivnit počtem vrstev a je srovnatelná se sklem.

#### Požární vlastnosti

Jsou závislé především na materiálu, ze kterého jsou zhotoveny. Nejčastěji používané PES/PVC textilie jsou označovány jako těžce zapalitelné (B1 dle DIN 4102), avšak dle ČSN se dostávají do třídy C1. Skelné tkaniny s povrchovou úpravou ze silikonu jsou zatříděny dle DIN do třídy A2, (i když v současnosti je toto zatřídění díky jedné složce zkoušek v Německu zpochybněno a označují se rovněž třídou B1). Materiály na bázi skleněných vláken (se zátěrem PTFE) a z vláken PTFE jsou zatříděny dle DIN dokonce jako nehořlavé.

Díky nestejnému způsobu zkoušek v různých zemích světa se může požární zatřídění lišit. Dnes se pracuje na harmonizaci norem v rámci Evropské unie, kde se v poslední době



*Divadlo Teatro Centro, Oberhausen (Německo) - dvouvrstvá membrána PES/PVC, typ IV s vloženou tepelnou izolací - polystyren 150mm.*

prosazuje označování dle Evropské normy - EN. Velmi důležitou vlastností je, že žádná z používaných tkanin neodkapává ve formě hořících částic.

### Vizuální vlastnosti

Standardně se tkaniny vyrábějí v bílé barvě. Barevné možnosti jsou velmi široké u PES/PVC materiálů. Tady je v podstatě možná jakákoli barva, povrch umožňuje také snadný potisk. Materiály PTFE jsou při výstupu z výroby béžové, s nižší světlopropustností, avšak vlivem světla, ev. UV záření se vybělí. Fólie ETFE jsou průhledné nebo mléčné. Jejich průsvitnost se dá ovlivnit potiskem, který může být upraven tak, že kombinací dvou potíštěných vrstev lze regulovat procento zastínění. Zpracování textilií používaných v architektuře sestává z nařezání jednotlivých stříhových dílů a jejich následné spojování do jednotlivých celků. Spojování jednotlivých



*Příklad složení tkané membrány se zátěrem a lakem (Valmex, HAKU Mehler).*

pásů se provádí lepením, šitím, svařováním (ev. jejich kombinací), případně mechanickým spojením pomocí ocelových příložek ev. speciálních profilů. Svařování se provádí buďto horkým vzduchem nebo vysokofrekvenční svářečkou. Životnost membránových konstrukcí velmi ovlivňuje prostředí použití (samozřejmě také výběr materiálu). Vývojem se stále zlepšující vlastnosti používaných materiálů zvyšují jejich životnost, která se pohybuje v desítkách let. Také opravy membránových konstrukcí nemusí znamenat celkovou obnovu, ale náhradu pouze části, ev. celého poškozeného pole plachty. Ocelová konstrukce a lana mají většinou mnohem vyšší životnost než textilie, takže náklady na případ-

nou celkovou obnovu membránové konstrukce po uplynutí životnosti představují pouze cca 1/3 původních investičních nákladů.

### Materiál budoucnosti

ETFE (etylentetrafluoretylen) jsou materiály, které se v posledních 30 letech neuvěřitelně rozvinuly. Jedná se o netkané materiály - fólie - v tloušťkách od 0,05 do 0,2 mm.

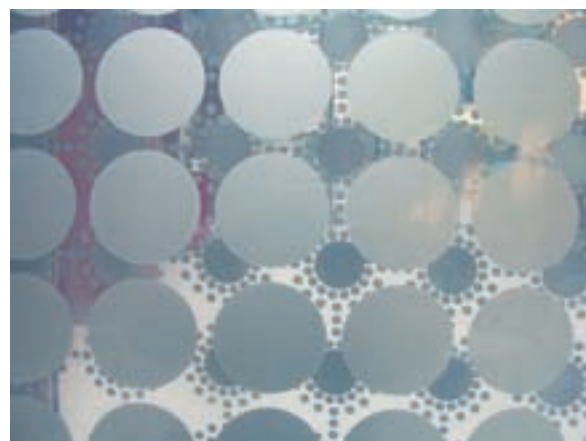
Jsou aplikovány převážně ve formě nafukovacích polštářů - dvou či vícevrstevých. Počet vrstev zvyšuje tepelnou izolaci polštáře a ovlivňuje průhlednost či zastínění. Polštáře se vyrábí do velikosti cca 5 metrů bez podpory, při větších rozponech lze využít spodní vrstvu lanky či lankovou síť z nerezových

	materiál	plošná hmotnost (g/m <sup>2</sup> )	pevnost v tahu (N/5cm)	průsvitnost	požární zatřídění dle DIN 4102
bez povrchové úpravy	bavlněné tkaniny	350 - 520	1700/1000 - 2500/2000	různá - dle barvy	B2
	tkaniny z PTFE	300 - 700	2390/2210 - 4470/4510	až 37%	A2
s povrchovou úpravou	PES/PVC typ I	800	3000/3000	do 20%	B1
	typ II	900	4400/3950	do 17,5%	
	typ III	1050	5750/5100	do 15%	
	typ IV	1300	7450/6400	do 12,5%	
	typ V	1450	9800/8300	do 10%	
	typ VI	2000	13000/13000	do 7,5%	
	skelná vlákna/PTFE	800-1550	3500/3500 - 7500/6500	8-15%	A2
skelná vlákna/silikon	800-1270	3500/3000 - 6600/6000	až 25%	A2	

*Tabulka - únosnost tkaniny.*



*ETFE - mléčná fólie.*



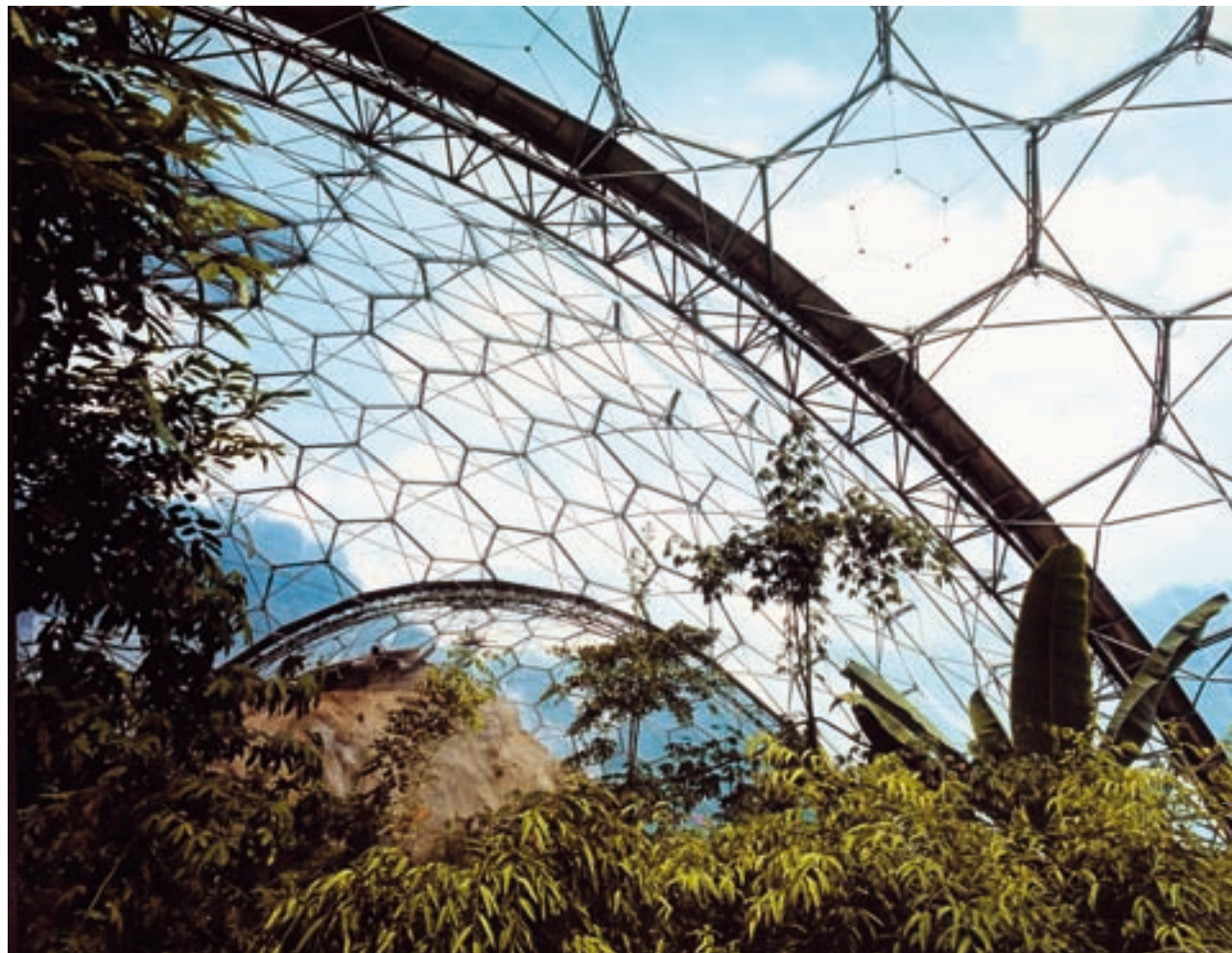
*ETFE - potisk 2 fólii.*

nebo poniklovaných drátů - viz obr. letiště Mnichov.

Oproti jinému průhlednému materiálu (sklo) jsou ve výsledném efektu o 30-50 % levnější, což je dáno jejich malou hmotností a tudíž nižšími nároky na jejich nosnou konstrukci. Velkou předností je propustnost pro UV záření typu A (na rozdíl od skla) a současně možnost regulace zastínění bez nároků na další konstrukci. Naopak B a C složky UV záření jsou filtrovány. To je předurčuje pro použití v prostředí, kde žijí živé organismy - botanické zahrady, zoologické zahrady, atria, kryté bazény atp.

Jejich pevnost či spíše odolnost proti poškození byla testována dle švýcarské normy na zatížení kroupami, které by podobnou střechu ze skleněných tabulí totálně zničily. Na rozdíl od skla ETFE polštáře obstály. Tepelněizolační vlastnosti jsou srovnatelné se sklem. V případě potřeby zastínění nebo omezení průhlednosti se používá potisk na vnitřní straně fólie. Inverzním potiskem dvou membrán v polštáři vzniká možnost regulace zastínění, dosažená přiblížováním fólií k sobě a tím postupného překrývání potisku. Fólie mohou být vyrobeny rovněž v mléčné barvě, což částečně snižuje jak průsvitnost, tak průchod UV záření.

Nejrozsáhlejším použitím ETFE polštářů bylo zakrytí skleníků botanické zahrady v jižní



Eden, Cornwall (Anglie), ETFE polštáře v průhledné formě.

Anglii - Zahrada Eden. Zde bylo původně uvažováno se zastřešením sklem na velkorozpové ocelové konstrukci, avšak obrovské zatížení, dané především vlastní vahou skleněných tabulí, vyvolalo potřebu masivní ocelové

podkonstrukce a tak se celý projekt dostal mimo finanční limity. Jako alternativa byla zvolena konstrukce z ETFE polštářů šestiúhelníkového tvaru o průměru cca 8 m, podporovaná filigránskou ocelovou konstrukcí. Vlastní váha ETFE polštářů zde představuje cca 1 % hmotnosti skla!

Největším příkladem v blízkém okolí je Tropic Island v Braniborsku - bývalá výrobní hala vzducholodí Cargolifter, která dostala novou tvář jako relaxační centrum s tropickou pláží a iluzí přímořského podnebí. Zde se návštěvníci mohou opalovat i pod střechou právě díky vlastnostem ETFE polštářů, použitých ve střední části haly. (Délka haly 360 m, šířka 210 m, výška 107 m.)

Kombinace s jiným materiálem je také možná - např. s tkaninou ze skelných vláken potaženou PTFE - viz obr. letiště Mnichov.

Ačkoli se v současné době zdá použití membránových konstrukcí v některých případech dražší než použití klasických tuhých krytin, nové realizace i v naší republice přesvědčují o jejich výhodách. Především jejich elegantní a nevšední tvary jsou lákavou výzvou pro architekty a investory.

Foto a nákresy:  
archiv Archtex s.r.o.,  
archiv Ceno Tec GmbH



Tropic Island, Německo.