

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ARCHITEKTURY

Ústav teorie

Doktorský studijní program: Architektura a urbanismus

POJEDNÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Název disertační práce:

Bionika v architektuře

Vypracovala:	Ing. arch. Irena Mikulíková
Školitel:	doc. Ing. arch. Jaroslav Drápal, CSc.
V Brně dne:	listopad 2009

Obsah

1. Úvod	2
2. Kriticky zhodnocený stav poznání v oblasti tématu disertační práce	2
3. Vymezení předpokládaných cílů disertační práce	3
4. Charakteristiky zvolených metod - způsob řešení	5
5. Současný stav řešené problematiky	6
5.1 Přehled uveřejněných prací, resp. vytvořených inženýrských nebo uměleckých děl včetně ohlasů	6
5.2 Stav rozpracování disertační práce	13
5.2.1 Konstrukčně – stavební hledisko	13
5.2.2 Klimaticko – ekologické hledisko	16
5.2.3 Esteticko – tvarové hledisko	18
5.2.4 Modely založené na konstrukčním předobrazu	19
5.2.5 Modely založené na tvarovém předobrazu	23
6. Závěr	25
7. Shrnutí, klíčová slova / Abstract, key words	26
8. Seznam prací autora vztahující se k disertaci	26
9. Literatura	27

1. Úvod

Vědní obor bionika se zabývá výzkumem biologických systémů. Živé organismy považuje za specializované systémy, charakterizované specifickým typem energetického a strukturálního uspořádání. Zkoumá technickou stránku biologické organizace systémů a biologických procesů. V živé přírodě hledá skryté a zvláštní druhy technických zákonů, které dosud nebyly definovány, dosud nebyly převedeny do praktické činnosti člověka a nevedly k vytvoření nové technologie. Bionika projevuje zájem o vše, co může být nazváno technikou přírody a co může člověk prakticky využít. Spojila v sobě biologii a techniku, tj. vědy, které spolu neměly nic společného a vzájemně je obohatila. Bionika tak na základě současných fyzikálních a chemických metod výzkumu biologických systémů našla v živé přírodě cesty k řešení složitých technických problémů. [20]

2. Kriticky zhodnocený stav poznání v oblasti tématu disertační práce

Téma bioniky se objevuje v mnoha odborných publikacích, časopisech i na webových stránkách. Je těžké je všechny pojmut. Tato věda totiž zasahuje do mnoha vědních oborů (např. strojírenství, medicína, fyzika, chemie) a v každém má přínos pro jeho další vývoj. Poznání v oblasti bioniky je bezbřehé stejně tak jako nalezení a zdokonalování nových technických prostředků. Proto poznání a využití nových principů přírody jde ruku v ruce s novými technologiemi, které umožňují jejich realizaci.

- *Historie a období 20. a 21. století*

Za jednoho z prvních bioniků můžeme pokládat Leonarda da Vinci (1452-1519). Z jeho četných vynálezů můžeme pro příklad uvést návrhy plánů létajících strojů, které se podobaly ptákům a netopýrům. Ovšem definovaný pojem bionika byl vysloven až na přelomu 50. a 60. let 20. století. Tehdy, když v 60. letech byla bionika pojmenována a svým smyslem i vytvořena, se vědci domnívali, že do 21. století bionika zásadně ovlivní vývoj všech odvětví. V současné době, kdy máme stále více prostředků pro jakýkoli výzkum, by právě bionika měla mít stoprocentní využití. Avšak podle mého názoru není bionika stále dostatečně prosazena a vědomě využívána.

- *Teorie*

Do češtiny byly přeloženy pouze dvě základní publikace o bionice [1,2], které jsou však už téměř 25 let staré. Před deseti lety se v České republice začalo opět o bionice mluvit a psát,

ale už ne tak všeobecně. Literatura už bývá přesně zaměřena na určitý obor. Od přelomu 20. a 21. století se tato věda také začala vyučovat na školách – také už specificky ovlivněna příslušnou fakultou. Například v Praze byl otevřen tento předmět na Českém vysokém učení technickém, Fakultě elektrotechnické, kde se touto problematikou zabývá doc. Ing. Vladimír Eck, CSc. V Brně je tento předmět vyučován na Ústavu nauky o dřevě Fakulty lesnické a dřevařské Mendlovy univerzity, dále na Fakultě strojní Vysokého učení technického. Ve světě byla výuka bioniky zahájena v roce 2002 na vysoké škole v Brémách. Významnou školou, která se specializuje na bioniku v architektuře, je vysoká škola ve Stuttgartu. Osobností této vědy se stal Werner Nachtigall (*1934), který je považován za zakladatele bioniky v Německu. V roce 1990 založil společnost pro technickou biologii a bioniku BiKon na Saarlandské univerzitě a stal se vedoucím této sítě.

V České republice nemá bionika v architektuře zatím žádné pevné základy. Nejvíce publikací je psáno v angličtině či němčině a najdeme je spíše v zahraničních než tuzemských knihovnách. V porovnání s ostatními vědami (např. elektrotechnika, strojírenství, medicína), u kterých je obor bioniky již vyučován na příslušných fakultách, máme na fakultách architektury v tomto směru ještě co dohánět.

- *Praxe*

Stavby ovlivněné bionikou nalezneme po celém světě. Nejznámější budou uvedeny v kapitole 4.1 *Přehled uveřejněných prací, resp. vytvořených inženýrských nebo uměleckých děl včetně ohlasů* tohoto pojednání. U staveb v České republice se nejvíce uplatňuje stavební hledisko na přírodní předobrazy – např. vnější omítky, slunolamy, sluneční kolektory.

3. Vymezení předpokládaných cílů disertační práce

Disertační práce je zaměřena na vytvoření hypotézy nových možností v oblasti bioniky v architektuře. Cílem je aplikovat současné poznatky konstrukcí, jevů a principů biologických struktur na realizaci staveb. Hlavním předpokladem pro hypotézu je souhrn všech dostupných výzkumů a objevů. Hypotéza v sobě zahrnuje analýzu jednotlivých biologických forem a následně transformaci zjištěných výsledků do ukázkových modelů, které budou názorně demonstrovat nalezené principy živých struktur. Jedním ze základních kamenů nalezení a uchopení formy určitého organismu je analýza, která bude zkoumat jaké vztahy a síly působí na konstrukci dotyčné organické hmoty.

Na začátku disertační práce je třeba obsáhnout co nejvíce podkladů, které budou obsahovat

jak již realizované stavby tak i nové poznatky a výzkumy v této oblasti. Z této množiny všech dat budou utvořeny hlavní směry, kterými se vývoj ve stavebnictví ubírá. Poté můžeme vypořádat, na co je v dnešní době dáván důraz a co je naopak v pozadí. Bude vytvořen výčet hlavních staveb, které byly ovlivněny bionikou – jak realizované tak navrhované. Ve stěžejní části práce bude použita základní metoda poznání - analogie. Budeme porovnávat předlohy z přírody s realizovanými stavbami a modely. Jelikož příroda je velmi rozsáhlá oblast, budeme se specializovat na jednu část. Předmětem našeho zájmu bude **strom**. Abychom dospěli k přínosnějším faktům práce, budeme využívat i analytické metody - rozebírat strom z různých hledisek, zkoumat princip, strukturu, funkci jeho růstu. **V této fázi bude navázána úzká spolupráce s Ústavem nauky o dřevě, Lesnické a dřevařské fakulty Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně.** Ústav nauky o dřevě se zabývá mimo jiné i biomechanikou a stabilitou stromu, bionikou, numerickými simulacemi a dynamickou akustikou. Na ústavu probíhá více projektů. Výsledky těchto projektů budou převedeny do oblasti architektury a použity pro návrhy inovace v projektování. Nejvíce bych se specializovala na morfologii koruny a modulární charakter stromu.

Z výsledků práce budou vytvářeny nové poznatky, které by měly být přínosem práce. Doplnkem k hlavním metodám, které budou podléhat zejména hypotézám a úvahám, bude experimentování. Tím je myšlena konstrukce modelů, na kterých si budeme moci vyzkoušet různé vlastnosti stromů. Bude vytvořen souhrn možností využití stromu jako předlohy pro vytvoření architektonického díla.

Očekávané výsledky:

- 1) Ucelený přehled významných realizací, projektů a studií bionických staveb, které budou seříděny z dostupných materiálů shromážděných během doktorandského studia. Stavby budou seříděny podle typu použité předlohy do kategorií, které budou následně uspořádány chronologicky. Zvláštní skupinu budou tvořit stavby, které byly ovlivněny stromem jako předlohou. Tyto stavby budou detailněji rozpracovány a podrobeny analýze.
- 2) Nalezení a uspořádání hlavních podmínek nebo zákonitostí převzatých ze struktury, formy a principů stromu, které budou aplikovatelné na stavby. Na základě výsledků měření poskytnuté Ústavem nauky o dřevě, Lesnické a dřevařské fakulty, Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně bude vytvořen obraz nového pojetí navrhování v architektuře ovlivněné stromem jako předobrazem architektury.

Očekávané výstupy:

- a) Disertační práce, která bude obsahovat výše uvedené očekávané výsledky.
- b) Pracovní modely, které budou demonstrovat možnosti využití předloh stromu.

4. Charakteristiky zvolených metod - způsob řešení

Teoretický postup, který bude použit při řešení práce, bude obdobný jako u každé vědecké práce. Při rozboru tématu bioniky zjistíme, že základem je přebírání vzorů z přírodních předloh. Neplatí to ovšem doslova - přesněji řečeno jde o přebírání principů. Proto se v této práci musíme zabývat hlavně podstatou fungování zkoumaného objektu. Následujícími kroky jsou:

- a) *Pozorování* - Základním prvkem vědy, a jediným skutečným faktem, který vědci uznávají, jsou individuální pozorování. V nich vyhledáváme pravidelnosti a navrhujeme vysvětlení. [20] Naše pozorování mohou být náhodná anebo záměrná. Na začátku je třeba obsáhnout co nejvíce podkladů, které budou obsahovat jak realizované současné stavby tak i nové poznatky a výzkumy v této oblasti, vše zaměřené na předobraz stromu.
- b) *Zobecnění* (identifikace pravidelnosti) - Když jsme učinili řadu pozorování, zkusíme mezi nimi najít určitý vztah. Měříme-li například výšku u velkého počtu mužů a žen, můžeme si všimnout, že v průměru jsou muži vyšší než ženy. Konstatování takového vztahu je zobecněním. V průběhu disertační práce nalezneme nejčastěji uplatňovaný princip v architektonickém navrhování vycházející ze vzoru stromu. Principem v naší práci může být i druh hlediska na prvek stromu – konstrukční / estetické / klimatické.
- c) *Analogie – poznání srovnáním* – Tato metoda byla vybrána, protože nejvíce vyhovuje našim požadavkům na zkoumané téma. Tohoto prostředku se často používá v situaci, kdy se již známé informace užije k pochopení informace pro příjemce dosud nepřístupné nebo k pochopení vztahů či kontextu pojednávaného předmětu. V knihách se dočteme, jak díky této metodě vznikaly mosty, které měly předobraz v pavučinovém vláknu, a skořepiny, které měly předlohu v mořské mušli atd. (v našem případě bude předobraz strom). Jako dodatkovou metodu, kterou bych používala ve své práci by byla metoda *analýzy*, která také napomáhá probádat funkce a organizaci struktur v přírodě. [20] Analýza stromu bude prováděna pomocí spolupráce s Ústavem nauky o dřevě, Lesnické a dřevařské fakulty, Mendlovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně.

- d) *Vyslovení hypotézy* (předběžné rozšíření pravidelnosti nebo vysvětlení, proč pravidelnost existuje) – Předběžné vysvětlení zjištěné pravidelnosti nazýváme hypotézou. Znakem dobré hypotézy je to, že je testovatelná. Bohužel může být test neúspěšný, i když je hypotéza zcela správná. Mnoho filosofů vědy souhlasí s tím, že klíčovým aspektem vědecké metody je *falsifikace*. To znamená, že když se testem hypotézy prokáže její neplatnost, musí být hypotéza zamítnuta a nahrazena jinou. *Hypotéza* nové koncepce navrhování v architektuře bude utvořena z probádaných materiálů, výsledků projektů Ústavu nauky o dřevě. Dále z probádaných materiálů o současné architektuře vyplyne, kam nyní dosavadní postoj doby architektury zavedl. Zda neopomíjejí možnost využívání příkladů z přírody. V mé práci také stanovím, jak by se podle mne měly vyvíjet tendence současných architektů - na co by měli klást důraz a jaké předlohy by si měli nejvíce vážit a uplatňovat ji.
- e) *Provedení experimentu* (prověření hypotézy) - Experiment je nejformálnější částí vědecké metody. Myšlenka je však velmi jednoduchá: experiment není ničím jiným než testem hypotézy. Je tím, co vědec provádí, aby prověřil svůj nápad. Experimentem je možné zjistit pouze to, že je hypotéza nesprávná, ale ne to, že je správná. To je podstata falsifikace. Za experiment budou v disertační práci považovány demonstrační modely.

5. Současný stav řešené problematiky

Tato kapitola je rozdělena na dvě části, kdy v první jsou uvedeny stavby realizované v České republice a ve světě a ve druhé je uveden současný stav rozpracovanosti řešené disertační práce, která je zaměřena na objekt stromu jako přírodního předobrazu.

5.1 Přehled uveřejněných prací, resp. vytvořených inženýrských nebo uměleckých děl včetně ohlasů

V této kapitole budou uvedeny některé stavby, které jsou navrženy na základě rostlinného předobrazu – stromu a někteří nejznámější architekti, kteří se bionikou zabývají - Greg Lynn (*1964), Bates Smart, Nicholas Grimshaw (*1939), Santiago Calatrava (*1951), Norman Foster, Ken Yeang, Daniel Libeskind (*1946).

- **Estação do Oriente; Autor: Santiago Calatrava;** Adresa: Parque das Nações, Lisabon, Portugalsko; Realizace: 1993-98; „*Lehký les nad pevným kopcem*“ [22]

Oriente Station je jeden z objektů Expo'98 v Lisabonu, který je situován asi 5 km od historického centra města. Zastavená plocha nádraží 175.000 m² stála přibližně 37 mld ESC. Už z dálky si všimneme 238 metrů dlouhého zastřešení vyvýšených železničních kolejí. Působí lehce jako les stromů nad čtyřmi páry kolejí. Organické kmeny a větve z oceli vyplněné sklem nabízejí vše, co se v tomto podnebním pásu vyžaduje pro ochranu před sluncem a deštěm. Vše působí vzdušně jakoby bez váhy.

Při přiblížení ovšem dostáváme odlišný dojem. Jako by se člověk dostával do útrob objektu. Dvě enormní křídla dlouhé 112 metrů ze skla a oceli nás pohlcují dovnitř do betonového pekla přízemního patra. Tady se pohybujeme po eskalátorech a prosklených galeriích mezi betonovými žebry. Světlo určuje dvě hlavní osy pohybu - rovně pod konstrukcí ven k autobusovému nádraží a kolmo nahoru do oázy "stromů".



obr. 1 Nádraží - Oriente Station v Lisabonu, Portugalsko

- **Marina City; Autor: Bertrand Goldberg;** Adresa: Chicago; Realizace: 17.10.1997 - 26.01.2001; Užitná plocha: 21682 m²; Výška: 36 m; Plocha pozemku: 3948 m²; Zastavěná plocha: 2933 m² [22]

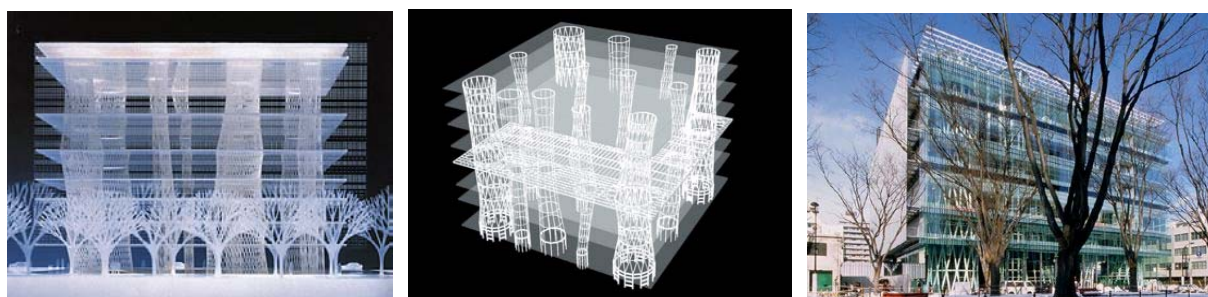
Marina City je komplex rezidenčních - komerčních budov. Leží na severním břehu Chicago River, přímo naproti městu Chicago. Komplex se skládá ze dvou 65-ti poschodových věží ve tvaru rostliny - kukuřice.



obr. 2 Marina City

- **Mediátéka v Sendai; Autor: Toyo Ito;** Adresa: 2-1, Kasuga-machi, Aoba-ku, Sendai, Japonsko; web: www.smt.jp; Realizace: 10/1997 – 01/2001; Užitná plocha: 21682 m²; Výška: 36 m; Plocha pozemku: 3948 m²; Zastavěná plocha: 2933 m² [22]

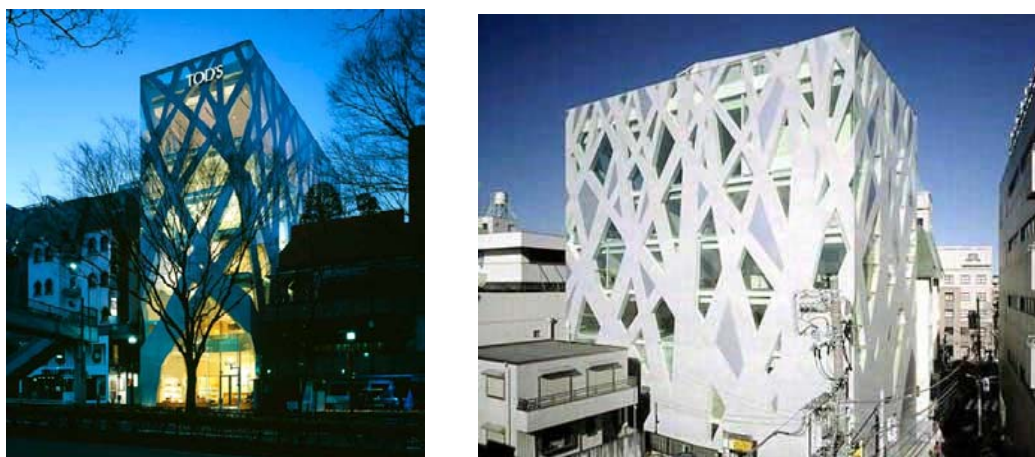
Prvotní inspirací vítězného projektu mediátéky byly plovoucí mořské chalupy. Třináct mřížových trubkových struktur vynáší sedm čtyřicet centimetrových stropů. Když se statikovi Matsuro Sasakimu dostaly do rukou první skici soutěžního návrhu, velmi mu imponovala architektova vize, avšak zároveň se obával nereálnosti celého projektu. Z kresby, kde několik nesouměrných trubek podpírá tenké destičky stropů, inženýr nakonec vytvořil třináct unikátních mřížových struktur z trubek vynášejících sedm čtvercových stropů o straně 50 m a tloušťce 400 mm. Nikdy předtím nebylo nic podobného zrealizováno. S nadsázkou lze však říct, že od Sasakiho je podobný výkon pokaždé očekáván. Každý z jeho návrhů totiž není ničím jiným, než malou inženýrskou revolucí. Sasaki mění tradiční empirické metody za nové druhy tvarových analýz využívajících principů evoluce a samoorganizace živých tvorů. Za použití počítačové metody ESO (pokročilá optimalizace evolučních struktur) je forma následně uzpůsobena tak, aby vytvářela racionální strukturální tvary.



obr. 3 Mediátéka v Sendai

- **Obchodní dům Tod's, Tokio; Autor: Toyo Ito;** Adresa: Tokio, Japonsko; Realizace: 06/2003 – 11/2004; návrh: 04/2002 – 05/2003; Výška: 7 podlaží; Plocha pozemku: 516,23 m²; celková podlažní plocha: 2549 m² [22]

Extrémní parcela byla široká pouhých 10 metrů. Na ní firma Tod's miliardáře Diega Della Vally nechala Itóa navrhout opravdu zajímavou stavbu. Fasáda, která určuje výraz celého domu, je odvozená od stromů Ginko Biloba. Ito použil strukturu tohoto stromu bez listů a tento motiv se na fasádě opakuje s tím, že v jednotlivých patrech směrem nahoru přibývá prosklených ploch (tvar petrifikované koruny stromu s prosklenými trhlinami mezi betonovými větvemi). To má kromě odkazu ke korunám stromů i svůj statický důvod. Fasáda obchodního domu je zároveň jediným nosným systémem celé stavby, v interiéru už nejsou další sloupky.



obr. 4 Obchodní dům Tod's, Tokio

- **Kongresový sál; Autor: Zdeněk Fránek;** Adresa: Rožnov pod Radhoštěm, ČR; Realizace: 2007, <http://franek.xproduction.eu/>

V těsné blízkosti skanzenu valašských dřevostaveb byl navržen kongresový sál k hotelu Eroplán. Konstrukce stavby s proporcemi jedlové šišky je zděná v kombinaci s dřevěnými žebry. Autor chtěl vytvořit stavbu jako archetyp novostavby v tomto specifickém prostředí regionu. U takto malebné lokální tradice jen kritickým pohledem lze nesklouznout do kýče. Nosná konstrukce objektu je zděná s ocelovými vazníky. Žebra po vnějším obvodu jsou dřevěná a zasklení bezrámové.

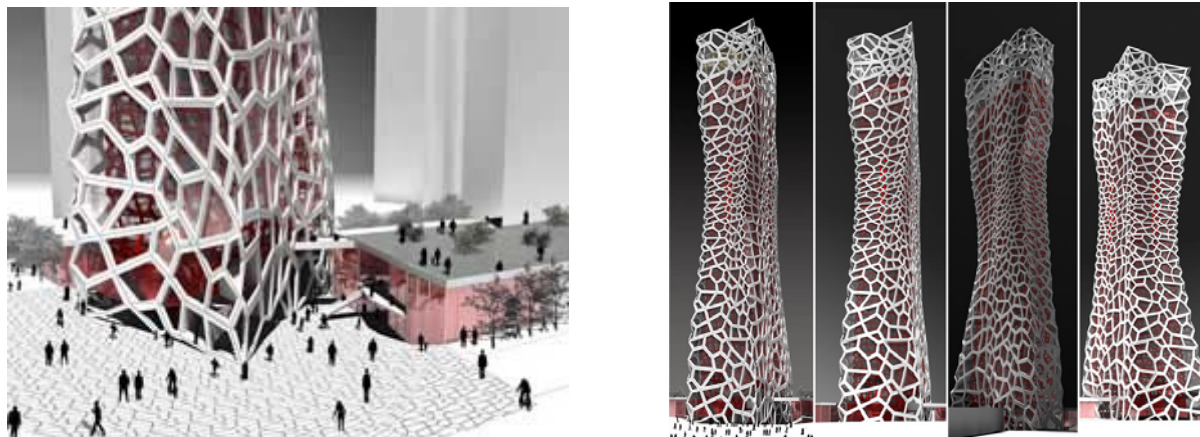


obr. 5 kongresový sál v Rožnově pod Radhoštěm

- **Torre Absolute; Autor: Michel Rojkind;** Adresa: Mississauga, Kanada; Realizace: 2005; Soutěž: 03.2005; Počet pater: 60; [22]

Koncept byl založen na proplétání novodobých kultur v globální době spojující minulost s budoucností (2 membrány) a vyrůstající ze semena jako organismus. Volně se rozvíjející linky a expresivní formy jsou přijatelné lidskému tělu, mysli i duchu a jsou zakořeněny ve vášni pro život a přírodu, což se projevilo v této ikonické věži. Betonová konstrukce se skládá

z centrálního jádra dvojité membrány umožňující zredukovat průřezy sloupů a trámů. Šedesátipatrová stavba se tak jeví jako velmi lehká, čilá a dynamická. Zbýlý prostor mezi oběma membránami vytvářejí kryté balkony s přírodní krajinou a ergonomicky navrženou topografií obohacenou životními zkušenostmi při obývání meziprostoru. Centrální jádro a strukturální fasáda umožňuje nekonečnou variabilitu půdorysů, včetně obytných jednotek na výšku dvou pater.



obr. 6 komerční budova Torre Absolute

- **Tschuggen "Horská oáza"/ Grand Hotel; Architekt: Mario Botta; Projekt/Místo:** Tschuggen Bergoase, Arosa/Švýcarsko; Kolekce: Axor Starck; Foto: Urs Homberger, Arosa

Věhlasný architekt Mario Botta vytvořil v nadmořské výšce 1800 metrů nad mořem oázu ve stylu wellness o rozloze 5000 m², která teď, po třech letech výstavby, odhaluje svou okouzlující tvář v horském středisku Arosa ve švýcarském kantonu Grisons. Střecha tvořená mohutnými filigránskými plachtami ze skla a oceli se harmonicky prolíná s okolním prostředím. Ve dne poskytují plachty záplavy světla v pokojích, v noci zalévají teplým světlem idylickou horskou vesničku Arosa. Lze konstatovat, že stavba svým tvarem a členitostí simuluje stromy a vyplňuje tak proluku v lese.



obr. 7 Grand Hotel ve Švýcarsku

Dále můžeme jmenovat stavby od Jeana Nouvela – Torre Agbar v Barceloně, stavba od Lorda Normana Fostra – Swiss Re Headquarters v Londýně, **London Bridge Tower od architekta Renzo Piano** - ta může symbolizovat podobu jehličnanu, který má směrem ke své špici kratší větve. Tyto stavby jsou pozoruhodným výtvarným dílem proto, že svým tvarem a formou se vyčleňují z okolní zástavby.



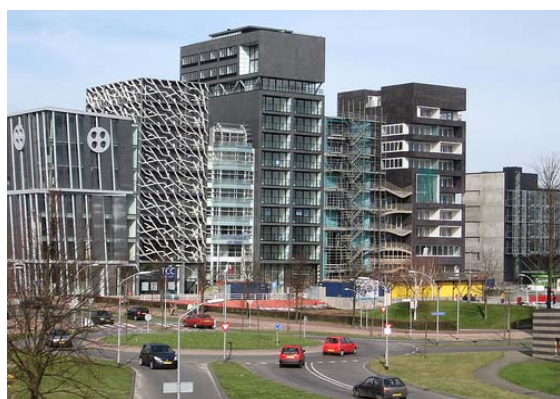
obr. 8 London Bridge Tower, Renzo Piano

Příkladem z České republiky je televizní vysílač a horský **hotel Ještěd od Karla Hubáčka**, z roku 1966-73, v Horním Hanychově – Liberec. Stavba vysílače a hotelu byla navržena s ohledem na působení zatížení. Stejně jako na konstrukci stromu působí síla gravitace a větru. Ten se se zatížením vyrovnává pomocí kmenu, který je u země nejvíc rozšířen a tím je stabilní. Na základě statických výpočtů i inženýři dospěli k tomu, že je tvar kužele (zvláště rotační hyperboloid) velmi stabilní, obdobně jako „kužel růstu“.



obr. 9 Ještěd, Karel Hubáček

Dalším příkladem, kde je tentokrát uplatněna předloha tvarová, jsou kancelářské budovy **Zilverparkkade od Reného van Zuuka** ve městě Lelystad, Holandsko, realizace 2004-6. Všechny čtyři povrchy fasád v návrhu jsou částečně či zcela pokryty prefabrikovanými betonovými prvky, které symbolizují strukturu větví.



obr. 10 kancelářská budova Zilverparkkade, Lelystad, Holandsko

Nejvyšší most na světě, jehož autorem je britský architekt **Sir Norman Foster**, se nachází v jižní Francii v údolí řeky Tarn. **Most Pont de Millau** se klene nad chráněnou přírodní rezervaci a spojuje dálnici A75 Paříž - Barcelona v místě, kde je přerušena řekou Tarn. Délka stavby mostu, jehož nejvyšší pilíř měří téměř 245 metrů, byla 39 měsíců.

Stavba 2460 metrů dlouhého mostu začala v říjnu 2001. Most podepírá 7 předpjatých betonových pilířů, které mají tvar obráceného písmene Y. Největší délka mostního pole je 342 metrů. Krajní pole mostu mají délku 204 metrů. Nejvyšší z pylonů se vypíná do výšky 342 metrů, což je o 14 % víc, než je výška známé Eiffelovy věže. V nejvyšším bodě je vozovka ve výši 270 m. Stavba připomíná alej stromů, jejíž větve drží lávku.



obr. 11 most Pont de Millau

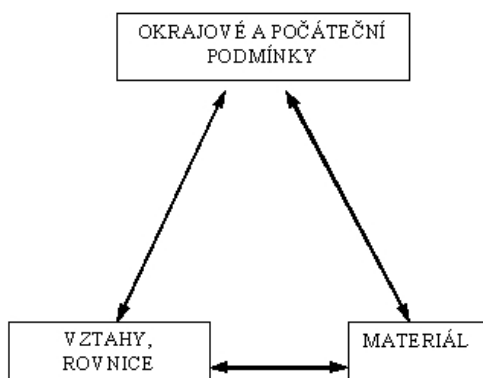
5.2 Stav rozpracování disertační práce

Na strom jako na předlohu pro architektonické dílo můžeme pohlížet z několika hledisek, a to:

5.2.1 Konstruktivně – stavební hledisko [39]

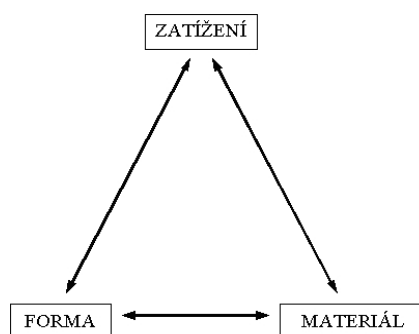
Při navrhování každého architektonického díla je dobré si ujasnit výchozí situaci, poznatky, které máme k dispozici, a principy, které budou danou problematiku ovlivňovat. Převedeme-li zde napsané do technické mluvy, pak pro analýzu určité struktury je nutno znát okrajové a

počáteční podmínky, materiálové vlastnosti a vztahy - rovnice, popisující probíhající děje. Získáváme tedy jakési trojúhelníkové schéma:



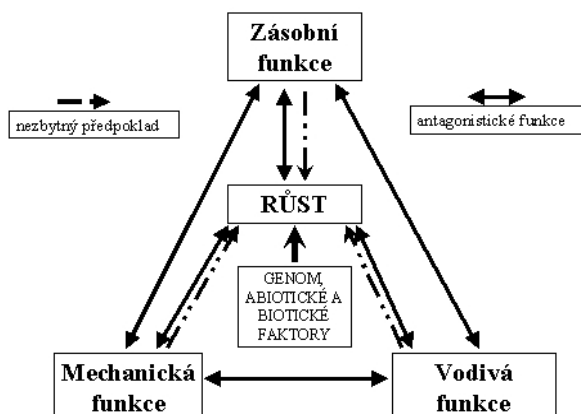
obr. 12 trojúhelníkové schéma č.1

Další schematické znázornění, které lze najít v pracích Lothara Wessollyho (např. Wessolly, Erb, 1998) je takzvaný *trojúhelník statiky stromu*, jehož vrcholy tvoří: materiál, zatížení (síla), forma (geometrie). Tento diagram lze interpretovat následujícím způsobem: pro úspěšný přenos síly, která působí na strom, je potřeba dostatečné množství materiálu s určitými vlastnostmi, vhodně rozmístněného v prostoru.



obr. 13 trojúhelníkové schéma č.2

Protože je však strom nejen vetknutým nosníkem, ale také živým organismem, je nutno jeho stabilitu také zapojit do jeho biologických funkcí. K tomu nám úspěšně poslouží schema převzaté z knihy V. Mosbruggera (1990) *The tree habit in the land plants*.



obr. 14 schéma č. 3

Jak interpretovat tento diagram? Strom, aby zůstal živým stromem, musí naplnit několik funkcí, z nichž pro stabilitu stromu jsou relevantní: vodivá (transportní), mechanická a zásobní. Není explicitně uvedena fotosyntetická aktivita, kterou však můžeme implicitně najít ve všech ostatních funkcích jako je zdroj pohybu v transportních procesech, zátěž (listy) v mechanické funkci nebo zdroj skladovatelných látek v zásobní funkci.

Tři uvedené funkce kladou rozdílné nároky na vnější i vnitřní stavbu kmene. Dokonalý zásobní orgán není příliš ideální pro přenos napětí a transport vody s rozpuštěnými látkami (např. hlíza lilku bramboru). Výkonné vodivé pletivo není ideální pro uchovávání zásob a jeho mechanická odolnost je omezená (např. dřevo lián nebo letní dřevo jehličnanů). A konečně ideální mechanické pletivo (např. reakční dřevo) je nevhodné pro ukládání látek a jejich transport.

Jelikož požadavky, které tyto funkce kladou na strukturu a vlastnosti dřeva a na tvar a velikost stavebních prvků (tj. od makromolekul celulózy až po kmen či větev), jsou antagonistické (protichůdné). Řešením je pouze kompromisní tvar a struktura, tedy stav kdy ani jedna funkce není plněna dokonale, ale všechny potřeby jsou dostatečně zajištěny.

Tvar kmene, větví, kořenů, listů atd. a jejich vnitřní struktura je dána procesem růstu, v němž daná část stromu vznikla. Růst je tedy právem ve středu diagramu, neboť spojuje všechny funkce a jejich nároky. Připomeňme si, že známe dva základní typy růstu:

- *růst primární*, který je dílem primárních meristémů v růstových vrcholech výhonů a kořenů. Je to růst dlouhivý. V průběhu tohoto růstu je určován směr výhonů a kořenů, a tedy v základu struktura koruny a kořenového systému.

- *růst sekundární*, v němž strom zvětšuje průměr svých částí vytvářením vrstev dřeva (a také lýka, jehož podíl je však zanedbatelný), a který je výrazně důležitější z hlediska stability stromu. Sekundární dřevo je vytvářeno meristematickým pletivem kambiem.

Dřevo je pletivo, které naplňuje všechny jmenované funkce. Je k tomu uzpůsobeno svojí stavbou i chemickým složením. Jelikož se jedná o antagonistické funkce, výsledkem je kompromis, tedy nikoliv ideální zásobní či mechanické či vodivé pletivo, ale ideální zásobní a mechanické a transportní pletivo.

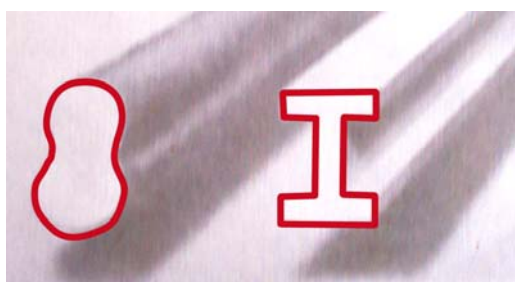
Zatížení působící na strom [39]

Na strom působí 4 základní zdroje mechanického napětí. Můžeme je seřadit podle důležitosti ve vzestupném pořadí:

- růstová napětí

- zatížení vlastní hmotností
- aditivní zátěž (voda, sníh, led)
- vítr

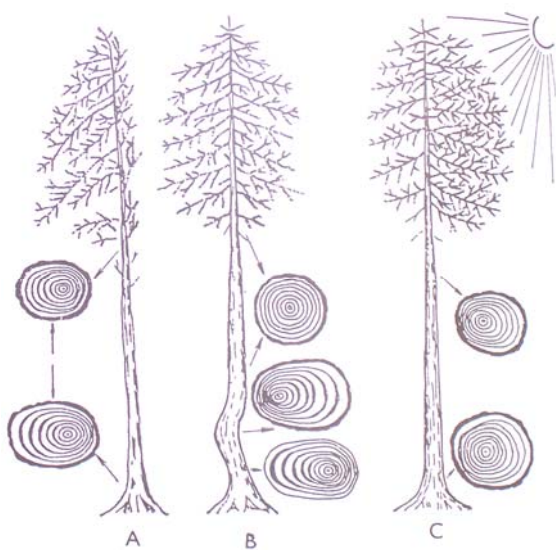
Dále je také nutno se zastavit u způsobu, kterým napětí na strom a jeho části působí. Zatížení pak můžeme rozdělit podle typu na tlakové, tahové, smykové, ohybové a torzní. Podle charakteru působení je pak nutno rozlišit zatížení trvalé, statické a dynamické.



obr. 15 Větev stromu a I-profil, který se používá i při stavbě domu, mají v průřezu podobný tvar (podobně také zub prasete bradavičnatého) [44]

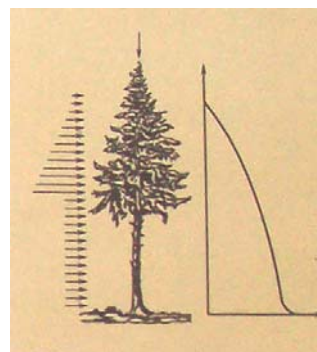


obr. 16 Ohnutím vzniká ve větvi jak tahové, tak tlakové napětí; napětí na ohnuté větvi není rozloženo rovnoměrně – nahoře je napětí nejvyšší a směrem ke středu se snižuje; uprostřed nepůsobí ani jeden druh napětí [44]



obr. 17 Příčiny vzniku zploštění kmene (podle Klíra 1981) [2]

- A – působení větru
- B – vliv křivého růstu
- C – vliv těžiště stromu s jednostrannou korunou



obr. 18 Zatížením větrem [3]

5.2.2 Klimaticko – ekologické hledisko

Strom se také uzpůsobuje podle klimatických změn. Vědní obor, který se zabývá vlivem prostředí a klimatických podmínek na růst stromu (a tím i na letokruhy) se jmenuje dendroklimatologie.

V souvislosti s neudržitelným růstem měst se stala životně důležitou otázkou zabezpečení co nejlepšího klimatického a biologického prostředí, a to i pomocí architektonických prostředků. Je nevyhnutelné najít řešení, při kterém by mohl architekt maximálně zužítkovat všechny příznivé stránky okolního prostředí a zároveň izolovat člověka od nepříznivých klimatických vlivů, tj. zajistit pro lidský organismus podmínky příjemného biologického prostředí při vynaložení minimálních prostředků. Le Corbusier symbolicky zobrazil životatvorný ideál architektury: strom a slunce. Slunce má vliv na změnu celkové struktury a formy organismu, tj. na vzájemné uspořádání jeho částí v prostoru, například listů na kmeni stromů nebo stéble rostlin. V takových oblastech, kde je slunečné záření slabé, se rostlina snaží svými listy přijmout co nejvíce slunečních paprsků.



obr. 19 Le Corbusier – životatvorný symbol

Zde uvedeme příklad „větrných“ staveb:

Větrný dům, navržený americkým architektem Michaellem Jantzenem v severní Kalifornii; [29]

Dům funguje na základě systému Rubikovy kostky - hlavolamu, který se stal hitem na přelomu 70. a 80. let 20. století. V základním postavení stojí všechny části domu v symetrické poloze. Jakmile se do domu opře vítr, začnou se bloky otáčet a jejich poloha se mění. Obyvatelé domu mohou upravovat rotaci podle svých přání a představ. Budova funguje obdobně jako větrný mlýn, přičemž vítr je schopen vygenerovat dostatek elektřiny, kterou mohou následně obyvatelé domu využít ke svícení.

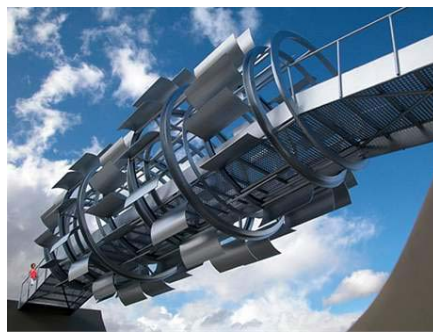


obr. 20 Větrný dům

Větrný tunelový most pro pěší – projekt Michaela Jantzena; [29]

Jedná se o nový typ mostu pro pěší z oceli a hliníku, využívající energii vygenerovanou větrem. Vítr otáčí různou rychlostí pět kol větrné turbíny okolo mostu a chodců, kteří po něm přecházejí. Tři z těchto pěti kol se otáčejí jedním směrem, zatímco zbývající dvě kola rotují na opačnou stranu. Takto roztočená kola mohou vytvářet různé elektronické zvuky.

Stejně jako větrné mlýny, je tento unikátní pěší most schopen vygenerovat a uchovávat elektrickou energii.



obr. 21 Větrný tunelový most

Mrakodrap na větrný pohon – projekt Davidem Fischerem; [29]

David Fisher prohlašuje, že jeho otáčivý mrakodrap nejenže vytvoří dostatek energie pro svou vlastní potřebu, ale vygeneruje i energii pro dalších deset budov stejné velikosti, a to pomocí velkých větrných turbín umístěných mezi každým poschodím.



obr. 22 Mrakodrapy

Nastolení otázky samoregulace má význam nejen vzhledem k úpravě vzduchu v budovách, tj. konstrukce různých ventilačních zařízení. Samoregulace se bezprostředně dotýká také změny formy. Svět živé přírody ihned reaguje na různé výkyvy teploty, vlhkosti, na pohyb slunce „točivými“ pohyby částí forem organismů. Regulace se v živé přírodě děje automaticky jako výsledek vzájemného působení systému: organismus – prostředí. Toto je vyšší forma regulace. V architektuře může být organizovaná za použití automatických nebo mechanických prostředků.



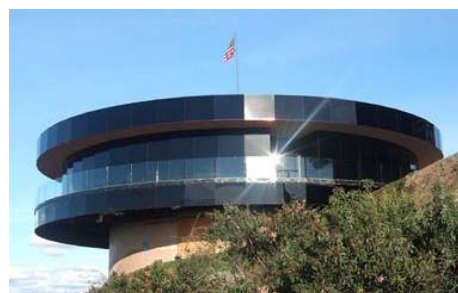
obr. 23 změny listů v závislosti na vlhkosti
(vlevo – ve vodě, vpravo – na vzduchu) [1]

Zde uvedeme příklad „sluneční“ stavby, která reaguje na úhel dopadu slunečních paprsků:

Rotující dům, San Diego, USA – architekti Al a Janet Johnstonovi; [29]

Nejen že stavba příznivě zapadla do okolního životního prostředí, ale je i energeticky samostatná, právě díky solárním kolektorům umístěným na střeše, které následují slunce v průběhu celého dne na způsob slunečnice. Avšak nejpozoruhodnější na tomto obydlí je jeho

centrální hřídel - osa, na které se celý dům otáčí. Přední část stavby, chráněná silnými trojitými okny, je v průběhu zimy namířena ke slunci, zatímco zadní část, vybavená standardní izolací, rotuje za sluncem během teplých letních měsíců.

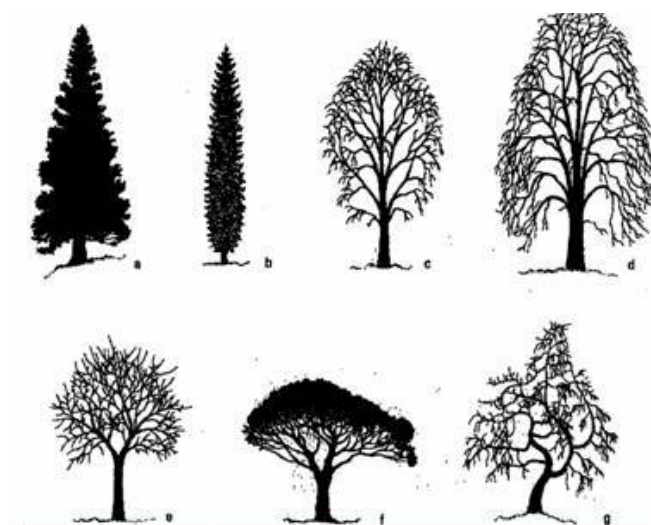


obr. 24 Rotující dům

5.2.3 Esteticko – tvarové hledisko

Má použití principů výstavby živých struktur vliv na krásu architektonických forem, na uměleckou hodnotu architektury, na její obraznost? Máme objektivní zákony krásy a harmonie živé přírody, které jsou pro architekturu (architekta) zajímavé. V živé přírodě nacházíme vykryštalizovanou harmonii existence a vytváření forem mnoho-početných druhů živočišného a rostlinného světa, dokonalost rozmanitých organismů, tj. důležité prvky estetických vztahů. Tato harmonie vznikla na základě přirozeného výběru trvajících milióny let. Sociální podmíněnost krásy architektury je o mnoho složitější než biologický základ harmonie v živé přírodě.

V průběhu celého vývoje architektury tvůrci brali v úvahu vlastnosti přírodních forem a prostoru a přivedli architekturu k obraznosti. Přírodní formy a jejich prostorové kombinace se staly předobrazy uměleckých architektonických forem.



obr. 25 Tvary koruny stromů [4]:

- a – jehlancovitá (kuželovitá)
- b – úzce vřetenovitá
- c – elipsoidní
- d – vejčitá
- e – kulovitá
- f – deštníkovitá
- g – nepravidelná

Dřeviny a zejména stromy upoutají naši pozornost kmenem a větvemi tvořícími korunu (obrázek č. 25). Těch rozeznáváme několik druhů, viz obrázek. Ostatní znaky jsou druhotné a všimneme si jich až při delším pozorování. Výstavba koruny se řídí přesnými dědičnými

zákony, ale může být též ovlivněna vnějšími vlivy. Přirozenou a důležitou vlastností stonku je větvení – tak rostlina využívá maximum prostoru a slunečního záření. Větévky vyrůstají z pupenů mateřského stonku. Pupeny jsou též určovací znaky dřevin v zimě, kdy rostlina ještě nemá listy. [4]

Sběr dat, který má mít konečnou podobu výčtu realizovaných a projektovaných bionických staveb, je průběžně doplňován i o drobné modely, které mají ukazovat vlastnosti a charakteristiku konkrétních přírodních vzorů, které můžeme použít do návrhu staveb.

5.2.4 Modely založené na konstrukčním předobrazu

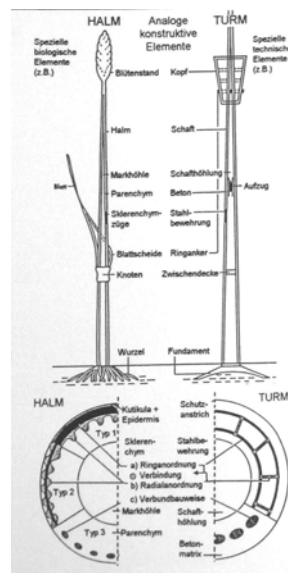
Pro modely byly vybrány dvě kategorie konstrukční formy – výškové budovy a skořepiny.

► Imitace stébla trávy- srovnání tuhosti dvou papírových rour stejné výšky

Vlevo je postavena roura z jednoho listu papíru, vpravo stojí model „imitace trávy“, tj. tloušťka stěny roury je silnější – vyztuženější o „harmonikovou“ výstelku. Byly provedeny dvě zátěžové zkoušky. V obou případech byly modely přilepeny lepidlem k pevné papírové podložce, jak je uvedeno na obrázku č. 26.

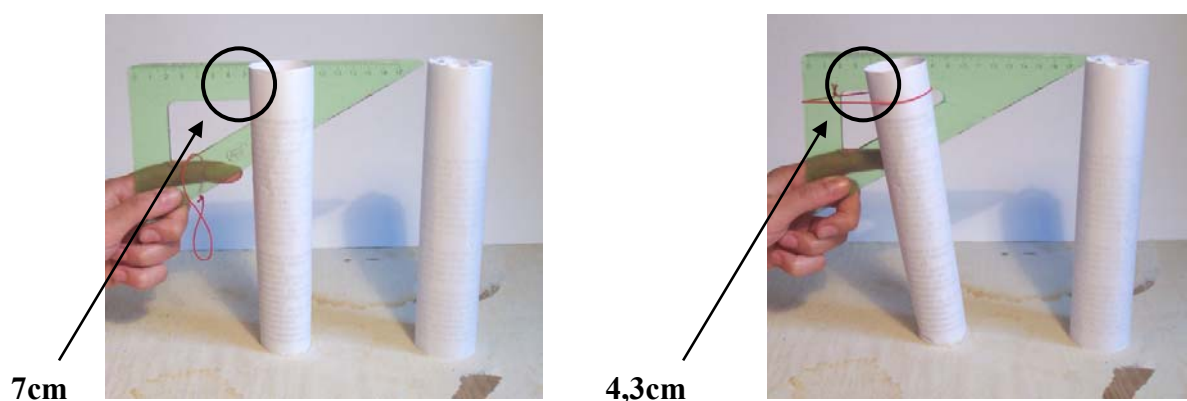


obr. 26 Průřezy modelů



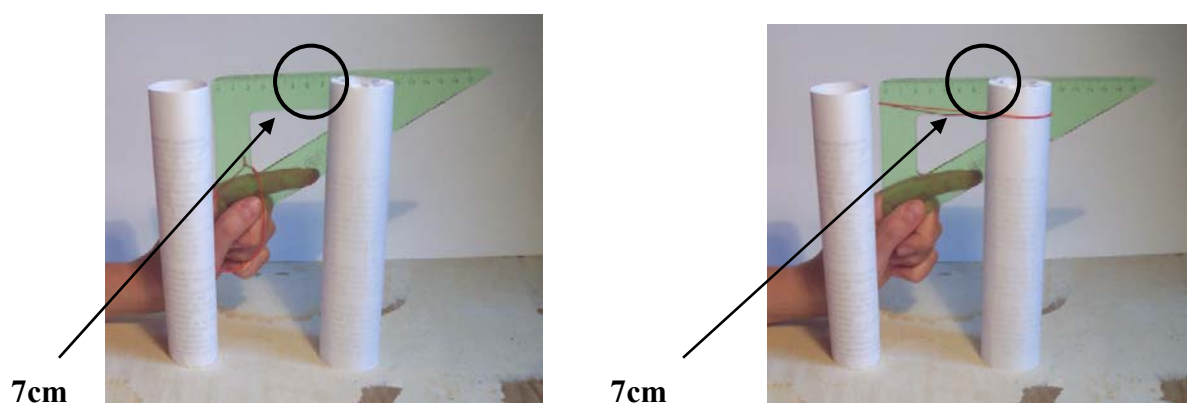
obr. 27 Stéblo jako předloha věže [1]

V prvním případě byly tyčové prvky namáhány na ohyb pomocí pravítka s tenkou gumičkou. Pravítko bylo od prvku vzdáleno vždy o sedm centimetrů. Ve stejné vzdálenosti byla roura obepnuta gumičkou.



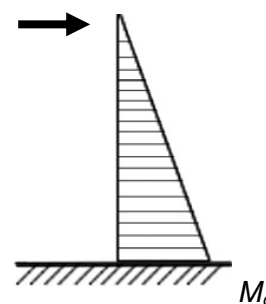
obr. 28 Tenkostěnná roura namáhaná na ohyb

Tenkostěnná roura se odlepila od podložky a vychýlila se z vertikální polohy o 2,7cm.



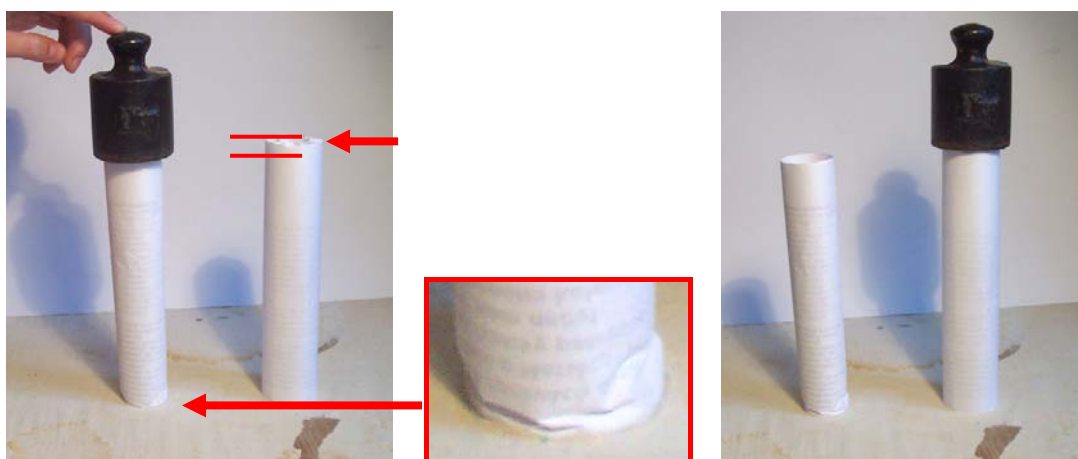
obr. 29 Tlustostěnná roura namáhaná na ohyb

Tlustostěnná roura se z vertikální polohy nepohnula, protože k podložce je připevněna větší plochou než levý prvek. Deformace je nepřímo úměrná centrálnímu kvadratickému momentu průřezu roury. Pro tenkostěnnou rouru je tento moment nižší, proto je deformace výraznější.



obr. 30 Obecný diagram ohybového momentu

V druhém případě byl zkoušen svislý tlak na tyčový prvek. Opět je tenkostěnná roura na levé straně. Závaží mělo 1kg. U tenkostěnného prvku bylo závaží přidržováno rukou, aby se roura zátěží nevychýlila z vertikální polohy, což prokazatelně po vzdálení ruky proběhlo (došlo k úplnému zřícení, zborcení a odlepení od podložky). Oproti tomu pravý prvek se nevychýlil a zátěž na něj mohla být bezproblémově položena. Ani po delší časové době se prvek nezhroutil ani jinak nezdeformoval.



obr. 31 Rozdíl mezi únosností tenkostěnné (vlevo) a tlustostěnné (vpravo) roury

U tenkostěnné roury došlo k deformaci papíru těsně u podložky. Touto deformací se prvek zkrátil. Deformace je úměrná napětí, které je dáno poměrem síly a průřezu prvku. U tenkostěnné roury je tento průřez nižší, proto je deformace výraznější.

► Skořepina

Pro model skořepiny (odvozeno od slova skořápka) bylo použito vajíčko. Vajíčko při své tenké skořápce musí odolat vnějšímu zatížení (např. sedící slepici). V architektuře lze použít libovolné křivky. U tohoto pokusu byly zatěžovány jen jeho půlené části. Pracovní modely byly vyrobeny pomocí gázy a sádry.

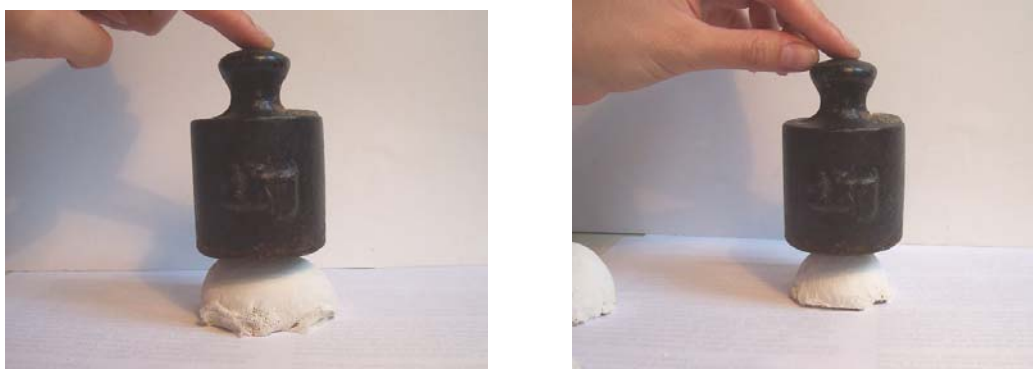


obr. 32 Tvar vajíčka



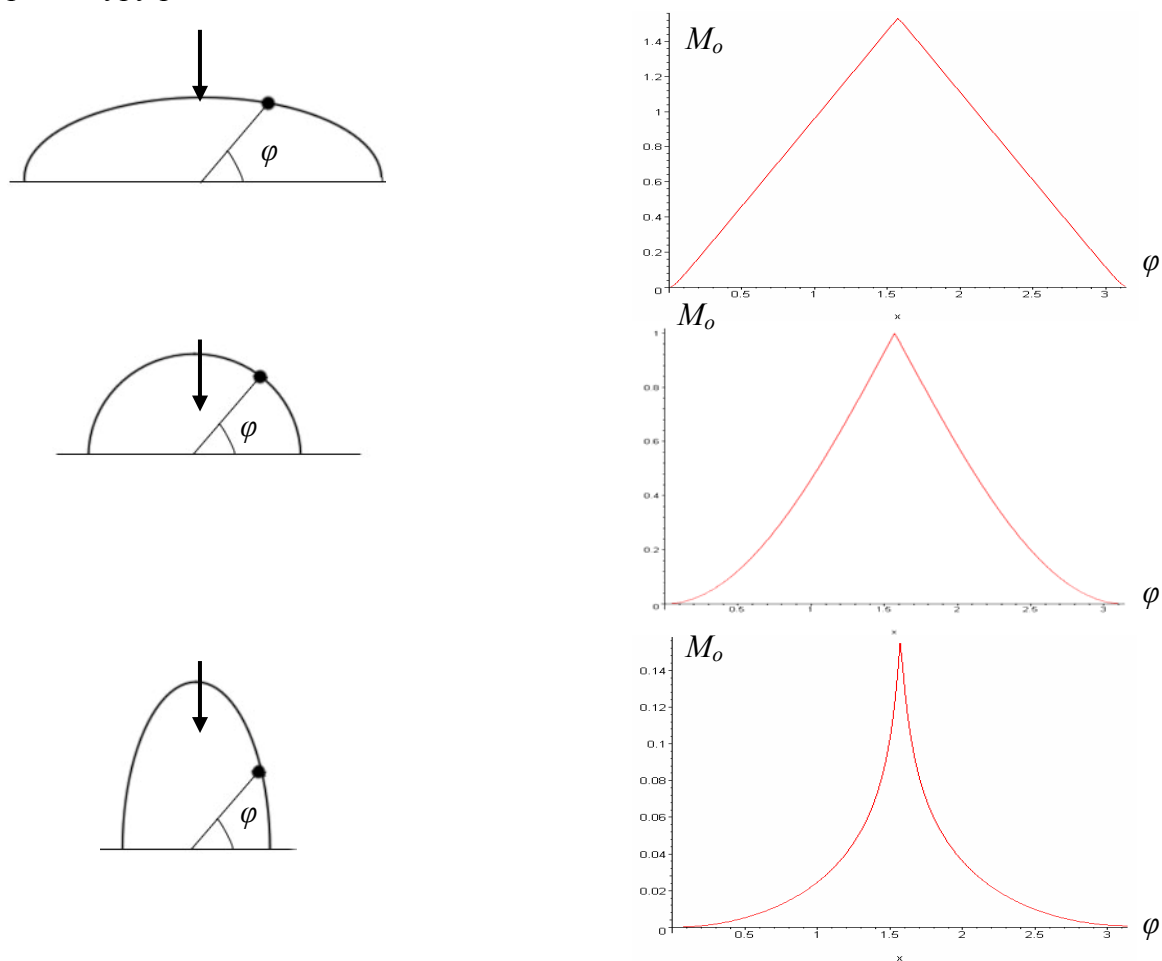
obr. 33 Sádrové odlitky různých částí vajíčka – špička, symetrická půlka, „široká špička“

Zátěž u všech tří modelů byla stejná – 1kg. Jelikož deformace modelů nebyla patrná, je zde graficky znázorněn průběh namáhání.



obr. 34 Zatížení všech částí vajíčka – špičky, symetrické půlky, „široké špičky“

Prasknutí (zborcení) skořepiny závisí na ohybovém momentu. Výpočet průběhu ohybového momentu pro skořepinu je složitý, proto byl pro výpočet použit model prutu ve tvaru půlkruhu (půlelipsy). Graf ohybového momentu pro skořepinu by byl obdobný. Průběh ohybového momentu M_o v závislosti na úhlu φ (viz. obrázek č. 35) je vyjádřen následujícími třemi grafy, pro tři typy prutu.



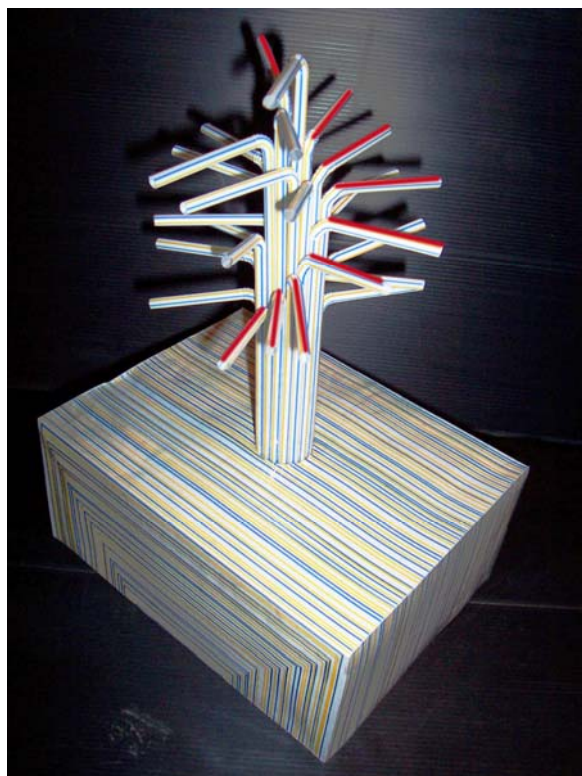
obr. 35 Průběh ohybového momentu M_o

Při navrhování tvaru skořepiny v architektuře musí probíhat souběžně výpočet nosnosti stavby při vnějším zatížení. Architekt musí být současně statikem nebo s ním musí alespoň spolupracovat.

5.2.5 Modely založené na tvarovém předobrazu

Vize prvních modelů byla postavena na pokusu vytvořit menší architektonický objekt, který bude přejímat charakteristiku stromu – např. most, vyhlídka, židle, místnost. Některé modely byly vyrobené z materiálů, které byly úmyslně použity pro svoji charakteristiku (např. polystyren – měkkost – ochrana před okolím). Základem pro vypracování modelů jsou skici, které jsou tvořeny na základě pozorování stromů.

Cílem je vytvořit více modelů, které budou nastiňovat různé možnosti předloh ze stromů – jejich širokou škálu.



obr. 37 *Schody / rozhledna / vyhlídka*
- kdo by v dětství nelezl na stromy...
(model vyroben ze slánek)



obr. 38 *Posezení / židle*
- kdo by v dětství nesedával na stromech...
(model vyroben z polystyrénových dílků)



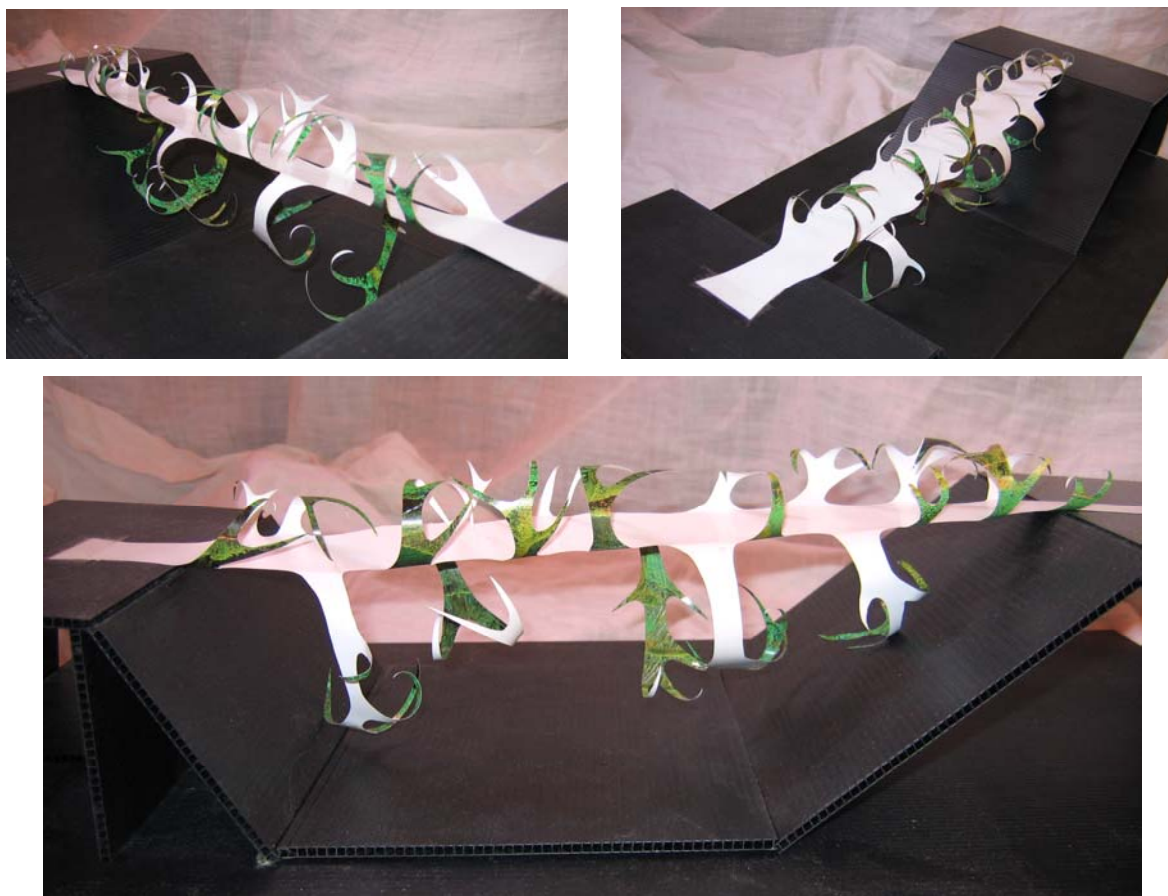
obr. 36 *Místnost*

- skloněné větve vrby vytváří ohraničený prostor, který má svůj ojedinělý tvar a kouzlo...



obr. 39 *Stěna / zeď / plot*

- volně vzrostlé keře nebo stromy u cesty můžou chránit poutníka před větrem, sněhem, sluncem; mohou poskytnout zázvutí, stín pro odpočinek..



obr. 40 *Most*

- skácený strom přes řeku umožňuje jeden ze způsobů jak přejít na druhou stranu (přitom horní větve mohou sloužit jako zábradlí a spodní jako pilíře)...

6. Závěr

Cílem disertační práce je charakteristika současného dění ve světě v oblasti bioniky v architektuře a hypotéza předpokládaného vývoje. Část charakteristiky bude zaměřena na objekt stromu, jako zdroje inspirace pro architektonickou tvorbu. Bude vytvořen souhrn možností využití stromu jako předlohy pro vytvoření architektonického díla.

Ucelený souhrn nových poznatků v architektuře ovlivněné bionikou a výčet bionických staveb mohou být začleněny do výuky na fakultě architektury, kde rozšíří přehled o současné projekci a vytvoří nové podněty pro kreativní práci studentů fakulty architektury a následně architektů v praxi.

7. Shrnutí, klíčová slova / Abstract, key words

○ Shrnutí

Cílem disertační práce je zmapování současného navrhování bionické architektury po celém světě. Součástí práce bude hypotéza předpokládaného vývoje navrhování ovlivněné touto vědou. Část bádání bude zaměřená na objekt stromu, jako zdroje inspirací pro tvorbu. Bude vytvořen souhrn možností využití stromu jako předlohy pro vytvoření architektonického díla.

○ Klíčová slova

Bionika, přírodní předobrazy, konstrukce, stavba, klima, ekologie, estetika, tvar, principy.

• Abstract

An ambition of thesis is charted and characteristic contemporary designing in whole world. This designing is intent on area bionics in architecture and further hypothesis supposed making. One part of research will be intent on object of tree as the source of inspiration for creation. It will be make complex of possibility improvement of tree as a model for creation architectures' works.

• Key words

Bionics, nature's pattern, construction, structure, clime, aesthetics, shape, form, principles.

8. Seznam prací autora vztahující se k disertaci

Během doktorandského studia na Fakultě architektury VUT v Brně byly vypracovány seminární práce, které byly v této práci využity, a to:

- *Vypracování bibliografie, vypracování rešerše*, předmět: Metodika vědecké práce, 2007
- *Rozbor a užití vybrané metody*, předmět: Metodika vědecké práce, 2007
- *Osnova vědecké práce*, předmět: Metodika vědecké práce, 2007
- *Konstrukce z předloh biologických struktur*, předmět: Konstrukce v architektuře, 2008
- *Strom jako předobraz výtvarného díla*, předmět: Výtvarné dílo v architektuře, 2008
- *Současný stav prvních bionických staveb*, předmět: Ochrana a obnova památek, 2008.

V roce 2007 a 2008 byla vypracována osnova a analýza současného stavu řešeného problému. Dále byly příspěvky do sborníku Vědecké konference doktorandů konané na Fakultě architektury VUT v Brně:

- *Bionika v architektuře*, XII. Vědecká konference doktorandů FA VUT v Brně, 2008
- *Strom jako inspirace architektury*, XIII. Vědecká konference doktorandů FA VUT v Brně, ISBN 978-80-214-3878-1, 2009

9. Literatura

- [1] LEBEDEV, Jakov Sergejevič. *Architektura a bionika*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, vydavatelství technické a ekonomické literatury, 1982. 192 s. ISBN 63-146-82.
- [2] LITINECKIJ, Izot Borisovič. *Bionika*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1982. 341s.*
- [3] ECK, Doc. Ing. Vladimír, CSc. *Bionika*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 161 s. ISBN 80-01-01845-8
- [4] HEYNERT, Horst. *Úvod do obecné bioniky*. 1. vyd. Praha: Academia, 1977. 218 s.*
- [5] AKIMUŠKIN, Igor Ivanovič. *Podivuhodná zvířata*, 1. vyd. Praha: Lidové nakladatelství, 1986. 217 s. (přeložil z ruštiny Čihař Jiří)*
- [6] BALCAR, Blahoslav. *Tajemství života*. 2.vyd. Praha: Advent – Orion, 1997, 283 s. ISBN 80-7172-206-5
- [7] FRANCK, Dierk. *Etologie*, 2. přeprac. a rozšířené vyd. Praha: Karolinum, 1996, 323 s. ISBN 80-70-66-878-4
- [8] CÍLEK, Václav. *Krajiny vnitřní a vnější*, 2. vyd. Praha: Dokořán, 2002, 231 s. ISBN 80-86569-29-2
- [9] GATES, Phil. *Věda a příroda*, 1. vyd. Bratislava: Mladé letá, 1995, 80 s. ISBN 80-06-00710-1
- [10] GIBODA, Michal. *Dialog vědy s uměním*, 1. vyd. České Budějovice: Občanské sdružení Dialog vědy s uměním, 2003, 76 s. ISBN 80-7040-565-1
- [11] GREGUSS, Ferenc., *Patente der Natur*, 2. vyd. Berlín: Neues Leben, 1988, 319 s.*
- [12] HOLČÍK, Jiří., STRASZECKA, Ewa. *Bionika*, 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické 1999, 110 s. ISBN 80-214-1487-1
- [13] HOLDOBLER, Bert., WILSON, Edward., *Cesta k mravencům*, 1. vyd. Praha: Academia, 1997, 198 s. ISBN 80-200-06125
- [14] LORENZ, Konrad. *Odumírání lidskosti*, 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1997, 195 s. ISBN 80-204-0645-X
- [15] LEWIS, Thomas. *Myšlenky pozdě v noci*, 1. vyd. Praha: Kolumbus Mladá fronta, 1989, 285 s. ISBN 23-027-89
- [16] RAAB, Miroslav. *Materiály a člověk*, 1. vyd. Praha: Encyklopedický dům, 1999, 228 s. ISBN 80-86044-13-0
- [17] STIBRAL, Karel. *Proč je příroda krásná*, 1. vyd. Praha: Dokořán, 2005, 202 s. ISBN 80-7363-008-13-0
- [18] WAPPERT, R. a kol, *Bionik*, 1. vyd. Mannheim: Landesmuseum fur Technik und Arbeit, 1998, ISBN 3-9804930-5-9
- [19] ALDERSEY-WILLIAMS, HUGH. *Zoomorphic: New animal architecture*, 1. vyd. New York: Laurence King ;Harper Design International, 2003, 176 s., ISBN 1-856693-40-6
- [20] Encyklopedie on-line. server USA, Florida, průběžná aktualizace encyklopedie, dostupná z URL: <<http://www.wikipedia.cz/>>
- [21] HAGENEDER, Fred, *Moudrost stromů*, 1. vyd. Praha: Euromedia Group, k.s. – Knižní klub, 2006, 224 s. ISBN 80-242-1635-3
- [22] Portál STM. Brno, 1997-2009, dostupný z URL: <<http://www.archiweb.cz/>> ISSN: 1801-3902
- [23] ŽIVČÁK, Josef. *Základy bioniky a biomechaniky*, 1. vyd. Prešov: ManaCon, 2004, 256 s. ISBN 80-89040-25-X
- [24] PORTMANN, Adolf. *Nové cesty biologie I-II*; Praha: Scientia et Philosophia 7+8,1997
- [25] HRUBÝ, Ing. arch. Jan, CSc. *Vývoj architektury v 19. a 20. století*. 2. vyd. Brno: Vysoké

- učení technické, 1989, s. 149.*
- [26] HAAS, Doc. Ing. arch. Felix. CSc. *Architektura 20. století*. 2. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1980. 645 s. ISBN 14-706-80
- [27] POŽGAJ, Alexandr. CHOVANEC, D., KURJATKO S., BABIAK M., *Štruktúra a vlastnosti dreva*, 1. vyd. Bratislava: Priroda, 1997, 120 s. ISBN 80-07-00960-4
- [28] Drápal Jaroslav, *Architektonické struktury*, [katalog výstavy]: [Galerie J. Fragnera v Praze, 15.-31.1.1997] /Praha, 1997
- [29] De Morant Henry, *Dějiny užitého umění*, Praha, 1983 *
- [30] Vesmír
- [31] VAŇKOVÁ, H.. *Příroda jako zdroj inspirace*, Praha: Vydavatelství, 2005
- [32] KOMÁREK, Stanislav.. *Dějiny biologického myšlení*, Praha: Vydavatelství, 2000
- [33] HOLČÍK, Jiří. *Bionika: Biologické systémy a procesy*, Brno: VUT, 1998
- [34] BEIER, GLASS. *Bionika*, 1971
- [35] BARABASÍ, László Albert. *V pavučině síť*, 1. vyd. Praha - Litomyšl: Paseka, 2005, 274 s. ISBN 80-7185-751-3
- [36] NACHTIGAL, Werner. *Das grosse Buch der Bionik*, 1. vyd. Deutsche Verlags-Anstalt, 2003, 400 s. ISBN-10: 3421058016
- [37] NACHTIGAL, Werner. *Bau-Bionik: Natur – Analogien – Technik*, 1.vyd. Springer, 2003, 289 s. ISBN-10: 3540443363, ISBN-13: 978-3540443360
- [38] NACHTIGAL, Werner. *Insektenflug: Konstruktionsmorphologie, Biomechanik, Flugverhalten*, 1. vyd. Springer, 2003, 483 s. ISBN-10: 354000047X ISBN-13: 978-3540000471
- [39] Univerzitní server Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity, dostupný na URL: <<http://wood.mendelu.cz>>
- [40] NACHTIGAL, Werner. *Biologisches Design: Systematischer Katalog für bionisches Gestalten*, 1. vyd. Springer, 2005, 744 s., ISBN-10: 354022789X ISBN-13: 978-3540227892
- [41] KESEL, Antonia. *Bionik*, 1. vyd. Fischer Taschenbuch Vlg., 2005, 127 s. ISBN-10: 3596161231 ISBN-13: 978-3596161232
- [42] HANSELL, Mike. *Built by Animals: The Natural History of Animal Architecture*, 1.vyd. USA: Oxford University Press, 2009, 280 s., ISBN-10: 0199205574 ISBN-13: 978-0199205578
- [43] HANSELL, Mike. *Animal Architecture*, 1. vyd., USA: Oxford University Press, 2005, 334 s. ISBN-10: 0198507526 ISBN-13: 978-0198507529
- [44] FRISCH, Karl von. *Animal Architecture*, 1. vyd., Harcourt, 1974, 306 s. ISBN-10: 0151072515 ISBN-13: 978-0151072514
- [45] ZEUCH, M., LUKEŠ, J., REIMANN, E.. *Co-jak-proč Bionika*, sv. 50. 1.vyd., Plzeň: Fraus, 2008, 48 s., ISBN 978-80-7238-714-4
- [46] MATOVIČ, Anton. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*, 1.vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská. 1993, 212 s. ISBN 80-7157-086-9
- [47] HORÁČEK, Petr. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I a II*, 2. přeprac. vyd., Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Lesnická a dřevařská fakulta, 2008, 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2
- [48] HAGAN, Susannah. *Taking Shape: A New Contract Between Architecture and Nature*, 1. vyd. Architectural Press, 2001, 240 s. ISBN-10: 0750649488 ISBN-13: 978-0750649483

* pozn. kniha nemá mezinárodní standardní číslo ISBN