

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 662

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. arch. Irena Šáchová

Bionika v architektuře
(Strom jako inspirační zdroj)

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ARCHITEKTURY
ÚSTAV TEORIE

Ing. arch. Irena Šáchová

**BIONIKA V ARCHITEKTUŘE
(STROM JAKO INSPIRAČNÍ ZDROJ)**

BIONICS IN ARCHITECTURE
(TREE AS THE SOURCE OF INSPIRATION)

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Obor: architektura
Vedoucí práce doc. Ing. arch. Jaroslav Drápal, CSc.
Oponenti: prof. Ing. arch. Ivan Petelen, CSc.
Ing. Monika Petříčková, Ph.D.
Ing. arch. Zdeněk Müller
Datum obhajoby: 10.5. 2012

KLÍČOVÁ SLOVA

bionika, přírodní předobrazy, stavby zvířat, morfologie a anatomie zvířat a rostlin, stavební konstrukce, architektura, morfologie a anatomie stromů

KEY WORDS

bionic, nature patterns, building of animals, morphology and anatomy of animals and plants, building constructions, architecture, morphology and anatomy of trees

MÍSTO ULOŽENÍ

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta architektury
Poříčí 5, 639 00 Brno

© Irena Šáchová, 2012

ISBN 978-80-214-4532-1

ISSN 1213-4198

Obsah

Úvod	5
1. Cíle práce	5
2. Bionika	6
2.1 definice	6
2.2 historie	6
2.3 rozdělení bioniky	7
3. Architektura a bionika	4
3.1 Stavby zvířat a konstrukce rostlin	8
3.2 Prvotní počátky lidské architektury	10
Rozdělení bionické architektury podle druhu přírodního předobrazu	10
3.3 Klimatické hledisko	11
3.4 Stavební hledisko	11
3.5 Estetické hledisko	13
4. Deset principů navrhování bionických staveb	13
5. Současný stav problematiky	14
Hypotéza dalšího vývoje	14
6. Strom jako předobraz architektury	15
6.1 Větvení a růst	15
6.2 Vztah stavba – člověk – strom	16
Analýza problematiky objektu dle různých hledisek	16
6.3 Klimaticko – ekologické hledisko	17
6.4 Konstrukčně – stavební hledisko	19
6.5 Esteticko – tvarové hledisko	22
6.6 Společenské hledisko	25
6.7 Psychologické hledisko	25
6.8 Funkčně-provozní hledisko	25
7. Závěr	26
8. Seznam použitých zdrojů	28

Úvod

Od prvopočátků bytí člověka se každý jeho krok, každá činnost promítala v prostředí, v němž se právě pohyboval. Z bohatství přírodních zdrojů si bral k zajištění svých nezbytných potřeb jen tolik a takovým způsobem, že jeho činnost splynula s okolní nepokořenou přírodou. Tento stav trval až do té doby, dokud ho uvědomělá činnost a cílevědomé využívání snadno dostupných zdrojů nepřivedly do rozporné pozice s přírodními jevy. Nejprve podvědomě a později záměrně se člověk stal vládcem toho, co mu kdysi bývalo rovnocenným partnerem a čeho byl sám součástí. Nadřazenost byla vždy spojena s potřebou poznávat nejen jednotlivé přírodniny, jež mu skýtaly užitek, ale také s nezbytností poznat závislost těchto přírodnin na životních podmínkách, ve kterých žil. Se stupňujícím se využíváním přírodních zdrojů se zároveň prohlubovala potřeba poznání jejich vlastností; člověk si začal uvědomovat nejen jejich rozmanitost a složitost, ale později také okolnosti umožňující zachovat právě ony prvky či jevy přírody, jež se v důsledku nadměrné spotřeby vytrácely. Tato druhá stránka poznávání nabývá mimořádného významu zvláště dnes, kdy prudký rozmach technické civilizace omezuje množství a dokonce někdy i samu existenci přímo využívaných přírodních zdrojů. Nezanedbatelným vedlejším dopadem těchto lidských činností je pak mimo jiné ovlivnění, poškození a často znemožnění života všech organismů, které v harmonickém celku přírody zajišťují i existenci samotného člověka. Není třeba dokazovat skutečnost, že rostliny, stromy a keře patří k základním přírodním hodnotám. Skýtají základní zdroje výživy, vitamínů a léčiv, mají všestranné technické upotřebení, jako určité celky vytvářejí prostředí, na kterém jsou závislé téměř všechny ostatní organismy; jsou předmětem kulturního a citového uspokojení člověka a napomáhají regenerovat jeho duševní síly nezbytné k všestrannému rozvoji jeho osobnosti.

Práce je členěna na dvě části. První pojednává obecně o bionice v architektuře. Druhá je specializovaná na strom jako předobraz pro návrh stavby.

1. Cíle práce

Cílem disertační práce je souhrn všech dostupných výzkumů a objevů v oblasti bioniky v architektuře a vytvoření hypotézy dalšího vývoje jejího možného uplatnění. Dalším záměrem práce je zmapování všech principů stromu využitelných v architektuře.

Použité vědecké metody zkoumání

Prvním krokem při řešení práce byl sběr materiálů a informací k danému tématu. Shromážděné materiály byly následně vyhodnoceny a tříděny do zvolených kategorií. Z výsledků byla vytvořena hypotéza. V druhé části práce bylo kromě dalšího sběru materiálů použito metody pozorování, zobecnění a analogie.

2. Bionika

Téma bioniky se objevuje v mnoha odborných publikacích, časopisech i na webových stránkách. Tato věda totiž zasahuje do mnoha vědních oborů (např. strojírenství, medicína, fyzika, chemie) a v každém z nich má přínos pro jeho další vývoj. Poznání v oblasti bioniky je bezbřehé stejně 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.

2.1 Definice

Vědní přírodní obor *bionika* se zabývá uplatněním výsledků výzkumu biologických systémů. Živé organismy považuje za specializované systémy, charakterizované specifickým typem energetického a strukturálního uspořádání. Využívá technickou stránku biologické organizace systémů a biologických procesů. Uplatňuje skryté a zvláštní druhy technických zákonů v živé přírodě, které dosud nebyly definovány, 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. Na základě současných fyzikálních a chemických metod výzkumu biologických systémů tak bionika našla v živé přírodě cesty k řešení složitých technických problémů. [1]

Jakékoliv bádání je dnes už téměř vždy zaměřeno na určitý obor – vědeckou disciplínu. Cíleně hledáme řešení pro jistý úkol a třeba nevidíme, že nacházíme řešení problému třeba i z jiného oboru. Nemáme důvod, abychom přírodu (biologii) a techniku vnímali rozdílně jako doposud. Naopak - když si určíme smysluplné nastavení hranic, pochopíme, že biologické a technické disciplíny se od sebe mohou učit. Tímto krokem se v bádání posuneme dál.

2.2 Historie

Prastarou snahou člověka je odhalovat tajemství živé i neživé přírody a využívat získaných poznatků pro své potřeby a k ovládnutí okolního světa. Napodobuje funkce a tvary živého organismu a navrhuje technické konstrukce podle živých předloh. Ve světě zvířat se každý jedinec stará sám o sebe a svá mláďata. Proto přirozeně musí umět dělat mnoho věcí, mimo jiné postavit si obydlí. Mnohostranné stavitelské mistrovství živočichů muselo upoutat pozornost našich dávných předků. (Například myška pečlivě rozhryže lístek na tenké proužky a neobvykle obratně a hbitě uplete košíček, tvořící základ visutého hnízda.) Tím, že si člověk pozorně všiml různých konstrukcí nor a hnízd a pečlivě studoval po věky používanou a v praxi ověřenou technologii jejich staveb, velmi mnoho převzal z pokladnice stavitelského umění zvířat. [3] Do období vzniku bioniky byly tyto návrhy spíše věci náhody než cílevědomého úsilí. Z tohoto hlediska jsou

v přítomnosti i minulosti významná zejména aplikovaná odvětví biologie, podílející se ve značné míře na uspokojování potřeb člověka jako je výživa, zdraví, oblékání, bydlení, vzdělávání, kultura atd.

Jednou z oblastí, která v současnosti i v minulosti čerpala mnoho podnětů z živé přírody a významně tak přispěla ke vzniku a rozvoji bioniky podobně jako letectví, je stavitelství. Starořecký filozof *Demokritos* (asi 460-370 př.n.l.) poznamenal, že napodobováním zvířat jsme se naučili nejrůznějším věcem. Například od pavouka jsme převzali prvky tkalcovství, od vlaštovek prvky stavění obydlí atd. O tři století později napsal proslulý římský architekt *Vitruvius* v jednom ze svých návodů pro stavitele: „...budeš zdít tak, aby každá vrstva stačila ztuhnout. Tak si počínají vlaštovky, které ve svých hnízdech nechávají první vrstvu hlíny trochu proschnout a teprve potom nanášejí druhou.“

Bionika v architektuře je novou stránkou v rozvoji stavební techniky a stavitelského umění. Je to cílevědomý výzkum originálních forem dokonale propočítaných samotnou přírodou a hledání krásy ve světě rostlin a zvířat, který nás obklopuje.

Při listování stránkami historie stavitelství můžeme najít ještě mnoho příkladů, jak člověk napodoboval architekturu živé přírody. Někteří vědci se domnívají, že právě ve stavitelském umění jsou první kroky bioniky patrné jasněji než v některé jiné dávné sféře lidské činnosti, s čímž nelze nesouhlasit. Nicméně je třeba znovu zdůraznit, že se dávné stavitelské umění podobalo organizaci živé přírody jen formou. Dříve se v přírodě architekti učili harmonii proporcí, logickému rozvrhu rozměrů stavby, podřízení druhotného hlavnímu, přesnému propočítání rozměrů detailů a zvolení nejvhodnější konstrukce, neznali však to hlavní – *zákony morfogeneze* a tajemství konstrukce živých organismů.

Název „bionics“ poprvé použil Jack E. Steele (Dayton) v srpnu 1958. Po právní stránce byl název upravený v roce 1960 na I. národním sympoziu o technické bionice v Dightone (USA). [3] Tehdy, když v 60. letech byla bionika pojmenována a v určitém smyslu i vytvořena, se vědci domnívali, že do 21. století bionika zásadně ovlivní vývoj všech odvětví. V současné době, kdy máme stále více prostředků pro jakýkoliv výzkum, by právě bionika měla mít sto procentní využití. Bionika není stále dostatečně prosazena a vědomě využívána. Za první bionické stavby se nejčastěji pokládají stavby z 50. a 60. let 20. století.

2.3 Rozdělení bioniky

V této kapitole je uvedeno obecné dělení bioniky podle fází bionického výzkumu. Fáze se prolínají s výše uvedenou technickou biologií a bionikou. Dá se říci, že první fáze *obecná bionika* je totožná s výše uvedenou technickou biologií, druhá fáze *systematická bionika* s bionikou a třetí fáze *aplikovaná bionika* je kombinací technické biologie a bioniky.

Fázi aplikovaná bionika lze dělit z hlediska specifického zaměření. Dále je uvedeno dělení podle *Horsta Heynerta* (70. léta 20. století) a podle *Wenera Nachtigalla* (90. léta 20. století).

Obecná bionika

- se pokouší vyhledávat struktury, procesy a jejich funkční vztahy v systémech či subsystémech organismů, které mohou mít význam pro řešení technických a technologických problémů. [3, 60, 61]

Systematická bionika

- se zabývá tříděním výsledků bionického výzkumu jako jsou submikroskopické struktury, přírodní způsoby spojování, biologické systémy pasivního a aktivního létání, navigace, rostlinné a živočišné měničové pochody, přírodní příjem vnějších podnětů, přenos, zpracování a hromadění signálů, způsoby využívání informací apod. [3, 60, 61]

Specificky užitá bionika – aplikovaná bionika

- má v první řadě za úkol vyhledávat a vyvíjet pro jednotlivé aplikované obory podněty, předlohy, modely nebo prototypy výrobků. [3, 60, 61]

3. Architektura a bionika

Je možno konstatovat, že od počátku lidského tvoření až do 19. století byla architektura (převážně lidová) bionická, neboť se lidé inspirovali přírodou nebo alespoň využívali vlastností pouze ryze přírodních stavebních materiálů. Ještě před nedávnem (díváme-li se na čas z pohledu existence člověka) měl každý kraj (kraj zde není myšlen jako označení územních samosprávných celků) své typické stavby. V horských oblastech měly stavby jiný tvar, objem, půdorys, jiné členění střechy atd. než v nížinách. Např. na horách žili pastevci, kteří stavěli jednoduché stavby bez oken s otevřeným ohništěm – tzv. koliby, v nížinách žili sedláci, kteří měli velké statky s prostorným vnitřním dvorem.

Nejen nadmořská výška hrála roli v odlišnosti staveb. Typ obživy, který záležel na úrodnosti kraje, měl také významnou roli při budování obydlí. Člověk se vždy přizpůsoboval okolí, vnímal přírodní podmínky a snažil se jich využít nebo je potlačit. V dnešní době ale už tomu tak není. Můžeme pozorovat, že stejný typ stavby stojí např. v Bílých Karpatech a v Domažlicích. A tak dnešní krajina vypadá bohužel zásluhou civilizačního rozvoje ve všech krajích nadmíru podobně.

Podobně tak jako např. bílkoviny, které se vyměňují ve svalových tkáních každých 10 dní (neustálé obnovování a odstraňování mrtvých tkání z organismu a výměna za nové), by se mělo měnit a vyvíjet město. Architektonická bionika se v ekologickém aspektu také obrací ke studiu určitých způsobů organizovaného prostoru živé přírody, zvláště

rostlinného světa – vertikální a horizontální vyplnění prostoru, kombinování forem různého rozměru, rytmu atd. (př. městský urbanismus *Chandigarh Le Corbusiera*)

3.1 Stavby zvířat a konstrukce rostlin

V této kapitole se zaměříme na stavby zvířat a konstrukce rostlin, které nám mohou posloužit jako prototypy konstrukcí používaných ve stavebnictví.

Stavby zvířat (slovo „zvíře“ je zde synonymem slova „živočich“)

Každý živočich, stejně jako člověk, si musí umět vytvořit obydlí a další případné stavby potřebné pro svůj život. Snaží se zajistit si podmínky pro přežití, k odchovu svých potomků, přespaní nebo pro svůj růst a vývoj či lovu kořisti. Svá obydlí konstruuje i na velmi krátký čas. S jejich stavbami se setkáváme často, jen je třeba si jich umět všimnout. Jejich tvary, umístění, konstrukce a velikosti bývají přizpůsobeny vlastním potřebám a schopnostem živočicha a také místu, kde se nachází. Například stavba bobra, která je postavena z jemu dostupných materiálů - klacků a nánosů řeky, dokonale splývá s okolím. Lidé neznalí bobřích staveb obtížně rozeznají, že se jedná o obydlí vodního živočicha. Zkoumání staveb zvířat nám otevírá širokou škálu přesných a precizně propracovaných stavebních technik, a to jak u malých detailů, tak i celků. Mnoho zvířecích „stavitelů“ – např. larvy hmyzu, někteří mravenci, termiti a krtci – má svá obydlí přizpůsobena tak, aby se jich v případě potřeby mohli zbavit (př. jedna vývojová etapa - ulita, kokon). Tento vývoj je postaven na předvídatelné závislosti. [7, 62]

U staveb zvířat najdeme všechny druhy nosných konstrukcí: nory / jeskyně (bobr, vydra, ondatra), prutové nosníky (mnoho hnízd ptáků), skořepina (tenkostěnné hnízdo vlaštovky *Collocalia esculenta*, ulita), membránové stavby a lanové konstrukce (pavoučí a housenčí síť z vláken), montované nosníky (plásty včel), klenby (mraveniště), masivní stavby (termiště).

Stavby zvířat můžeme systematicky upořádat podle jejich stavitele a můžeme tak srovnávat navzájem jejich přednosti a nedostatky. Stavba vosy s modulačním víceobalovým papírovým pouzdem je prostorově vyvinutý systém, který je staticky a funkčně stejně dokonalý jako chodby a jeskyně krtků. Oproti tomu vyspělí primáti – například lidoop – vybudovali nanejvýš lůžko z větví a listí, které se sice ukázalo jako rychlé a jednoduše udržovatelné, ale také jako nemotorné s nutností ho stále opravovat. Je třeba také dodat, že nebylo výsledkem duševní činnosti a nebylo zdaleka tak promyšlené jako stavby méně vyspělých zvířat. [7]

Konstrukce rostlin

Jestliže chceme poznat stavební vlastnosti materiálů živé přírody, zkoumáme nejdříve jejich pevnost v tlaku, tahu, ohybu atd., pak tepelnou vodivost a nasákavost. Porovnáme

je ve vztahu k hmotnosti a pevnosti, a tak získáme potřebné informace. Je však obtížné zdůvodnit, proč jsou jejich vlastnosti právě takové. Pro objasnění této otázky volí vědci metodu porovnávání mechanických vlastností přírodních materiálů s jejich strukturou, která na rozdíl od většiny stavebních materiálů, používaných v architektuře, není stejná. Materiál živé přírody se skládá zpravidla z tkání o různých mechanických vlastnostech, tepelné propustnosti, hustoty atd. Podle stavební terminologie to jsou materiály „kompozitní“, které zároveň splňují všechny mechanické funkce. Součásti přírodních materiálů přitom mají schopnost se spojovat do vyváženého spolupůsobení, tzn. že při současném působení mechanického zatížení, účinků slunečních paprsků, vlhkosti, mrazu, tepla nebo větru, se nerozpadají na jednotlivé vrstvy. [4]

3.2 Prvotní počátky lidské architektury

Počátky lidské architektury jsou většinou spojovány se vznikem městských a státních civilizací. Studium konstrukčních prvků loveckých obydlí i uspořádání loveckých sídlišť našich dávných předků poukázalo na její mnohem hlubší kořeny, jež zasahují až k samotným počátkům kulturního vývoje. Je zřejmé, že stavba obydlí má své biologické kořeny. I v živočišné říši najdeme prvky typicky lidské činnosti. [9]

Hlavní úlohou obydlí je ochrana před vnějšími vlivy (počasí, zvířata). Dá se předpokládat, že první pokusy o vytvoření stavby člověk prováděl metodou „pokus – omyl“, hledal nejpříhodnější materiál, zkoumal přírodu. Při tomto hledání a objevování si zajisté musel všimnout i staveb živočichů, od kterých se mohl inspirovat při stavění svého obydlí a snažil se využít všechny v přírodě dostupné materiály.

Rozdělení bionické architektury podle druhu přírodního předobrazu

V dalších kapitolách jsou uvedeny *bionické architektonické principy*, které jsou roztříděny do třech kategorií podle druhu přírodního vzoru: *klimatické, stavební a estetické*. Tyto tři kategorie jsou synonymem tří komponentů architektury: prostoru (klíma), hmoty (stavba) a tvaru (estetika). Zmíněné komponenty architektury vychází z řecké architektury, kde pod slovem techné (ve smyslu řemeslného umění) byla rozuměna symbióza všech tří základních součinitelů architektury: prostoru – apeiron, hmoty – physis a tvaru – morphé. Řekové řadili architekturu do sféry rukodělných produktů - na jedné straně mezi vědní oblasti s praktickým účelem, na straně druhé mezi výrazové prostředky s výchovným posláním, zvláště s náboženským obsahem. [70]

3.3 Klimatické hledisko

Architektura budoucnosti se bude jako květy otvírat ke slunci, světlu a vzduchu. Tyto zdroje energie můžeme považovat za nevyčerpatelné a označovat je jako obnovitelné. A všechny tyto zdroje bychom měli co nejvíce uplatnit v navrhování staveb – stejně jak to vidíme v říší rostlin a živočichů.

Např. někteří živočichové větrají svá obydlí pomocí tzv. Bernoulliho principu. Také kinetickou energii větru využívá mnohá zvěř. Na svých obydlích buduje „chytače“ větru, které vzduch brzdí, čímž vzniká aerodynamický tlak, který stavbu provzdušňuje. Připomeňme si i stavby některých druhů termitů (termitů s královnou), které jsou celé uzavřené a jejich technika větrání je velice zajímavá.

Všechna zvířata se snaží využít slunce všemi možnými prostředky. Přijímají sluneční záření povrchem těla nebo prostřednictvím svého obydlí.

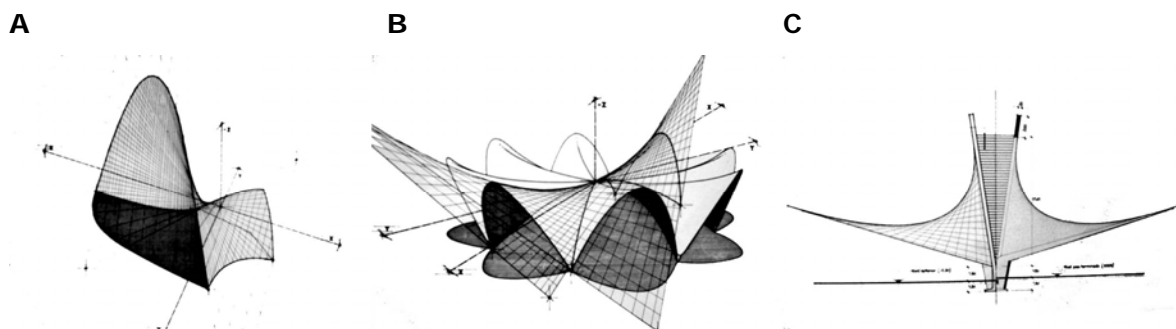
Zkušenosti se zacházením se slunečním zářením, větrem, teplem, vlhkostí země, světlem, stínem musíme obohacovat o poznatky z přírodních vzorů. Je třeba, aby sluneční zdroj a vše s ním související bylo studováno, přestože je třeba brát v potaz i jiné důležité stavebně ekologické vlivy. Jejich kombinace vedou k různým výsledkům, avšak vždy by vše přitom mělo být v harmonickém „souznění efektů“. Současní architekti se zamýšlí nad tím, jak nejvíce využít známé fyzikální zákony a přitom se jen třeba stačí poohlédnout po zkušenostech z tzv. primitivních staveb stavěných na principu „pokus-omyl“.

3.4 Stavební hledisko

Lehká konstrukce stavby s minimem materiálu je v přírodním světě samozřejmostí a může být pro mnohé obory příkladem a vzorem. Přesto téma konstruování podle přírodního vzoru se objevuje teprve nedávno.

Přírodní materiál můžeme využít jako surovinu pro stavebnictví nebo jako objekt studia specifických vlastností s cílem vytvořit nový efektivní materiál. V této práci se vlastnostmi přírodních materiálů nezabýváme (např. tepelnými vlastnostmi konopí, vlny, slámy atd.). Studium konstrukce živých organismů nebo staveb zvířat a jejich vznik nám otevírá nové obzory pro nové stavební techniky a konstrukce. V této práci jsou konstrukce podle přírodních vzorů rozděleny podle jejich charakteru do několika skupin:

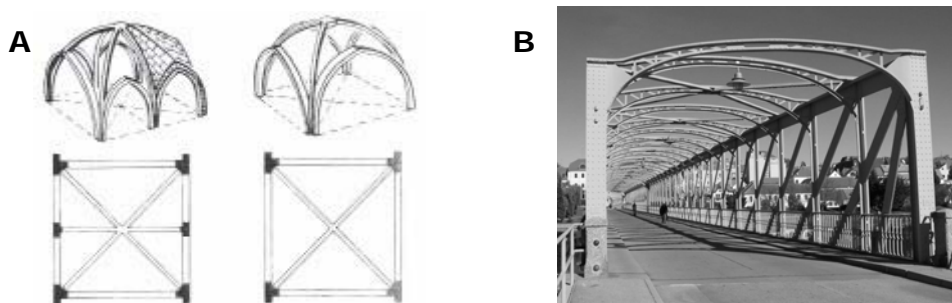
- skořepinové stavby, pláště (příklad staveb na obr. 1),
- pneumatické stavby (příklad staveb na obr. 2),
- rošty, mřížové a žebrové konstrukční systémy (příklad staveb na obr. 3),
- stanové stavby (membránové a plachtové konstrukce) (př. staveb na obr. 4),
- prutové a lanové stavby (příklad staveb na obr. 5),
- výškové stavby.



Obr. 1: Příklady skořepinových staveb Felixe Candely: A - kaple Lomas de Cuernavaca, Morelos, Mexico (1959); B - restaurace v Xochimilco, Mexico (1958); C - kostel Sankt Joseph der Handwerker, Linares, Mexico (1959)



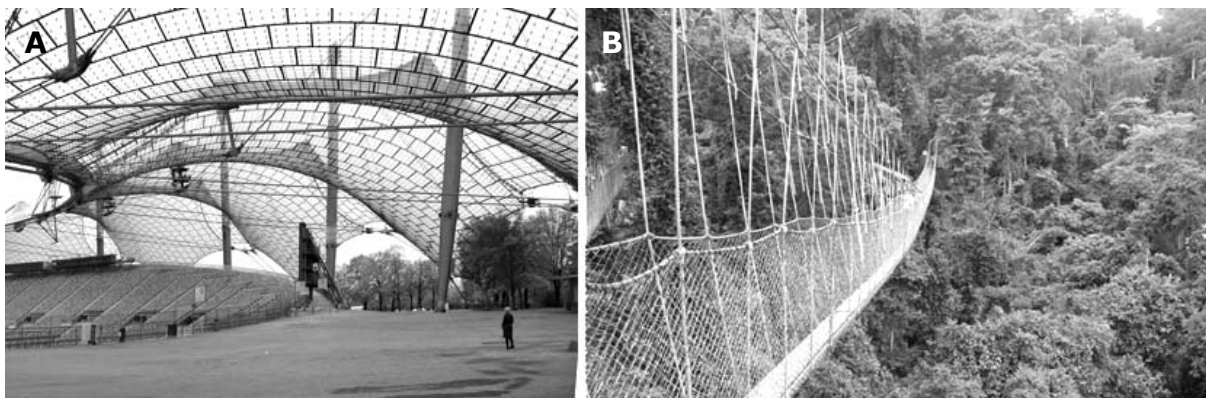
Obr. 2: Příklady pneumatických staveb: A - Jutaka Murata – Pavilon Rádži na světové výstavě v Ósaka, Japonsko (1970); B - Festo AG & Co - Airctecture Exhibition Hall, Esslingen, Německo (1996)



Obr. 3: A - Gotické klenby; B – železný most v Týnu nad Vltavou (1892)



Obr. 4: Příklady stanových staveb: Frei Otto – stanová konstrukce nad fontánou zahradnické výstavy v Kolíně nad Rýnem, Německo (1957)



Obr. 5: A - *Frei Otto* – zastřešení tribun pro olympijské hry v Mnichově, Německo (1968-72); B - lávka v Národním parku Kakum, Ghana (západní Afrika)

3.5 Estetické hledisko

Architektura je vícedimenzionální (tři dimenze hmotného tělesa s rozlišením vnitřního a vnějšího rozměru, se zdůrazněním pohybové a časové složky při procesu vnímání). Umožňuje intenzivní interakci diváka (lépe uživatele stavby), který se stává "součástí" architektonického prostoru. Vnímání architektonického prostoru je jedním z nejpodstatnějších estetických vjemů při vnímání architektonického díla. Z hlediska pozorovatele je třeba rozlišit fyzický prostor, což je architektonický prostor vymezený obklopujícími zdmi s pevně určenými rozměry, a konceptuální prostor (prostor vnímaný člověkem) - tedy fyzický prostor modifikovaný stanovištěm a pohybem pozorovatele, hrou světla a stínu, akustickými efekty, malbou a podobně. Stejně tak tomu je i v prostředí přírody. Architekturu můžeme považovat za „umělou přírodu“, kde fungují stejné estetické hodnoty a pravidla.

V průběhu celého vývoje architektury brali tvůrci v úvahu vlastnosti přírodních forem a prostoru a „přivedli“ tak architekturu k obraznosti. Přírodní formy a jejich prostorové kombinace se staly předobrazy uměleckých architektonických forem. Jsou stanoveny určité objektivní faktory a zákony krásy. Všichni vnímáme harmonii živé přírody a principy „tektoniky“ staveb přírodních struktur, stejně jako vysokou uměleckou kvalitu architektonických děl, která bývá jako v přírodě podtržena vysokou technickou dokonalostí a správnou volbou materiálu. Jako příklad můžeme uvést architekta Antoni Gaudího, průkopníka rozsáhlých užití bioforem v architektuře 20. století.

Přejímání krásy přírodních forem je člověku vlastní.

4. Deset principů navrhování bionických staveb

Co je to „dobrý návrh“? V řadě rozmanitých odpovědí můžeme najít tři hlavní aspekty: dobrý návrh je funkční, jsou uspokojeny estetické požadavky a uživatelé se líbí. Je důležité, aby všechny tyto aspekty byly v součinnosti.

Prof. Werner Nachtigall - „Desatero přikázání bionického návrhu“:

Princip 1.: Ucelený komplex namísto „seskládané“ konstrukce

Princip 2.: Optimalizace celku namísto maximalizace jednotlivých prvků

Princip 3.: Multifunkční místo monofunkční

Princip 4.: Přizpůsobení prostředí:

Princip 5.: Rovnováha mezi příjmem a výdejem energie

Princip 6.: Přímé a nepřímé využívání sluneční energie

Princip 7.: Časové omezení životnosti díla namísto „zbytečné“ snaze o prodloužení trvanlivosti

Princip 8.: Úplná recyklace použitého materiálu místo hromadění odpadu

Princip 9.: Síťové propojení namísto lineárního propojení

Princip 10.: Vývoj na principu pokus-omyl

5. Současný stav problematiky

V České republice nemá bionika v architektuře zatím žádné pevné základy. Na Fakultě architektury VUT v Brně se tímto tématem zabývá *doc. Ing. arch. Jaroslav Drápal, CSc.* Nejvíce publikací je napsáno v angličtině či němčině a najdeme je spíše v zahraničních než v 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 hodně co dohánět.

Stavby ovlivněné bionikou nalezneme po celém světě. U staveb v České republice se nejvíce uplatňují přírodní předobrazy stavebního hlediska – např. vnější omítky, slunolamy, sluneční kolektory. Zatímco „ve světě“ (myšleno bohatší části světa jako např. Francie, Německo, Španělsko, Portugalsko, Velká Británie, Japonsko, Čína, USA, Spojené arabské emiráty, atd.) architekti navrhují velkolepější stavby jak po tvarové, tak po konstrukční (popřípadě funkční) stránce.

Hlavním činitelem bionických staveb je investor - jeho finanční možnosti a představy. Limity těchto parametrů jsou výchozím bodem pro architekta.

Hypotéza dalšího vývoje

Je zřejmé, že bionické stavby úzce souvisí s ideou a finančním rozpočtem investora. Ve světě jsou nejvíce proslaveny bionické stavby veřejného vybavení – administrativa, hoteliérství, sportovní a výstavní prostory atd. Tyto typy staveb realizují většinou velké firemní společnosti. Domnívám se, že tomu bude i nadále. Finančně zajištění klienti často očekávají takovou tvarovou podobu objektu, aby se odlišila od ostatních staveb.

Druhým důležitým aspektem, který se prolíná i s tvarovou stránkou objektu, je funkčně-provozní stránka (větrání, ohřívání, ochlazování, osvětlení atd.). Stavba by měla být navržena tak, aby po celý svůj „život“ byla co nejméně náročná na energii. Tyto

tendence spatřujeme ve výstavbě všech typů domů (i bytových). Klienti raději více zaplatí při realizaci stavby za lepší technologická zařízení, která jim zaručují, že se jim vložené investice vyplatí a vrátí v podobě malých nároků na údržbu stavby.

Nový směr nazvaný *přirozená architektura* je charakterizován jako příklon k přírodě a přirozenosti (stejně jako v 18. století se dnes architekti obracejí k přírodě). Tento styl v České republice propaguje *Martin Rajniš*, který své pojetí architektury přátelské k přírodě prezentoval i na Bienále architektury v Benátkách v roce 2010.

V posledních letech pociťujeme tlak na hospodárnost s energií, recyklaci, ekonomiku provozu a znečišťování prostředí provozem, výstavbou i následným zánikem. Vše směřuje k tomu, aby nové stavby byly navrženy jako bionické. Z výše uvedeného je patrné, že jak architekti tak klienti budou podporovat bionické stavby, a tak nic nebrání jejich realizaci.

Nárůst obyvatel planety a ekologické hrozby dávají podněty projektům, které jsou jedním z podkladů celosvětového brainstormingu v hledání funkčních variant pro velkoměstské aglomerace. Projektů je celá řada (např. ve výše uvedené knížce *Utopia forever*) a architekti se při jejich tvorbě nejčastěji nechávají inspirovat živočišnou i rostlinnou přírodou.

Je zřejmé, že vývoj v zahraničí bude vždy o krok dále než vývoj v České republice. Ale ani my nezůstáváme zcela nečinní a nečekáme, co přijde nového ze zahraničí. I u nás se projektují objekty využívající přírodní aspekty. Avšak největším hybatelem projektů českých architektů jsou vstupní parametry investora. Můžeme se tedy domnívat, že pokud budou u nás v budoucnu obyvatelé finančně bohatší, dočkáme se i velkolepých bionických staveb.

6. Strom jako předobraz architektury

Je nám známo, že stromy mají v našich životech (jak v životě jedince, tak celého lidstva) nezastupitelnou roli. Hledáme u nich fyzickou i psychickou oporu. „Důstojnost“ starých stromů je například ve Švýcarsku garantována i ústavním zákonem [29]. Studium stromů nás může obohatit ve všech vědách a umění. Například švédští a američtí genetici objevili až 100 000 sekvencí genů, které ovlivňují krizové situace stromu, jeho stárnutí, dopady působení zplodin na metabolismus nebo obnovu funkcí buněk [30].

Jsme schopni a ochotni žít bez přítomnosti stromů? Co všechno se od stromů můžeme naučit? Jakou vazbu máme se stromy? Co pro nás znamenají? Jaký k nim máme emoční vztah? Všechny tyto otázky nám dávají podněty pro různé úhly pohledu.

6.1 Větvení a růst

Hlavní charakteristikou stromu je růst a jeho pronikání do prostoru formou neustálého větvení. Nezávisle na funkci se větvení vyskytuje v celé oblasti přírody a techniky. Kromě

stromové, rostlinné nebo listové struktury, které jsou schopny staticky nosné funkce, můžeme najít v přírodě další typická větvení – např. síť řek a systém struh, síť cest, blesk, struktura trhlin nebo cévní systém. Přírodní struktury těchto druhů vznikají na základě „procesu formování“ [7].

Princip větvení je obdobný jako princip opory a nosníku – formy pro přenos zatížení do země. Opora i nosník jsou lineární prvky, které jsou namáhány na jedno konkrétní zatížení, a to na tlak u opory a na ohyb u nosníku. Rozvětvená struktura se z hlavního kmene formuje přes plošné větvení do dvojrozměrné nebo prostorově trojrozměrné struktury. Taková struktura má ideální nosnou funkci. Zatížení z nosníků se rovnoměrně přenáší a sčítá do větších a větších opor a vše se sloučí do jednoho komplexního systému.

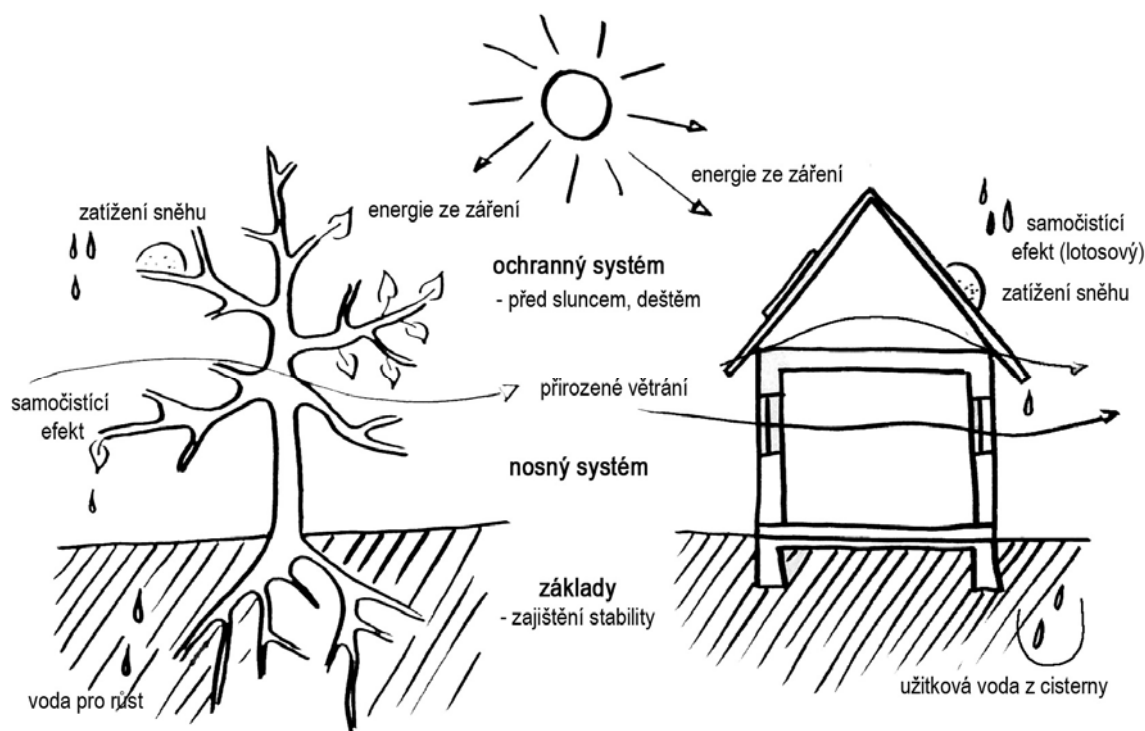
6.2 Vztah stavba - člověk - strom

Stromy a lidé k sobě patří odjakživa. Stromy mají díky své dlouhověkosti a velikosti odedávna pro nás význam jako duchovní symboly, kulturní památky i jako orientační body. Řada primitivních náboženství je využívá k různým účelům. Po staletí nám stromy poskytují útočiště před chladem i teplem. Jejich listy, květy, plody a kořeny využíváme v potravinářství i v lékařství. Dávají nám dřevo, ze kterého vyrábíme nástroje, zbraně, hračky a stavíme z něho domy, ploty, lodě a mosty. Ze všeho nejdůležitější však je, že nám stromy poskytují palivo, které se od chvíle, kdy se ho člověk před statisíci lety naučil využívat, stalo důležitou složkou rozvoje civilizace. Stromy jsou našimi nejpřirozenějšími spojenci. Mají odedávna své místo v lidové tradici, ve které figurují v souvislosti s veškerým lidským bytím: od narození, smrti a znovuzrození, přes věčný zápas mezi dobrem a zlem na cestě za krásou, pravdou a osvícením.

Analýza problematiky objektu dle různých hledisek

Při podrobnějším zkoumání stromu zjišťujeme, že má vícero inspirativních prvků pro architekturu. Jsou to nejen konstrukční prvky, ale i klimatické, estetické a v neposlední řadě prvky ekologické, ekonomické, funkční a psychologické. Nabízejí se zde dvě možné analýzy dané problematiky: a) studium pouze samotného stromu a objevování jeho zákonitostí a „pravidel“, podle kterých se tvaruje, roste, a tyto následně aplikovat do oboru architektury, b) přímé hledání spojitostí a klíčových momentů mezi stromem a domem (obr. 6).

V každém hledisku jsou uvedeny všechny nalezené informace týkající se stromu. Nebylo záměrem tyto informace do detailu popisovat a osvětlit. Naším cílem byl jejich výčet – shrnout všech možností předobrazu stromu.

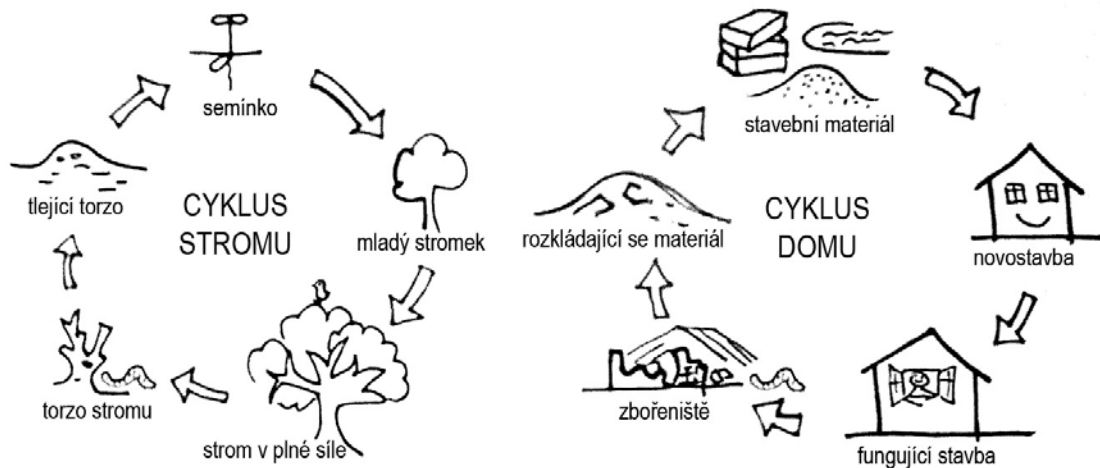


Obr. 6: přirovnání stromu k domu z hlediska působení vnějších vlivů

6.3 Klimaticko – ekologické hledisko

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 zužít všechny příznivé stránky okolního prostředí a současně izolovat člověka od nepříznivých klimatických vlivů, tj. zajistit pro lidský organismus podmínky příjemného biologického prostředí při vynaložení minimálních prostředků. *Le Corbusier* [5] symbolicky zobrazil životaschopný ideál architektury: strom a slunce. Člověk je chráněn před přímým sluncem korunou stromů, která přispívá ke zvlhčení vzduchu a vytvoření správného klima. 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.

Z ekologického hlediska je vnímán život stromu obdobný životu obydlí (obr. 7). Nelze ovšem opomenout, že u stromu se jedná o živý organismus, který energii pro své bytí shromažďuje a zpracovává sám. Zato obydlí - dům je neživá věc, která je zcela odkázána na energii člověka (případně živočicha. Nesmíme však opomenout, že stavba je v tomto ideálním případě postavena ze zcela přírodních průmyslově neupravených materiálů (takové stavby lze nalézt ještě ve staré zástavbě lidové architektury, nebo toto kritérium mohou splňovat zcela nově postavené hliněné stavby).



Obr. 7: srovnání životního cyklu stromu a domu

Slunce

Hlavní funkcí listů je absorpce slunečního záření pro získání potřebné energie k fotosyntéze. Uspořádání listů, zejména v tropických oblastech, je velmi důležité.

Tento známý fakt je předlohou pro solární kolektory umístěné na domech, které sluneční záření využívají také pro svůj užitek - pro ohřev vody. Velký důraz je kladen na správné umístění a orientaci vůči slunci. Délka větví se s vyšší výškou jejich polohy vůči kmenu zkracuje, což je dáno růstem stromu. Větve jsou „terasami“ rostoucími tak, aby měly co nejlepší přístup ke slunečnímu záření. Tento princip využil Frei Otto pro návrh terasového domu Ökohaus Corneliusstraße (1989-91) v Berlíně. Největší sluneční zisky však přicházejí okny. To je v zimním období velkou výhodou (u pasivních domů vhodná okna dokáží z celoročního pohledu působit jako bezplatný radiátor), avšak v létě nám okna přinášejí do interiéru nadměrné množství tepla, se kterým zatím čeští projektanti neumí příliš hospodařit [43].

Vítr

Stavba stejně jako strom potřebuje dýchat – mít přirozené větrání. Stejně jak proudí vítr korunami stromů, by měl vzduch prostupovat uzavřenými budovami (výměna vzduchu). Můžeme zde ještě zmínit také fakt, že tvar střechy bychom mohli navrhovat dle směru převládajícího větru, a tak vytvořit „aerodynamickou“ střechu pro co její nejmenší zatížení větrem.

Hospodaření s teplem

Borka (kůra) stromu je tvořena odumřelými buňkami a má ochrannou funkci. Tlustá vrstva kůry chrání strom před intenzivním odpařováním a před rychlými změnami teplot

[46]. Udržení stálé teploty je také jednou z důležitých úkolů stavby. Nabízí se zde otázka, zda je možné upravit fasádní omítku tak, aby její funkce byla obdobná jako u stromu.

Poznatky ze studia kůry stromů by mohly být podkladem pro výzkumy nových „inteligentních omítek“, které by reagovali na venkovní teplotu vzduchu. Např. v létě by se taková omítka více „roztáhla“ pro lepší odpařování vlhkosti a v zimě naopak „smrštila“.

Nastolení otázky teplotní samoregulace má význam nejen vzhledem k úpravě vzduchu v budovách, tj. konstrukce různých ventilačních zařízení. Samoregulace se bezprostředně dotýká také možné změny formy staveb. Svět živé přírody ihned reaguje na různé výkyvy teploty, vlhkosti, na pohyb slunce „otáčivými“ 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 tato regulace organizovaná za použití automatických nebo mechanických prostředků.

Nakládání s vodou, sněhem

Dalším důležitým prvkem je voda – jak nakládá strom a dům s dešťovou vodou a sněhem? Strom dešťovou vodu (a roztátý sníh) vsáknutou do půdy následně přijímá kořeny pro růst. Dům by svedenou dešťovou vodu (a sníh) měl využívat jako vodu užitkovou. Tzn. voda by měla být svedena ze střech do cisteren, ze kterých by byla používána pro mytí, praní, splachování (je až neuvěřitelné, že 1/3 upravované pitné vody je v dnešní době používána na splachování toalet [50]).

6.4 Konstrukčně – stavební hledisko

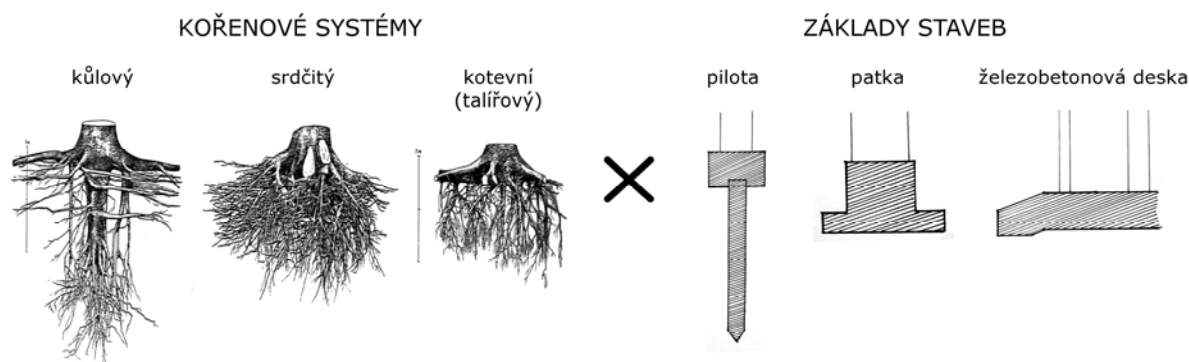
Při navrhování každého architektonického díla je dobré ujasnit si výchozí situaci - poznatky, které máme k dispozici, a požadavky, které budou danou problematiku ovlivňovat. Převedeme-li zde napsané do technické mluvy, pak pro návrh určité struktury díla je nutno znát okrajové a počáteční podmínky, materiálové vlastnosti a vztahy popisující budoucí probíhající děje. Toto schéma platí jak pro strom tak pro dům.

Pro zabezpečení stability stromu v podstatě probíhají v přírodě kompromisy mezi jeho tvarem a strukturou. Ani jedna funkce přitom není plněna dokonale, ale všechny potřeby jsou dostatečně zajištěny. Tak by tomu mělo být i u domu – návrh domu by měl být kompromisem mezi tvarem a konstrukčním systémem. Zaměřili-li bychom se jen na jednu funkci, druhá by tím „strádala“. Například kdyby stavba byla postavena pouze podle konstrukčního systému (např. výrobní a skladovací haly), chyběla by zde humanizace nebo-li estetické přizpůsobení pro pozitivní vnímání člověka. Oproti tomu „bezuzdá“ tvarová koncepce by znemožňovala stabilní konstrukční řešení.

Knížka *The Tree Habit in Lands Plants* od autora Volker Mosbrugger [34] velmi podrobně pojednává o stromech a jejich růstových formách. Popisuje strategie stability a přizpůsobení. Pohlíží na stromy jako na volně stojící sloupy nebo jako na nosníky.

Základy

Strom se od počátku svého růstu snaží co nejvíce přizpůsobit okolí – jak v nadzemní, tak podzemní části. *Kořenový systém* se tvoří diferenciací a větvením, jehož uspořádání je dáno velkou proměnlivostí v čase (během života jedince) a v prostoru (rozmanitost stanovištních podmínek). Tvar tří druhů kořenového systému se mi zdá velmi blízký třem druhům základů stavby – kůlový = *pilota*; srdčitý = *patka*; kotevní = *železobetonová deska* (obr. 8). Kořen, stejně jako základy, musí zajišťovat stabilitu nadzemní části objektu.



Obr. 8: kořenový systém v porovnání se základy domu

Další příměr obou objektů lze pozorovat v tom, že kořenový systém stromu se skládá ze dvou druhů kořenů - z hlavních nosných kořenů a kořenového vlášení. Nosné kořeny mají za úkol vyrovnávat stabilitu stromu, vlášení má funkci vyživovací a mimo jiné také kotvicí. Takový princip můžeme nalézt ve stavitelství u mikropiloty, na jejímž konci je ztvrdlá betonová injektáž, která prostupuje volnými póry v zemině a přispívá též k celkové stabilitě objektu.

Další zajímavostí u kořenového systému je průřez kořenu v těsné blízkosti kmene. Tento průřez není totiž kruhový, ale jeho tvar připomíná stojatou osmičku. Tvar kořene je formován v důsledku působení tlaku a ohybu na samotný kořen z nadzemní části stromu – kmene a koruny. Tento tvar kořene nejlépe odolává zmíněným zatížením.

Nosný systém

U stromu můžeme hledat předobraz pro nosný systém stavebních objektů jak v jeho jednotlivých částech (listy, květy, plody), tak v jeho celku.

Nosným systémem je na počátku života stromu pouze kmen, posléze jeho větve. Při velkém namáhání na ohyb se natahují vlákna lýka a jejich spojů. Každý rok se tvoří jeden letokruh a ten se tvaruje a sílí podle zatížení větru a sněhu v předchozím období.

Frei Otto [7] se zabýval uplatněním „systému stromu“ ve stavitelství. Upozornil na to, že v architektuře se často objevuje plocha desky/střechy, která je vynášena samostatným bodem. Namáhané je potom minimum hmoty. Stropní desky by měly být rovnoměrně podepřeny „opěrami stromu“. Síly jsou pak svedeny harmonicky z ploch do jednotlivých podpůrných bodů. Gotické klenby jsou vhodným názorným příkladem, jak jsou síly z ploch svedeny do přiznaného žebrování a následně do jednotné opory. Systém deska-opora by měl proto být jednotným celkem. Touto myšlenkou se také zabývali někteří významní architekti. *Antoni Gaudí* [7] vytvořil závěsný model rozvětvených opor, *Pier Luigi Nervi* [7] objasnil průběhy sil na tloušťce žebrování desky a Frei Otto, který opěrné konstrukce používal hlavně u mostů. Jeho myšlenou bylo rozšířit tento princip do bytové architektury [37]. Systém rovnoměrného podepření stropní desky pomocí „opěr stromů“ využil i *Frank Lloyd Wright* v administrativní budově S. C. Johnson ve Wisconsinu. Systém sloupů, navržený jako podpory pro dům, je také jednou z pěti bodů moderní architektury Le Courbisiera [38]. Le Courbisier tvrdil, že domy mají stát na sloupech, aby přízemí bylo volné pro zeleň a volný pohyb.

Jedním z úkolů této práce je též aplikace výsledků výzkumu Ústavu nauky o dřevě, Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Jediným možným probíhajícím výzkumem na ústavu pro obor architektury je Biomechanika stromu. Bohužel výzkum není zcela dokončen a dílčí výsledky nelze převést do oboru architektury.

Dalším studiem ústavu jsou L-systémové prostředky pro modelování stromů. L-systémy lze aplikovat na modelování rostlin, interakce mezi rostlinami a prostředím (např. modelování predikce úrody nebo těžby dřeva), ekosystémů. Dále jej lze využívat jako počítačové umění a také pro modelování měst, kde hrají L-systémy v poslední době důležitou roli při modelování ulic, budov a celých měst [68].

Ochranný systém

Za ochranný systém považujeme přednostně korunu stromu/střechu domu, dále pak kmen/obvodové zdi. U koruny stromu jsou listy „lapači“ slunečního záření a plochou, po které stéká déšť a sníh. Stejně jako střešní krytina, která odolává dešti, sněhu a vstřebává záření slunce.

Další možné srovnání koruny stromu a střechy domu je z pohledu jejich tvaru (obr. 9). Domnívám se, že na severu (nebo ve vysokých oblastech, kde bývá více sněhu) původně rostly stromy s úzkou korunou – takovou, aby sníh po ní mohl co nejlépe „sjíždět“ (na stránkách našich hor roste nejčastěji nějaký typ jehličnanu).



Obr. 9: Srovnání tvaru korun stromů s tvarem (sklonem) střechy

Optimalizace formy staveb dle předlohy rostoucích stromů

Pozorováním formy růstu stromů a jiných přírodních struktur odolávajících silné zátěži se zabývá profesor *Claus Mattheck* z výzkumného střediska Ústavu materiálů v Karlsruhe. Studuje zákonitosti jejich tvaru a vyvinul jednoduchý grafický model pro optimalizaci tvarů pomocí stromu. Podařilo se mu dokázat, že k tomu, aby struktura byla co nejlehčí a dostatečně pevná, je potřeba, aby na celém jejím povrchu bylo stejně velké napětí [17]. Na základě těchto poznatků z předlohy stromů a kostí Claus Mattheck vyvinul počítačové programy tzv. CAO metodu a SKO metodu, pro optimalizaci tvaru konstrukčních (mechanických) částí staveb, které jsou od té doby úspěšně používány ve stavebním průmyslu.

6.5 Esteticko – tvarové hledisko

Má struktura živého stromu 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 a inspirativní. V živých stromech (i celé přírodě) nacházíme vykrystalizovanou harmonii existence a vytváření forem, dokonalost rozmanitých organismů, tj. důležité prvky estetických vztahů. Tato harmonie vznikla na základě přirozeného výběru trvajících milióny let. Sociální podmíněnost krásy architektury je však o mnoho složitější než biologický základ harmonie v živé přírodě.

Strom je zpodobnění harmonického vstupu do prostoru. Tvar stromu (nejvíce koruny) se formuje nejen na základě dědičné informace, ale je též ovlivněn daným prostorem a prostředím, ve kterém strom vyrůstá. Je tedy třeba rozlišovat případy, kdy strom vyrostе jako solitér nebo v aleji, stejně tak jako je stavěn dům dle daného prostoru.

Příroda jako celek se jevila krásná *Platónovi* i *Aristotelovi*. *Marcus Vitruvius Pollio* se domníval, že lidské stavby napodobují přírodu. Zužování sloupů, zejména těch, které stojí ve vyšší řadě sloupů, má podle něho svůj vzor ve stromech. Z těchto myšlenek vyplývá, že strom připadal antickým tvůrcům dokonalý a krásný. [51]

Stromem, jako inspiračním zdrojem, se zabývá například maďarský architekt *Imre Makovecz* [52].

Kompoziční zákonitosti

Tvar stromu a jeho částí je jedním z nejpodstatnějších vjemů člověka a je také prvním krokem k jeho dalšímu poznávání. Až při následném studiu se zabýváme charakteristikou a vlastnostmi stromu (např. tvrdostí dřeva pro řezbu).

Porovnáme-li celý strom se všemi jeho částmi, můžeme konstatovat, že je krásným příkladem dokonalé harmonie v přírodě. Co to vše pro nás znamená v architektuře?

Dům, aby nás přitahoval, nás musí už z dálky pozitivně zaujmout. Nečitelný tvar domu a změť různorodých prvků působí na diváka někdy až odpuzujícím dojmem. Člověk musí před vstupem do domu věnovat více času poznání vnější stránky objektu, což mu velí pud sebezáchovy. Po podrobnějším seznámení se s touto stránkou je pak návštěvník příjemně překvapen, když detaily ctí kompoziční zákonitosti architektonického ztvárnění domu. Člověk tento dům bude vnímat jako bezpečný, jak po stránce fyzické tak psychické. Z psychologie je známo, že působení nahodilého eventuelně trvalého chaosu prostředí může u člověka vyvolat stavy celkové disharmonie, melancholie, deprese až schizofrenie, což se odráží v kvalitě jeho činnosti a života vůbec. Proto považujeme tuto kompoziční vyváženost architektury za velmi důležitou.

Barva

Barvu stromů vnímáme jako samozřejmost aniž si neuvědomujeme, jak na nás působí. Do jaké míry nás uklidňuje barva stromů při cílené rekreační procházce lesem, abychom se zklidnili a oddechli od shonu a přemíry informací civilizace? Člověk nevnímá barvu pouze očima, ale barevné světlo na něj působí komplexně. Může měnit stupeň napětí svalů, zpomalovat / zrychlovat prokrvení, měnit nervové reakce nebo povzbuzovat metabolismus a hormonální činnost atd. Barevné podněty mají velký vliv na psychiku člověka (to lze též experimentálně ověřovat a vyhodnocovat). Psychologickými výzkumy byly rozpracovány relativně konstantní významy barev v souvislosti s asociacemi a pocity [55]. Světlo a barvy v sobě nesou specifické energie, které jsou schopné nabíjet nebo harmonicky vyrovnávat vnitřní síly v organismu a tak zlepšit naše zdraví a duševní pohodu.

Barva je svým působením na cit prostředkem zvláště účinným, často účinnějším nežli sama tvarová stránka objektu. Doplnuje-li tedy barva vhodně a účelně tvar, může jeho výrazový účinek vystupňovat, v opačném případě jej může pozměnit i rušit. [56]

Dětské vnímání a představy stromu jako formy přírodního obydlí

Dětský svět je plný fantazie, nezatížené teoriemi a odbornými znalostmi z oblasti konstrukce, kompozice či klimatologie staveb. Přístup dětí k tématu vytvoření lidského obydlí je tedy založen převážně na jejich fantazii a vlastním cítění. Abychom mohli tuto

problematiku zachytit „jejich nezatíženými očima“, což může být v jistých případech inspirativní i pro profesionály, přistoupili jsme k následujícímu experimentu.

Dětem různých věkových kategorií byl zadán úkol nakreslit, nebo jinak zpodobnit, své představy na téma: „Strom jako tvůj domov; strom jako obydlí“. Bylo osloveno 107 dětí ve věku od 6 – 19 let, ze *Základní umělecké školy na Veveří 133 v Brně*. Cílem bylo zjistit, jaký mají postoj ke stromům a jak vnímají strom z pohledu bezpečí a jistoty, jež jsou základními charakteristikami domova. Děti nad prací strávily 4 hodiny (tj. dvě dvouhodinové výtvarné výchovy). Překvapivé bylo, že dané téma všechny zúčastněné děti velmi zaujalo a pracovaly s velkým nasazením a nadšením (některé vytvořily i více kreseb). Dokladem úspěšného výběru tématu je i rozsáhlá výstava, která byla uskutečněna na chodbách ZUŠ Veveří 133 v Brně. Po dokončení prací byly všechny výkresy roztříděné podle věku a následně vyhodnocené. Z kreseb bylo patrné, že dítě prochází vývojem v myšlení a přístupu k tomuto tématu. Tento vývoj myšlení dítěte lze zobecnit, o což se v následujícím textu pokusíme.

Věková kategorie 6 a 7 let vnímá strom ponejvíce jako prolézačku, bludiště cestiček, chodeb, žebříků. Domov je pro ně hrou. Děti do 8 let strom jako hru vnímají výlučně. V období života 8 až 9 let se začíná objevovat nové vnímání stromu, a to jako útulného a bezpečného domova (např. jako ulitu, která chrání před vnějším světem). V dalším věkové kategorii, tj. cca od 10 let, už objevujeme stylizaci stromu a jeho přetvoření „k obrazu svému“. Děti do podoby stromu vkládají své zkušenosti a vjemy z ostatních věcí – z medií, hraček, knížek, školy atd. Po 15 roce věku žáci zpodobňují strom poněkud „duchaplněji“ a jsou v nich „otisknuty“ jejich emoční pocity. Tyto práce jsou už vytvořeny v jiné myšlenkové rovině. Je to často symbolika – např. strom /obydlí pro celé roční období, hořící strom jako život, „depresivní“ temný dům jako zpodobnění svého vývojového období, kukaně společenství atd. V poslední věkové kategorii tj. žáci od 18. let jakoby zkoušeli napasovat konkrétní dům do stromu. Násilně včleňují do stromu geometrické pravidelné pravoúhlé zdi domu. Naproti tomu však někteří žáci tíhnou k druhému extrému – obydlí je na jejich kresbách nedefinovatelné, zahalené do křivek kokonů, pavučin a plachetek. Můžeme říci, že v těchto letech už žák směřuje k určité své identitě, která je založená buď na humanitním či technickém přístupu k problému. Od toho se pak odvíjí jejich představy a nápady.

Důležitým prvkem návrhů dětí je také barevné řešení. V této kapitole jsou uvedeny pouze černobílé kresebné práce, malby jsou zařazeny v příloze. Největší důraz na barevné řešení kladou žáci po 15 roce, kteří do svých návrhů vtiskují své nálady a emoce.

Žákovskými pracemi jsme si ujasnili, že člověk od svého narození vnímá strom velmi pozitivně a dokáže v něm nalézt mnoho seberealizačních aspektů.

6.6 Společenské hledisko

Strom je útočištěm mnoha druhů živočichů (brouci, motýli, ptáci, hlodavci atd.) a organismů (houby, mechy, lišejníky atd.). Poskytuje jim prostor pro vytvoření obydlí, skrýší, potravy ve větvích, listech, pupatech, květech, kmenu a kořenu.

V architektuře můžeme nalézt příklad v jemenských domech, které jsou vystavěné do velkých výšek. Každý dům je domovem pro jednu rodinu s několika generacemi žijícími pod jednou střechou.

6.7 Psychologické hledisko

Je možno říci, že strom a jeho systém je pro člověka jakýmsi paradigmatem utváření svého obydlí. Člověk má „kořeny stromů“ zapuštěné hluboko ve svém podvědomí, ve své duši. Důkazem toho jsou děti, které berou strom jako nedílnou součást svého života. Strom je nejčastější námět jejich obrázků. Na jejich obrázcích bývá nejčastěji dům - jako symbol bezpečí, spánku a jídla; strom - jako symbol kreativity, hry a poznávání; slunce - jako symbol radosti a optimismu. V tomto prostředí se v dětech probouzí estetické citění a zákony harmonie.

Velmi působivými místy jsou např. Národní přírodní památka (NPP) Búrová, Súchovské lúky, Čertoryje, vše okres Hodonínsko, CHKO Bílé Karpaty. Typické pro tyto místa jsou rozptýlené solitérní stromy. Člověk jimi procházející si plně uvědomuje jejich přítomnost a energii. Město je možno chápat jako takový „zpodobněný“ les domů. Obdobné prožitky můžeme pociťovat i při procházce městem (př. Telč, Kutná Hora). Proto by architekt při navrhování domu neměl zapomínat na hlubší vnímání „řeči“ architektury - jejího působení na člověka.

V publikaci *Člověk a les* [59], jsou uvedené příspěvky připomínající dlouholetou tradici vazby „strom - člověk“. Touto tematikou se také dlouhodobě zabývá spisovatelka Marie Hrušková (knihy *Podivuhodné stromy*, *Památné stromy*, *Co pamatuje strom* atd.)

Dle pozorování A. Hohenstein konstatoval, že v bezlesých krajinách je vyšší úmrtnost a průměrná délka života kratší, než v krajích bohatých na lesy. V lesnatých krajích bývají lidé tělesně i duševně dokonalejší. Již roku 1823 při předkládání lesního zákona ve Francii byla řečena slova: „Zachování lesů je nejpřednější povinností vlád. Všechny potřeby národa jsou závislé na lesnatosti státu.“ [69]

6.8 Funkčně-provozní hledisko

Funkce domu jako celku, funkce jednotlivých místností a jejich vzájemné uspořádání a propojení (provoz), orientace na světové strany a zohlednění vazeb na okolí - všechny tyto parametry jsou navzájem velmi úzce spojeny a při návrhu domu patří k nejdůležitějším aspektům, které ovlivňují celý koncept. Tyto parametry jsou tedy rozhodující pro kladné či záporné hodnocení domu jejich uživateli. Stejně aspekty jsou

uplatňovány i živočichy při budování svých obydlí na stromech. Stavby lidem neslouží jen k bydlení, ale též k výrobě, uskladnění, ochraně, dopravě atd. Také stromy neslouží jejich obyvatelům z živočišné říše jen k přebývání.

7. Závěr

V **první části** byla práce zaměřena na obecnou bioniku v architektuře. Byly studovány dostupné poznatky spadající do tohoto oboru. Následně byly rozříděné do třech kategorií – klimatické, stavební a estetické hledisko. Bylo zjištěno, že příroda má nespočet vzorů uplatnitelných v oblasti architektury. Jelikož v češtině se nachází pouze jedna publikace týkající se architektury ve spojitosti s bionikou, která je stará asi 30 let, měla tato práce mimo jiné za úkol navázat na tuto publikaci a postihnout nové trendy a výzkumy v této oblasti, a to jak u nás tak v zahraničí. Bylo zde uvedeno deset principů navrhování bionických staveb a hypotéza očekávaného vývoje. Vyhodnocení bionických staveb je poslední kapitolou první části.

Závěr první části:

Naprosté kopírování přírody při navrhování stavebních objektů není správné a nefunguje. Podle Wenera Nachtigalla je "nebezpečným protivníkem bioniky triviální bionika". Poukazuje na to, že bionikou není možné chápat jako „1:1 přejímání“ přírody. Příroda nedává k dispozici žádnou hotovou kyanografickou kopii pro bezprostřední přejímání. Není možné přebrat např. obydlí prérijního psa nebo jeho část a jednoduše ho zvětšit a použít jako stavbu pro člověka. Správné je poznat podstatné principy, postupy, způsoby a ty pak upravovat a předkládat inženýrům, kteří je přenesou do technického provedení stavby.

Technický vývoj je pokračováním přirozeného vývoje za použití jiných prostředků. Technika je výtvořem lidského mozku, který je součástí biologického vývoje. Je tedy možno konstatovat, že technický rozvoj není nic jiného, než správné vyžití přirozených prostředků.

Přirozený vývoj vede ke konstruování, metodám a vývojovým principům, které řídí život na naší planetě již stovky let. V evolučním procesu „pokus-omyl“ bylo vyvinuto nespočet dokonale vyvinutých systémů. V první části práce byly tyto systémy vyzorované člověkem popsány.

Fakt, že se architektura v budoucnu bude stále ve větší míře inspirovat přírodou je velmi pravděpodobné, avšak měla by mít také svůj osobitý ráz. Tvary konstrukcí by nemusely bezpodmínečně vycházet z přírody, ale měly by zohledňovat typicky ekologické a ekonomické znaky přírody. Je zřejmé, že v budoucnu nebudou všechny stavby vypadat jako stavby Santiaga Calatravy. Mohou být i lomené a hranaté, avšak musí vždy zahrnovat následující elementy:

- důsledná lehká konstrukce;

- orientace ke slunci;
- sezónní používání světla;
- sezónní odstínění;
- uspořádání místností podle teplotního gradientu;
- vyvážená teplota domácnosti;
- využití zemního tepla a chladu;
- pasivní ventilace.

Architektonická bionika pomůže lidem vytvořit jejich obydlí komfortnější, a tím i prosvětlená a čistá města. Celý svět architektury, obklopující člověka, by za použití architektonické bioniky byl krásný, poutavý a život v takovém prostředí by byl velmi příjemný. Předpokládáme, že díky ekologickým hrozbám a nárůstu obyvatel, budou bionické stavby čím dál víc prosazovány a vyhledávány. Svědčí o tom už i utopistické projekty architektů a nároky investorů.

Druhá část práce se zabývala stromem, jako přírodním předobrazem pro architekturu. Nalezené předobrazy byly seřazeny do šesti kategorií, které vycházely z první části práce: konstrukčně – stavební, klimaticko – ekologické, esteticko – tvarové, společenské, psychologické a funkčně - provozní hledisko. Bylo dokázáno, že stromem se můžeme v mnoha směrech inspirovat.

Na Ústavu nauky o dřevě, Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy univerzity v Brně probíhá několik výzkumů, a to: Anatomie dřeva, Modelování fyzikálních/mechanických jevů, Biomechanika, Ochrana dřeva, Modifikace vlastností dřeva a Dendrologie. Pro obor architektury byl nejvhodnější výzkum s tématem Biomechanika. Tento výzkum má bohužel zatím dílčí výsledky, které nelze převést do oboru architektury.

V této části byla provedena studie vnímání stromu dětmi. Bylo osloveno cca 100 žáků ZUŠ Veveří 133, Brno od 6 do 19 let, aby vyjádřili své představy na téma: „Strom jako obydlí“.

Závěr druhé části:

Strom je soubor všech důležitých prvků (např. stabilita, harmonie), které též pozitivně působí na naši mysl. Stejně tak by měla fungovat stavba – vyvážený celek proporčních, konstrukčních, barevně vyvážených prvků. Dítě toto souznění vnímá, avšak dospělí vlivem svých zkušeností a všedních dnů zapomínají nebo přehlížejí tyto zřejmé a jasné zákonitosti.

Můžeme říci, že jakýkoli strom je ve své podstatě dokonalý a přirozený. Není důvod ho nijak upravovat, zkrášlovat, staticky zajišťovat (pomineme-li statické zajišťování např. chráněných stoletých stromů) atd. Strom podle svých genetických informací roste dobře tam, kde má na to správné podmínky a předpoklady pro přežití. Výběr prostředí ovlivní

celý průběh života. Tvaruje se podle daného okolního prostoru a vybarvuje se tak, kolik má vláhy, živin...tj. podle podmínek prostředí.

Kdybychom do návrhu domu nepřejali ani jeden z principů „konstrukce“ stromu, mohli bychom se předtím, než začneme navrhovat dům na konkrétním stavebním místě (vyjma zastavěného území měst), alespoň porozhlédnout po typu, korunách a uspořádání okolních vzrostlých stromů. Ty nám mohou mnoho napovědět o charakteru místa.

Z výtvarných prací žáků ZUŠ Veverí 133, Brno bylo zjištěno, že postoj ke stromu jako obydlí se v průběhu dospívání mění. V počáteční etapě svého vývoje bere dítě strom jako zábavu a hru, následně do něj vtiskuje své myšlenky, emoce a v poslední etapě svého vývoje pak strom mění podle svého humanitního nebo technického zaměření.

Práce má upozornit na to, že příroda je naším velkým vzorem pro jakoukoli naši činnost. My, lidé, jsme nic nového nevynalezli, vše už bylo dávno vymyšleno v přírodě. Pro objevení něčeho nového nestačí jen „bádat v laboratoři“, ale je nutné se dívat kolem sebe a vnímat přírodu a celý okolní svět.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] LITINECKIJ, Izot Borisovič. *Bionika*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1982. 341 s.
- [2] NACHTIGALL, Werner. *Bionik – Lernen von der Natur*. 1.vyd. München: Verlag C. H. Beck oHG, 2008. 113 s. ISBN 978-3-406-536366.
- [3] HEYNERT, Horst. *Úvod do obecné bioniky*. 1.vyd. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1977. 220 s. 21-031-77.
- [4] LEBEDEV, J. S.. *Architektura a bionika*. 1. vyd. Bratislava: Pravda, 1982, 192 s.
- [5] HRUBÝ, Jan. *Vývoj architektury v 19. a 20. století*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1989. s. 149.
- [6] JANÍČEK, Přemysl. - BENÍČEK, Martin. Biotechnické interdisciplinární obory. In *Věda a příroda*. 1. vyd. Brno: Lesnické práce s.r.o., 2006. 46 s. ISBN 80-86386-79-1.
- [7] FREI, Otto. *Natürliche Konstruktionen: Formen und Strukturen in Natur und Technik und Prozesse ihrer Entstehung*. 2. vyd. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1985. 136 s. ISBN 3-421-02591-6.
- [8] VĚTROVEC, Milan. *Snovač oranžový* [online]. 2002. [cit. 21. 5. 2011] . Dostupné na [www: <http://web.sks.cz/prace/Vetrovec/ref.html>](http://web.sks.cz/prace/Vetrovec/ref.html)
- [9] JELÍNEK, Jan. *Střecha nad hlavou: kořeny nejstarší architektury a bydlení*. 1.vyd. Brno: Vysoké učení technické, VUTIUM, 2006. 461 s. ISBN 80-214-2367-6.
- [10] FABER, Colin von. *Candela und seine Schalen*. 1. vyd. München: Verlag Georg D.W. Callwey, 1965. 239 s.
- [11] DRÁPAL, Jaroslav. - DOLEŽAL, Jan. *Úvod do studia architektury a urbanismu*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1986. 185 s. ČNB cnb000027111.
- [12] NACHTIGALL, Werner. *Bau-Bionik: Natur, Analogien, Technik*. 1.vyd. Berlin New York: Springer, 2003. 289 s. ISBN 3-540-44336-3.
- [13] FREI, Otto. *Spannweiten: Ideen und Versuche zum Leichtbau*. 1.vyd. Berlin: Ullstein, 1965. 168 s.
- [14] KALESNÝ, František. *Textilní architektura*[online]. Bratislava, 1993. 43 s. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.kalesnysuad.com/>](http://www.kalesnysuad.com/)

- [15] ZEUCH, Martin - LUKEŠ, J. - REIMANN, E. *Bionika. Co-jak-proč.* sv. 50. Plzeň: Fraus, 2008. 48 s. ISBN 978-80-7238-714-4
- [16] OTÁHAL, Jakub (edit.). *Kompendium* [online]. Praha: Karlova univerzita, [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/geometrie.php>](http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/geometrie.php)
- [17] MATTHECK, Claus. *Engineering Components Grow like Trees*. 1. vyd. Karlsruhe: Kernforschungszentrum, 1989. 75 s.
- [18] HOUK, Václav – KLEE, Rolf – TANAKA, Hiroyuki. *Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions*. 1. vyd. Praha: Czech Phycological Society, 2010. 496 s. ISBN 978-80-254-7979-7.
- [19] ZNACHOR, Petr. *Rozsivky – podivuhodné řasy v krabičce*. In *Živa 1/2008*. Praha: Academia, SSČ AV ČR, v.v.i., 2008, 10 - 11s.
- [20] MOHR, Hans – LAWLOR, David W. – SCHOPFER, Peter – LAWLOR, Gundrun. *Plant physiology*. 1. vyd. Berlin: Springer, 1995. 629. ISBN 3-540-58016-6.
- [21] SOLAR SYSTEMS. *Co nám dali motýlí?* [online]. 2009. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.solarsystems.cz/clanky/163-3>](http://www.solarsystems.cz/clanky/163-3)
- [22] COXWORTH, Ben. *Scientists find natural photovoltaic cell in hornet, and copy it* [online]. BBC Earth News, 2010. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.gizmag.com/hornet-harvests-electricity-from-sunlight/17194/?utm_source=PESWiki.com>](http://www.gizmag.com/hornet-harvests-electricity-from-sunlight/17194/?utm_source=PESWiki.com)
- [23] *O psounech* [online]. 2011. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.psouni.estranky.cz/clanky/o-psounech.html>](http://www.psouni.estranky.cz/clanky/o-psounech.html)
- [24] HN.IHNED.CZ JaN. *Budova s klimatizací navržena podle tropického termitiště* [online]. iHNed, 1996 - 2011. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://hn.ihned.cz/c1-39175780-budova-s-klimatizaci-navrzena-podle-tropickeho-termitiste>](http://hn.ihned.cz/c1-39175780-budova-s-klimatizaci-navrzena-podle-tropickeho-termitiste)
- [25] JUNG, Carl Gustav. *Analytická psychologie: Její teorie a praxe: Tavistocké přednášky*. 2. vyd. Praha: Academia, 1993. 205 s. ISBN 80-200-0480-7.
- [26] KOMÁREK, Stanislav. *Příroda a kultura, Svět jevů a svět interpretací*. 2.vyd. Praha: Nakladatelství Academia, Středisko společných činností AV ČR, v.v.i., 2008. 307 s. ISBN 978-80-200-1582-2.
- [27] NACHTIGALL, Werner. *Biologisches Design*. 1.vyd. Springer-Verlag Berlin: Heidelberg, 2005. 246 s. ISBN 3-540-22789-X.
- [28] BEDEKR.CZ pen, zahr. *První Leonardova stavba dokončena* [online]. bedekr.cz, 2001. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.bedekr.cz/texty/818.html>](http://www.bedekr.cz/texty/818.html)
- [29] PETR, Jaroslav. *Mají rostliny důstojnost?* [online]. OSEL. ISSN 1214-6307 [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3518>](http://www.osel.cz/index.php?clanek=3518)
- [30] PETR, Jaroslav. *Databáze s geny stromů*. [online]. OSEL. ISSN 1214-6307 [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=925>](http://www.osel.cz/index.php?obsah=6&clanek=925)
- [31] WALKER, Aidan. *Dřevo: velká encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. 192 s. ISBN 978-80-247-2858-2.
- [32] HAGENEDER, F. *Moudrost stromů*. 1. vyd. Praha: Euromedia Group, k.s. – Knižní klub, 2006. 224 s. ISBN 80-242-1635-3.
- [33] JAHODA, Petr. *Petr Jahoda cestovatel a fotograf* [online]. 2007. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: < http://www.jahodapetr.cz/>](http://www.jahodapetr.cz/)
- [34] MOSBRUGGER, Volker. *The Tree Habit in Land Plants*. 1. vyd. Berlin: Springer, 1990. 161 s. ISBN 3-540-52374-X.
- [35] PRAUS, Luděk. *Biomechanika – návody a učební texty* [online]. Brno: Mendelu, 2003 - 2007. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na [www: < http://wood.mendelu.cz/cz/sections/BMaSS/?q=book/export/html/23>](http://wood.mendelu.cz/cz/sections/BMaSS/?q=book/export/html/23)
- [36] PEJCHAR, Miloš. *Architektura kořenového systému stromu a její vztah k možnému poškození staveb*. 1. vyd. Ostrava: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2008. 50 s.
- [37] NERDINGER, Winfried. *Frei Otto complete works: lightweight construction natural design*. 1.vyd. Basel: Birkhäuser, 2005. 391 s. ISBN 3-7643-7231-1.
- [38] FREI, Otto - BODO, Rasch. *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. 1. vyd. Hardcover: Edition Axel Menges, 1995. 240 s. ISBN-10 3930698668.

- [39] BIOPRO. *Learning from trees*. [online]. Baden-Württemberg GmbH, 2005. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.molecular-bionics.net/magazin/thema/00172/index.html?lang=en&artikelid=%2Fartikel%2F03041%2Findex.html&linkGlossaryTerms=1>>
- [40] CHOROVSKÝ, Martin. *Jak to, že izolace z papíru izoluje*. [online]. 2001. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.foukamizolace.cz/caste-dotazy>>
- [41] ENERGOPORTAL.CZ. *Informační server o využívání, úsporách a výrobě energie v domácnosti*. [online]. 2009. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <[http://www.energoportal.cz/forum/nizkoenergeticke-a-pasivni-domy/stavba-z-lisovanych-nepalenyh-cihel-16400/?stranka_oblast="](http://www.energoportal.cz/forum/nizkoenergeticke-a-pasivni-domy/stavba-z-lisovanych-nepalenyh-cihel-16400/?stranka_oblast=)>
- [42] MATTHECK, Claus - BRELOER, Helge. *The body language of trees*. 1. vyd. London: TSO, 1995. 239 s. ISBN-10 0117530670
- [43] ŠUBRT, Roman. *Jak zabránit letnímu přehřívání domu*. [online]. xBizon, s.r.o., 2008. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.nazeleno.cz/bydleni/vetrani-1/jak-zabranit-letnimu-prehrivani-domu.aspx>> ISSN 1803-4160
- [44] KOCHOVÁ, Ingrid. Přírodě blízké metody ošetřování stromů. In *Studentská arboristická konference*. 1. vyd. Mělník: Investice do rozvoje vzdělávání, 2011. 46 s.
- [45] NEKVAPILOVÁ, Bára. Náporová plocha koruny. In *Studentská arboristická konference*. 1. vyd. Mělník: Investice do rozvoje vzdělávání, 2011. 46 s.
- [46] GANDELOVÁ, Libuše. – HORÁČEK, Petr., ŠLEZINGEROVÁ, Jarmila. *Nauka o dřevě*. 3. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1996. 176 s. ISBN 80-7157-194-6.
- [47] DERBY, R.W. - GATES, D. M. The temperature of tree trunks – calculated and observed. In *American Journal of Botany*. 1. vyd. Botanical Society of America, 1966
- [48] KAPLANOVÁ, Marie. Fyzikální základy fotosyntézy. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1987. 189 s. ČNB cnb000036228.
- [49] MARCINKOVÁ, Anna. *Od Kanady po Karibik si stromy řídí teplotu listů a jehlic*. [online]. OSEL. ISSN 1214-6307 [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3688>>
- [50] RULÍK, Martin. *Vodárenská biologie*. [online]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP, 2007. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://ekologie.upol.cz/ku/ahdo/aplhyd.htm>>
- [51] BEDNARÍKOVÁ, Jarmila - KYSUČAN, Lubor. Les jako locus amoenus? – estetika lesa v antické literatuře. In KLVAČ, Pavel (edit.). *Člověk a les*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2006. 78 s. ISBN 80-210-4202-8.
- [52] MAKOVECZ, Imre. *Autorské stránky* [online]. 2007. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.makovecz.hu>>
- [53] GRÜNBAUM, Branko. *Tilings and patterns*. 1. vyd. New York: W. H. Freeman and Company, 1987. 700 s. ISBN 0716711931
- [54] DRÁPAL, Jaroslav. - DRÁPALOVÁ, Olga. *Architektonická kompozice II., Výtvarná geometrie*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1992. 148 s. ISBN 80-214-0377-2
- [55] BARAN, Ludvík. *Barva v umění, kultuře a společnosti*. 1. vyd. Praha: SPN, 1978. 315 s.
- [56] HANUŠ, Karel. *Barva v architektuře, její zákonitosti a kompozice*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1957. 148 s.
- [57] KLEMENTOVÁ, Marie – MAHEL, Robi. *Architektura Jemenu*. [online]. 2006. [cit. 21. 5. 2011]. Dostupné na www: <<http://www.ye.cz/view.php?cislocianku=2008050001>>
- [58] GIONO, Jean. *Muž, který sázel stromy*. 3. vyd. Praha: Vyšehrad, 2004. 51 s. ISBN 80-7021-707-3.
- [59] KLVAČ, Pavel. *Člověk a les*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2006. 78 s. ISBN 80-210-4202-8.
- [60] ECK, Vladimír. *Bionika*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. 161 s. ISBN 80-01-01845-8

- [61] HOLČÍK, J. – STRASZECKA, E. *Bionika*. 1. vyd. Brno: VUT, 1999. 110 s. ISBN 80-214-1487-1.
- [62] ALDERSEY-WILLIAMS, Hugh. *Zoomorphic: New animal architecture*. 1. vyd. New York: Laurence King ;Harper Design International, 2003. 176 s., ISBN 1-856693-40-6.
- [63] KOMÁREK, Stanislav. *Dějiny biologického myšlení*. 1.vyd. Praha: Vesmír, 1997. 142 s. ISBN 80-85977-10-9.
- [64] Ústav nauky o dřevě, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita: *Věda a výzkum*. 2003 - 2010 Dostupné na [www: <http://wood.mendelu.cz/ml/unod/?q=cs/veda-a-vyzkum>](http://wood.mendelu.cz/ml/unod/?q=cs/veda-a-vyzkum)
- [65] SABADÁŠOVÁ, Lenka. *Bionika*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. 31 s.
- [66] LINDENMAYER, A.: *Mathematical models for cellular interaction in development*. Díl I a II, *Journal of Theoretical Biology*, 1968.
- [67] PRUSINKIEWICZ, P., HAMMEL, M., HANAN, J., MĚCH, R.: *L-systems: from the Theory to Visual Models of Plants*, CSIRO Publishing, (leden 2011) , 1996. Dokument dostupný na <http://algorithmicbotany.org/papers/l-sys.csiro96.html>
- [68] Parish, Y. I. H.; MÜLLER, P.: *Procedural modeling of cities*. In SIGGRAPH, 2001, s. 301–308. Dostupné na [www: <http://citeseerx.ist.psu.edu>](http://citeseerx.ist.psu.edu)
- [69] PROCHÁZKA, J. S. *Člověk, les a strom*. Praha: Český kosmos; sv. 2, 1923. 62 s.
- [70] DRÁPAL, Jaroslav. *Stavba jako obraz, socha, báseň, symfonie*. In *RUV – registr uměleckých výkonů*. 1. vyd. Praha: Akademie múzických umění, 2010. 111 s. ISBN 978-80-7331-175-9.
- [71] LANGER, Jiří. *Lidové stavby v Evropě*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 304 s., ISBN 978-80-247-2072-2.
- [72] DOHNAL, Radomír. *Dutiny starých stromů jsou pro zvířata důležité, vyrobit si je ale neumí*. [online]. obč. sdruž. BEZK, 2011. [cit. 25. 7. 2011]. Dostupné na [www: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/dutiny-starych-stromu-jsou-pro-zvirata-dulezite-vyrobti-si-je-ale-neumi?apc=/cz/zpravodajstvi/zpravy/dutiny-starych-stromu-jsou-pro-zvirata-dulezite-vyrobti-si-je-ale-neumi&nocache=invalidate&sh_itm=a60e5b509ddb49857d40d6225611f5ac&all_ids=1#disc>](http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/dutiny-starych-stromu-jsou-pro-zvirata-dulezite-vyrobti-si-je-ale-neumi?apc=/cz/zpravodajstvi/zpravy/dutiny-starych-stromu-jsou-pro-zvirata-dulezite-vyrobti-si-je-ale-neumi&nocache=invalidate&sh_itm=a60e5b509ddb49857d40d6225611f5ac&all_ids=1#disc). ISSN 1802-9019.
- [73] CAMPBELL, Neil A. *Biologie*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2006, 1332 s. ISBN 80-251-1178-4.
- [74] WESSOLLY, Lothar; ERB, Martin. *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. 1. vyd. Berlin: Patzer, 1998. 270 s. ISBN 387610931.
- [75] *Architektonická bionika – katalog výstavy*. 1. vyd. Bratislava: DOM ČSSP a Fakulta architektury SVŠT, 1984. 38 s.
- [76] LIVING.CZ. *Víte, co je to "přirozená architektura"? Zelená obytná krajina?* [online]. 2009. [cit. 8. 8. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.living.cz/architektura-design/vite-co-je-to-prirozena-architektura-zelena-obytna-krajina/2227>](http://www.living.cz/architektura-design/vite-co-je-to-prirozena-architektura-zelena-obytna-krajina/2227)
- [77] ŠMÍDEK, Petr. *Přirozená architektura*. [online]. 2010. [cit. 8. 8. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.archiweb.cz/buildings.php?type=28&action=show&id=2678>](http://www.archiweb.cz/buildings.php?type=28&action=show&id=2678)
- [78] JELÍNKOVÁ, Iva. *Visuté zahrady Vincenta Callebauta*. 2009. [cit. 9. 8. 2011]. Dostupné na [www: <http://www.earch.cz/clanek/4605-visute-zahrady-vincenta-callebauta.aspx>](http://www.earch.cz/clanek/4605-visute-zahrady-vincenta-callebauta.aspx)
- [79] UHLENBROEK, Charlotte. *Život zvířat*. 1. vyd. Praha: Knižní klub, 2009. 512 s. ISBN 978-80-242-2499-2