

František Kalesný<sup>1</sup>

## VEĽKOPLOŠNÉ TRANSPARENTNÉ MEMBRÁNOVÉ SYSTÉMY

### Arstract:

*Fabric transparent structures are superior in their capacity to achieve very large spans.*

Obdobia spoločenských zmien vytvárajú dobrú živnú pôdu pre vizionárske myšlienky prinášajúce spoločensky prelomové projektové riešenia. Za obzvlášť plodné obdobie zrodu veľkolepých snov, siahajúcich do ďalekej budúcnosti a prinášajúcich nové myšlienky prestrešenia týkajúceho sa mesta ako miesta obnovenej spoločnosti možno označiť šesťdesiate roky. Plávajúce štruktúry, vznášajúce sa sídla a gigantické klimatické plášte prezentované v médiách, však len zriedka dokázali ľudí odpútať od paradogiem a metód reálneho plánovania. Prelom nastáva až v druhom desaťročí povojnového obdobia silne poznačeného vierou v možnosť metodického plánovania. I keď neraz výstavba v povojnovom období prinášala so sebou mnoho eufórie, niektoré problémy už v tomto období vrhali svoje tieň. Jedným z nich bol pribúdajúci nedostatok surovín, druhým hroziace preľudnenie Európy. Obidva nachádzajú odzvu v projektových víziách tohto obdobia.

Myšlienka stavby miest pod veľkými klimatickými klobúkmi sa v diele Freia Otta vynára už v raných 50. rokoch. Spočiatku sú to farebné kresby obrovských bublinovitých striech nad mestami alebo na mori.



Obr.1. Prestrešenie plávajúceho mesta, /ideová skica, akvarel/, autor: Frei Otto 1967-68,

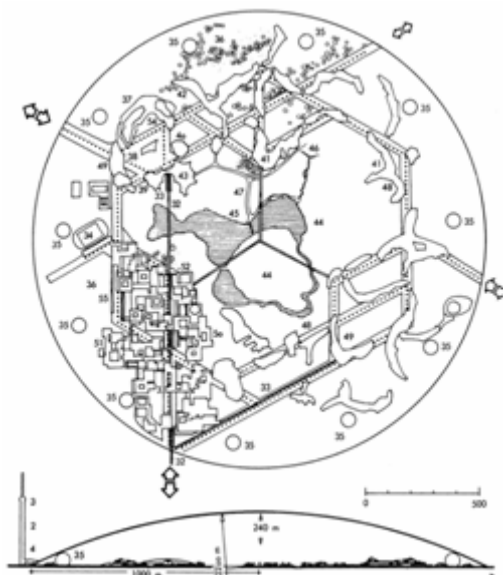
Po rôznych víziách Otto dospieva k dvom veľkým štúdiám začiatkom 70. rokov prezentujúcich osídlenie s kontrolovanou klímou. V roku 1981 končí projektom Mesto v Arktíde na 58. stupni zemepisnej šírky v Kanade na polárnom kruhu pre 45 000 obyvateľov, ktorý predstavil na priemyselnom veľtrhu v Hannoveri. Táto štúdia ďaleko presahuje hranice

---

<sup>1</sup> Ing.arch. František Kalesný, Ústav konštrukcií v architektúre, Fakulta architektúry STU v Bratislave, Nám . slobody 19, 812 45 Bratislava, e-mail: kalesny@stonline.sk

vizionárskej škie. Hĺbka rozpracovanosti vedie k tomu, že projekt vo veľkej miere stráca svoj utopický charakter. Je komplexne dopracovaný, zmeraný – priemer 2 km, max. výška 240 m, priemer nosných lán 270 mm. Jedine údaje o materiáli opláštenia – vlastnej fólie /priehľadná koža/ sú nejasné. Takéto priehľadné fóliové materiály reálne dospeli do sériovej výroby až o desaťrošie neskôr. Tomuto projektu pripútanému k zemi zjavne chýba ešte expresívnosť súčasných megaštruktúr japonských a anglických metabolistov, ale aj sebaironia rakúskych umeleckých architektov ako Coop Himmelblau, Haus Rucker co alebo doslovná pozdvihnutosť vznášajúcich sa miest Richarda Buckminstera Fullera z USA.

I keď predstavy vytvorenia vnútornej klímy a formovanie stability membránovej – bubliny boli prepracované dopodrobna, zmena vedomia, vyvolané energetickou krízou, ako aj to že spracovávané úlohy sa neukázali také naliehavé ako sa očakávalo, spôsobila, že realizovateľnosť týchto projektov sa ocitla v inom svetle. Nezostala však zabudnutá.



2, 3

Obr.2,3. Klimatizované mesto prestrešené priehľadnou membránou, koordinácia: Frei Otto, ILF - Univerzita Stuttgart, D, územný plán: Kenzo Tange, Urtec -Tokyo, nosná konštrukcia: Owe Arup + Partners, Londýn, podorys, rez, model

Reálne požiadavky súčasného obdobia sa prejavili v transformácii merítka navrhovaných objektov úmerne k požiadavkám a materiálovým možnostiam.

Priehľadné umelohmotné fólie sa dnes bežne používajú v architektúre. Umožňujú opláštenie budov, ktoré čo do priepustnosti svetla a ÚV lúčov nie je prekonané nijakým iným materiálom. Tenké a priesvitné membrány sú zaťažiteľné na ťah a redukujú vlastnú váhu vonkajšieho opláštenia a jeho nosného systému na minimum. V tejto oblasti sa mimoriadne osvedčil najmä fluóropolyméretylén-tetrafluóretylén, FTFE alebo ET. Pre svoje prednosti v porovnaní s inými materiálmi sa fólia stala mimoriadne atraktívnym stavebným materiálom. Má mimoriadne nízku vlastnú hmotnosť (350 g/m<sup>2</sup>, pri 200 nm hrúbky) vysokú priepustnosť svetla a ÚV lúčov, vysokú chemickú stálosť proti kyselinám a lúhom, relatívne dlhú životnosť

(za vyše 20 rokov sa nevyskytli žiadne zmienkyhodné zmeny mechanických a optických vlastností) a takmer úplná recyklovateľnosť robia z tejto fólie hospodárny stavebný materiál, šetriaci prírodné zdroje.

Aby tenká fólia mohla uniesť rôzne orientované vonkajšie záťažé iba prostredníctvom ťažnej sily a bez tvorenia záhybov musí byť vybavená schopnosťou predpätia. Z hľadiska tohto aspektu sa uplatňujú dve stavebné metódy :

- pneumatically predpäté prípadne podopreté konštrukcie
- mechanicky predpäté konštrukcie

Hoci princíp pneumatickej stabilizácie je už stáročia známy, uplatnili sa pneumatické konštrukcie v stavebníctve po prvý raz v druhej polovici 20. storočia. Až vtedy sa podarilo vyvinúť flexibilné, dostatočne nosné umelé látky odolné voči plynu, ktoré umožňujú veľkú plastičnosť, potrebné predpätia a stále zmeny tlaku.

V 70. rokoch v tomto odvetví ešte dominovali spájané hmoty, predovšetkým polyesterové tkaniny povrstvené PVC.

Transparentné pneu, ktoré pripúšťajú aby boli použité ako trvalý plášť budovy, vznikli až s vývojom fluórpolymerových fólií najmä ETFE. Vďaka vysokej svetlopropustnosti ich v 70. rokoch používali najmä na opláštenie skleníkov a solárnych zariadení. Od skorých 80. rokov sa materiál začal uplatňovať v stavebníctve aj na pneumatically podopreté konštrukcie. Skladajú sa minimálne z dvoch vrstiev fólie s medzipriestorom vyplneným malým pretlakom, ktorý fólie formuje do tvaru vankúša a tak ich predpína a stabilizuje. Pretlak potrebný na stabilizáciu je všeobecne len cca (200 – 1000 Pa), čo zodpovedá plošnej záťaži od 0,2 – 1,0 kN/m<sup>2</sup>, resp. vodnému stĺpcu 2 – 10 cm. Tlakom vyvolaná maximálna odchýlka vo fóliovom vankúši je spravidla 10 – 15% dĺžky rozpätia. V zriedkavých prípadoch sa vytvára namiesto pretlaku podtlak, ktorý tak isto pôsobí stabilizačne. Medzný nárok na fóliu predstavuje maximálnu šírku pneumatického rozpätia v závislosti od záťaže strechy a jej geometrie, cca 4,5 m do dĺžky a cca 7,5 m pri okrúhlych alebo kvadratických pneuútvoroch. Väčšie vzdialenosti si vyžadujú dodatočné podpory navyše – laná alebo lanové siete.

Neustále hľadanie nových architektonických foriem prináša so sebou nielen nové princípy opláštenia a nosných konštrukcií, ale ovplyvňuje aj prvky architektonického tvaroslovia.

Nosné konštrukcie využívajú rôzne princípy, odvíjajúce sa od spôsobu napnutia fólie resp. uchytenia fóliových pneu. Na pavilóne pre šelmy v ZOO v Hellabrunn v Mníchove sú pneuútvary vsadené do predpätej lanovej siete, čo umožnilo vytvoriť atypickú antiklastickú pneumatically konštrukciu.



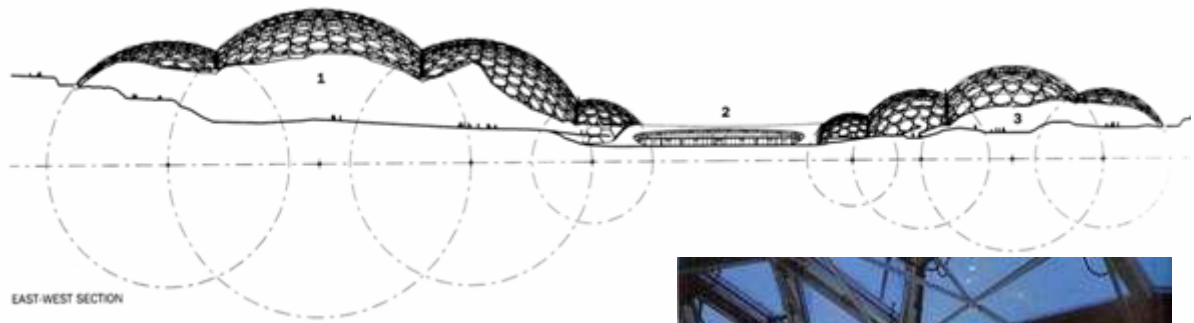
Obr.4. Pavilón pre šelmy v Hellabrunn, Mníchov, D, architekt: Herbert Kochta, konštrukcia: IPL Schlaich, Bergemann und Partner, antiklastická atypická pneumatická konštrukcia zastrešenia nesená lanovou sieťou, pohľad

Príklady na pneumatické konštrukcie z fólií ETFE nachádzame najmä na botanických a zoológických stavbách, budovách halových kúpeľov ale aj na prestrešení dvorán bankových a administratívnych budov a výskumných centier.

Imponujúcim príkladom, ktorý určite nemožno nespomenúť, je Eden Project v Cornwall v Anglicku, od architekta Nicholasa Grimshawa. Geodetické kupoly rozmanitej veľkosti s rozpätím od 38 do 125 m, navzájom do seba zapojené, poskytujú navrhovanému riešeniu niekoľko výhod. Umožnili vytvoriť ľahkú konštrukciu s veľkým spádom, pričom celá mohla byť dopredu prefabrikovaná a rozložená na jednotlivé časti. Nosná časť kupol pozostáva z dvoch vrstiev. Vonkajšia má hexagonálnu štruktúru, vnútorná pozostáva z trojuholníkov a šesťuholníkov, ktoré sa sčasti opierajú o lanovú sieť. Na priereze kupolových spojov sú umiestnené veľmi ľahké oceľové nosníky trojuholníkového prierezu. Celá obalová konštrukcia je vytvorená z rôzne veľkých ETFE fóliových vankúšov nahustených kompresormi. O ľahkosti konštrukcie svedčí, že váži menej ako vzduch, ktorý ju obklopuje v uzavretých vankúšoch.



Obr.5,6,7. Eden Project st.Austell, Cornwall, GB, architekt: Nicholas Grimshaw, prefabrikovaná oceľová pneumatická nosná konštrukcia s výplňou z ETFE fóliových dvojplášťových vankúšov, celk. pohľad, rez, pohľad do interiéru



6,7



Násobenie pneumatických polí menšej šírky umožňuje vytvárať relatívne dlhé pneumatické útvary. Z nich najdlhšie dnes vo svete dosahujú dĺžku až viac 100 m. Dom Masoala – pre tropický dažďový prales v ZOO v Zürichu má oblúkovú strechu, ktorej pneumatické polia so šírkou rozponu cca 4 m a dĺžkou 106 m, je pravdepodobne jedným z najdlhších pneumatickým útvarov vo svete.



13



14

Obr.13 Masoala Reinforest House, Zurich, SCH, architekt: Gautschi-Stoner, Zurich, oblúkové prestrešenie z pneumatických polí šírky cca 4,0 m, dĺžky 106 m, exteriérový pohľad

Obr.14 Plavecký bazén - Mobi Dick, Rulzheim, D, architekt: Schick und Partner, Karlsruhe, GBR, pneumatická vankúšová prefabrikovaná konštrukcia nesená drevenou nosnou konštrukciou, pohľad do interiéru

Podobné riešenie využíva aj nová oblúkovitá strecha modernizovaného centra, kúpaliska Mobidik v Rülzheine .

Na rozdiel od viacvrstvových pneumaticky podopretých konštrukcií, ktorých predpätie je vytvorené rozdielmi tlaku vzduchu, býva jednovrstvová membrána mechanicky napínaná a

upevnená k okrajom nosnej konštrukcie. Využitie mechanicky predpäťých ETFE fólií v architektúre môžeme vidieť len od začiatku 90. rokov. V dôsledku menšej zaťažiteľnosti fólií v porovnaní s tkaninovými membránami, je ich použitie doposiaľ obmedzené na relatívne malé prvky, resp. na veľké plochy drobne členené cca po 1,5 m, ktoré tvoria podporný systém. Na takomto princípe bolo postavené informačné centrum vo Walchenseekraftwerk in Kochel am See.



15



16

Obr. 15,16 Informačné centrum Walchenseekraftwerk in Kochel am See, D, prestrešenie jednoplášťovou mechanicky predpäťou fóliou, celkový pohľad, detail montáže

Je to doteraz najväčšia sčasti prefabrikovaná membránová strecha prekrytá jednovrstvovou fóliou ETFE.

Najdôležitejšie stavebnofyzikálne kritéria pre uplatnenie fólie na plášti budovy sú tepelná a klimatická ochrana, ochrana proti hluku a jeho absorpcia, ako aj optické vlastnosti.

Preto pneumatically podporeté strešné alebo stenové elementy sa vyhotovujú s použitím tretej pevne napätej strednej časti, ktorá nemá nijakú nosnú funkciu. Obsah vzduchu uzatvorený medzi dvoma prepojenými komorami poskytuje lepšiu tepelnú ochranu. V celkovej tepelnej bilancii budovy je problémom vysoká emisia tepelnej energie cez veľké transparentné plochy. Tepelné zisky sú výraznejšie najmä v letných mesiacoch. Pri uzatvorených budovách možno tento prvok regulovať zatieňujúcimi systémami, napr. lamelami v pneumatických prvkoch, ktoré obmedzujú tepelnú imisiu, prípadne odvedením teplého vzduchu dostatočnou ventiláciou. Myšlienka dočasne získavať tepelnú energiu vytvorenú medzi viacerými vrstvami pneumoprku a uskladňovať ho v zásobníkoch tepla, však zatiaľ nie je hospodárna. Potenciál fluóropolymérových fólií v stavebníctve v kombinácii s inými technológiami, zďaleka nie je vyčerpaný. Nevyriešenými problémami, ktoré s tým súvisia, sú najmä tlmenie tepelnej priepustnosti transparentných fólií, nízka tlmivá schopnosť

hluku a hluková absorpcia. Z toho dôvodu pri použití v obytnej zóne alebo kancelárskych budovách, treba použiť v konštrukcii ďalšie tlmiace vrstvy.

Problém vysokej vzdušnej vlhkosti, napr. na kúpaliskách alebo v botanických záhradách, pomáha riešiť permanentný prietok vzduchu cez vankúše. Zabezpečujú ho dúchadlo so sušičom, ktoré tak zabráni vzniku kondenzátu v pneumatických vrstvách. Pri vysokej vzdušnej vlhkosti alebo tepelných rozdieloch v interiéroch sa kondenzát vzniknutý na profiloch lepenia odvádza pomocou konštrukčne riešených odvodov.

Architektonicky zaujímavé optické vlastnosti ETFE sa vyskytujú vo vzťahu s odrazeným absorbovaným transmittovaným žiarením častíc slnečného svetla. Transmisia v oblasti ultrafialového žiarenia môže byť zaujímavá najmä pre oblasti uplatnenia, ako sú botanické záhrady, zastrešené trávniky, alebo kúpaliská.

Fóliové konštrukcie, tak isto ako všetky membránové konštrukcie, sú známe striedavými vzťahmi medzi návrhom a nosnou konštrukciou, ako aj medzi formou materiálom a celkovými priestorovými nárokmi. Architekt, inžinier navrhujúci nosnú konštrukciu a návrhár strihov musia preto už od štádia počiatočného návrhu intenzívne spolupracovať.



17



18

Obr.17,18 Futbalový štadión, Mníchov, D, architekti Herzog and de Mueron, konštrukcia prestrešenia pozostávajúca z translucenčných a transparentných pneumatických prvkov, celkový pohľad, farebné dotvorenie svetelnou clonou

Výhody, ktoré tento materiál dnes v stavebníctve preukazuje povedú určite k rozšíreniu jeho uplatnenia. Príkladom toho môže byť návrh architektov Herzog & de Meuron na nový futbalový štadión v Mníchove, ktorý má mať zčásti transparentný a zčásti translucenčný obal z niekoľko tisíc pneuprvkov z ETFE /obr.17,18/. Tento veľký projekt sám o sebe podporuje pozitívnu prognózu o budúcnosti fólií ETFE. Spomenuté príklady sú síce veľkosťou ešte vzdialené od Freiovských vízií no dokazujú, že pri dnešných materiálových možnostiach a technických poznatkoch nemusí byť ich realizácia za predpokladu dostatočných financií už len utópiou.

## **Literatúra:**

- /1/ - Rein Alfred.- Wilhelm Viktor, „Membrane construction“ – In: Detail 2000/6
- /2/ - Imrich Tužinský, František Kalesný, Agnesa Ihringová, Súčasný trendy veľkoroz -  
ponových konštrukcií. – In: ASB revue stavebníctva architektúry, 2001/6
- /3/ - R.K., „Klima - utopie, Stadt in der Antarktis, ...in die Jahre gekommen“, -In: db,  
2001/7
- /4/ - Karsten Moritz, Rainer Barthel, „Transparent Architecture - Building With ETFE  
membranes“, - In: Detail, 2002/12
- /5/ - Kalesný František, „Odras HI-TECH v architektúre membránových štruktúr“,  
- In: EUROSTAV, 2003/5
- /6/ - Imrich Tužinský, Jozef Kollár, „Prejav Hi-techu v strešných konštrukciách“ In:  
Zastřešení budov, mezinárodní konference, Brno, Česká republika 2003/5
- /7/ Eva Vojteková, „Typologické formy zastřešených átrií a ich konštrukčné princípy“, In:  
Zastřešení budov, mezinárodní konference, Brno, Česká republika 2003/5