



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

ARCHITEKTŪROS INŽINERIJOS KATEDRA

Inga Avsiukevičiūtė

**GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ ĮTAKOS STATINIŲ
ARCHITEKTŪRAI TYRIMAS**

INVESTIGATION OF NATURE-INSPIRED SHAPES AND STRUCTURES
‘INFLUENCE TO BUILDINGS’ ARCHITECTURE

Baigiamasis magistro darbas

Statybos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20003

Architektūros inžinerijos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Architektūros inžinerijos katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtakos statinių architektūrai tyrimas**

Autorius **Inga Avsiukevičiūtė**

Vadovas **doc. Juozapas Šipalis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Žmogus visuomet buvo apsuptas gamtos formų, kurios jam buvo įkvėpimo šaltinis įvairiose gyvenimo srityse: formuojant buitį ir aplinką, kuriant architektūrą. Tuo remiantis, šiame moksliniame darbe aptartas pagrindinis gamtos poveikis šiuolaikinei architektūrai. Darbo tikslas – nustatyti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaką statinių architektūrai. Apžvelgiama gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų statinių architektūroje istorinė raida, analizuojami jų raiškos ypatumai. Susisteminti ir aprašyti pagrindiniai kriterijai, kurie atsispindi gamtos inspiruotų statinių architektūroje ir pagal juos atlikta analizė. Nustatyti gamtos formų ir konstrukcijų analogų inspiracijos lygmenys statiniuose, pagal juos atlikta pasirinktų statinių detali analizė. Atlikus tyrimą, pagal pasirinktą analogą gamtoje, transformacijos būdu sumodeliavus vizualinę struktūrą, gauta konstrukcinė sistema, kuri yra pagrindas architektūriniam sprendiniui. Baigiamojo magistro darbą sudaro 4 dalys: įvadas, raida ir kontekstas, formų ir konstrukcijų sprendiniai, tyrimas, išvados ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis 67 p. teksto be priedų, 82 iliustr., 6 lent., 64 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai. Šiame baigiamajame magistro darbe taikomi šie tyrimo metodai: analizė ir sintezė, apibendrinimas ir abstrahavimas, analogija ir modeliavimas, istorinis ir loginis metodai, sisteminis klasifikavimas, lyginimo metodai.

Prasminiai žodžiai: gamtos formos, konstrukcijos, architektūra, kriterijai, analizė, modeliavimas, įtaka.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Architectural Engineering

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Civil Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Investigation of Nature-inspired Shapes and Structures' Influence to Buildings' Architecture**

Author **Inga Avsiukevičiūtė**

Academic supervisor **Assoc Prof Juozapas Šipalis**

**Thesis
language:**
Lithuanian

Annotation

Human have always been surrounded by various shapes of nature, which has been a source of inspiration in different areas of life: from formation of household and the environment to establishing the architecture. In accordance to this, the basis of this master thesis is the discussion about the main natural effect in contemporary architecture. The aim of this thesis - to determine the influence of shapes and structures inspired by nature in the architecture of buildings. This paper presents a historical development of nature-inspired shapes and designs in architecture of the buildings, and the analysis of their expression characteristics. The detailed analysis has been performed of selected buildings in accordance with their natural forms and structure analogues of inspiration structures.

After analysis, the analog in nature has been selected and its structural system has been derived by transforming the structure using visual simulation method. This structure could be used as a basis for architectural solution. This final thesis consists of four parts: introduction, development, shapes and designs solutions, analysis, conclusions and references. Work consists of 67 pages of text, 82 figures, 6 tables, 64 bibliographic source. This master thesis uses the following methods: analysis and synthesis, abstraction and generalization, analogy, and modeling, logical and historical methods, systematic classification and comparison methods.

Keywords: natural forms of design, architecture level analysis, modeling, influence.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SARAŠAS	8
LENTELIŲ SARAŠAS	11
ĮVADAS	12
1. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ ARCHITEKTŪROS RAIDA IR KONTEKSTAS	15
1.1. Gamtos inspiruotų formų apibrėžimai ir jų taikymas	15
1.2. Gamtos inspiruotų formų ir principų pritaikymo aktualumas ir naujumas	16
1.3. Gamtos inspiruotų formų architektūros raida	18
1.4. Skyriaus išvados	27
2. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ SPRENDINIAI ARCHITEKTŪROJE	28
2.1. Gamtos inspiruotų formų raiška architektūroje	28
2.2. Gamtos inspiruotų konstrukcijų raiškos ypatumai architektūroje	29
2.3. Pagrindiniai kriterijai, atspindintys gamtos inspiruotuose statiniuose	33
2.4. Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų analogų raiškos architektūroje aspektai	41
2.5. Gamtos inspiruotų statinių analizė pagal pagrindinius kriterijus	42
2.6. Gamtos inspiruotų formų ir (ar) konstrukcijų statiniai ir jų transformacija	44
2.7. Skyriaus išvados	51
3. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ ĮTAKOS ARCHITEKTŪRINEI RAIŠKAI TYRIMAS PAGAL PASIRINKTĄ ANALOGĄ GAMTOJE	52
3.1. Gamtos inspiruotos formos perkėlimas į konstrukcinį modelį, jo apskaičiavimas	52
3.2. Vizualinės struktūros modeliavimas architektūriniam sprendiniui	59
3.4. Rezultatų aptarimas	62
3.5. Skyriaus išvados	63
IŠVADOS	64
LITERATŪROS SARAŠAS	65
A PRIEDAS	69
B PRIEDAS	76

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Baigiamojo magistro darbo struktūros schema	14
2 pav. Varnalėša ir nailoniniai lipdukai (Wikipedia 2014)	17
3 pav. Lotoso efektas (Lotus...2011).....	17
4 pav. „Mercedes-Benz“ automobilio transformacija (Design...2014).....	17
5 pav. Delfino ir povandeninio laivo eskizai (Lebedev 1990)	18
6 pav. Gamtos insipruotų formų architektūros raida.....	19
7 pav. Termitų kalvos nuotrauka (Insect...2012)	21
8 pav. Pietų Amerikos indėnų namo eskizas (Donch 2011)	21
9 pav. Paukščio lizdo nuotrauka (Bird...2012).....	21
10 pav. Pirmųjų laikinųjų prieglsčių eskizai (Donch 2011).....	21
11 pav. Pirmųjų apvaliųjų namų eskizas (Ancient...2011)	21
12 pav. Tipinio apvalaus namo planas su zonavimu (Ovalios...2009).....	21
13 pav. Bičių korio fragmentas (Sweet...2012).....	21
14 pav. Catal Huyuk (turk. <i>Çatal Höyük</i>), Turkija, ~6500 m. pr. Kr. (Ancient...2012)	21
15 pav. Catal Huyuk plano eskizas (Ancient...2011).....	21
16 pav. Mnajdra (malt. <i>Mnajdra</i>) megalitinių šventyklų kompleksas iš kalkakmenio (Malta), pastatytas apie 3600-2500 m. pr. Kr. (Wikipedia 2013)	21
17 pav. Temple Philae vienos iš šventyklų kolonos fragmentas (Illustrated...2004).....	23
18 pav. Temple Philae šventyklų kompleksas, Egiptas, ~2000 m. pr. Kr. (Illustrated...2004) ..	23
19 pav. Vienos iš Karnak šventyklų kolonos fragmentas (Illustrated...2004)	23
20 pav. Karnak šventyklų kompleksas, Egiptas, ~1500 pr. Kr. (Illustrated...2004)	23
21 pav. Zeus Olympia šventyklos kolonos fragmentas (Wikipedia 2014)	23
22 pav. Zeus Olympia šventykla Atėnuose, Graikijoje, ~174 pr. Kr. – 132 m. (Wikipedia 2014)	23
23 pav. Romaninė – gotikinė Saint Denio vienuolyno bazilika (pranc. <i>Saint DenisBasilica</i>), 1144 m. (Wikipedia 2014).....	23
24 pav. Amjeno katedros (pranc. <i>Basilique Notre-Dame d'Amiens</i>) langas, Prancūzija, 1269 m. (Cathedrales...2011).....	23
25 pav. Amjeno katedros langas (Wikipedia 2014)	23
26 pav. Gotikinė Paryžiaus Dievo Motinos katedra (pranc. <i>Cathédrale Notre-Dame de Paris</i>), Prancūzija, 1345 m. (Wikipedia 2014).....	23
27 pav. Gotikinės Paryžiaus Dievo Motinos katedros fragmentas	23
28 pav. St. George bažnyčia (ital. <i>San Giogrio Maggiore</i>), Italija, 1610 m. (About...2013)	23
29 pav. Chota Imambara, Indija, 1842 m. (Wikipedia 2014)	23
30 pav. Eifelio bokštas (pranc. <i>Tour Eiffel</i>), Prancūzija, 1889 m.....	26
31 pav. Eifelio bokšto eskizai (Interdisciplinarity...2013)	26

32 pav. Park Guell (<i>kat. Parc Güell</i>), Ispanija, 1914 m. (archit. Antonio Gaudi) (Gaudi...2012)	26
33 pav. Park Guell (Gaudi...2012)	26
34 pav. Namas virš krioklio (angl. <i>Fallingwater, Mill Run</i>) Pensilvanijos valstija, JAV, 1937 m. (archit. F. L. Wrightas)	26
35 pav. Giugenheimio muziejus (angl. <i>Guggenheim Museum</i>), Niujorkas, 1959 m. (archit. F. L. Wrightas)	26
36 pav. Olimpinis stadionas Miunchene (The Munich Olympiastadion), Vokietija, 1972 m. (Wikipedia 2014) (archit. Otto Frei, Behnisch Gunther, Carlo Weber)	26
37 pav. Denverio tarptautinis oro uostas (angl. <i>Denver International Airport</i>), JAV, 1995 m. (Wikipedia 2014)	26
38 pav. Planetariumas Valencijos mokslo centre, Ispanija, 1998 m. (Wikipedia 2014)	26
39 pav. Lotoso šventykla, Indija, 1998 m. (Wikipedia 2014)	26
40 pav. Edeno projektas (The Eden Project), Anglija, 2001 m. (Wikipedia 2014) (archit. Nicholas Grimshaw)	26
41 pav. „Swiss Re“ dangoraižis, Anglija, 2004 m. (Wikipedia 2014)	26
42 pav. Besisukantis torsas (<i>Turning Torso Tower</i>), Švedija, 2005 m. (Wikipedia 2014) (archit. Santiago Calatrava)	26
43 pav. Ascent pastatas (Ascent building), JAV, 2008 (Wikipedia 2014)	26
44 pav. Pekino nacionalinis stadionas „Paukščio lizdas“, Kinija, 2008 m. (Wikipedia 2014)	26
45 pav. Nacionalinis vandens centras, Vandens kubas (Water Cube), Kinija, 2008 m. (Wikipedia 2014)	26
46 pav. Vandens pastato poilsiui koncepcija (The water building resort), 2006 m., (Archit. Orlando de Uruttia)	26
47 pav. Urbanizuotas kaktuso pastato (Urban Cactus building) projektas, Teksase (Wikipedia 2014)	26
48 pav. Uždaras baseino pastatas, VGTU baigiamojo bakalauro projektas, Luko Grabliauskas, AImf-10	26
49 pav. Santuokų rūmų pastatas, VGTU baigiamojo bakalauro projektas, Renata Kubilienė, AImf-10	26
50 pav. Uždaro baseino pastatas, VGTU bakalauro baigiamojo projektas, Lukas Grabliauskas, AImf-10	29
51 pav. Lotoso šventykla, Indija, 1998 m. (Wikipedia 2014)	29
52 pav. Kevalinių konstrukcijų pavyzdžiai (Bionic...2013)	31
53 pav. Aiškiai matoma šikšnosparnio sparnų struktūra (Fotopedia 2010)	31
54 pav. Tentinių konstrukcijų pavyzdžiai (Bionic...2013)	32
55 pav. The Motreal Biosphere gamtos muziejus, Monrealis, Kvebeko provincija, Kanada, 1967 m. (Wikipedia 2012)	32
56 pav. Kolonų tipo konstrukcijos gamtoje (Bionic...2013)	33
57 pav. Gamtos inspiruotų formų pagrindiniai kriterijai statiniuose	34
58 pav. Arklio šlaunikaulis (dešinėje) ir paukščio šlaunikaulis (kairėje) (Wikipedia 2010)	35

59 pav. Cinkuoti apvalūs vamzdžiai (kairėje) ir bambuko stiebai (dešinėje) (Cinkuoti..2012)....	36
60 pav. Žmogaus stuburo sandara (Wikipedia 2012).....	37
61 pav. Olimpinis stadionas Miunchene, Vokietija, 1972 m. (Miunchen...2011)	38
62 pav. Povo plunksnų tekstūra (kairėje) ir medžio kamieno tekstūra (dešinėje) (Fotopedia 2010)	39
63 pav. Drugelis (Fotopedia 2010).....	39
64 pav. Lapo struktūra – aiškiai matoma tekstūra su raštu ir spalva, puiki inspiracija projektavimui (Fotopedia 2010)	40
65 pav. Voratinklio tinklas (kairėje) ir bičių korys (dešinėje) (Fotopedia 2010).....	41
66 pav. Gamtos inspiruotų statinių analizės schema.....	42
67 pav. Edeno projekto transformacija	48
68 pav. Lotoso šventyklos transformacija.....	48
69 pav. Miuncheno stadiono transformacija	49
70 pav. Pekino nacionalinio stadiono transformacija	49
71 pav. Uždaro plaukimo baseino pastato transformacija	50
72 pav. Gyvatės skeleto nuotrauka (Snakes...2011)	53
73 pav. Gyvatės skeleto iš viršaus nuotrauka (Snakes...2011).....	53
74 pav. Gyvatės skeleto slankstelio su šonkauliais transformaciją į konstrukcinį elementą – santvarą.....	54
75 pav. Stogo konstrukcija.....	55
76 pav. 1 variantas. Santvara be šarnyrų, su statramsčiais.....	58
77 pav. 2 variantas. Santvara be šarnyrų, be statramsčių.....	58
78 pav. 3 variantas. Santvara su trimis šarnyrais, be statramsčių	58
79 pav. Pasirinktas optimalus santvaros variantas	59
80 pav. 3D konstrukcinio modelio koncepcija architektūriniam sprendiniui	60
81 pav. Konstrukcinio modelio konstrukcinių ryšių išdėstymo variantas	60
82 pav. Kaišiadorių geležinkelio stoties nuotrauka (Wikipedia 2014)	61
83 pav. Kaišiadorių geležinkelio stoties situacijos schema (Maps.lt 2010).....	61

LENTELIŲ SARAŠAS

1 lentelė. Gamtos inspiruotų statinių vertinimas pagal 5 pagrindinius kriterijus.....	43
2 lentelė. Gamtos inspiruotų statinių suskirstymas pagal tris aspektus.....	44
3 lentelė. Stogo konstrukcijos charakteristinės apkrovos skaičiavimas.....	56
4 lentelė. Stogo konstrukcijos skaičiuotinės apkrovos skaičiavimas	56
5 lentelė. Santvaros modelių palyginimas	59
6 lentelė. Kaišiadorių geležinkelio stoties perono konstrukcinės sistemos vertinimas pagal gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų pagrindinius kriterijus.....	62

IVADAS

Gamta savo formas evoliucijos ir atrankos būdu kūrė milijardus metų. Vienos formos nyko, kitos formavosi prisitaikydamos prie aplinkos. Tai savaiminiai procesai, kuriems būdinga begalinė įvairovė, veržlumas, dramatizmas ir harmonija. Čia nieko nėra be priežasties (Burneika 2002). Žmogus visuomet buvo apsuptas gamtos formų, kurios jam buvo įkvėpimo šaltinis įvairiose gyvenimo srityse: formuojant buitį ir aplinką, kuriant architektūrą. Gamtos inspiruotos formos, sukurtos žmogaus, – ilgaamžės civilizacijos raidos padarinys.

„Kiekviename žingsnyje aptinkami faktai primena mums apie tai, kad mes gamtos visiškai nevaldome, panašiai kaip ir užkariautojai, valdantys svetimą tautą, [iš tikrųjų] jos nevaldo, taip kaip ir kas nors, esantis ne gamtoje, primena, kad atvirkščiai – esame glaudžiai, krauju bei smegenimis priklausomi jai, nes esame jos viduje, kad mūsų viešpatavimą lemia tik tai, kad mes, skirtingai nuo visų kitų gyvių, mokame pažinti jos įstatymus ir tinkamai juos naudoti“ (Engelsas 1960: 103). Gamtos formos - itin tikslingai organizuotos, medžiagą, priežastį ir procesą apjungiančios formos, susidarančios pagal fizikos dėsningumus. Jų susidarymo procesus įmanoma matematiškai aprašyti, o pačias formas – net laboratoriskai modeliuoti. Jų savybės – gyvybiškumas, logika, dėsningumas, morfologija, cikliškumas, plastinis išraiškingumas, harmonija, spalvų įvairovė, ekonomiškumas, funkcionalumas, struktūriškumas, konstruktyvumas, tektoniškumas, - gamtos objektui suteikia unikalumo ir autentiškumo. (Paranec 1997). Daugelis architektūros kūrinių, kurie buvo kurti taip, kad būtų kuo arčiau gamtos, vis dar turi formas, struktūros ar funkcionalumo trūkumų. Todėl geriausi architektai, mokslininkai ir inžinieriai stengiasi įsigilinti į kiekvieną gamtos formos sandaros principą ir esmę, ją transformuoti ir taikyti projektavime, ne tik vizualiniu ar koncepciniu požiūriais. Mokslo sritys, kurios gilinaisi į šiuos procesus, yra bionika, biomikrija ir pan. Gamtos inspiruotos formos plačiai taikomos architektūroje, medicinoje, technikoje ir kitose srityse.

Tuo remiantis, šiame moksliniame darbe bus aptarta gamtos ir architektūros sąveika ir bus tiriama gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaka šiuolaikinei architektūrai. Pagrindinė tyrimo prielaida yra tai, kad gamtoje egzistuoja optimaliai organizuota sąveika tarp funkcijos, struktūros, konstruktyvumo, ekonomiškumo bei medžiagiškumo, suponuojanti unikalios ir autentiškos architektūros kūrimą. Taip pat šiuo darbu norima atkreipti besidominčių architektūra ar ją studijuojančių dėmesį į mus supančią gamtą ir jos formas, kaip į neišsemiamą kūrybinių idėjų šaltinį, tiek architektūros, tiek ir kitose kūrybos srityse. Baigiamojo magistro darbo struktūra pateikta 1 pav.

Tyrimo objektas – pastatai, kurių formų ir konstrukcijų analogai yra gamtos objektai.

Tyrimo tikslas - nustatyti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaką statinių architektūrai.

Tyrimo problema - kaip gamtos inspiruotos formos ir konstrukcijos veikia architektūrinius sprendinius.

Tyrimo hipotezė - gamtos inspiruotomis formomis ir konstrukcijomis kuriama savita, unikali statinių architektūra.

Tyrimo uždaviniai:

- 1) Aptarti gamtos inspiruotų formų architektūros raidą, architektūros ir konstrukcijų sprendinius. Išsiaiškinti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų paveiktos architektūros aktualumą šiuolaikiniame pasaulyje.
- 2) Nustatyti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų pagrindinius raiškos kriterijus statinių architektūroje.
- 3) Atlikti gamtos inspiruotų architektūros statinių analizę dviem požiūriais: pagal gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtakos kriterijus ir pagal gamtos analogo raiškos aspektus;
- 4) Pagal pasirinktą analogą gamtoje, transformacijos būdu, sumodeliuoti vizualinę struktūrą, kuri galėtų būti pagrindas architektūriniam sprendiniui. Šiai struktūrai pritaikyti konstrukciją, ją apskaičiuoti numatyti struktūros panaudojimo galimybę.
- 5) Atliktos architektūros statinių analizės bei sumodeliuoto pavyzdžio pagrindu, nustatyti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaką statinių architektūrai.

Tyrimo metodai

Šiame baigiamajame magistro darbe bus taikomi šie tyrimo metodai:

- 1) analizė ir sintezė;
- 2) apibendrinimas ir abstrahavimas;
- 3) analogija ir modeliavimas;
- 4) istorinis ir loginis metodai;
- 5) sisteminimas ir klasifikavimas;
- 6) lyginimo metodai.

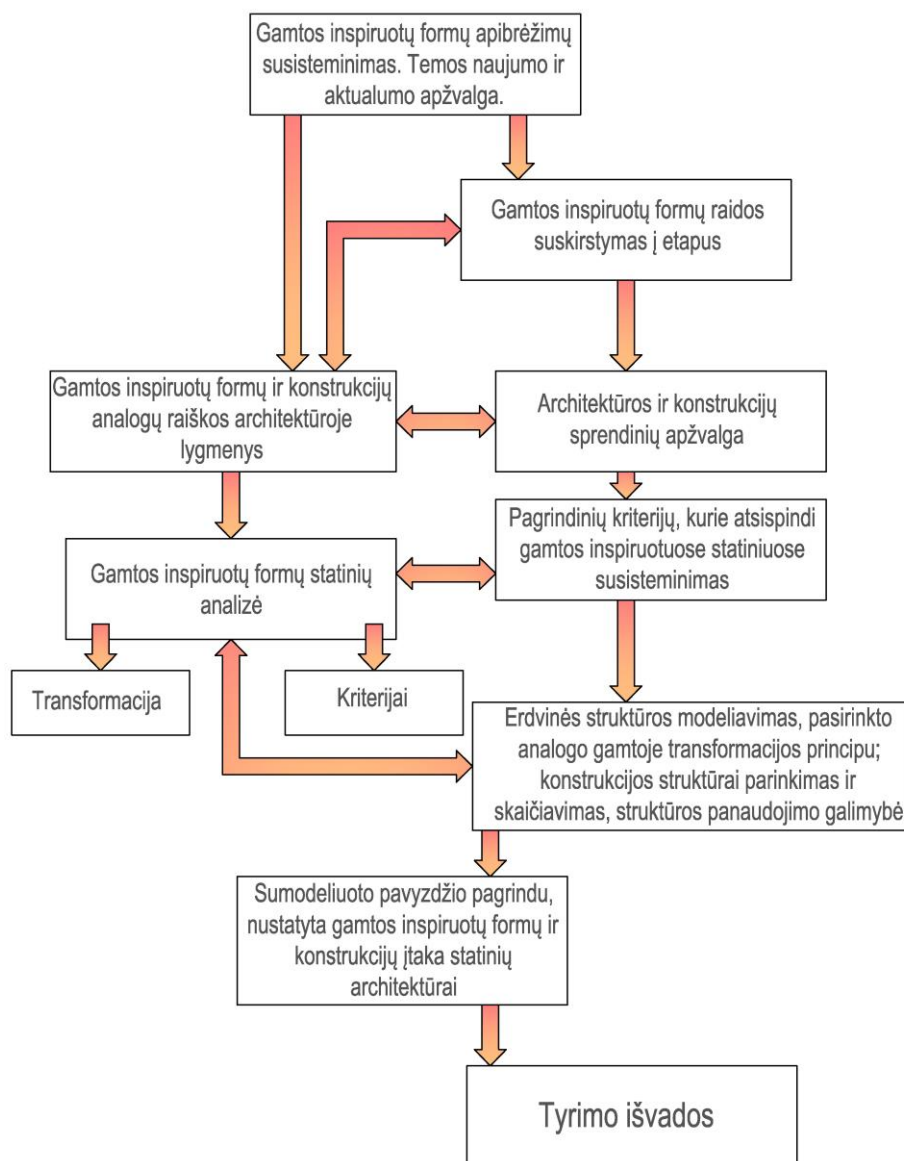
Darbo aprobavimas

Remiantis baigiamuoju magistro darbu, parengtas ir perskaitytas pranešimas tema „Pagrindiniai kriterijai, atspindintys gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų statiniuose“ vykusioje 17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“. Perskaitytas pranešimas pridedamas A priede.

Naudotos technologijos

Darbe naudotasi Microsoft Office, AutoCAD 2014, STAAD.Pro V8i programomis. Darbo pristatymui naudota Microsoft Office PowerPoint 2010 programa.

Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtakos statinių architektūrai tyrimas



1 pav. Baigiamojo magistro darbo struktūros schema

1. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ ARCHITEKTŪROS RAIDA IR KONTEKSTAS

1.1. Gamtos inspiruotų formų apibrėžimai ir jų taikymas

Forma – (lot. išvaizda, pavidalas) tai išorinis daikto pavidalas, kontūrai (Tarptautinių...1985).

John Ruskin savo knygoje (Portoghesi 2000) yra pasakęs „Jokia forma ar jos struktūra negali būti sukurta, nebent kažkur pasaulyje yra gyvas to pavyzdys“. Gamtos inspiruotos formos – tai iš gyvosios gamtos paimti gamtos pavidalų analogai (Architectural...2009). Tokias formas ir jų principus plačiau nagrinėja tokie mokslai kaip bionika, biomimetika (dar kitaip vadinama biomikrija).

Bionika – (gr. bios ‘gyvybė’ + onika ‘elektronika’) – tarpdisciplininė sritis, jungianti biologiją ir technologiją. Ji aiškinasi, kaip biologinėse sistemose naudojami techninių problemų sprendimo principai ir ar jie gali būti naudojami technikos srityje (Kurt, 2005).

Terminas „bionika“ pirmą kartą buvo paminėtas amerikiečių neuroanatomijos mokslininko, Jungtinių Amerikos Valstijų armijos aviacijos pulko pareigūno, Jacko Elwoodo Steele'o, 1959 metais. Jis „bionika“ pavadino tokias sistemas, kurios turi gyvųjų organizmų savybes ar bent panašias į jas. Iš pradžių, mokslas bionika nagrinėjo technologinius mechanizmus, kurie buvo paremti gyvaisiais organizmais, tačiau vėliau bionika buvo pradėta plačiai taikyti įvairiose srityse, tarp jų ir architektūros (Lebedev 1983).

Kaip mokslo šakos kryptis bionika susiformavo XX a. viduryje. Jos pavadinimas priimtas 1960 m. Deitone (angl. *Daytone*) Jungtinėse Amerikos valstijose vykusiame simpoziume (Vincent *et al.* 2006).

Kita mokslo šakos kryptis – biomimetika. *Biomimetika* (gr. *bios* – gyvybė + gr. *mimēsis* – mėgdžiojimas, sekimas) yra technologijų kryptis, tirianti biologinių sistemų funkcijas ir struktūrą, siekiant jų pavyzdžiu kurti naujas medžiagas ir įrenginius (What...2007). Nors šis terminas susiformavo kiek vėliau nei bionika, vienu ankstyviausių biomimetikos pavyzdžių galėtų būti paukščių sandaros ir anatomijos studijavimas, tam, kad suteikti žmonėms galimybę skraidyti. Nepaisant to, kad Leonardui Da Vinči (1452-1519) nepavyko sukurti sėkmingai skraidančio mechanizmo, jis entuziastingai stebėjo ir analizavo paukščių anatomiją, sukūrė nemažai eskizų ir piešinių su užrašytomis pastabomis. Žmonės nuolat stengiasi pažinti gamtos paslaptis ir siekiant užsibrėžto tikslo kiek galima labiau panaudoti jos formas, mechanizmus ir konstrukcijas. O gamtos formų architektūros populiarumo lūžiu tapo mokslo bei technikos revoliucija: intensyvi biologijos ir statybinių technologijų plėtra (Romei 2008).

Terminas „biomimetika” buvo galutinai įprasmintas 1997 m. Janine Benyus knygoje „Biomimetika: inovacijos įkvėptas dizainas” (*Biomimicry – innovation inspired design*).

Visos šios mokslo šakos kryptys (biomikrija, biomimetika, bionika):

- Kaupia žinias, gretina duomenis, sprendimus gamtoje pastebimu funkcinio aspektu (mobilumas, kūno apsauga, maitinimasis, rūšies/giminės pratęsimas);
- Žengia tolesnį žingsnį atkurdamą evoliucijos procesą metodologiniu požiūriu;
- Apibendrindama sprendimus, siekia novatoriškumo funkcionaliausiu ir ekonomiškiausiu būdu (Lodato 2011).

Gamtos formų esminės savybės – ekonomiškumas, daugiafunkciškumas, medžiagų ir konstrukcijų priklausomybė nuo organizmo amžiaus, plačios regeneracijos galimybės, adekvatumas aplinkai.

Projektavimo ir statybos rūšis, kai architektūroje naudojami augalinės ar gyvūninės kilmės gyvosios gamtos dėsniai bei formos, yra vadinama *bionine architektūra*. Ji priskiriama organinei architektūrai – kryptčiai, keliančiai užduotį statyti statinius, kurie tiek savo architektūra, tiek savo konstrukcijomis, įsilietę į aplinką, kaip tai įprastai vyksta gyvuosiuose organizmuose (Lebedev 1990).

1.2. Gamtos inspiruotų formų ir principų pritaikymo aktualumas ir naujumas

Gamtos inspiruotos formos ir idėjos yra plačiai taikomos architektūroje, medicinoje, technikoje ir kitose srityse.

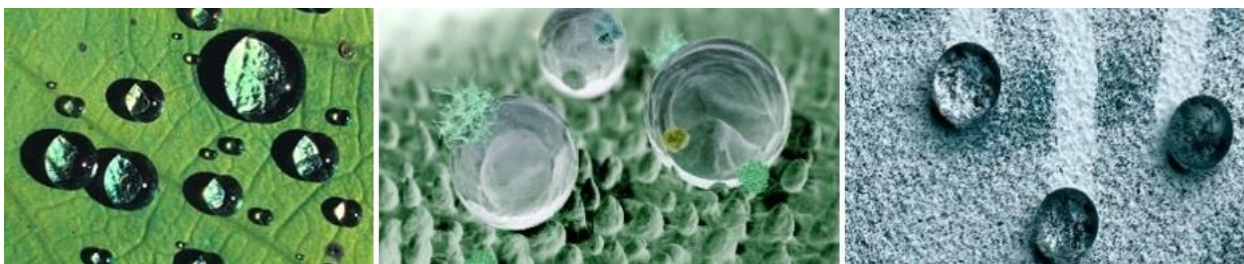
Pavyzdžiui, mėgdžiodant gyvosios gamtos „prototipus“, sukurtas lokatorius (pagal šikšnosparnio orientavimosi tamsoje principą), sonaras (pagal delfino teleryšių principą), seismografas (nusižiūrėjus kai kurių žuvų ir roplių elgesį). Kuriamos dirbtinės žmogaus žiaunos kvėpavimui po vandeniu. Tiriant gyvąją gamtą sukurta daugybė technikos aparatų, kuriamos naujos medžiagos bei dangos (Gruber 2011).

Viena tokių buityje naudojamų medžiagų, sukurtų kopijuojant gamtą, yra medžiaginiai lipdukai (lipniosios juostelės). Juos 1941 m. sukūrė šveicarų inžinierius Džordžas de Mestralis (*George de Mestral*). Jis pastebėjo, kad varnalėšos graižai turi mikrokabliukus, kuriais užsikabina už medžiagos tarsi kaip už kilpučių. Šis pastebėjimas jį įkvėpė sukurti dirbtinius lipdukus iš nailono ir įkurti juos gaminančią įmonę „Velcro“. Tokie lipdukai naudojami ir šiandien (Vogel 1988) (žr. 2 pav.).



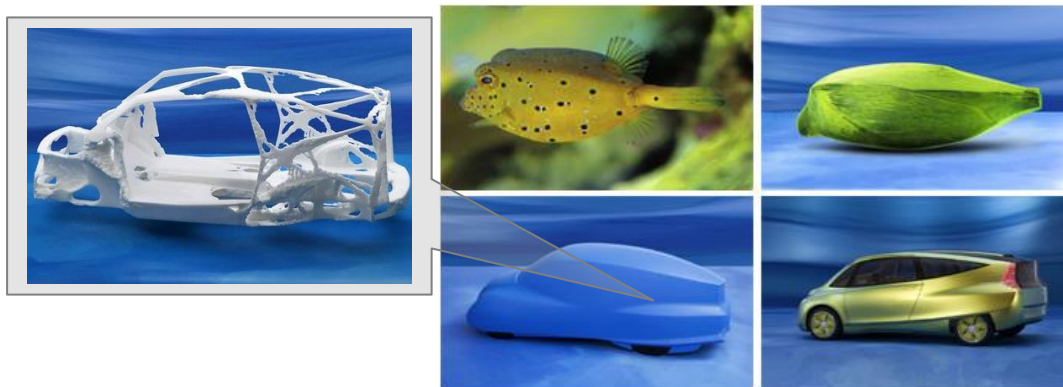
2 pav. Varnalėša ir nailoniniai lipdukai (Wikipedia 2014)

Kitas gamtos principo taikymo pavyzdys – vandeniui ir purvui atsparūs paviršiai, kurie kuriami pagal lotoso efektą. Šis efektas pavadintas neatsitiktinai – augalo lotoso (lot. *Nelumbo*) lapo paviršius padengtas mažičiais hidrofobinio vaško kristalėliais, todėl jis yra labai nelygus. Dėl šių nelygumų vandens lašų sąlyčio su paviršiumi plotas labai mažas, jų sąveika silpna, todėl vandens lašeliai nurieda nuo lapų surinkdami purvą, teršalus, riebalus, bei kitas medžiagas. (Barthlott 2001) (žr. 3 pav.).



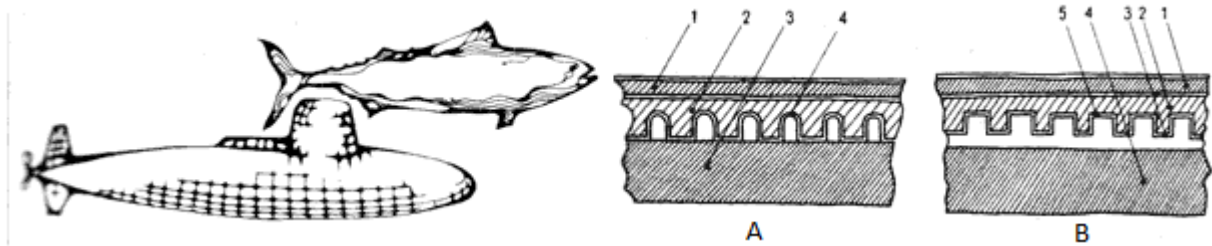
3 pav. Lotoso efektas (Lotus...2011)

Dar vienas gamtos inspiruotos formos panaudojimo pavyzdys, kai automobilių gamintojas „Mercedes-Benz“ pagal dėžiažuvės (lot. *ostracion meleagris*) formą (žr. 4 pav.) sukūrė naują, labai ekonomišką ir aerodinaminį automobilio modelį. Pati automobilio struktūra atrodo kaip skeletas, kadangi pagrindinės medžiagos yra sutelktos tik ties tomis vietomis, kur jos yra būtinausios (Bionic...2005).



4 pav. „Mercedes-Benz“ automobilio transformacija (Design...2014)

Delfinų kūno forma buvo puiki idėja konstruojant povandeninius laivus. Delfinai gali judėti dideliu greičiu po vandeniu su nedideliu kiekiu energijos, dėl savo odos struktūros: išorinis kūno sluoksnis veikia kaip amortizatorius sąlyčiui su vandeniu ir sukelia mažesnę vandens turbulenciją aplink delfino elastingą odą. 5-ame paveiksle pateiktos pjūvyje delfino odos struktūra (A) ir analogiškai jai pagamintos medžiagos struktūra povandeniniam laivui (B) (Lebedev 1990).



A: 1- epidermis; 2- išorinis odos sluoksnis; 3-vidinis odos sluoksnis; 4- akytoji medžiaga; B: 1 ir 3 plonos gumos sluoksniai, 2- storos gumos sluoksnis; 4 – standus pagrindas; 5 – briauniuotasis profilis.

5 pav. Delfino ir povandeninio laivo eskizai (Lebedev 1990)

Bionika, biomimetika paremti daugelis aeronautikos ir aviacijos pasiekimų. Kartu dirbantys biologai, inžinieriai, konstruktoriai, dizaineriai, technikos specialistai atlieka tarpdisciplininius tyrimus, analizuodami gamtoje vykstančius reiškinius ir funkcionuojančius mechanizmus (Benyus 1997). Šie mokslai padeda ieškant naujausių techninių ir technologinių sprendimų. Šiame darbe toliau analizuosime gamtos inspiruotų formų raidos etapus statinių architektūroje.

1.3. Gamtos inspiruotų formų architektūros raida

Gamta savo raiškos formas kūrė milijardus metų. Pirminės, elementarios gamtos formos – tai ledynų nugludinti granito rieduliai arba jūros bangų mūšos šlifuojami plokšti pajūrio akmenėliai. Žemės reljefas, įvairios vandens būsenos (ledas, pusnys, debesys) taip pat yra pirminės, organiškios gamtos formos. Jose, kaip ir kitose, sudėtingesnėse formose, akivaizdus tikslingumas, tikrumas ir logika (Etkinsas 1987).

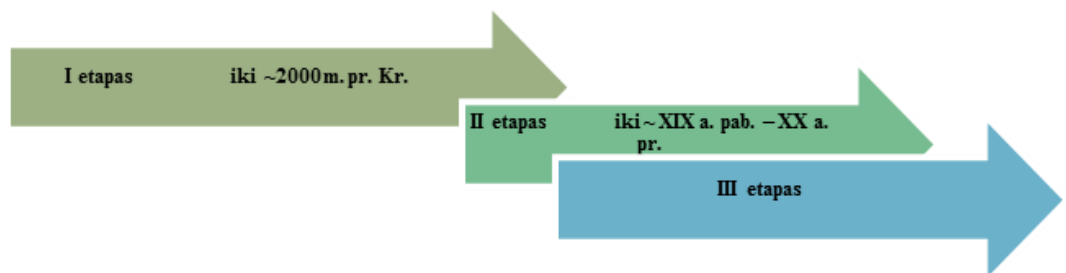
Dauguma žemės būtybių, tokių kaip paukščiai, žinduoliai ir kiti, įsiruošinėja sau prieglobstį - lizdus ir užuovėjas. Žmogus, būdamas tos pačios gamtos dalis, taip pat pradėjo kurti sau prieglobstį, kad apsisaugotų nuo priešų ir kitų galimų pavojų bei nuo klimato kaprizų: lietaus, vėjo ar sniego. Tuo tikslu, kad galėtų išgyventi, žmogus pradėjo statyti sau namus iš šalia esančių bet kokių turimų medžiagų. Turėdamas gebėjimą mąstyti ir vertinti aplinką, jis kūrė savo būstus kopijuodamas natūralias struktūras - tokias kaip paukščių lizdai ar kitų gyvūnų prieglobsčiai. Tuo laikotarpiu žmogus savo būsto estetikai dėmesio neskyrė – jam terūpėjo, kad

jo prieglobsčio forma būtų funkcionali, stabili ir patikima (Berkebile, McLennan 2004). Vystantis visuomeniniams santykiams ir tobulėjant statybos technologijoms, atsirado galimybės statyti sudėtingesnius ir įvairesnius pastatus - atsiranda estetikos dimensija. Ši kaita matoma atsigręžus atgal į architektūros vystymosi kelią.

Gamtos inspiruotų formų, panaudojimo žmogaus aplinkos ir gyvenamosios erdvės formavimo procese, raidą chronologine seka galima suskirstyti į tris etapus (Talaba, Roche 2004) (žr. 6 pav.):

- I. Gamtos formų kopijavimas, siekiant funkcinės naudos, nesusimąstant nei apie estetinę vertę, nei apie pačią formą;
- II. Gamtos formos diferencijuotai imituojamos daugiau meno tikslais (kaip dekoras), nes taikomi konstruktyvumo principai, dėl techninių galimybių nepakankamumo, ne visada buvo veiksmingi;
- III. Atsirado bionikos mokslas, sukurę technologijų ir medžiagų pagrindus, kuriami modernūs bioniniai statiniai.

Toliau kiekvienas raidos etapas bus nagrinėjamas detaliau.



6 pav. Gamtos inspiuotų formų architektūros raida

I etapas. Gamtos formų kopijavimas, siekiant funkcinės naudos, nesusimąstant nei apie estetinę vertę, nei apie pačią formą

Pirmykščiai žmonės naudojo urvus, egzistuojančius gamtoje, jų nereikėjo kurti ir kurie buvo prieglobstis nuo gamtos kaprizų žiemą. Vasaros metu žmonės būdavo lauke, medžiodavo ir susiburdavo draugėn. Gyvendami lauke ir nuolat keliaudami klajokliai užsiiminėjo medžiokle, todėl jiems reikėjo laikino prieglobsčio. Tai buvo architektūros pati pradžia. Pati seniausia ir spontaniškiausia gamtos inspiruotų formų įtaka charakterizuojama konstrukcijos ir funkcijos panaudojimu: buvo statomi primityvūs būstai, kopijuojant paukščių, žinduolių, vabzdžių ar kitų gyvūnų būstus (9 pav.). Būtų sunku kalbėti apie šių statinių estetinę vertę, tačiau jų funkcionalumas akivaizdus. Dažnai, perkeltą gamtos analogą į žmogaus formuojamą dirbtinę

aplinką, buvo kopijuojama visuma – forma ir funkcija, todėl nebuvo didelio skirtumo tarp Pietų Amerikos indėnų namų ir termitų kalvos (Feuerstein 2002) (žr. 7 ir 8 pav.).

Kiek vėliau, žmonėms pradėjus užsiimti žemdirbyste, jų gyvenimo būdas pasidarė sėslus (apie 8000 m. pr. Kr.). Architektūros istorijoje tai palapinių tipo struktūrų ir apvalių namų pradžia (žr. 10, 11 ir 12 pav.). Tame laikotarpyje buvo atrasta plytų gamybos technologija – jos buvo formuojamos iš molio ir džiovinamos saulėje. Apie 6500 m. pr. Kr., tokie būstai iš plytų buvo statomi su sienomis bei langais jose (Aldersey-Williams 2003).

Vienas geriausiai išlikusių Neolito miestelių yra Catal Huyuk, (žr.14 pav.), apimantis 32 akrus Pietinėje Turkijoje. Čia namai buvo stačiakampio formos, su langais, bet be durų. Vienas su kitu jie ribojasi kaip aklės išsidėsčiusios koryje ir įėjimas į kiekvieną namą yra per stogą (Bailey 2005) (žr.13 ir 15 pav.).

Dar vėliau pastatai buvo statomi iš kalkakmenio. Vienas iš pavyzdžių - Mnaidros megalito ansamblis – tai trys šventyklos, pastatytos skirtingu laiku. Viena jų – apie 3600–3200 m. pr. m. e., dvi likusios – apie 3150–2500 m. pr. m. e. (žr. 16 pav.). Pavaizduotos šventyklos forma inspiruota aplinkos klimatinių sąlygų bei topografijos. Šie gamtos ypatumai lėmė tų laikų statinių modeliavimą ir jų sprendinius (Megalithic...2009).

I. Etapas. Gamtos formų kopijavimas, siekiant funkcinės naudos, nesusimąstant nei apie estetinę vertę, nei apie pačią formą



7 pav. Termitų kalvos nuotrauka (Insect...2012)



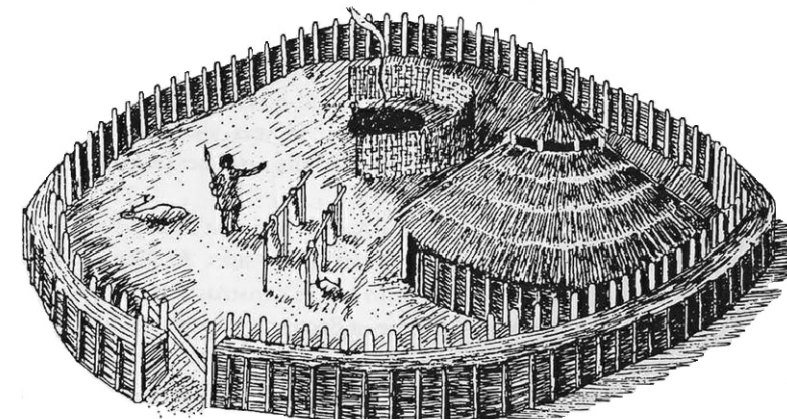
8 pav. Pietų Amerikos indėnų namo eskizas (Donch 2011)



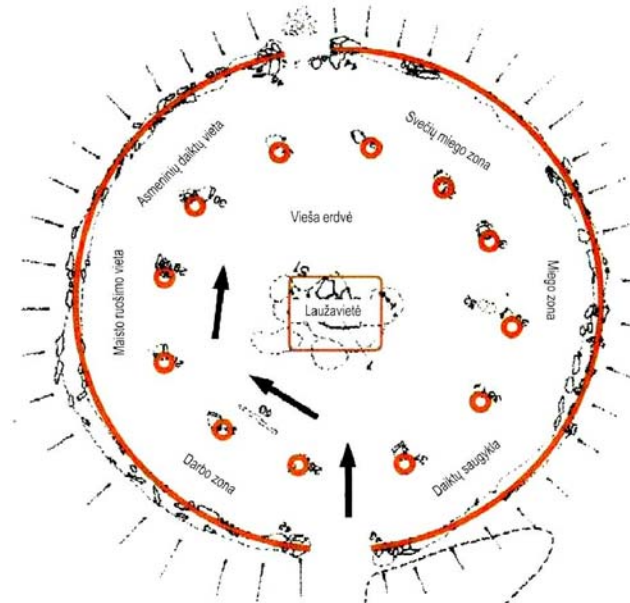
9 pav. Paukščio lizdo nuotrauka (Bird...2012)



10 pav. Pirmųjų laikinųjų prieglobsčių eskizai (Donch 2011)



11 pav. Pirmųjų apvaliųjų namų eskizas (Ancient...2011)



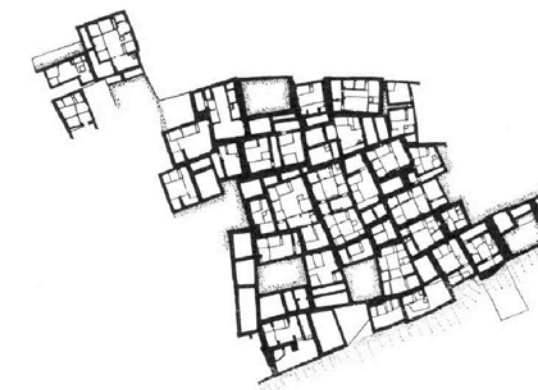
12 pav. Tipinio apvalaus namo planas su zonavimu (Who...2008)



13 pav. Bičių korio fragmentas (Sweet...2012)



14 pav. Catal Huyuk (turk. *Çatal Höyük*), Turkija, ~6500 m.pr.Kr. (Ancient...2012)



15 pav. Catal Huyuk plano eskizas (Ancient...2012)



16 pav. Mnajdra (malt. *Mnajdra*) megalitinių šventyklų kompleksas iš kalkakmenio (Malta), pastatytas apie 3600-2500 m. pr. Kr. (Wikipedia 2013)

~ 8000 m. pr. Kr.

~ 6500 m. pr. Kr.

~ 3600 m. pr. Kr.

Žmonėms užsiiminėjant medžiokle ir keliaujant, reikėjo laikinų prieglobsčių, todėl jie pradėjo statyti primitiviškus būstus, kopijuojdami gyvūnų, žinduolių, vabzdžių ar kitų gyvūnų būstus.

Sėslus gyvenimo būdas - palapinių tipo struktūros ir apvalių namų pradžia

Atsiradus plytų technologijai, būstai statomi su sienomis ir langais. Vienas geriausiai išlikusių Neolito miestelių yra Catal Huyuk. Čia namai stačiakampio formos su langais, bet be durų (įėjimas į kiekvieną namą per stogą).

Statiniai iš kalkakmenio. Vienas pavyzdžių - Mnajdras megalito ansamblis. Pavaizduotos šventyklos forma inspiruota aplinkos klimatinės sąlygos bei topografijos.

II etapas. Gamtos formos diferencijuotai imituojamos daugiau meno tikslais (kaip dekoras), nes taikomi konstruktyvūs metodai dėl techninių galimybių nepakankamumo, ne visada buvo veiksmingi

Nusakyti tikslus laiko parametrus šiam etapui, kada žmonės gamtos formas naudojo puošybai bei konstrukcijų analogams nebuvo paprasta, kadangi daugumoje literatūros šaltinių jis buvo nurodomas tuomet, kai atsirado gotika, renesansas bei kiti architektūros stiliai. Tačiau remiantis architektūros istorijos žiniomis, šio etapo pradžia turėtų būti apibrėžiama apie 2000 m. pr. Kr., kadangi puošybos elementai bei konstrukcijų užuomazgos buvo naudojamos jau Egipto architektūroje, o vėliau – Gotikoje bei kitų architektūrinių stilių laikotarpiu.

Šis etapas žmonijai yra pirmas bandymas suvokti gamtos formų estetiką ir jų konstruktyvumą. Egipto architektūroje matomos lotoso lapais puoštos kolonos, o šalia augalinių motyvų dekoras (žr. 17, 18, 19, 20 pav.). Tai rodo, kad tuo laikotarpiu, žmonės pradėjo suvokti pastatų estetinę vertę ir statybos praktikoje rėmėsi gamtos inspiruotomis formomis (Lehner 1997).

Nepaisant to, kad tai didžiulis laiko periodas ir jį sudaro keli etapai, pasižymintys stilių įvairove (Senovės Egiptas, Graikija, Roma, tarpupio kultūra, gotika, renesansas, barokas ir pan.), tačiau jie remiasi tuo pačiu principu – gamtos formų traktavimo principu. Gamtos formos buvo plačiai naudojamos puošiant pastatus, taip pat ir įrankius, ginklus ir t.t. visu šiuo laikotarpiu. Tačiau, analizuojant šį etapą, negalima atmesti ir konstrukcinių bei tektoninių gamtos principų interpretacijų. Pavyzdžiui, kolonos atitinka tektoniškus medžių kamienus, konstruktyvus logiškas Graikų bažnyčių stilius iš tikrųjų atkartoja augalų stiebų ar gyvūnų stuburų, žalio lapo gyslelių ir pan. motyvus (Boardman, Dorig) (žr. 21 ir 22 pav.).

Dėl statybos technologijų lygio, lengviau buvo naudoti gamtos formas estetikos tikslais, negu sukurti konstruktyvią, struktūrišką sistemą, analogišką natūraliai, egzistuojančiai gamtoje.

Gotikos meistrai net buvo sudarę tam tikras taisykles, pagal kurias projektuojant buvo remiamasi augalinėmis formomis, pavyzdžiui, gotikinės sakralinės architektūros kolonose ir skliautuose nesunku įžvelgti išskleistą skėtinių augalų struktūrą, o jų kapiteliai papuošti konkrečiais augalais: šalavijų lapais, šelvamedžių pumpurais, dagiais, pelargonijomis ir daugeliu kitų (Harvey 1950) (žr. 23, 24, 25, 26, 27 pav.) Augaliniai motyvai matomi ir renesanso bei kitų stilių laikotarpyje (žr. 28 pav.).

Kitas pavyzdys - musulmoniškųjų kraštų architektūra draudė vaizduoti gyvas būtybes, todėl šį draudimą bandyta kompensuoti naudojant įvairiausias ornamentus. Būdingiausi buvo mauriškojo stiliaus ornamentai – tai pasagos bei svogūno formos (žr. 29 pav.). Sienos šiuo laikotarpiu buvo dengiamos ryškiais piešiniais su geometriniais bei augaliniais motyvais (Fletcher 1980). Tokių pavyzdžių įvairiais raidos etapais rastume daugelio šalių architektūroje.

II. Etapas. Gamtos formos imituojamos diferencijuotai daugiau meno tikslais (kaip dekoras), nes taikomi konstruktyvūs metodai dėl techninių galimybių nepakankamumo, ne visada buvo veiksmingi



17 pav. Temple Philae vienos iš šventyklų kolonos fragmentas (Illustrated...2004)



18 pav. Temple Philae šventyklų kompleksas, Egiptas, ~ 2000 m. pr. Kr. (Illustrated...2004)



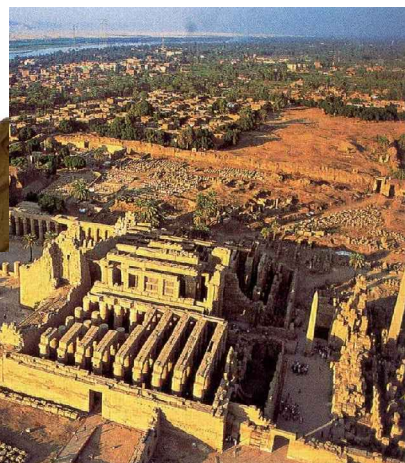
21 pav. Zeus Olympia šventyklos kolonos fragmentas (Wikipedia 2014)



23 pav. Romaninė - gotikinė Saint Denio vienuolyno bazilika (pranc. *Saint Denis Basilica*), Prancūzija, 1144 m. (Wikipedia 2014)



19 pav. Vienos iš Karnak šventyklų kolonos fragmentas (Illustrated...2004)



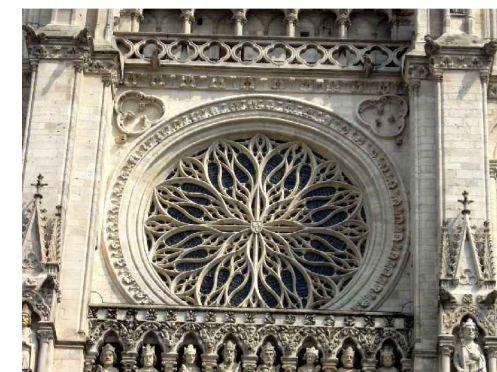
20 pav. Karnak šventyklų kompleksas, Egiptas, ~1500 pr. Kr. (Illustrated...2004)



22 pav. Zeus Olympia šventykla Atėnuose, Graikijoje, ~174 pr. Kr. - 132 m. (Wikipedia 2014)



24 pav. Amjeno katedra (pranc. *Basilique Notre-Dame d'Amiens*), Prancūzija, 1144 m. (Wikipedia 2014)



25 pav. Amjeno katedros langas (Wikipedia 2014)



26 pav. Gotikinė Paryžiaus Dievo Motinos katedra (pranc. *Cathédrale Notre-Dame de Paris*), Prancūzija, 1345 m. (Wikipedia 2014)



27 pav. Gotikinės Paryžiaus Dievo Motinos katedros fragmentas (Wikipedia 2014)



28 pav. St. George bažnyčia (ital. *San Giorgio Maggiore*), Italija, 1610 m. (About...2013)



29 pav. Chota Imambara, Indija, 1842 m. (Wikipedia 2014)

~ 2000 m. pr. Kr.

~ 200 m.

~ 1200.

~ 1600 m. pr. Kr.

Egipto architektūroje jau matomos lotoso lapais puoštos kolonos. Tai rodo, kad žmonės jau tuo laikotarpiu pradėjo suvokti estetinę statinių vertę ir rėmėsi gamtos inspiruotomis formomis.

Dekoratyvinės gamtos formos plačiai naudojamos puošiant statinius. Tačiau, negalima atmeti ir konstrukcinių bei tektoninių gamtos principų interpretacijų. Pavyzdžiui, kolonos atvaizduoja tektoniškus medžių kamienius, konstruktyvus ir logiškas bažnyčių stilius atkartoja augalų stiebus ar gyvūnų stuburus, žalio lapo gysles ir panašiai. Musulmonų religija neleido vaizduoti gyvūnų būtybių, tačiau tai buvo kompensuojama naudojant įvairiausius ornamentus - svogūno ar pasagos. Sienos šiuo laikotarpiu dengiamos ryškiais piešiniais su geometriniais bei augaliniais motyvais.

III etapas. Atsirado bionikos mokslas, sukurtų naujų technologijų ir medžiagų pagrindu kuriami modernūs bioniniai statiniai

Šis etapas persipina kartu su II-uoju etapu, kuris baigėsi su modernizmo pradžia (XIX a. pab. – XX a. pr.) Aktyvi šio amžiaus urbanizacija, masiškas miestų augimas, nesutrukdė vystytis ir atvirkštiniam procesui: atsigręžimui atgal į gamtą, tačiau šįkart visiškai nauja kokybės prasme (Talaba, Roche 2004).

Taip amerikiečių architektūros grandas Frankas Lloydas Wrightas pasiūlė pasauliui vadinamąjį „prerijų stilių“, kuriuo sekant žmogaus būstas privalo kiek įmanoma subtiliau įsilieti į jo aplinką. Chrestomatiniu to pavyzdžiu laikomas žymusis F. L. Wrighto kūrinys „Namas virš krioklio“ (žr. 34 pav.). Kitas garsus jo darbas – sraigės formos Gugenheimo muziejaus pastatas Niujorke – taip pat kelia sociacijų su organinėmis gamtinėmis formomis (žr. 35 pav.). Šiuos kūrinius galima priskirti organinei architektūrai – kryptčiai, kėlusiai užduotį statyti statinius, kurių forma išsilietų iš jų paskirties ir konkrečių aplinkos sąlygų, kaip tai įprastai vyksta gamtinės kilmės organizmuose (Aldersey-Williams 2003).

Dar iki vadinamosios bioninės architektūros kodifikavimo ir visiškai nepriklausomai nuo jos, organiškiosios architektūros statiniai atsirado modernio rėmuose. Jų kūrėjas buvo paradoksalus ir genialus architektas Antonio Gaudi (1852-1926). Apie Barselonoje jo suprojektuotą Guelio parką sakoma, kad tai „gamta, sustingusi akmenyje“ (Lapinskas 2007) (žr. 32, 33 pav.). Tuo metu A. Gaudi labai įsigilino į jam patikėto kraštovaizdžio idėją, tad visi statiniai tiesiog tapo gyvosios gamtos dalimi. A. Gaudi statė pastatus be planų ir brėžinių, jis sakydavo, kad naudoja formas, kurios visuomet sutinkamos gamtoje (Talaba, Roche 2004).

Gamtos inspiruotų formų architektūros populiarumo lūžiu tapo mokslo bei technikos revoliucija: intensyvi biologijos ir statybinių technologijų plėtra. 1889 m. Didžiosios prancūzų revoliucijos šimtosioms metinėms paminėti buvo surengta pasaulinė paroda. Ta proga buvo planuojama pastatyti bokštą, simbolizuojantį Prancūzijos revoliucijos didingumą ir kartu naujesnius šalies technikos laimėjimus. Buvo skelbiamas konkursas ir geriausiu buvo pripažintas tiltų konstrukcijas kuriančio inžinieriaus Alexandre'o Gustave'o Eiffelio projektas, (žr. 30 pav.). Šio bokšto konstrukcija tiksliai atkartoja žmogaus blauzdikaulio sandarą, lengvai atlaikančią jo kūno svorį (žr. 31 pav.). Sutampa netgi kampai tarp laikančiųjų paviršių. Šiandien panašiu principu statomi tiltai, dengiamos sporto salės ir kiti statiniai, nes tokios konstrukcijos labai lengvos, o kartu gali atlaikyti dideles apkrovas. Be to, tokie statiniai yra itin ekonomiškai, kadangi jiems pastatyti sunaudojama kur kas mažiau statybinių medžiagų (Lapinskas 2007).

1960 m. Daytone (JAV) buvo surengtas simpoziumas, kuris oficialiai įteisino naujos mokslo šakos – bionikos – gimimą. Šį terminą, kaip tiksliausiai apibrėžiantį šio mokslo kryptį, pasiūlė amerikietis, neuroanatomijos daktaras Jackas Ellwoodas Steele'as (Lebedev 1983).

Nuo to laiko architektai iš gelžbetonio konstrukcijų išmoko kurti praktiškai bet kokias formas, o šiandien jau pilnu tempu vyksta naujų, gyvoios gamtos struktūroms artimų statybinių medžiagų sintetinimas. Jau egzistuoja membraninės sienos, vantinės ir tentinės konstrukcijos (Lapinskas 2007). Gamtos įtaka šiems statiniams pasireškia jau ne vien tradiciniais dekoru elementais - statiniai sudaro vieningą funkcijos bei konstrukcijos struktūrą (žr. 46 pav.). Čia pateikta ispanų architekto Orlando de Urrutia Vandens pastato koncepcija. Šis statinys buvo suprojektuotas ne tik remiantis lašo forma, bet pretenduoja būti pirmasis pasaulyje, kuris gali paversti orą vandeniu, naudojant saulės energiją. Paslaptis – ne kas kita, o gamtos principų ir technologijų sąveika (Water...2011).

Tolesnė analizė bus vykdoma vadovaujantis statiniais, priklausančiais III-iajam etapo laikotarpiui– statiniais, kuriems taikomi bioninės architektūros principai. Jie bus nagrinėjami pagal kriterijus ir pagal inspiruotos formos ir (ar) konstrukcijos įtaką architektūrai.

III. Etapas. Atsirado bionikos mokslas, sukurtų naujų technologijų ir medžiagų pagrindu, kuriami modernūs bioniniai statiniai



30 pav. Eifelio bokštas (*pranc. Tour Eiffel*), Prancūzija, 1889 m. (Wikipedia 2014)



32 pav. Park Guell (*kat. Parc Güell*), Ispanija, 1914 m. (archit. Antonio Gaudi) (Gaudi...2012)



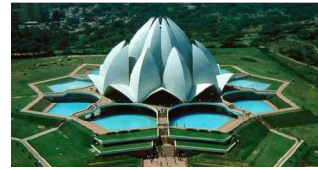
34 pav. Namas virš krioklio (*angl. Fallingwater, Mill Run*) Pensilvanijos valstija, JAV, 1937 m. (archit. F. L. Wright'as)



36 pav. Olimpinis stadionas Miunchene (The Munich Olympiastadion), Vokietija, 1972 m. (Wikipedia 2014) (archit. Otto Frei, Behnisch Gunther, Carlo Weber)



37 pav. Denverio tarptautinis oro uostas (*angl. Denver International Airport*), JAV, 1995 m. (Wikipedia 2014)



39 pav. Lotoso šventykla, Indija, 1998 m. (Wikipedia 2014)



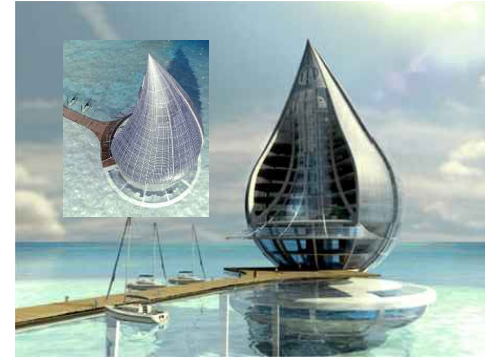
40 pav. Edeno projektas (The Eden Project), Anglija, 2001 m. (Wikipedia 2014) (archit. Nicholas Grimshaw)



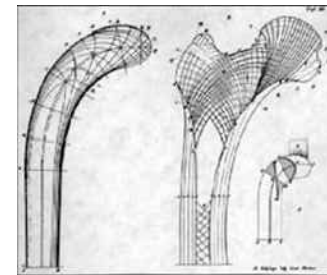
42 pav. Besisukantis torsas (*Turning Torso Tower*), Švedija, 2005 m. (Wikipedia 2014) (archit. Santiago Calatrava)



44 pav. Pekino nacionalinis stadionas „Paukščio lizdas“, Kinija, 2008 m. (Wikipedia 2014)



46 pav. Vandens pastato poilsiui koncepcija (The water building resort), 2006 m., (Archit. Orlando de Uruttia)



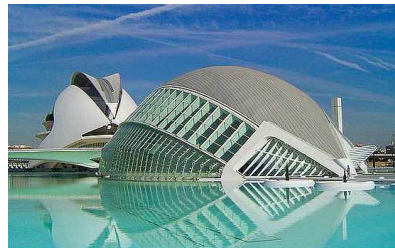
31 pav. Eifelio bokšto eskizai (Interdisciplinarity...2013)



33 pav. Park Guell (Gaudi...2012)



35 pav. Giugenheimo muziejus (*angl. Guggenheim Museum*), Niujorkas, 1959 m. (archit. F. L. Wright'as)



38 pav. Planetariumas Valencijos mokslo centre, Ispanija, 1998 m. (Wikipedia 2014)



41 pav. „Swiss Re“ dangoraižis, Anglija, 2004 m. (Wikipedia 2014)



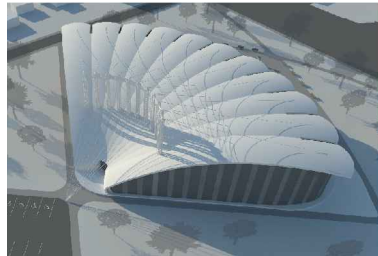
43 pav. Ascent pastatas (Ascent building), JAV, 2008 (Wikipedia 2014)



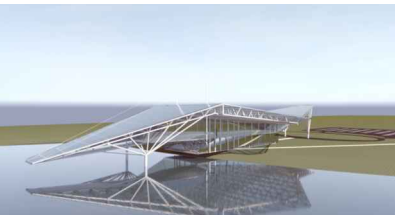
45 pav. Nacionalinis vandens centras, Vandens kubas (Water Cube), Kinija, 2008 m. (Wikipedia 2014)



47 pav. Urbanizuotas kaktuso pastato (Urban Cactus building) projektas, Teksase (Wikipedia 2014)



48 pav. Uždaro baseino pastatas, VGTU bakalauro baigiamojo projektas, Luko Grabliauskas, Almf-10



49 pav. Santuokų rūmų pastatas, VGTU bakalauro baigiamojo projektas, Renata Kubilienė, Almf-10

1900 m.

2000 m.

Iki vadinamosios bioninės architektūros kodifikavimo ir visiškai nepriklausomai nuo jos, organiškiosios architektūros statiniai atsirado modernio rėmuose.

Gamtos inspiruotų formų architektūros populiarumo lūžiu tapo mokslo bei technikos revoliucija: intensyvi biologijos ir statybinių technologijų plėtra.

1960 m. JAV oficialiai įteisintas mokslas bionika.

Gerėjančių technologijų, skaičiuojamųjų programų prieinamumas inžinieriams ir architektams suteikia galimybes kurti modernius bioninius statinius

1.4. Skyriaus išvados

1. Išstudijavę gamtos inspiruotų formų panaudojimo raidos etapus matome, kad atsigręžimas į gamtą nėra atsitiktinis – jis tapo plačiu konceptualių šiuolaikinės architektūros judėjimu. Juk žmogus ir gyvosios gamtos pasaulis – dvi neatskiriamos vienio dalys.
2. Gamtos formų naudojimas nuo tiesioginio, mechanistinio formos perkėlimo į žmogaus formuojamą aplinką, be jokio susimąstymo apie konstrukciją bei formą ar estetiką, etapas po etapo perėjo prie gamtos formų naudojimo, kaip visa apimančios estetiškos-inžinerinės sistemos.
3. Remiantis tuo, kad gamtos formos architektūroje pritaikomos analogijos principu, visus tris gamtos inspiruotų formų raiškos statinių architektūroje raidos etapus galima būtų aprašyti taip:
 - I. **Tiesioginė analogija.** Pragmatiškas gamtos formų ir jų funkcijų perkėlimas į gyvenamosios erdvės formavimo sferą.
 - II. **Diferencijuota analogija.** Gamtos formų diferencijuotas panaudojimas elementariai konstrukcijai ir puošybai (įvedama estetikos dimensija).
 - III. **Transformuota analogija (bionika, biomimetika ir pan.).** Gamtos formų ir jų sąrangų transformacija, naudojant mokslo ir technikos pasiekimus ir jų panaudojimas sudėtingų statinių architektūros formų ir konstrukcijų modeliavimui. Atsiranda bionikos mokslas, kuris suponuoja visa apimančios estetiškos-inžinerinės formos atsiradimą gamtinės formos struktūros pagrindu.

2. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ SPRENDINIAI ARCHITEKTŪROJE

1-ajame skyriuje išnagrinėti raidos etapai rodo, kad gamtos inspiruotų statinių architektūroje sprendinius visada lemia nauji mokslo technologijų laimėjimai bei architektūrinis ir konstrukcinis kūrybiškumas.

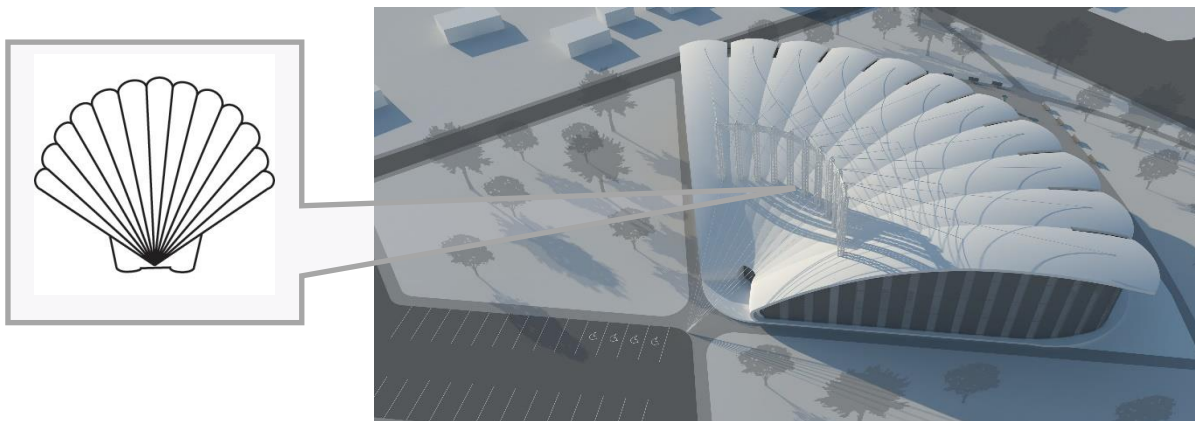
Gamtos inspiruotų formų architektūra pasižymi savo autentiškumu ir unikalumu, ji yra puikiai įsiliejanti į aplinką. Gėrėjančių technologijų, skaičiuojamųjų programų prieinamumas inžinieriams ir dizaineriams suteikia geresnės analizės ir optimizavimo derinio kompleksą konstrukcinėms ir architektūrinėms sistemoms modeliuoti (Benyus 2002). Geriau suprantant projektavimo eigą ir procesą, ypač jo koncepcijoje bei tolimesnėse vystymo stadijose, sukuriamas potencialas projektuoti architektūrą ir konstrukciją vienu metu, kas šiuo metu yra labai aktualu.

Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų raiškos problemos sprendimą tikslinga įprasminti kriterijais bei aspektais, akcentuojant pagrindinius gamtos principus. Šiame skyriuje nagrinėjama gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų raiška bei jų sprendiniai statinių architektūroje, taip pat aptarti pagrindiniai kriterijai, kurie atsispindi daugelio gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų statiniuose. Susisteminti pagrindiniai inspiraciją apibūdinantys aspektai, kuriais remiantis atlikta pasirinktų statinių analizė.

2.1. Gamtos inspiruotų formų raiška architektūroje

Architektūroje šimtmečiais formavosi statinio paskirties įvaizdis, ji visais laikais atspindėjo epochos kultūrinės, socialinės, politinės, ekonominės ir techninės galimybes. Gerėjant technologijoms, gamtos inspiruotos formos atsispindėjo architektūros statiniuose visiškai kitokia kokybės prasme – atsirado galimybė sukurti išraiškingesnius ir geriau į aplinką įsiliejančius statinius. Gamtos inspiruotos formos idėjai impulsą gali suteikti gyvoji ir negyvoji gamta, jos ypatumai (Kurt 2005).

Gamtos inspiruotų formų idėjos įkūnijimas meniniu pavidalu gali būti pagrįstas prototipui būdingų formų, plastikos, paviršiaus savybių, struktūrinių ypatybių interpretacija. Gali būti atkartojami atskiros formos dalies struktūros, konstrukcijos dėsningumai arba panaudojamos medžiaginės savybės: kintančio skerspjūvio atramose, išsišakojusiuose rėmuose, dinaminėse denginių konstrukcijose ir pan. Gali būti interpretuojamas gamtos formų masyvų siluetas, tankumas ir kt. (Feuerstein 2002). Taip inspiruoti statiniai dažniausiai yra lengvai atpažįstami ir galima aiškiai nusakyti, kurią formą gamtoje statinys atitinka (žr. 50 ir 51 pav.)



50 pav. Uždaro baseino pastatas, VGTU bakalauro baigiamojo projektas, Lukas Grabliauskas, Aimf-10



51 pav. Lotoso šventykla, Indija, 1998 m. (Wikipedia 2014)

2.2. Gamtos inspiruotų konstrukcijų raiškos ypatumai architektūroje

Konstrukcijos pastatui suteikia tūrį ir formą, todėl galima teigti, kad tik esant architektūrinių formų ir konstrukcijų darnai, gali būti sukurti estetiški, funkcionalūs ir tvirti pastatai. Tobulėjant technologijoms, stiprių ir ilgaamžių medžiagų gamybai, kuriamos naujos konstrukcijos, kurios pritaikomos šiuolaikinės architektūros sudėtingų statinių statybai.

Šiuolaikinių lengvųjų konstrukcijų tyrimus daug metų vykdė 1963 m. Frei Otto įkurtas Lengvųjų konstrukcijų institutas Štutgarde, Vokietijoje. Jo veikla skirta bendrų gamtinių dėsnių pritaikymui šiuolaikinėse konstrukcijose. F. Otto teigia: „Gyvūnai, augalai ir mikroorganizmai – gyvos konstrukcijos. Ilgo evoliucijos proceso dėka jie gali išlaikyti didelį spaudimą, nors palyginti yra nedidelės masės. Konstrukcijų efektyvumo vystymas – „lengvųjų konstrukcijų principas“. <...> Techniškosios lengvosios konstrukcijos tobulinamos ir lyginamos su giminingais gamtos objektais“ (Lightweight...1983: 4 p.).

Kaip jau ir buvo minėta 1-ajame skyriuje, naujų tendencijų pradžia siejama su XIX a. inžinerinių konstrukcijų išstebuliniu, kai pradėti taikyti gamtos inspiruotų formų principai

konstrukcijose. Statinių architektūroje šios tendencijos daugiau pradėjo reikštis nuo XX a. pradžios, atsiradus didžiatarpsnėms konstrukcijoms: kevalinėms, erdvinėms-strypinėms, klostinėms, tentinėms, iš anksto įtemptoms, pneumatinėms ir kt. Kaip šiuolaikinių konstrukcijų esminis principas nurodoma pusiausvyra. Galima teigti, kad iki tol taikytų konstrukcijų principas buvo statiškas. Atsirado siekis konstrukcijose racionaliai panaudoti medžiagas logika pagrįstais formos išraiškos būdais. Šiuolaikinių architektūrinių formų išraišką smarkiai veikia laikančiųjų ir atitvarinių konstrukcijų diferencijacija. Pasikeitė pastato architektūrinių elementų vaidmuo. Tradiciškai viso pastato konstrukcijų svorį laikančios išorinės sienos, keičiamos į vertikalių armatūrų ir sijų derinį – karkasą ir pastato turi ribojančias lengvas atitvaras. Vientisas jas gaubiantis denginys gali atstoti stogą ir sienas; langai suvokiami ne kaip įstiklinta anga, o kaip vidinę erdvę ribojanti skaidri atitvara ir pan. (Markejevaitė 1998).

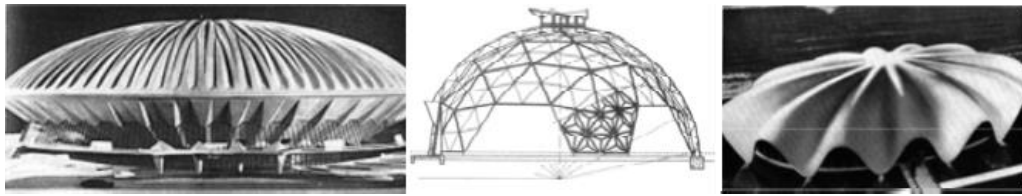
Žemiau išnagrinėti ir aprašyti keli iš dažniausiai naudojamų gamtos inspiruotų konstrukcijų analogų bioniniuose statiniuose.

1) Kevalinės konstrukcijos

Gamtoje viena iš dažnai aptinkamų konstrukcijų formų – kupolo forma (kiaušinio ar riešuto kevalas, gyvūnai su kiautais, įvairūs lapai ir jų vainiklapiai). Kaip pavyzdys gali būti pateikta unikali ir ideali savo patvarumu konstrukcija - tai kiaušinio lukštas. Jo struktūra yra ypatinga ne dėl geometrinės formos. Kiaušinio lukšto storis yra tik 0,3 mm ir jis turi net 7 sluoksnius, kur kiekvienas atlieka tam tikrą funkciją ir elastingą dangalą, kuris dengia kiaušinį iš vidaus. Šios jo savybės transformuoja lukštą į konstrukciją su tampria danga (Berkebile 2004).

Pagrindinė kevalinių konstrukcijų savybė yra ta, kad denginys atlieka „stogo“ ir sienų funkciją. „Šiuolaikiniai kupolai-kevalai panašūs į senuosius kupolus, nes ir senuosiuose, ir naujuosiuose apkrovos pasiskirsto trimis kryptimis. Pagrindinis skirtumas tarp senųjų ir šiuolaikinių kupolų – jų svoris (pvz., Šv. Petro bazilikos Romoje kupolo, dengiančio 1500 m², svoris yra 10000 tonų, o medžiagų sąnaudos – 6700 kg/m²), o šiuolaikinių kupolinių konstrukcijų, dengiančių didesnius plotus, medžiagų sąnaudos keliasdešimt kartų mažesnės“ (Kibert *et al.* 2002).

Šio tipo struktūros tikriausiai yra vienos iš labiausiai paplitusių pasaulyje - naudojamos pastatų didelėms erdvėms su didžiuliais tarpatramiais tarp laikančiųjų konstrukcijų (parodų salėms, kino teatrams, sporto arenos ir pan.) ir jos reikalauja mažai medžiagų. Kevalinės konstrukcijos yra lengvos ir leidžia turėti sienų storį vos tik keleto milimetrų (žr. 52 pav.).



52 pav. Kevalinių konstrukcijų pavyzdžiai (Bionic...2013)

2) Tentinės konstrukcijos

Tentinės konstrukcijos yra voratinklio prototipas. Jos yra pačios lengviausios kabančiosios konstrukcijos. Jų konstrukcijų schemą sudaro liaunas kevalas (tentas), standžios atramos ar išorinis kontūras tento tvirtinimui. Tentai gaminami iš stiprių sintetinių audinių su plastmasės arba sintetinio kaučiuko apsauginiu sluoksniu. Daugiausia naudojami poliamidiniai arba polietileniniai audiniai, rečiau – stiklo arba anglies pluošto audiniai, padengti apsauginėmis plėvelėmis, ilgaamžiškumas priklauso nuo jų sluoksnio pralaidumo šviesai. Kuo skaidresnė danga, tuo trumpesnis jos eksploatacijos periodas (Ražaitis 2004).

Tentinės konstrukcijos dar kitaip yra vadinamos gamtos stebuklu. Jos yra žymiai atsparesnės negu plieniniai konstrukciniai vamzdžiai. Gamtoje tokio pačio konstrukcinio modelio struktūros matomos ne tik voratinklyje, bet ir paukščių, šikšnosparnių sparnuose, žuvų pelekuose ir pan., – ten, kur konstrukcija yra išdėstyta nerviūromis ir sujungta viena su kita membraniniu paviršiumi (žr. 53 pav.) (Lucian 1982).

Šio tipo konstrukcijos naudojamos didelėms erdvėms kaip parodų salės, stadionai, tačiau gali būti naudojamos ir mažesnėms erdvėms, pvz., lauko kavinėms ir pan. (žr. 54 pav.).



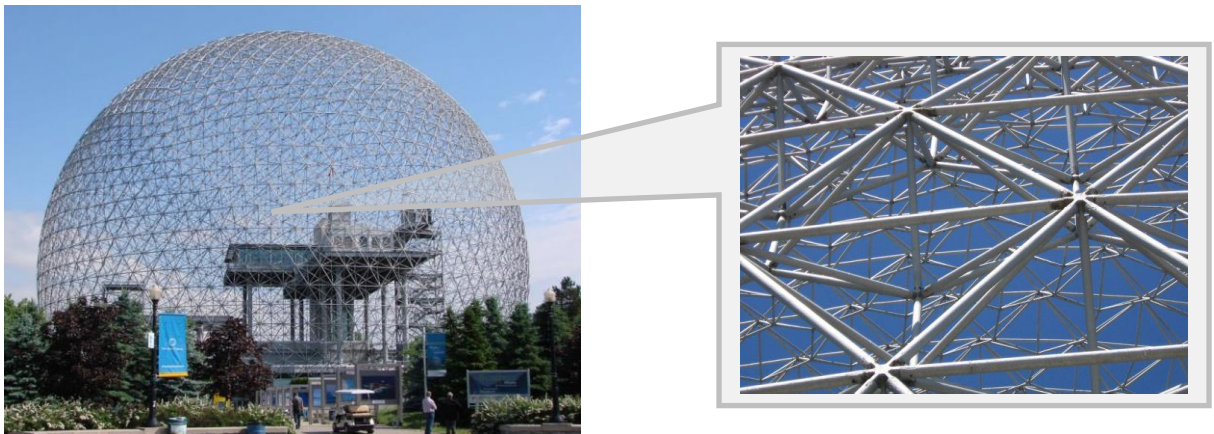
53 pav. Aiškiai matoma šikšnosparnio sparnų struktūra (Fotopedia 2010)



54 pav. Tentinių konstrukcijų pavyzdžiai (Bionic...2013)

3) Struktūros iš geometrinių figūrų

Šešiakampiai ir trikampiai yra pamatinės figūros sutinkamos gyvųjų organizmų ląstelėse ar sferiniuose paviršiuose. Tai yra kompleksas natūralių organizmų ar figūrų, kurie susijungdami ašimis kuria vientisą struktūrą (formą). Tokios formos paviršius yra labai elastingas. Šios figūros matomos žirafos odoje ar vėžlio nugaroje, taip pat bičių koryje – bitės iš vaško suformuoja heksagonines akeles, kurios susijungdamos viena su kita sudaro korį. Šis fenomenas visuomet buvo inspiracijos šaltinis matematikams, filosofams ir natūralistams (Portoghesi 2000). Viena tokių struktūrų pateikta 55 paveiksle.

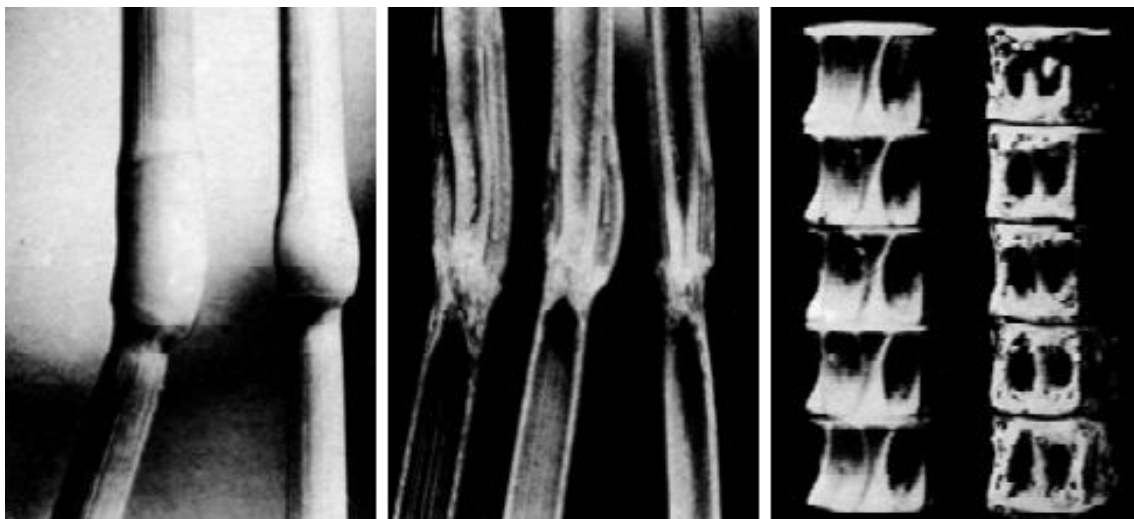


55 pav. The Motreal Biosphere gamtos muziejus, Monrealis, Kvebeko provincija, Kanada, 1967 m.

(Wikipedia 2012)

4) Kolonų tipo konstrukcinės sistemos

Tai medžių, stiebų, šakų ar kaulų analogai (žr. 56 pav.). Gamtoje labai daug aukštų ir plonus stiebus turinčių augalų, kurie, nepaisant įvairių gamtos sąlygų, puikiai išlaiko stabilumą. Pavyzdžiui, kviečio varpos santykis su stiebu yra 1:500, o cukranendrės aukštis yra apie 3 m ir jos stiebo diametras yra vos 15 mm. Toks augalų patvarumas gali būti paaiškinamas dėl jų įgimtų savybių: stiebe esantys kietų ir minkštų medžiagų deriniai bei jų tekstūra, gera reakcija į išorinius poveikius ir pan. Vėjas gali perlenkti tik silpnesnius augalus, bet ne tvirtus medžius. Remiantis tokiais gamtos pavyzdžiais buvo projektuojami ir šiuolaikiniai dangoraižiai (Foster 1983).



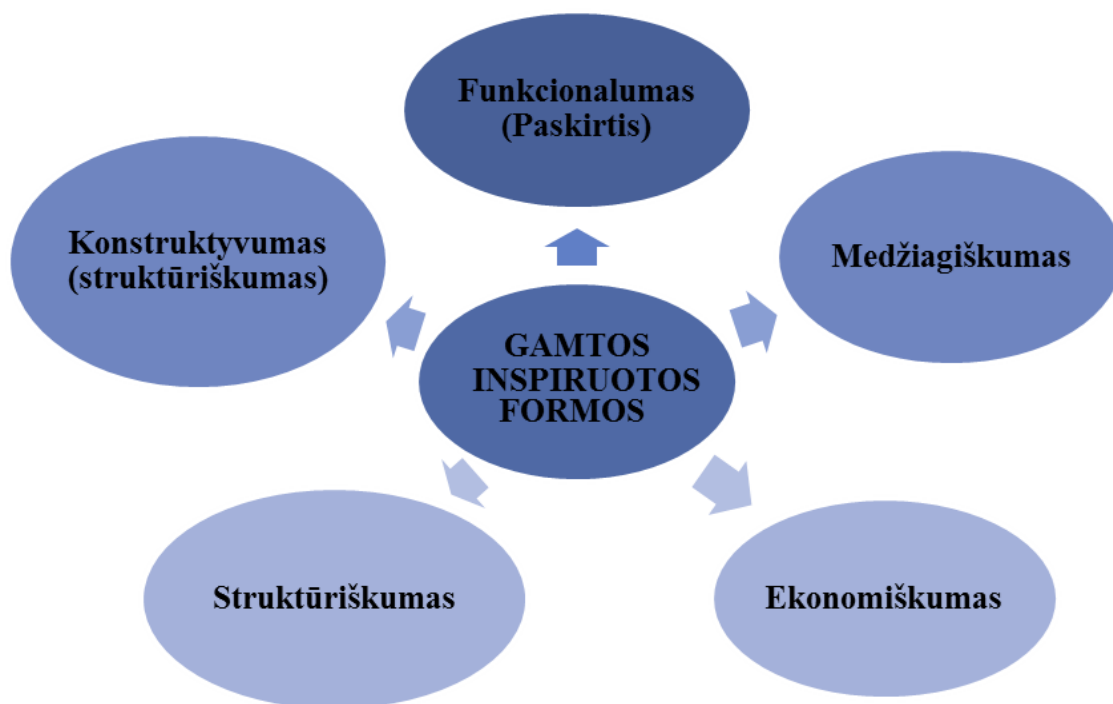
56 pav. Kolonų tipo konstrukcijos gamtoje (Bionic...2013)

Kiekviena konstrukcinė sistema priklausomai nuo medžiagos ir turi tik jai būdingą plastinę išraišką: formos minkštumą arba kampuotumą, masyvumą arba ažūriškumą. Realizuojant bet kokią gamtos inspiruotą konstrukciją turi būti siekiama suteikti jai tam tikrą plastiką ir struktūros tektoninę išraišką.

2.3. Pagrindiniai kriterijai, atsispindintys gamtos inspiruotuose statiniuose

Kad nustatyti kaip gamtos inspiruotos formos ir konstrukcijos veikia statinių architektūrą, iškyla klausimas kokius pagrindinius gamtos inspiruotų formų kriterijus naudoti. Pavyzdžiui, jei paimtume kokią nors gamtos formą ir atskirtume jos funkciją nuo struktūros, harmonija ir vientisumas, būtų tiesiog neįmanomas. Gamtoje nėra formos be funkcionalumo kaip ir funkcionalumo be formos. Šių laikų materialiam pasaulyje harmonija tarp funkcionalumo ir formos projektuotojams yra viena iš svarbiausių užduočių (Lodato, 2001). Šiame poskyryje buvo susisteminti ir aptarti penki pagrindiniai ir svarbiausi kriterijai, atsispindintys gamtos inspiruotuose statiniuose.

Šiame poskyryje bus tiriamos esminės gamtos formų savybės – konstruktyvumas, struktūriškumas, medžiagiškumas, funkcionalumas ir ekonomiškumas (žr. 57 pav.) – jas sąlygojantys veiksniai bei šių elementų įtaka architektūrinei raiškai (Talaba, Roche 2004). Aptariami dalykai atskleidžiami analizuojant ir iliustruojant konkrečiais gamtos pavyzdžiais.



57 pav. Gamtos inspiruotų formų pagrindiniai kriterijai statiniuose

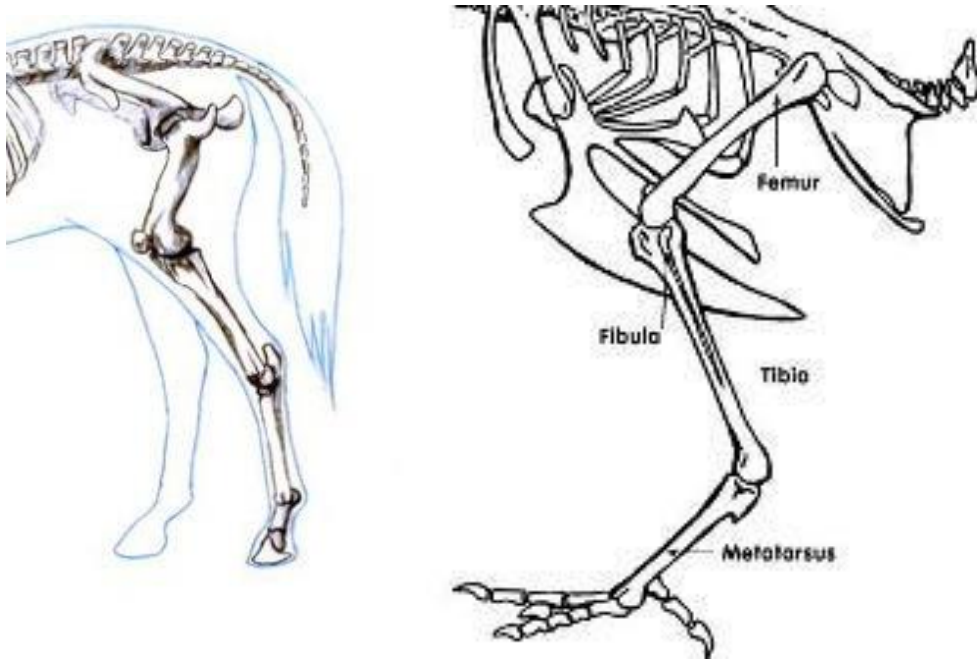
1) Funkcionalumas (paskirtis)

Milijonus metų trunkanti evoliucija išstobulino gyvuosius organizmus, jų funkcionavimo ir kitimo procesus. Gamtos formos egzistuoja ne statiskai, o dinamiškai. Kiekviena gamtos forma atlieka savo paskirtį (funkciją). Todėl gamtoje forma visų pirma yra funkcionali, jos struktūra yra tvirtai pagrįsta ir neatsitiktinė (Feuerstein 2002).

Pavyzdžiui kiekvieno augalo sėklinė sukonstruota taip, kad apsauginis lukštas ją saugotų nuo išorės poveikio. Medžių šakos prie išsišakojimų sustorėja, o lapo gyslelėmis cirkuliuoja jį maitinantys syvai, kurie kartu jas ir ištiesina, taip sutvirtindamos lapo plokštumą (Lodato 2001).

Kiti pavyzdžiai – gyvūnų kaulinės struktūros, organai iš tvirtos, spaudimui, lenkimui ir smūgiams atsparios medžiagos. Stuburas, griaučiai – tai svarbi, tvirtą konstruktyvą pagrindą sudaranti paslanki sistema. Tokią sudėtingą paskirtį turi funkcinės kaulų formos, jų sąveika ir pati kauliena, kuri netgi nėra vienalytė. Svarbiausia kaulų savybė – tvirtumas. Jis priklauso nuo medžiagos struktūros ir formos, o formą pirmiausia lemia jos paskirtis – funkcija. Todėl sunkiasvorio gyvūno šlaunikaulis labai skiriasi nuo paukščio ar voragyvio šlaunikaulio (Benyus 2003) (žr. 58 pav.).

Struktūrinė kaulų sistema, funkcinė jos įvairovė taip pat priklauso nuo organizmo sandaros, gyvenimo būdo, terpės. Kiekvienas sistemos elementas atlieka tik savo paskirtį, todėl ir jų forma skirtinga, net unikali. Kaulai tarpusavyje įvairiai sąveikauja. Ši sąveika nuolat kinta, nuo jos priklauso judesiai, kurie yra įvairių funkcijų atspindys (Feuerstein 2002).



58 pav. Arklio šlaunikaulis (dešinėje) ir paukščio šlaunikaulis (kairėje) (Wikipedia 2010)

2) *Konstruktivumas*

Konstruktivumas gamtos formoms taip pat yra būtinybė. Konstrukcija – ko nors sudedamoji dalis, tarpusavio ryšys, jungimas (Ražaitis 2008).

Statinio konstrukcinė sąranga lemia formos stiprumą, stabilumą ir standumą. Šios trys savybės apibrėžia konstrukcijos ypatumus. Stiprumas apibūdina konstrukcijos gebėjimą pasipriešinti ją veikiančioms apkrovoms, stabilumas nusako jos gebėjimą tamptariai deformuotis neviršijant leistinų ribų. Nuo seniausių laikų žmogaus sukurti konstrukciniai dariniai pasižymi stiprumo, stabilumo ir standumo savybėmis. Ilgus amžius buvo kuriami racionalūs ir ekonomiškai konstravimo principai. Susiformavusiose konstrukcinėse sistemose priklausomai nuo pasirinktos konstrukcijos, medžiagos ir statybos technologijos išryškėja skirtingas stiprumo, stabilumo ir standumo įveiksinimas: akmeniniai apeigų ir laidojimo statiniai, sieninių konstrukcijų plūkto molio ir rištų nendrių būstai, tentinės, audiniu dengtos palapinės, akmeninės stulpinės-sijinės ir skliautinių konstrukcijų šventyklos, akmeniniai arkiniai ir kabamieji metaliniai tiltai, medinio karkaso ir mūriniai sieninių konstrukcijų pastatai (Markejevaitė 2002).

Gamta labai gerai atlieka pati konstrukcinius sprendinius, apskaičiuoja laikančiųjų ir laikomųjų dalių santykius. Akivaizdus gyvosios gamtos analoginiu pavyzdžiu gali būti šiuolaikinių aukštų pastatų ir augalo stiebo struktūrų konstrukcijos. Varpinių augalų stiebai gali išlaikyti didelius svorius ir nelūžti. Jeigu juos lenkia vėjas prie žemės, jie greitai atsistato vertikaloje padėtyje. Stiebo sandaros konstrukcija yra panaši į šiuolaikinių aukštų vamzdžių

konstrukciją, kuri yra viena iš reikšmingiausių paskutinių inžinerinių išradimų. Pavyzdžiui, tuščiaavidurio šiaudo svoris nedidelis. Jeigu jį lankstysime įvairiomis kryptimis, pastebėsime, kad jo vamzdžio forma atspari lenkimui visomis kryptimis. Šiaudo sienelės yra sudarytos iš pluoštų, kurių struktūros atsparios tempimui. Vamzdžių sienelės turi analogišką konstrukcinį sprendimą (žr. 59 pav.). Šiuolaikinę vamzdžio konstrukciją inžinieriai surado patys. Tik po kurio laiko buvo pastebėtas identiškumas (Vincent 2006).

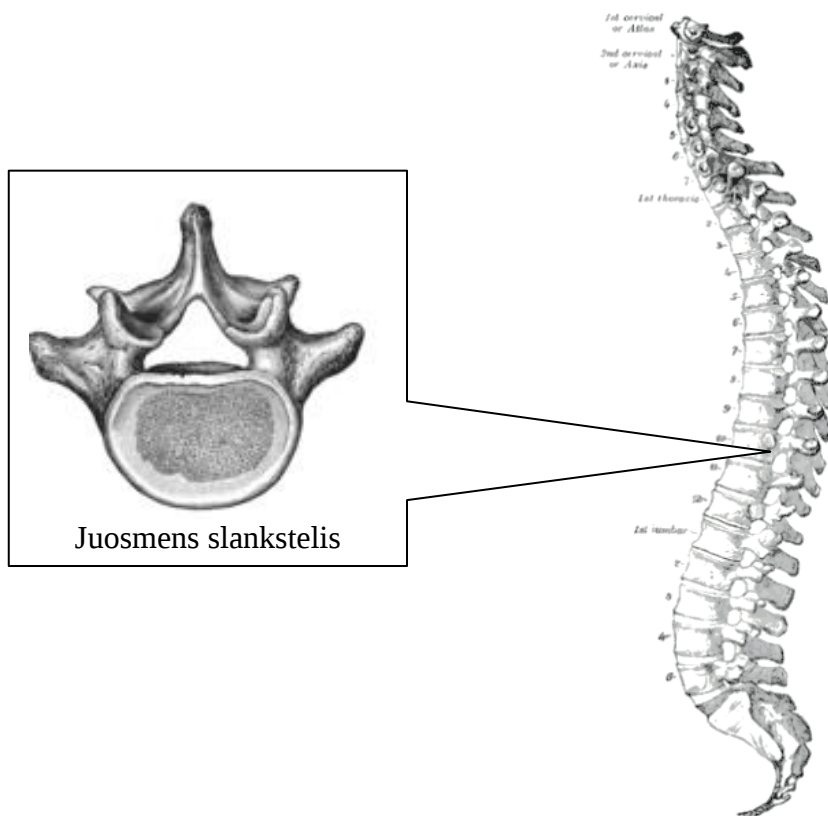
Gamtoje matomas konstruktyvumo — tvirtumo santykis tarp objekto skersmens storiausioje vietoje ir jo aukščio 1:100 (palmė) arba net 1:400 (kvietys). Statyboje tai neįmanoma (dabar 1:50). Šioje srityje laukiama naujų atradimų (Lodato 2001).

Konstruktyvumas ryškiausiai atsiskleidžia kaulų formose, jų struktūrose. Stuburas - žmogaus ir kitų stuburinių gyvūnų atraminė ašis, sudaryta iš 33 (kartais 34) slankstelių (žr. 60 pav.). Stuburas apsaugo nugaros smegenis ir palaiko galvą. Su juo jungiasi krūtinės ląsta ir dubens kaulai. Gyvūnai turi rutulio formos kaukolę. Dabar jau yra žinoma, kad iškilios formos atsparesnės spaudimui, negu plokščios. Labiausiai „sutvarkytas“, struktūriškai organizuotas geometrinis kūnas yra sfera - jos apimtis turi mažiausią paviršiaus plotą, lyginant su kitais tokios pat apimties kūnais (Česnys *et al.* 2008).

Gamtoje egzistuoja gausybė kitų įvairių formų, briaunų, sudėtingų paviršių. Visos jos tikslingos, pasižyminčios konstruktyvumu.



59 pav. Cinkuoti apvalūs vamzdžiai (kairėje) ir bambuko stiebai (dešinėje) (Cinkuoti..2012)



60 pav. Žmogaus stuburo sandara (Wikipedia 2012)

3) Struktūriškumas

Akivaizdžiausius formos sandaros tipus mums teikia gamta. Visi jos kūriniai yra vienokios ar kitokios struktūros, kuri galbūt ne visada pastebima. Medžio „konstrukcija“ su jo kamieniu ir šakomis yra atvira ir aiški, o žmogaus skeletą galima tik įsivaizduoti. Struktūra atlieka svarbų vaidmenį, kuriant architektūrinę išraišką: ji įkūnija architektūrinę formą. Konstrukcijos veikimas dėsningas, o modeliavimo ir pritaikymo galimybės lemia tam tikri veiksniai. Architektas sugalvotai formai suteikia materialią išraišką ir struktūrą (Lodato 2001).

Struktūriškumas – viena esminių gamtos formų ypatybių. Struktūra – objekto sistemos elementų sandara. Struktūros ypatybės lemia objekto formą, kurios sudarymas, kitaip dar vadinamas tektonika (Markejevaitė 2002).

Tektonika (arba architektonika) - tai erdvinio meno (architektūros ir dailės) kūrinio struktūros, konstrukcinės ir meninės sandaros darna. Ji grindžiama ne tik jausmais, bet ir logika, ne tik menu, bet ir mokslu. Gamtos inspiruotų formų architektūrinė tektonika pasižymi vientisa elementų sistema ir bendru moduliu. Medžiagos ir jų konstrukcijos daro didelę įtaką architektūrinės formos tektonikai (Adomonis 1994). Joje konstrukcija yra naudojama meniniam tikslui pasiekti: svarbiausi konstrukciniai elementai (sienos, angos, stulpai, kolonos, perdangos) sudaro materialų pastato pavidalą, kuris priklausomai nuo pastato paskirties, vietos ir

kompozicinio sumanymo turi vienokį ar kitokį tektonikos pobūdį. Derinant praktinę ir meninę architektūros kompoziciją, konstrukciniai elementai įgyja atitinkamą reikšmę: būna laikantieji, remiantieji, kabantieji, o pagal įspūdį – sunkūs, lengvi arba statiški, dinamiški ar plastiški (Burneika 2002). Aiškiai matoma plastiška struktūra Miunchene esančiame Olimpino stadiono stogo konstrukcijoje (žr. 61 pav.).

Tektonika atspindi konstrukcijų ir medžiagų darbo dėsingumus, vaizdžiai atskleidžia konstrukcijų ir architektūrinių-meninių formų vienybę. Architektas, pasitelkdamas meninių formų išraiškingumą, gali išryškinti konstrukcijų darbą. (Markejevaitė 2002).

Vertindami šiuolaikinių tektoninių sistemų panaudojimą architektūroje, kai kurie tyrinėtojai atkreipia dėmesį į tai, kad reikėtų atsižvelgti ne tiek į medžiagą ir naująją jos savybę – „lengvumą“, kiek į struktūrines savybes (Markejevaitė 1998). Architektūrinių formų kūrimui didelės įtakos turi naujųjų konstrukcinių sistemų struktūrinės savybės: atskirų konstrukcijos dalių jungimo ir jų tarpusavio derinimo ypatumai, tūrinės formos modeliavimo ir erdvių organizavimo galimybės.



61 pav. Olimpinis stadionas Miunchene, Vokietija, 1972 m. (Miunchen...2011)

4) Medžiagiškumas

Vokiečių architektas, propagavęs modernizmo architektūrą, Walteris Curtas Behrendtas savo publikacijoje „The Victory of the New Style“ (1928 m.) išskyrė kelis svarbius „naujosios architektūros“ kūrimo aspektus, kurie turėjo reikšmingos įtakos tuometiniams projektavimo principams ir vienas jų buvo naujų medžiagų (metalo, betono, stiklo) atsiradimas, kuris turėjo įtakos tiek konstrukcijų sprendiniams, tiek ir medžiagiškumui architektūroje (Behrendt 1928)

Medžiagiškumas labai svarbus gamtos formų inspiruotoje architektūroje. Gamta yra užpildyta su geriausiais medžiagų pavyzdžiais, kurie turi puikias savybes: yra ypatingai tvirti, itin lengvi ar labai stiprūs (Benyus 2004).

Tekstūra yra susijusi su medžiagos sandaros ypatybėmis, kurios lemia tiek vidines, tiek paviršines medžiagos charakteristikas. Dėl mažų šešėlių susidarymo ant objekto paviršiaus padeda suvokti formą, taip pat vizualiai sušvelninti, sumažinti stambų mastelį, suteikti įdomumo plokštumai (The Government...2003). Tekstūra – tai medienos rievėtumas, akmens grūdėtumas ir gyslotumas, stiklo struktūros vientisumas ar sueižėjimas ar pan. (žr. 62 pav.).



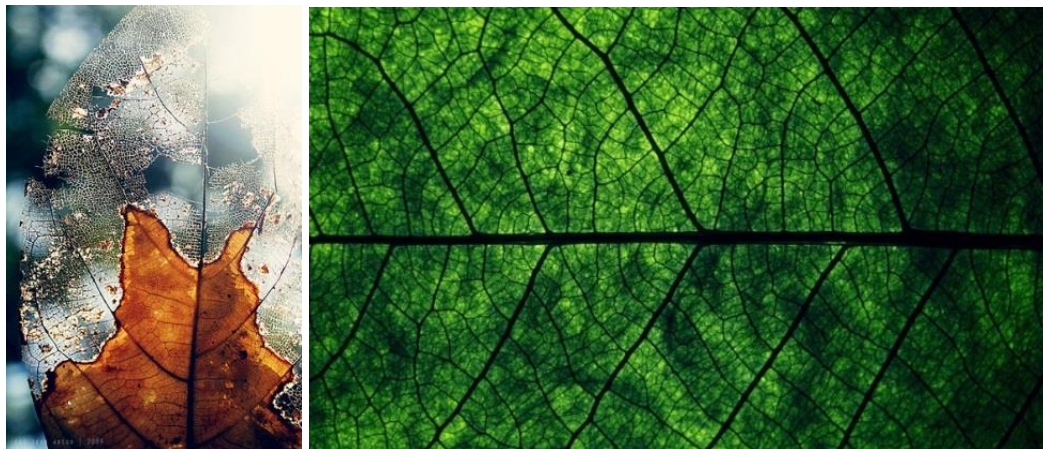
62 pav. Povo plunksnų tekstūra (kairėje) ir medžio kamieno tekstūra (dešinėje) (Fotopedia 2010)

Kitas medžiagiškumo aspektas tai spalva. Daug spalvų, kurios yra randamos gamtoje yra iš fizinių baltymų struktūros, o ne pigmento. Šie baltymai, kitaip nei pigmentai, nėra tokie toksiški. Jei pasižiūrėtume į drugelio sparną per mikroskopą, mes pamatytume, kad iš tiesų tai yra neįtikėtina struktūra, kuri leidžia atspindėti šviesą ir todėl drugelio sparnas yra neįtikėtinai struktūros ir spalvų, be toksinų ar chemikalų (žr. 63 pav.). Kitas pavyzdys – lapo struktūra (žr. 64 pav.). Joje aiškiai matoma tekstūra, raštas bei spalva. Taip pat reikia paminėti, kad prie natūralaus, gamtai būdingo kolorito ir raštų žmogaus akys yra pripratusios, todėl išorė žmogaus nevargina ir neerzina. Toks statinys lengvai susilieja su gamta, todėl tai suteikia estetinę kokybę ir harmoniją (Berkebile, McLennan 2004).



63 pav. Drugelis (Fotopedia 2010)

Architektūrinė forma ir meninis jos pavidalas yra visada materializuoti medžiagoje, turi tam tikrą konstrukcinę sandarą, todėl visi jos elementai įprasmina statinio paskirtį, nusako jos ryšį su aplinka.



64 pav. Lapo struktūra – aiškiai matoma tekstūra su raštu ir spalva, puiki inspiracija projektavimui
(Fotopedia 2010)

5) Ekonomiškumas

Ekonomiškumas – tai viena ryškiausių, esminių ir būtinų gyvosios gamtos savybių. Gyvoji gamta labai taupiai ir racionaliai naudoja medžiagas. Vienu atveju minimaliu medžiagų kiekiu užpildo erdves, tūrius, kitu – išlaiko įvairius apkrovimus, tempimą. Pavyzdžiui, voratinkliu voras apjuosia didelę erdvę: voratinklis yra plonas, bet tvirtas, jo plonos sausgyslės išlaiko didžiulį tempimą (Feuerstein 2002) (žr. 65 pav.).

Dar vienas pavyzdys - tai bičių korys. Tūkstančius metų mąstytojai stebėjosi tobula bičių korio sandara. Kiekviena korio aklė yra tobulo šešiakampio formos, o jos šešios plonytės vaškinės sienelės ne vien suteikia tvirtumo korio struktūrai, bet ir yra išmaniausias būdas medui laikyti (žr. 65 pav.). „Dėl kažkokios geometrinės nuovokos ... (bitės) žino, kad šešiakampės aklės yra geriau negu stačiakampės arba trikampės, ir kad jose telpa daugiau medaus, sunaudojant tiek pat statybinės medžiagos“, - rašė IV mūsų eros šimtmečio graikų geometras Papas (Pappus) (Bitės...2013). Regeneraciją taip pat galima laikyti taupumu. Pavyzdžiui, mūsų kūnai yra sudaryti iš ląstelių, kurių gyvenimo trukmė gerokai trumpesnė už žmogaus gyvenimą. Nugyvenusios savo laiką ląstelės dalijasi palikdamos savo kloną ir suyra.



65 pav. Voratinklio tinklas (kairėje) ir bičių korys (dešinėje) (Fotopedia 2010)

Peržvelgę visus šiuos kriterijus, matome, kad gamtoje tokie elementai forma, funkcija, struktūra, konstrukcija, medžiaga bei ekonomika yra stipriai susiję ir yra neatskiriami vienas nuo kito.

2.4. Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų analogų raiškos architektūroje aspektai

Gamtos inspiraciją architektūrinei raiškai galima suskirstyti į keturis aspektus (Gruber 2011):

- 1) Per formą;
- 2) Per jos principus t.y. per konstrukciją;
- 3) Per formą kartu su jos veikimo mechanizmais ir principais;
- 4) Per formą, kartu su jos veikimo mechanizmais ir principais, paremtais gyvųjų organizmų elgesiu.

Imituoiant gamtos formas, inspiracija yra paviršutiniška, negili, vizualinė.

Imituoiant gamtą per jos principus, įkvėpimas atsiranda tada, kai konstruktorius pasinaudoja gamtoje randamais reiškiniais, pavyzdžiui, biologiniu homeostazės reiškiniu. Jis teigia, kad kiekvienas gyvas organizmas paveiktas tam tikros išorinės jėgos (pvz., cheminio reagento) reaguoja taip, kad iš karto apsaugotų savo gyvybiškai pačias svarbiausias funkcijas. Projektuotojai gali panaudoti šį principą, pavyzdžiui, kai reikia nustatyti optimalią stogo formą, kuomet stogas yra veikiamas šilumos ir mechaninės apkrovos. Šis principas reikalauja gilaus tiek gamtos, tiek konstrukcijų supratimo (Gruber 2011).

Ketvirtu aspektu apibūdinta inspiracija yra abstrakti ir sunkiai panaudojama. Iš tikrųjų tiek antru, tiek trečiu aspektu inspiracija taip pat reikalauja patyrusio projektuotojo įsikišimo. Tačiau ketvirta inspiracijos rūšis, kai imituojama forma kartu su veikimo mechanizmais ir principais, paremtais gyvųjų organizmų elgesiu, yra perspektyviausia. Tai yra labiausiai intriguojanti, nors dar mažai suprata ir sudėtinga, tačiau turinti didžiausią potencialą padaryti

revoliuciją statinių projektavime (Berkebile, McLennan). Šiuo atveju inspiracija atsiranda skaičiuojamųjų mechanizmų lygyje, kurie atsiranda iš gamtos mechanizmų. Šie mechanizmai nebus aptariami šiame magistro darbe.

Architektūros statinių, kurie inspiruoti per gamtos formą ar (ir) konstrukciją, transformaciją, nuo išeities taško – gamtos analogo (formos ar (ir) konstrukcijos) iki galutinio vaizdo, t.y. statinio vizualinio vaizdo (architektūros). Šią transformaciją galima suskirstyti į tokią seką (žr. 66 pav.):



66 pav. Gamtos inspiruotų statinių analizės schema

Statiniai iš 1-ojo skyriaus III-iojo raidos etapo, bus suskirstyti pagal šiuos aspektus, o pasirinkti statiniai išanalizuoti pagal schemą (žr. 66 pav.)

2.5. Gamtos inspiruotų statinių analizė pagal pagrindinius kriterijus

Pagal šio skyriaus 2.3 poskyryje nustatytus kriterijus buvo sudaryta lentelė (žr. 1 lentelę). Šioje lentelėje suvesti penki pagrindiniai ir svarbiausi kriterijai: ekonomiškumas, funkcionalumas, medžiagiškumas, struktūriškumas ir konstruktyvumas. Jie buvo vertinami nuo 1 iki 5 balų sistemoje. Šie balai rodo, kiek gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų analogai atitinka gamtos formas ir konstrukcijas:

1 balas – prastas

2 balai – patenkinamas

3 balai – geras

4 balai – labai geras

5 balai – puikus

Buvo vertinami 1-ojo skyriaus III-ajame raidos etape iliustruoti statiniai. Pasirinkti visi pastatai, išskyrus Park Guell (žr. 32, 33 pav.) ir „Namas virš krioklio“ (žr. 34 pav.), kadangi šie statiniai labiau atitinka organiškiosios architektūros statinius.

1 lentelė. Gamtos inspiruotų statinių vertinimas pagal 5 pagrindinius kriterijus

Nr.	Pastatas	Ekonomiškumas	Funkcionalumas	Medžiagiškumas	Konstruktivumas	Struktūriškumas	Suma
1	Eifelio bokštas (žr. 30 pav.)	5	5	5	5	5	25
2	Giugenheimo muziejus (žr. 35 pav.)	2	3	3	4	4	16
3	Olimpinis stadionas Miunchene (žr. 36 pav.)	5	5	5	5	5	25
4	Tarptautinis Denverio oro uostas (žr. 37 pav.)	4	5	5	4	4	22
5	Planetariumas Valencijos mokslo centre (žr. 38 pav.)	4	4	4	4	5	21
6	Lotoso šventykla (žr. 39 pav.)	3	4	4	3	2	16
7	Edeno projektas (žr. 40 pav.)	5	5	5	5	5	25
8	„Swiss Re“ dangoraižis (žr. 41 pav.)	4	4	3	5	4	20
9	Ascent pastatas (žr. 43 pav.)	4	4	4	3	2	17
10	Pekino nacionalinis stadionas „Paukščio lizdas“ (žr. 44 pav.)	5	5	5	5	5	25
11	Nacionalinis vandens centras, Vandens kubas (žr. 45 pav.)	5	5	5	5	5	25
12	Vandens pastato poilsiui koncepcija (žr. 46 pav.)	5	5	5	5	5	25
13	Urbanizuotas kaktuso pastatas (žr. 47 pav.)	4	5	3	4	4	20
14	Uždaro baseino pastatas, VGTU bakalauro baigiamasis projektas (žr. 48 pav.)	3	5	5	4	4	21
15	Santuokų rūmų pastatas, VGTU bakalauro baigiamasis projektas (žr. 49 pav.)	4	4	4	5	4	21
16	Besisukantis torsas (žr. 42 pav.)	4	5	5	5	5	24

Susumavę balus, matome, kad už ekonomiškumo kriterijų daugiausiai balų surinko statiniai lentelėje pažymėti numeriu 1, 3, 7, 10, 11 ir 12. Ekonomiškumas buvo vertinamas pagal tai, kokios technologijos buvo naudojamos ir kiek gamtoje atsispindintys principai pritaikyti statiniuose. Funkcionalumas buvo siejamas su erdvių panaudojimu bei zonavimu ir čia daugiausiai balų surinko statiniai pažymėti lentelėje 1, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16 numeriais. Medžiagiškumas buvo siejamas su konstrukcijose naudojamų medžiagų naujumu ir galimybėmis perteikti gamtos inspiruotas formas ir konstrukcijas, bei pačių medžiagų įsiliejimui į natūralią aplinką. Už medžiagiškumą daugiausiai balų buvo skirta 1, 3, 4, 7, 10, 11, 16 numeriais pažymėtiems pastatams. Konstruktyvumu buvo vertinami konstrukcinių sprendinių naujumas ir sudėtingumas bei jų pritaikymas statinyje. Už konstruktyvumą daugiausiai balų surinko statiniai lentelėje pažymėti 1, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 15, 16. Struktūriškumas buvo vertinamas pagal statinių tektoniškumą ir konstrukcijų vientisumą kartu su jos forma. Už šį kriterijų daugiausiai balų surinko statiniai, kurių numeriai 1, 3, 5, 7, 10, 11, 12 ir 16.

Statiniai surinkę maksimalų balų skaičių (25 balus), pažymėti 1, 3, 7, 10, 11 ir 12.

2.6. Gamtos inspiruotų formų ir (ar) konstrukcijų statiniai ir jų transformacija

Kad suprasti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaką statinių architektūrinei raiškai, statiniai, kurie buvo nagrinėti pagal 5 pagrindinius kriterijus, suvesti į lentelę pagal gamtos inspiracijos aspektus (žr. 2 lentelę), kurie buvo apibūdinti 2.4 poskyryje.

2 lentelė. Gamtos inspiruotų statinių suskirstymas pagal tris aspektus

Inspiracija per formą	Inspiracija per konstrukciją	Inspiracija per formą ir konstrukciją
Nr. 2 Giugenheimo muziejus (žr. 35 pav.)	Nr. 1 Eifelio bokštas (žr. 30 pav.)	Nr. 7 Edeno projektas (žr. 40 pav.)
Nr. 4 Tarptautinis Denverio oro uostas (žr. 37 pav.)	Nr. 3 Olimpinis stadionas Miunchene (žr. 36 pav.)	Nr. 10 Pekino nacionalinis stadionas „Paukščio lizdas“ (žr. 44 pav.)
Nr. 5 Planetariumas Valencijos mokslo centre (žr. 38 pav.)	Nr. 16 Besisukantis torsas (žr. 42 pav.)	Nr. 11 Nacionalinis vandens centras, Vandens kubas (žr. 45 pav.)
Nr. 6 Lotoso šventykla (žr. 39 pav.)		
Nr. 8 „Swiss Re“ dangoraižis (žr. 41 pav.)		
Nr. 9 Ascent pastatas (žr. 43 pav.)		

2 lentelės tęsinys

Inspiracija per formą	Inspiracija per konstrukciją	Inspiracija per formą ir konstrukciją
Nr. 12 Vandens pastato poilsui koncepcija (žr. 46 pav.)		
Nr. 14 Uždaro baseino pastatas, VGTU bakalauro baigiamasis projektas (žr. 48 pav.)		
Nr. 15 Santuokų rūmų pastatas, VGTU bakalauro baigiamasis projektas (žr. 49 pav.)		
Nr. 13 Urbanizuotas kaktuso pastatas (žr. 47 pav.)		

Iš 2 lentelės matome, kad dauguma statinių inspiruoti per gamtos formą, kadangi tai paprasčiausias inspiracijos būdas (vizualinis) ir jį įgyvendinti yra lengviau. Tačiau trečia lentelės skiltis rodo, kad gamtos inspiruotos formos analogas gali būti perkeltas kartu ir su jo konstrukciniais principais.

Remiantis 1 lentelės (esančios 2.5 poskyryje) ir 2 lentelės rezultatais, matome, kad statiniai inspiruoti per konstrukciją ar per formą ir konstrukciją surinko daugiau balų, negu statiniai, kurie buvo inspiruoti tik per formą. Tai reiškia, kad funkcionalumas, medžiagiškumas, ekonomiškumas, konstruktyvumas ir struktūriškumas yra geriau išpildyti statiniuose, kurie yra inspiruoti per gamtos konstrukcijų analogus.

Gamtos inspiruotų formų analizei atlikti, buvo pasirinkti 5 statiniai, atitinkantys vieną iš trijų aspektų (žr. 2 lentelę). Kad nustatyti jų transformaciją nuo gamtos formos analogo iki architektūrinio statinio, jie buvo analizuojami ir vaizduojami grafinėmis iliustracijomis, pagal schemą (žr. 66 pav. 42 psl.).

Iš 1-ojo skyriaus III-iojo gamtos inspiruotų formų raidos etapo pasirinkti 5 statiniai: Edeno projektas (žr. 40 pav.), Lotoso šventykla (žr. 39 pav.), Olimpiniis stadionas Miunchene (žr. 36 pav.), Pekino nacionalinis stadionas „Paukščio lizdas“ (žr. 44 pav.) ir VGTU studento uždaro plaukimo baseino pastato projektas (žr. 48 pav.). Žemiau pateiktas kiekvieno iš šių statinių detalesnis aprašymas.

1) Edeno projektas (*Eden Project*), Anglija, 2000 m. (žr. 67 pav.)

Statinys pastatytas vietoje bankrutavusios plytų degyklos, didžiuliame 60 m gylio krateryje. Tai didžiausia pasaulyje oranžerija, kurioje galima pamatyti augalus iš viso pasaulio. Edeno projektas, dar kitaip vadinamas Edeno sodu, išsiskiria savo unikalia architektūra ir netgi dažnai vadinamas 8-uju pasaulio stebuklu arba tūkstantmečio statiniu. Jį sudaro du didžiuliai kupolai su tropikų bei viduržemio jūros klimatu ir didžiulis pramogų parkas šalia. Visas plotas užima 50 ha, kupolai 15 ha (Rainforest...2011).

Kupolai labai panašūs į korį – tai žmogaus sunkaus darbo ir gamtos tobulumo simbolis. Jie pastatyti iš įvairaus dydžio 625 šešiakampių, 16 penkiakampių ir 190 trikampių. Kiekvieną figūrą sudaro 2 oro kameros, plieninė konstrukcija ir 3 lengvos plėvelės sluoksniai. Svarbiausia, kad ši plėvelė yra atspari saulės spinduliams ir yra perdirbama (Our...2011).

Šis statinys yra puikus gamtos inspiruotos formos ir konstrukcijos analogo pavyzdys, kadangi formos perteikimui, reikėjo remtis ir tam tikrais šios formos principais, kurie atskleidžiami statinio struktūroje.

2) Lotoso šventykla (*Lotus Temple*), Indija, 1986 m. (žr. 68 pav.)

Ši šventykla yra lotoso augalo formos analogo inspiruotas statinys. Lotoso šventyklos statybos truko net šešerius metus. Šiuo metu ji yra lankomiausia Delio vieta, perteikianti ramybės ir harmonijos dvasią. Šventykla sudaryta iš 9-ių apvalėjančių konstrukcinių segmentų, kurie formuoja apvalią pastato formą. Ant jų paremti 27 murmuriniai denginiai, primenantys lotoso augalo lapus (žr. 39 pav.) (White 1992).

3) Olimpinis stadionas Miunchene, Vokietija, 1972 m. (žr. 69 pav.)

Olimpinis stadionas yra įvairios paskirties stadionas Miunchene, Bavarijoje, Vokietijoje. Jis pastatytas 1972 m. vasaros olimpinėms žaidynėms. Stadionas suprojektuotas vokiečių architekto Guntherio Behnischo ir inžinieriaus Frei Otto. Jo konstrukcijos buvo tentinės, kurios yra priskiriamos prie pačių lengviausių kabamųjų konstrukcijų. Stadiono aiški ir plastiška struktūra primena voratinklį (žr. 36 pav.) (Notes...2012).

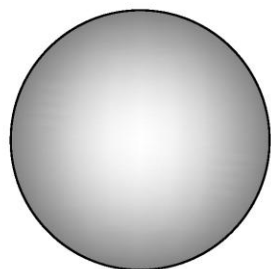
4) Pekino nacionalinis stadionas (*Beijing National Stadium*), Kinija, 2008 m. (žr. 70 pav.)

Dar kitaip šis stadionas vadinamas „Paukščio lizdu“ (*Bird's nest*). Pastato pagrindas – geometriškai teisinga ir estetiškai nepriekaištinga karkasinė struktūra, lizdas – chaotiškai susipynusios laikančiosios itin neatsparaus plieno konstrukcijos. Tai pakankamai sudėtingas inžinerinis statinys su dviguba struktūra. Pekinas įsikūręs aukšto seisminio aktyvumo zonoje,

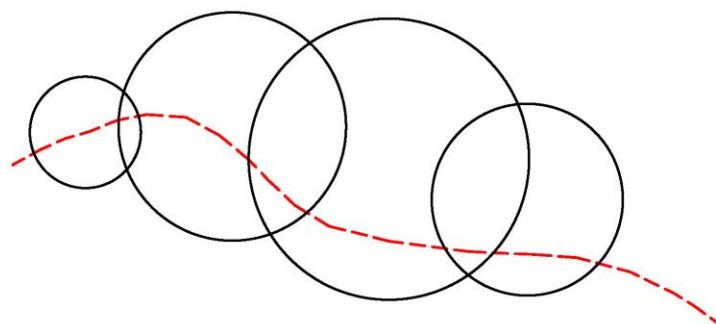
todėl stadionas suprojektuotas ir pastatytas taip, kad atlaikytų 8 balų žemės drebėjimą. Taip pat, kad jis būtų atsparus vėtroms, stadiono konstrukcija aprūpinta amortizatoriais, o dėl tokios „pintos“ konstrukcijos stadionas itin efektyviai ventiliuojamas, o čia auganti žolė apšviečiama saulės spindulių. Šio stadiono pagrindas – 24 kolonos, kurios apvytos specialiomis konstrukcijomis, sudarančiomis paukščio lizdo įspūdį. Vidinė stadiono danga yra pagaminta iš etileno tetrafluoretileno (ETF) – minkšto permatomo plastiko. Architektų nuomone, tai sustiprina asociacijos su „paukščio lizdu“ – juk paukščiai apkaišo savo lizdus minkštais pūkais. Šis plastikas tribūnas apsaugo nuo vėjo bei lietaus, tačiau tuo pat metu pastatas išlieka permatomas. (Paukščių...2009).

5) Uždaro plaukimo baseino pastato projektas, VGTU baigiamojo bakalauro darbas, Lukas Grabliauskas, AIf-10 (žr. 71 pav.).

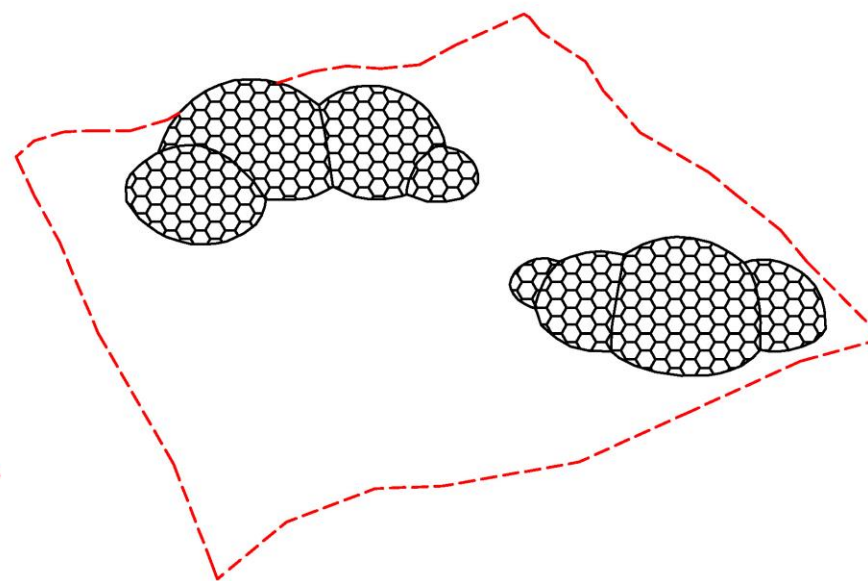
Statinys ypatingas tuo, kad yra paremtas gamtos inspiruotos formos – kriauklės analogu. Tai labai aiškiai matoma transformacijoje. Kūrinio autoriui plaukimo baseinas asociajavosi su vandens gyviais, todėl jis nusprendė pasirinkti kriauklės formos analogą ir jam pritaikyti konstrukciją. Šio statinio konstrukcinę sistemą sudaro arkos, kurios padengtos 11 stogo segmentų. Santvaras ir stogo denginius laiko lynai.



Gamtos inspiruotos formos analogas - oro burbulas.



Ši forma duplikuojama, skirtingais masteliais. Analogai sukertami tarpusavyje, visus juos kerta reljefo linija.



Gauta forma struktūrizuojama: šiuo atveju pasirenkama viena iš dažniausiai sutinkamų gamtoje figūrų - šešiakampiai.

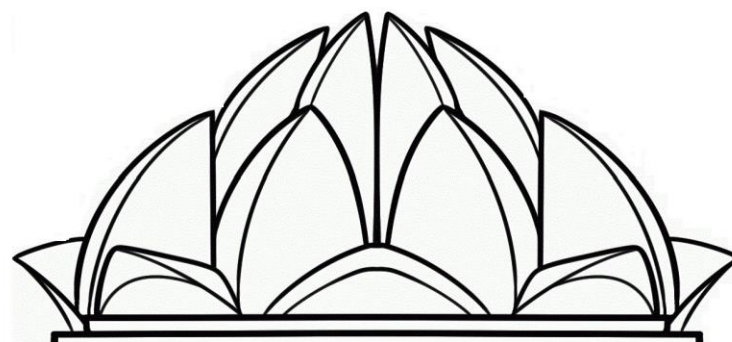


Galutinis vaizdas: Eden projektas (Wikipedia 2014)

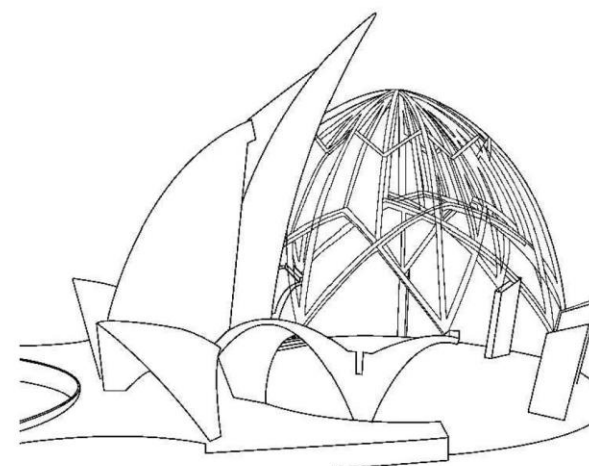
67 pav. Edeno projekto transformacija



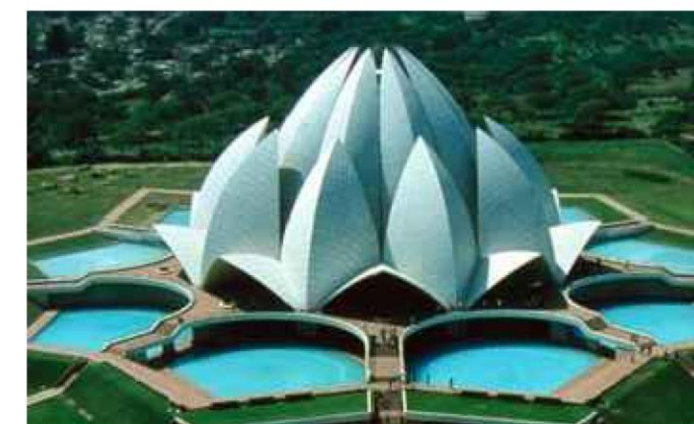
Gamtos inspiruotos formos analogas - lotoso žiedas.



Lotoso žiedo forma detalizuojama, pagrindinė statinio dalis (šventyklos salė) sudaroma iš 9 segmentų, o ant jų paremiama 27 segmentai, primenantys lotoso augalo lapus.

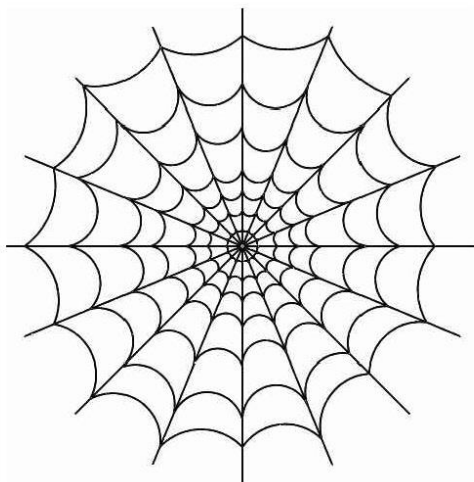


Lotoso žiedo analogo forma struktūrizuojama - jai pritaikoma konstrukcija. 9 konstrukciniai segmentai sujungti vienas su kitu, kurie laiko stogo segmentus.

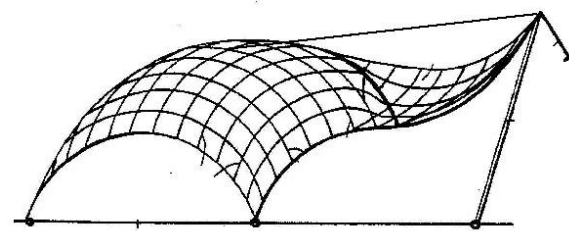


Galutinis vaizdas: Lotoso šventykla (Wikipedia 2014)

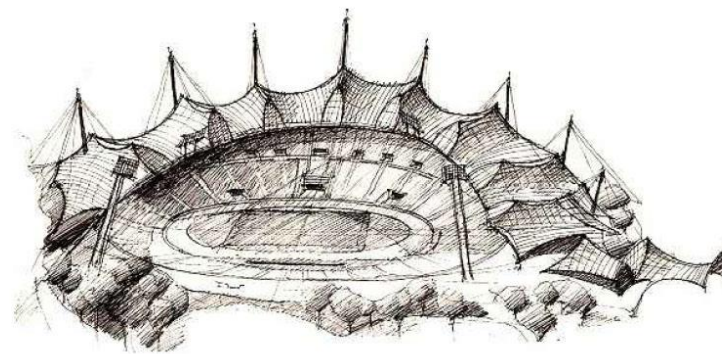
68 pav. Lotoso šventyklos transformacija



Gamtos inspiruotos formos analogas - voratinklis.



Detalizuojama analogo forma: ten kur yra vadinama "voro aukos vieta" yra tvirtinama ši tentinė konstrukcija.

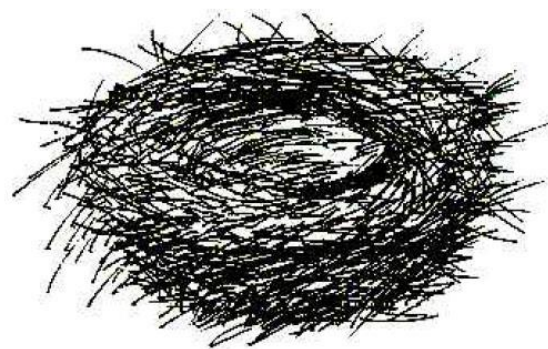


Gauta forma struktūrizuojama ir duplikuojama skirtingais masteliais. Taip išgaunamas stadiono stogas.

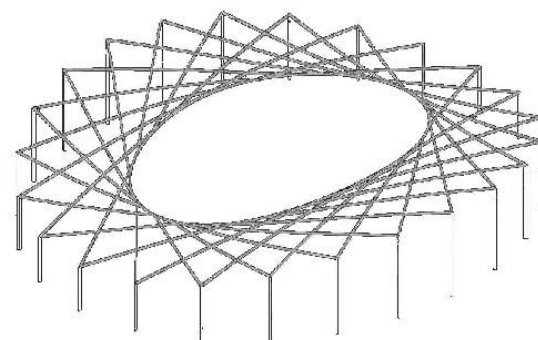


Galutinis vaizdas: Miuncheno stadionas (Wikipedia 2014)

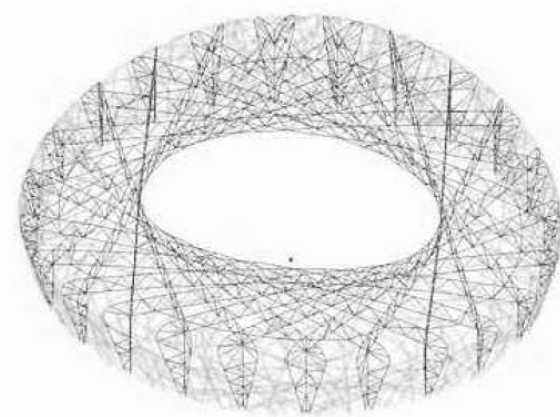
69 pav. Miuncheno stadiono transformacija



Gamtos inspiruotos formos analogas - paukščio lizdas.



Paukščio lizdo analogo forma detalizuojama, suskirstyta 27 vertikalios linijos ir 44 horizontalios linijos, kurios viena su kita persipina.

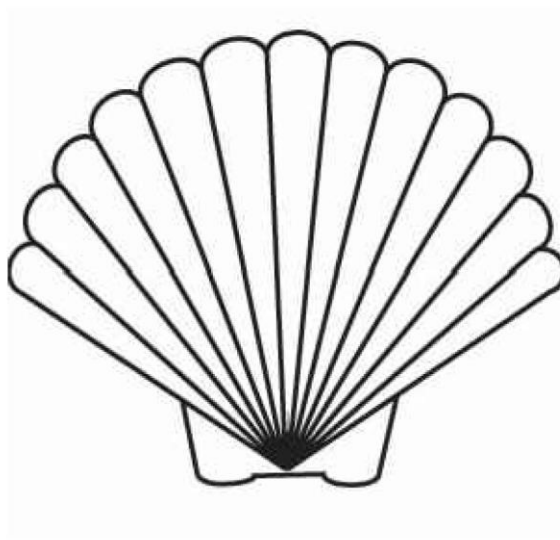


Gauta forma struktūrizuojama. 27 vertikalūs elementai (kolonos) apviamos specialiomis konstrukcijomis, kurios sudaro paukščio lizdo išpūdį.

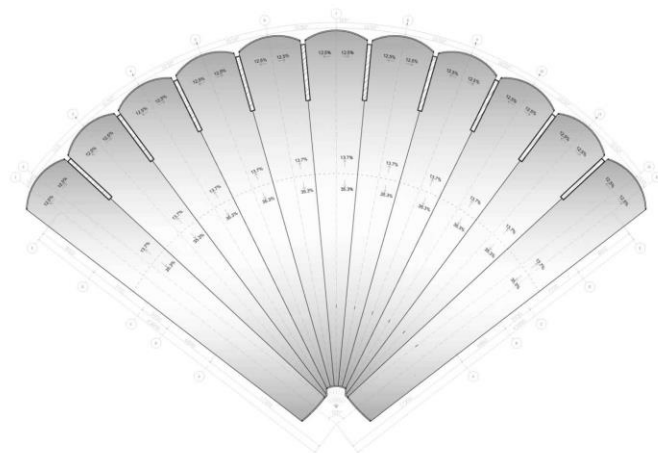


Galutinis vaizdas: Pekino nacionalinis stadionas (Wikipedia 2014)

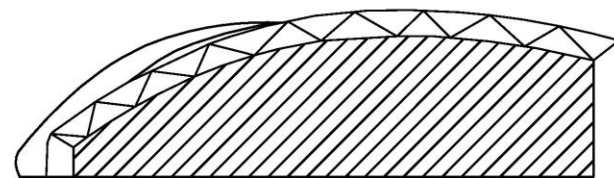
70 pav. Pekino nacionalinio stadiono transformacija



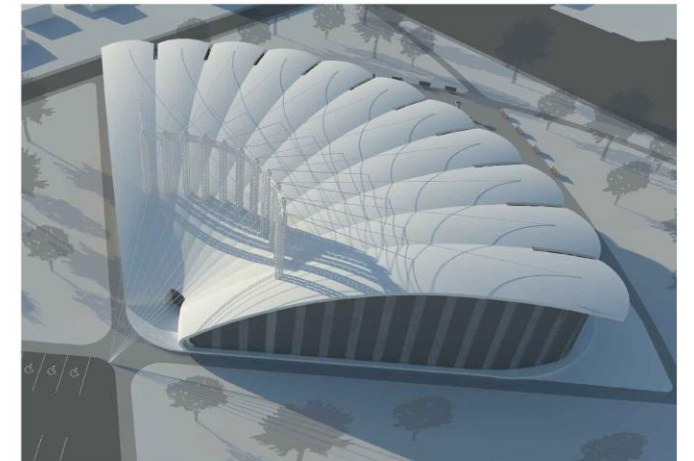
Gamtos inspiruotos formos analogas - kriauklė.



Kriauklės analogas suskirstytas į 11 segmentų - taip formuojamas stogo dangų išdėstymas.



Kriauklės analogas naudojamas tik formai ir matomas iš viršaus (stogo plane). Šiai formai pritaikomos konstrukcijos - santvaros,



Galutinis vaizdas: Uždaro plaukimo baseino pastatas

71 pav. Uždaro plaukimo baseino pastato transformacija

2.7. Skyriaus išvados

1. Gamtinės sistemos ir jų veikimo principai yra daug įvairesni, sudėtingesni ir tobulesni už dirbtines (žmogaus sukurtas) sistemas ir konstrukcijas. Išryškėjus tendencijai kurti kombinuotas, iš įvairių medžiagų sudarytas konstrukcijas, jungiant kelis konstrukcijų veikimo principus, projektuojant statinius, atsirado galimybė konstrukcijas laisvai pritaikyti prie aplinkos sąlygų. Todėl ateityje galima tikėtis dinamiškų, transformuojamų konstrukcinių sistemų, kurių veikimo principai bus taikomi ir keičiami atsižvelgiant į funkcinis poreikius.
2. Išvardintų savybių (funkcionalumo, ekonomiškumo, konstruktyvumo, struktūriškumo ir medžiagiškumo) visuma suteikia gamtos analogo formai unikalumo. Bionikos sąlytis su statinių projektavimu atsiskleidžia konstrukcijų, struktūrų, formos logiškumo ir organiškumo, neretai tiesiog idėjų pritaikymo plotmėje. Tikslo ir metodo sinteze bionika turi sąsajų su statinių projektavimo veikimo procesų principais.
3. Statiniai, inspiruoti gamtos konstrukcijų analogų, yra struktūriškesni, labiau konstruktyvūs bei ekonomiški negu statiniai, kurie inspiruoti tik per formą.

3. GAMTOS INSPIRUOTŲ FORMŲ IR KONSTRUKCIJŲ ĮTAKOS ARCHITEKTŪRINEI RAIŠKAI TYRIMAS PAGAL PASIRINKTĄ ANALOGĄ GAMTOJE

Kaip jau buvo išnagrinėta 2-ajame skyriuje, gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų architektūros raiškoje pagrindiniai kriterijai yra konstruktyvumas, struktūriškumas, funkcionalumas, ekonomiškumas ir medžiagiškumas. Šiame skyriuje, kad tai praktiškai patikrinti ir nustatyti gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų poveikį architektūrinei raiškai, buvo pasirinkta atlikti tyrimą. Juo remiantis, buvo sumodeliuota gamtos inspiruota vizualinė struktūra, kuri apskaičiuota ir, pagal gautus rezultatus, atliktos išvados.

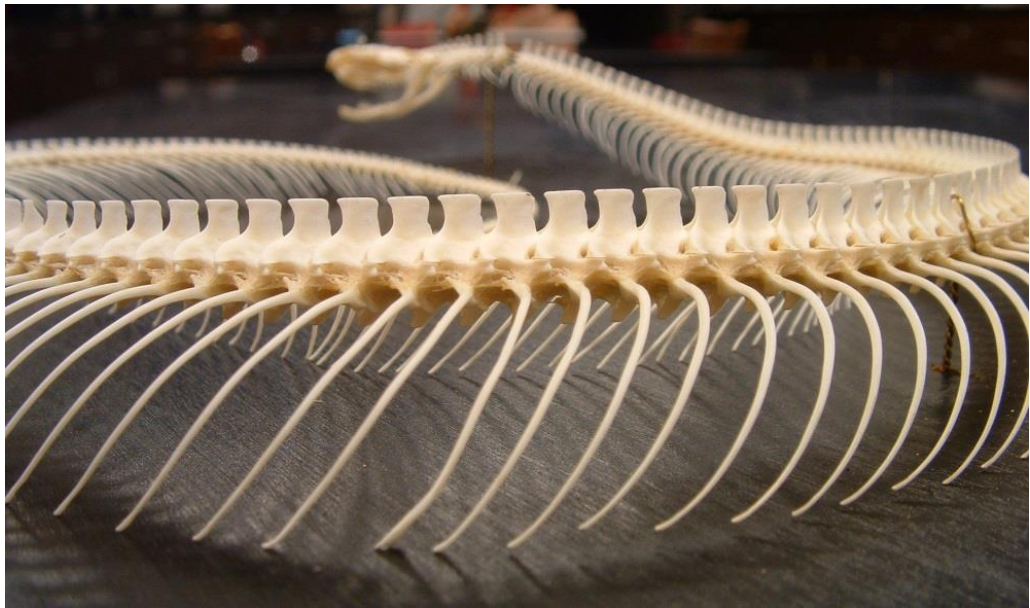
Tyrimo eiga atlikta tokia seka:

- 1) Pasirinktas inspiracijos analogas gamtoje – forma ir jos skeletas;
- 2) Sumodeliuotos pagrindinės laikančiosios konstrukcijos, modelis struktūrizuotas ir supaprastintas iki skaičiuojamojo;
- 3) Pasirinkta viena esminė laikanti konstrukcijos sudedamoji, kuri transformuota į santvarą;
- 4) Pagal santvarą ir gamtos analogo formą sumodeliuota visa konstrukcinio modelio struktūra;
- 5) Konstrukciniam modeliui (santvarai), parinktai didžiausiam tarpatramiui, sumodeliuota ir suskaičiuota programa Staad. Pro V8i (skaičiavimai pateikti B priede).
- 6) Apskaičiuoti keli variantai, iš kurių pasirinktas optimalus.
- 7) Parinkti skerspjūvių profiliai.
- 8) Sukomponuotas konstrukcinis modelis, įvertintas analogiškai kaip buvo išanalizuoti gamtos inspiruotų formų statiniai.
- 9) Atliktos tyrimo išvados.

3.1. Gamtos inspiruotos formos perkėlimas į konstrukcinį modelį, jo apskaičiavimas

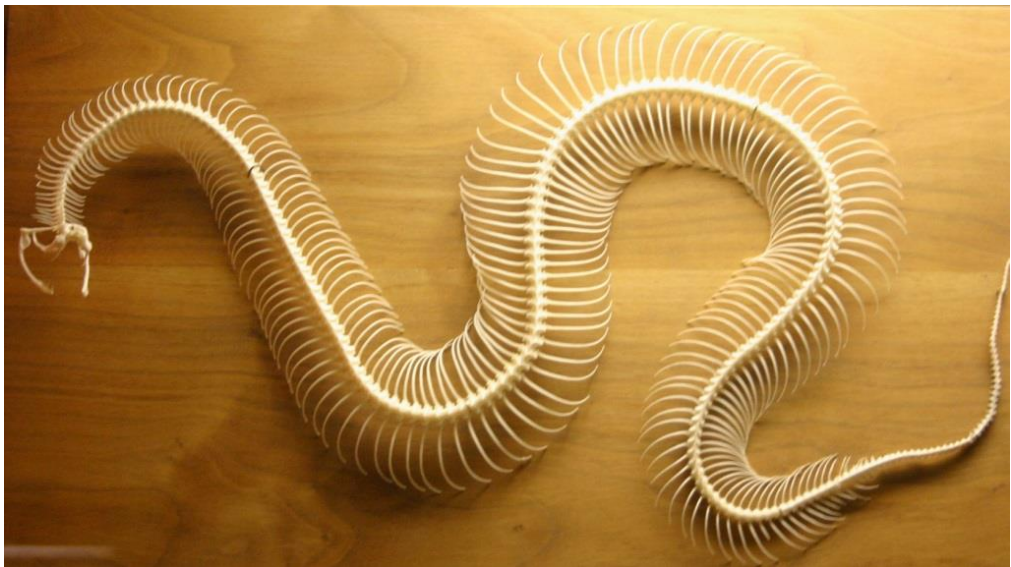
Gamtos inspiruotos formos aprašymas

Šiam tyrimui atlikti pasirinktas gyvosios gamtos analogas – gyvatės skeletas (žr. 72 pav.). Gyvatės skeletą sudaro kaukolė, stuburas ir šonkauliai. Gyvatės kūnas yra ilgas dėl jos ypatingai judraus gyvenimo būdo. Stubure yra daugiau kaip 400 slankstelių, kurių savotiška sandara suteikia stuburui lankstumą ir stiprumą.



72 pav. Gyvatės skeleto nuotrauka (Snakes...2011)

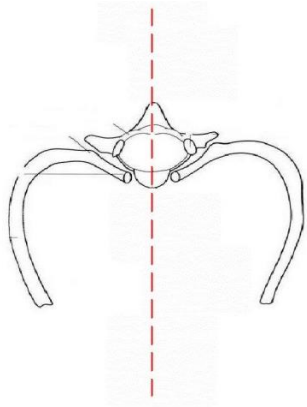
Per visą gyvatės ilgį vyrauja simetrija - slankstelių ašis, kuri dalina pusiau kiekvieną jos kūno sudedamąjį elementą. Tai ir buvo interpretuojama, kuriant gyvatės skeleto formos analogo struktūrą (žr. 73 pav.)



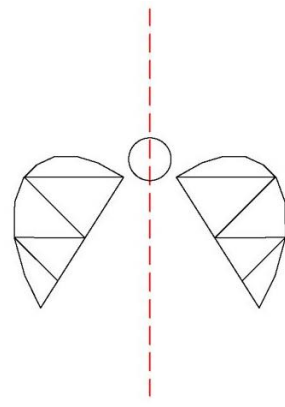
73 pav. Gyvatės skeleto iš viršaus nuotrauka (Snakes...2011)

Analogo transformacija į konstrukcinį elementą

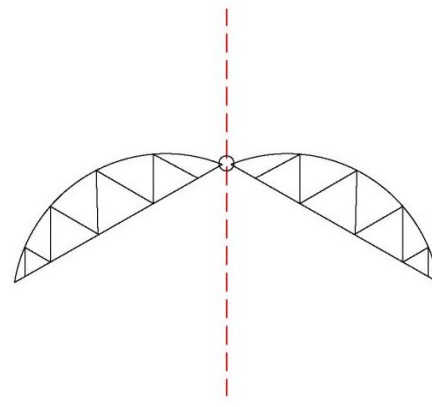
Gyvatės skeletas sudarytas iš daugybės segmentų (slankstelių su šonkauliais). Remiantis tuo, paimtas vienas toks segmentas ir pagal schemą (žr. 66 pav. 42 psl.), kuri atspindi šio formos analogo transformaciją į konstrukcinį sprendinį. Gyvatės skeleto segmento analogo transformacija suskirstyta į kelis etapus, kurie plačiau išnagrinėti 74 paveiksle.



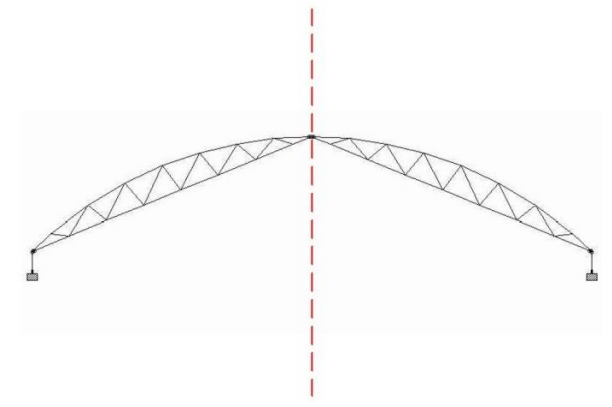
Išeities taškas - gyvatės slankstelio su šonkauliais analogas. Uždedama ašis, kuri dalina slankstelį pusiau, taip išryškinama esanti simetrija.



Analogas transformuojamas į du pagrindinius segmentus, kurie yra simetriški.



Forma struktūrizuojama iki santvaros.



Gauta santvaros konstrukcija, kuri bus naudojama gyvatės formos analogui modeliuoti.

74 pav. Gyvatės skeleto slankstelio su šonkauliais transformaciją į konstrukcinį elementą – santvarą

Konstrukcinio elemento apskaičiavimas

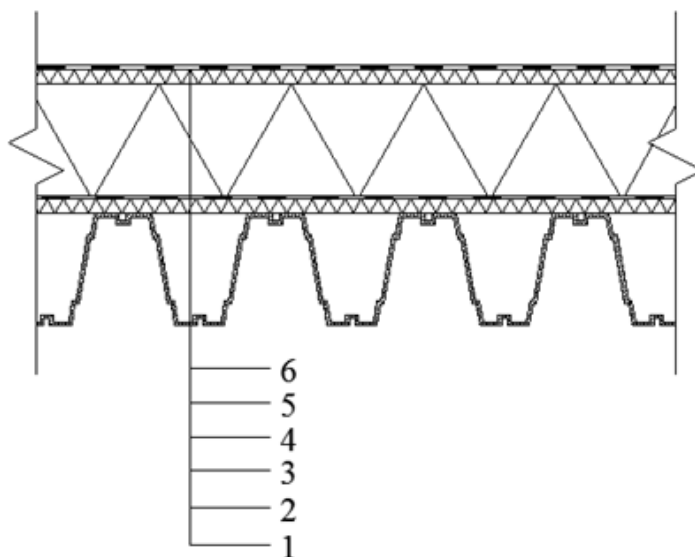
Konstrukcinei sistemai modeliuoti, pasirinktas vienas struktūros elementas – didžiausio planuojamo tarpatramio - 30 metrų santvara. Optimaliam rezultatui gauti, sumodeliuoti trys santvaros modelių variantai konstrukcijų skaičiavimo programa STAAD.Pro Vi8 (žr. 76, 77, 78). Santvaros apskaičiuotos su sniego, savuoju bei stogo medžiagos apkrovomis. Apskaičiuotiems santvarų modeliams sudaryta palyginamąji lentelė (žr. 5 lentelę), pagal kurią pasirinktas racionaliausias ir ekonomiškiausias variantas konstrukcinei sistemai modeliuoti. Čia buvo lyginamos didžiausios veikiamos jėgos, plieno sunaudojimo kiekiai ir pan.

1) Savojo svorio apkrovos skaičiavimas

Pagal STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ statinių savasis svoris susideda iš konstrukcijos ir nelaikančiųjų elementų. Konstrukcijos savasis svoris programoje STAAD.Pro V8i automatiškai apskaičiuojamas pagal nominalinius matmenis ir charakteristines vienetinių svorių reikšmes.

Skaičiavimuose savojo svorio poveikio dalinis koeficientas priimamas lygus 1,35.

Stogo konstrukcijos (žr. 75 pav.) charakteristinė ir skaičiuotinė apkrova į santvaros viršutinę juostą pateikta 4-oje lentelėje.



75 pav. Stogo konstrukcija

3 lentelė. Stogo konstrukcijos charakteristinės apkrovos skaičiavimas

Eil. Nr.	Pavadinimas	Tankis ρ kg/m ³	Svoris į kvadratinį metrą g kg/m ²	Sluoksnio storis, m	Charakteristinė apkrova į tiesinį metrą q_{st} kPa
1	Profiliuotas plieninės skardos lakštas	-	15,3	0,01	0,153
2	Vėjo izoliacija	230	-	0,03	0,069
3	Garų izoliacija	-	-	-	0
4	Šilumos izoliacija	130	-	0,16	0,208
5	Šilumos izoliacija	230	-	0,02	0,046
6	Stogo danga	-	6,5	0,01	0,065
Viso					0,541

4 lentelė. Stogo konstrukcijos skaičiuotinės apkrovos skaičiavimas

Eil. Nr.	Pavadinimas	Charakteristinė apkrova q_{st} kPa	Patikimumo koeficientas γ_f	Poveikio koeficientas KFI	Skaičiuotinė apkrova $q_{st,d}$, kPa
1.	Profiliuotas plieninės skardos lakštas	0,153	1,3	1,1	0,219
2.	Vėjo izoliacija	0,069	1,3	1,1	0,099
3.	Garų izoliacija	-	1,3	1,1	-
4.	Šilumos izoliacija	0,208	1,3	1,1	0,297
5.	Šilumos izoliacija	0,046	1,3	1,1	0,066
6.	Stogo danga	0,065	1,3	1,1	0,093
Viso:		0,541	-	-	0,774

Skaičiuotinė apkrova $q_{st,d,s}$ tenkanti vienos santvaros viršutinei juostai:

$$q_{st,d,s} = q_{st,d} \cdot B = 0,774 \cdot 5 = 3,870 \text{ kN/m}, \quad (1)$$

čia: B – vienos santvaros apkrovos ploto ilgis.

2) Sniego apkrovos skaičiavimas

Pastatas bus statomas Kaišiadoryse, kuris pagal STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ 1 priedo 1 pav. priklauso I sniego rajonui. Sniego apkrovos charakteristinė reikšmė S_k pagal 1 priedo 1 lentelę yra $1,2 \text{ kN/m}^2$. Charakteristinis sniego apkrovos į stogo horizontaliąją projekciją dydis nustatomas pagal 11.1 formulę:

$$s = \mu_i C_e C_t S_k, \quad (2)$$

čia: s_k – sniego dangos ant 1 m^2 horizontaliojo žemės paviršiaus svorio charakteristinė reikšmė, imama $1,2 \text{ kN/m}^2$, pagal Reglamento 153 punktą;

μ – stogo sniego apkrovos pavidalo koeficientas, nustatomas pagal STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir

apkrovos“ 2 priedo 1 lentelę, 1 schemą;

c_e – atodangos koeficientas, kurio reikšmė priimama 1,0;

c_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos,

priimamas 1,0.

Skaičiuotinis sniego apkrovos į stogo horizontaliąją projekciją dydis:

$$s_d = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \cdot \gamma_Q \cdot k_{FI} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1,72 \text{ kN/m}^2, \quad (3)$$

čia $\gamma_Q = 1,30$ - sniego poveikio dalinis patikimumo koeficientas, nustatomas pagal STR 2.05.04:2003 „Poveikiai ir apkrovos“ 10 priedą.

3. Sniego apkrovos į santvarų viršutines juostas skaičiavimas

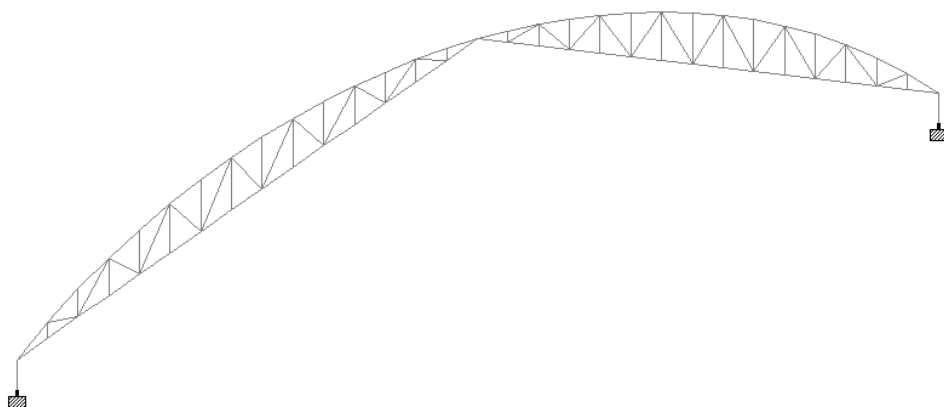
Charakteristinė apkrova s_l tenkanti vienos santvaros viršutinei juostai:

$$s_l = s \cdot B = 1,2 \cdot 5 = 6,0 \text{ kPa}, \quad (4)$$

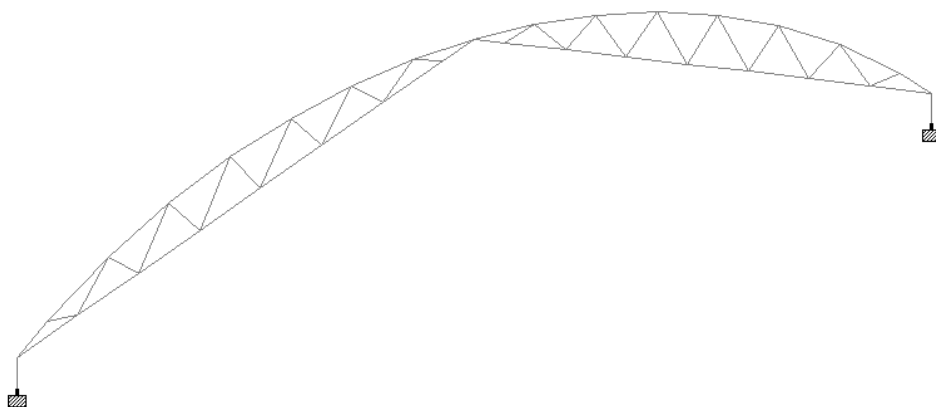
čia: B – vienos santvaros apkrovos ploto ilgis.

Skaičiuotinė apkrova:

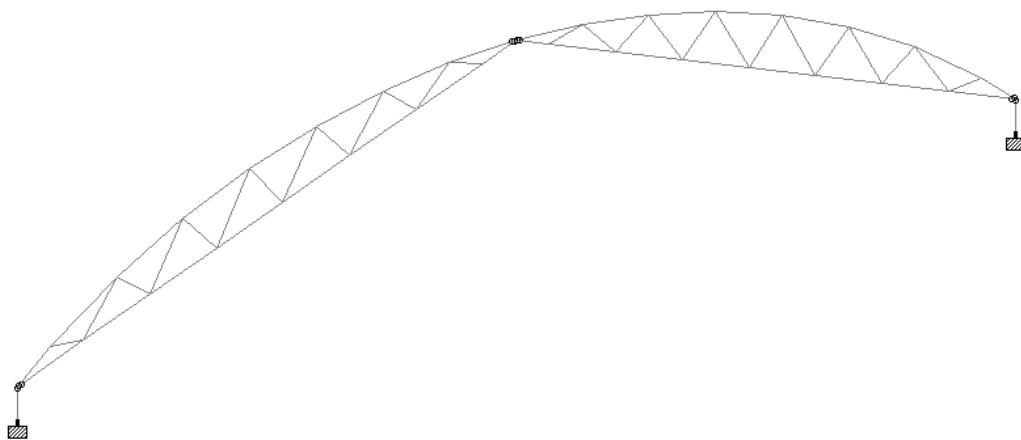
$$s_d = 1,2 \cdot 5 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 8,58 \text{ kN/m}. \quad (5)$$



76 pav. 1 variantas. Santvara be šarnyrų, su statramsčiais



77 pav. 2 variantas. Santvara be šarnyrų, be statramsčių

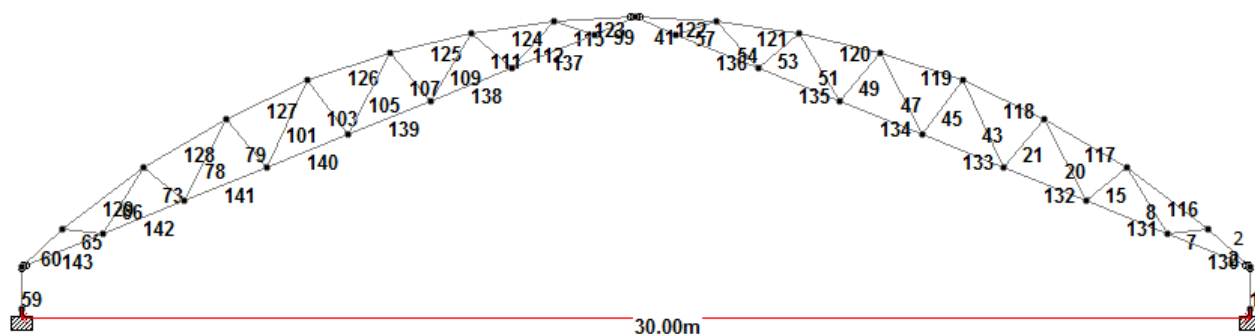


78 pav. 3 variantas. Santvara su trimis šarnyrais, be statramsčių

5 lentelė. Santvaros modelių palyginimas

	1 variantas	2 variantas	3 variantas
Max įlinkis, mm	28,638	25,412	24,586
Max N, kN (Fx)	219,622	207,390	191,708
Max Mz, kNm	155,002	160,315	166,586
Atraminės reakcijos, Fx/Fy, kN	231,005/207,451	60,076/70,218	81,095/70,963
Plieno sąnaudos santvarai, kg.	1230,78	435,64	302,52

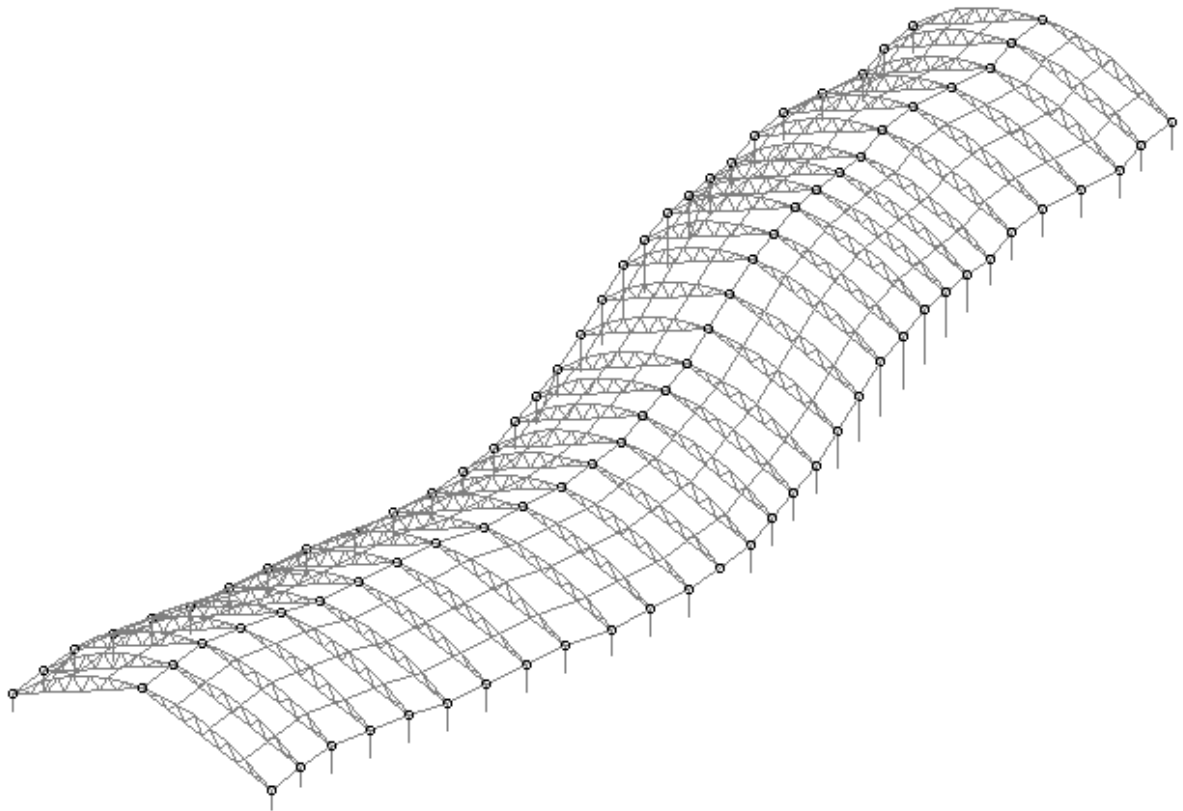
Pagal 5 lentelės rezultatus, pasirinktas optimalus 3 variantas – santvara su trimis šarnyrais, be statramsčių. Ši santvara pateikta 79 paveiksle, o jos skaičiavimų rezultatai pateikti B priede. Santvarai parinkti plieniniai profiliai: viršutinei juostai TUB40x40x3 ir du (60 ir 2 elemento) TUB 80x80x4, apatinei juostai ir tinkleliui TUB20x20x3.



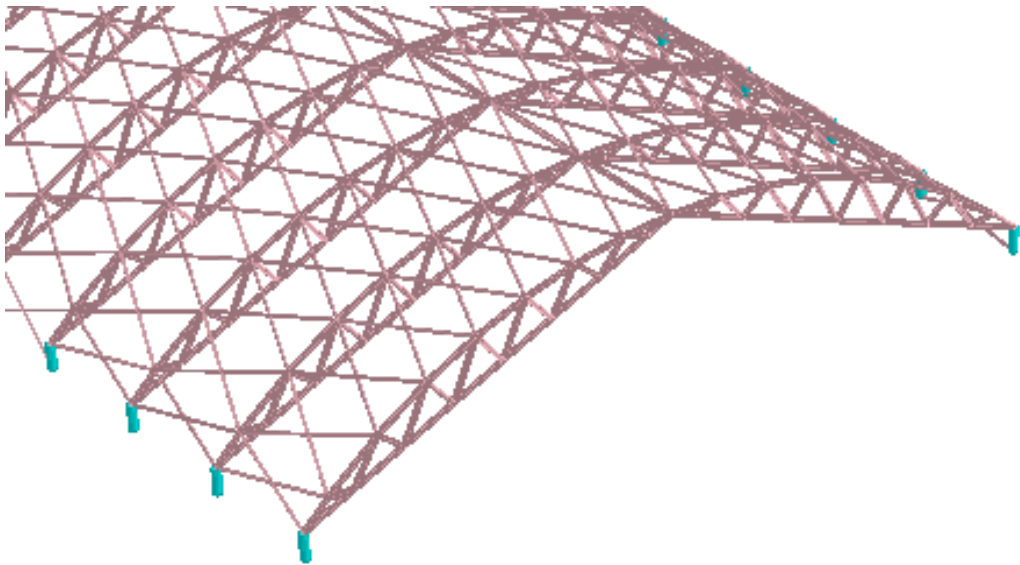
79 pav. Pasirinktas optimalus santvaros variantas

3.2. Vizualinės struktūros modeliavimas architektūriniam sprendiniui

Pagal pasirinktą santvaros variantą buvo kuriamas 3D konstrukcinis modelis: ši santvara buvo pakartota išilgai kas 5 metrus (žr. 80 pav.), didesniu ar mažesniu aukščiu (didinant ar mažinant kolonų aukščius), pastūmiant skirtingomis kryptimis, tam, kad būtų išgauti gyvatės formos analogo vingiavimai. 81 paveiksle pavaizduotas konstrukcinių ryšių išdėstymo variantas, kuris suteiktų architektūriniam sprendiniui tektoniškumo.



80 pav. 3D konstrukcinio modelio koncepcija architektūriniam sprendiniui



81 pav. Konstrukcinio modelio konstrukcinių ryšių išdėstymo variantas

Statinio paskirties vietos parinkimas

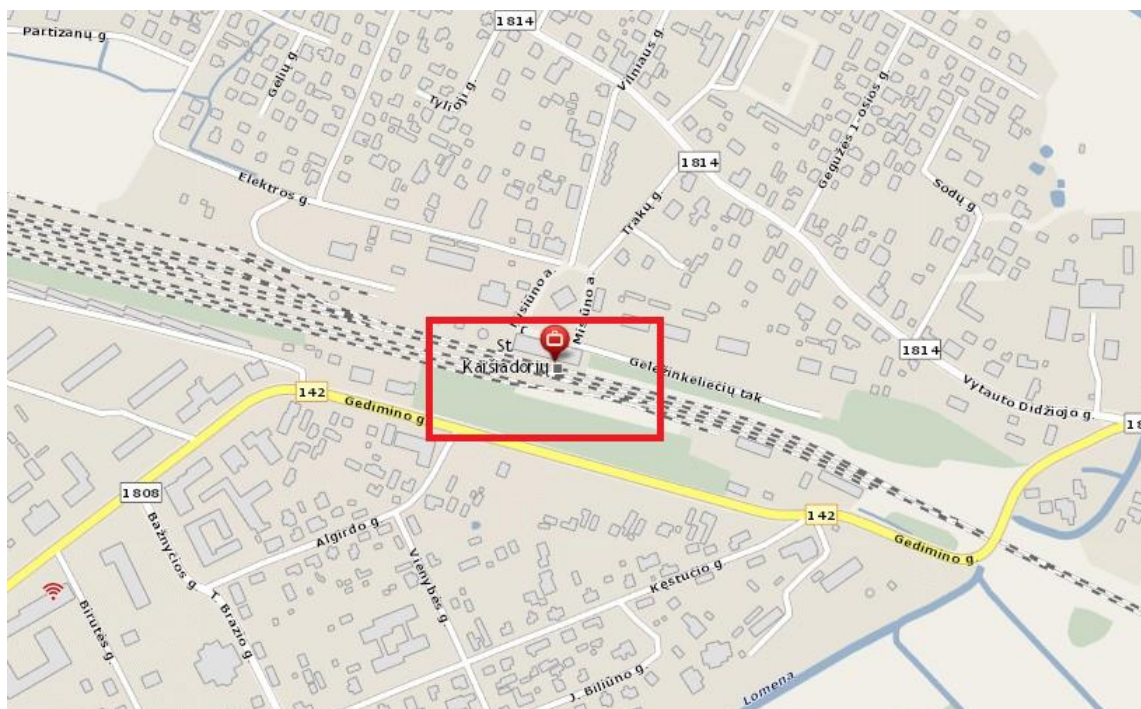
Interpretuojant tai, kad gyvatės kūnas yra ilgas dėl jos ypatingai judraus gyvenimo būdo, šio statinio paskirtis pasirinkta kaip geležinkelio stoties peronas traukinių bėgiams.

Sumodeliuotai konstrukcinei struktūrai pasirinkta Kaišiadorių geležinkelio stotis – geležinkelio stotis vidurio Lietuvoje, Kaišiadorių rajone, vienas svarbiausių geležinkelio mazgų

(žr. 82 pav.). Stotis yra atkarpoje Vilnius – Kaunas ir Vilnius – Klaipėda. (Kaunas...2012). Žemėlapyje (žr. 83 pav.) raudonai pažymėta geležinkelio bėgių atkarpa, kurioje galima šios konstrukcinės sistemos vieta.



82 pav. Kaišiadorių geležinkelio stoties nuotrauka (Wikipedia 2014)



83 pav. Kaišiadorių geležinkelio stoties situacijos schema (Maps.lt 2010)

Sumodeliuotas gyvosios gamtos – gyvatės skeleto analogo inspiruotas konstrukcinis modelis, analogiškai kaip ir 2-ajame skyriuje buvo atlikta statinių analizė, suvestas į lentelę pagal 5 pagrindinius kriterijus (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Kaišiadorių geležinkelio stoties perono konstrukcinės sistemos vertinimas pagal gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų pagrindinius kriterijus

	Funkcionalumas	Medžiagiškumas	Konstruktivumas	Ekonomiškumas	Struktūriškumas
Kaišiadorių geležinkelio stoties bėgių peronas	5	4	5	5	5

- 1) Funkcionalumas:** Sumodeliuota struktūra yra funkcionali, jos paskirtis yra aiški. Šis statinys gali būti pritaikytas ir įvairiems pavilijonams, angaru, sandėliams, pramoninės paskirties statiniams.
- 2) Medžiagiškumas:** Konstrukcijos yra plieninės, todėl jos yra lengvos ir patikimos. Šiuo atveju statiniui buvo parinkta tik preliminarinė stogo konstrukcija, tačiau priklausomai nuo jos paskirties ir norimo išgauti efekto, galimi ir kiti variantai.
- 3) Konstruktivumas:** Pagal atliktus skaičiavimus konstrukcija (santvara) atlaiko galimas apkrovas.
- 4) Ekonomiškumas:** Santvaros yra plieninės, todėl jos yra labai lengvos. Joms reikia mažiau medžiagų, mažesnių transporto išlaidų, jas lengviau montuoti. Taip pat, jei jos teisingai eksploatuojamos, santvaros gali būti ir ilgaamžės.
- 5) Struktūriškumas:** Sumodeliuota forma gauta struktūriška ir primenanti gyvatės skeleto analogą. Visi formos elementai yra tektoniški, kadangi formą kuria konstrukcijos, bei medžiagos (plieninės santvaros).

3.4. Rezultatų aptarimas

Pagal gamtos inspiracijos aspektus ši struktūra priskirta prie inspiracijos per formą aspekto. Šiuo atveju - nebuvo remtasi gilesniais gyvatės skeleto konstrukcijų veikimo mechanizmais. Pasirinktas vienas gyvatės skeleto segmentas, kuris struktūrizuotas iki konstrukcinio elemento. Šio elemento kartojimu ir suvedimu į vientisą stuktūrą, buvo kuriama gyvatės skeleto analogu paremta forma.

Statinio koncepcija labai struktūriška, kadangi konstrukcijos ir forma yra tektoniškos. Šiuo atveju medžiagiškumas yra glaudžiai susijęs su struktūra, konstrukcijomis ir pačia forma. Geležinkelių bėgių perono konstrukcijos yra stabilios ir atlieka pagrindinę funkciją – yra

laikančiosios. Galima teigti, kad statinys yra ekonomišką, kadangi buvo naudojamos konstrukcijos iš plieno, kurios yra labai lengvos ir ekonomiškos. Taip pat šiai struktūrai gauti, buvo skaičiuojami keli variantai, iš kurių buvo pasirinktas pats racionaliausias. Todėl sumodeliuota struktūra atitinka penkis pagrindinius gamtos inspiruotų statinių kriterijus ir yra puikus pagrindas architektūriniam sprendiniui. Šiuo tyrimu buvo patvirtinta hipotezė, kad gamtos inspiruotomis formomis ir konstrukcijomis kuriama savita, unikali statinių architektūra.

3.5. Skyriaus išvados

1. Sumodeliuoto pavyzdžio pagrindu, nustatyta gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtaka statinių architektūrai. Pagal pasirinktą analogą gamtoje, transformacijos būdu, sumodeliuota vizualinė struktūra, kuri yra pagrindas architektūriniam sprendiniui, kurianti savitą ir unikalią architektūrą. Taip pat sumodeliuota struktūra atitinka nustatytus penkis kriterijus: funkcionalumą, ekonomiškumą, konstruktyvumą, medžiagiškumą ir struktūriškumą. Šiai struktūrai numatyta ir panaudojimo galimybė – geležinkelio stoties bėgių peronas.
2. Sąveika tarp mus supančios gamtinės aplinkos ir žmogiškosios kūrybos produkto – architektūroje vyksta inspiracijos būdu. Inspiracija vyksta dviem aspektais: per formą ir per formų struktūrinę sąrangą. Pirmu atveju inspiracijos seka būtų: pasirinktos gamtinio analogo vizualinis pavidalas transformuojamas į architektūrinį pavidalą – vizualinė sąsaja gana akivaizdi, gauto sprendinio atitikimo analogui laipsnis didelis. Antru atveju inspiracijos seka būtų: gamtinės formos struktūrinė sąrangą transformuojama į inžinerinę-konstruktinę struktūrą, kuri sąlygoja architektūrinį pavidalą. Šiuo atveju architektūros raiškos galimybės yra didesnės, tačiau analogo atpažinimas galimas per rezultato planinės-konstruktinės sąrangos analizę. Egzistuoja ir tarpinis aspektas kai apjungiama formos inspiracija ir formos struktūrinės sąrangos inspiracija.

IŠVADOS

1. Gamtos inspiruotų formų ir konstrukcijų įtakos architektūrai raidos analizė rodo, kad sąveika tarp žmogaus kuriamos aplinkos ir jį supančios gamtos ir jos analogų panaudojimo tos aplinkos formavimui, nuėjo ilgą kelią nuo tiesioginio kopijavimo iki bionikos mokslo išsivystymo ir jo rezultatų diegimo projektavimo procese. Gamtos inspiruotų formų ir jų konstrukcijų analogai tampa projektuotojų siekiamybe, kuriant visaapimančias bionines sistemas aplinkoje ir statiniuose.
2. Gamtos inspiracija architektūros statiniuose galima keturiais aspektais: per formą, per konstrukciją, per formą su konstrukcija bei per formą ir konstrukciją su jos biologinio veikimo mechanizmais ir principais. Paskutinis aspektas nusako ateities architektūros viziją ir siekiamybę.
3. Gamtos inspiruoti statiniai vertinami pagal penkis kriterijus: konstruktyvumą, ekonomiškumą, funkcionalumą, medžiagiškumą ir struktūriškumą. Įgyvendinus statinyje šiuos kriterijus, sukūriama unikali, harmoninga funkcijos, formos ir konstrukcijos aspektais, architektūra.
4. Atlikus statinių analizę pagal minėtus kriterijus paaiškėjo, kad architektūrinei išraiškai svarbi konstrukcijos visuma: nuo bendros sąrangos iki jos detalių – mazgų. Tik taip pasireiškia visavertė konstrukcijos ir architektūros sąsaja. Statiniai, kurių inspiracija buvo tik per gamtos formą, nebuvo tokie struktūriški, funkcionalūs ir konstruktyvūs.
5. Atlikto tyrimo pagrindu pasirinkus analogą gamtoje ir transformacijos būdu sumodeliavus erdvinę – konstrukcinę struktūrą, gauta sistema leidžia sukurti pagrindą architektūriniam sprendiniui. Šios struktūros suponuojama architektūra yra tektoniška, konstruktyvi, struktūriška ir funkcionali. Tai įrodo, kad statiniai, kurių projektavimo pagrindu naudojamos gamtos inspiruotos formos ir konstrukcijos, įgyja unikalią ir savitą struktūrą bei architektūrą.
6. Jei inžinieriai ir projektuotojai perpras ir išmoks sudėtingas, bet efektyvias taisykles bei principus, egzistuojančius gamtoje, ir išmoks tikslingai panaudoti gamtos inspiruotas formas ir technologijas, atsiras prielaida naujam proveržiui kuriant mūsų dirbtinės aplinkos darną su mus supančia gamta.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Adomonis, J. 1994. *Nuo taško iki sintezės, Taikomosios dailės kompozicijos pagrindai*. Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla. 175 p.
- Aldersey-Williams, H. 2003. *Zoomorphic - New Animal Architecture*, London: Laurence King Publishing.
- Ancient Man and His First Civilizations*. 2011. [žiūrėta 2013-04-07]. Prieiga per internetą: http://realhistoryww.com/world_history/ancient/Anatolia_Turkey.htm
- Architectural Wonders of the Natural World* [interaktyvus], 2009 [žiūrėta 2013-11-14]. Prieiga per internetą: <http://webecoist.com/2009/01/04/7-architectural-wonders-of-the-natural-world/>.
- Bailey, D. 2005. *Prehistoric Figurines: Representation and Corporeality in the Neolithic*. New York: Routledge.
- Barthlott, W.; Neinhuis, C. 2001. *The lotus-effect: nature's model for self cleaning surfaces*, International Textile Bulletin.
- Barzdžiukienė L. D. ir kt. 2005. *Baigiamasis studijų darbas. Kalbininkų patarimai: teorija ir tvarkyba*. 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika, 148 p.
- Bees and honeycomb* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2012-12-05]. Prieiga per internetą: <http://www.freegreatpicture.com/animal-collection/bees-and-honeycomb-21462>
- Behrendt, C. W. 1928. *The Victory of the New Style*. New York.
- Benyus, J. M. 1997. *Biomimicry – Innovation inspired design*, New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Benyus, J. M. 2002. *Biomimicry Innovation inspired by nature*, New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Berkebile, B.; McLennan, J. 2004. *The Living Building. Biomimicry in Architecture, Integrating Technology with Nature*. BioInspire 18.
- Bionic Architecture, Forms and Constructions*. [interaktyvus]. 2013. Prieiga per internetą: www.isca.in
- Bitės tobulą korio akelių formą išgauna tirpdydamos vašką* [interaktyvus]. 2013. Prieiga per internetą: www.bns.lt
- Blüchel Kurt, G. 2005. *Bionik – Wie wir die geheimen Baupläne der Natur nutzen können*, Munchen: C. Bertelsmann Verlag.
- Boardman, J.; Dorig J. 1967. *The Art of Ancient Greece*, London: Thames and Hudson.
- Burneika, J. 2002. *Forma, kompozicija, dizainas*, Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla, 87 p.

- Česnys G., Tutkuvienė J., Barkus A., Gedrimas V.L., Jankauskas R., Rizgelienė R., Žukienė J. 2008. *Žmogaus anatomija. I tomas*. Vilnius: Vilniaus universitetas.
- Cinkuoti metaliniai vamzdžiai* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013-10-12]. Prieiga per internetą: http://www.vedrana.lt/cinkuoti_metaliniai_duju_vamzdziai/
- Design Inspiration from Nature – Biomimicry for a Better Planet*. 2014. [žiūrėta 2014-09-14]. Prieiga per internetą: <http://inhabitat.com/finding-design-inspiration-in-nature-biomimicry-for-a-better-planet/eastgatecenterharare/>
- Donch* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2013-03-16]. Prieiga per internetą: <http://www.donch.com/lulh/Images/fig5.jpg>
- Engelsas, F. 1960. *Gamtos dialektika*, Vilnius: Valstybinė mokslinės literatūros leidykla
- Etkinsas, P. 1987. *Tvarka ir netvarka gamtoje*, Pasaulis.
- Feuerstein, G. 2002. *Biomorphic Architecture - Human and Animal Forms in Architecture*, Stuttgart: Edition Axel Menges.
- Foster, M. 1983. *The Principles of Architecture. Style, Structure and Design*. UK: Oxford, Phaidon. 224 p.
- Fotopedia* [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2013-10-14]. Prieiga per internetą: www.fotopedia.com
- Gerdžiūnas, P.; Plakys V. 2005. *Bendrieji akademinių darbų įforminimo reikalavimai*. Vilnius: Technika, 75 p.
- Gruber, P. 2011, *Biomimetics in Architecture. Architecture of life and buildings*, New York: Springer.
- Illustrated Egyptian Columns* [interaktyvus]. 2004. [žiūrėta 2013-10-15]. Prieiga per internetą: <http://buffaloah.com/a/archsty/egypt/columns/col.html>
- Interdisciplinarity at work* [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2013-05-10]. Prieiga per internetą: <http://www.thinkthru.info/theoretical-page/about.aspx>
- Kaulakienė A. ir kt. 2007. *Kalbininkų patarimai studentams: teorija ir praktika*. Vilnius: Technika, 149 p.
- Kibert, C. J., Sendzimir, J., Guy, G. B. 2002. *Construction Ecology*, New York: Spon Press.
- Lapinskas, T. 2007. *Architektūrinė bionika – gamta, sustingusi judrioje formoje*. [žiūrėta 2012-11-18]. Prieiga per internetą: http://www.spec.lt/lt/architektura-Architekturine_bionika_gamta_sustingusi_judrioje_formoje
- Lehner, M. 1997. *The Complete Pyramids*, London: Thames and Hudson, 202-225 p.
- Lietuvių kalbos komisijos interneto svetainė* [žiūrėta 2013-01-03]. Interneto prieiga: <http://www.vlkk.lt/>

- Lightweight Structures in Architecture and Nature*. 1983. (IL) Stuttgart: Institute fur Leichte Flachentragwerke.
- Lodato, F. 2001. *Bionics: Nature as a tool for product development*, USA: Cambridge,.
- Lotus Effect* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2013-03-15]. Prieiga per internetą: http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_effect
- Lucian. Jordan. 1982. *Bionics (Technology Inspires from Animals)*, Tehran: Soroush Press.
- Maps.lt* [interaktyvus]. 2010. *Lietuvos žemėlapiai* [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: www.maps.lt
- Markejevaitė L. 1998. *Tektonika architekto Santjago Calatravos darbuose*. Urbanistika ir architektūra, XXII t., nr. 3, p. 100-105.
- Markejevaitė, L. 2002. *Konteksto reikšmė meninės formos tektonikai architektūroje*. Urbanistika ir architektūra, XXVI t., nr. 1. P. 49-58.
- Megalithic Temples of Malta – UNESCO World Heritage Center*. [interaktyvus]. 2009. Prieiga per internetą: whc.unesco.org
- Mercedes-Benz Bionic Vehicle – photos*. 2013. [žiūrėta 2013-02-18]. Prieiga per internetą: <http://www.worldcarfans.com/205060712569/mercedes-benz-bionic-concept-vehicle>
- Notes from Munich* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013-12-14]. Prieiga per internetą: www.brucespringsteen.com
- Otto. F. (with Trostel R. and Schleyer F. K.). 1967, 1969. *Tensile Structures: Design, Structure and Calculation of Buildings, nets and membranes*. Ed. Frei Otto, 2 vols, London: Cambridge, Mass. 171 p.
- Ovalios formos namai – neįprasta, bet ir gražu ir efektyvu?* [interaktyvus]. 2009. [žiūrėta 2013-11-15]. Prieiga per internetą: <http://www.technologijos.lt/n/technologijos/statybos/straipsnis-8077/straipsnis/Ovalios-formos-namai--neiprasta-bet-grazu-ir-efektyvu??l=2&p=1>
- Paranec, V. 1997. *Design pentru lumea reală / Design for real world*, Bucureşti: Tehnică Bucureşti.
- Paukščių lizdas pripažįstamas itin vykusiu sprendimu* [interaktyvus], 2009. [žiūrėta 2014-02-12]. Prieiga per internetą: http://www.spec.lt/lt/Pauksciu_lizdas_pripazistamas_itin_vykusius_sprendimu
- Portoghesi, P. 2000. *Nature and Architecture*, Milan: Skira Publisher.
- Ražaitis, V. 2004. *Pastatų konstravimo pagrindai*, Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla.
- Romei, F. 2008. *Leonardo Da Vinci*. USA: The Oliver Press. 56 p.

- Snakes have bones*. [interaktyvus]. 2011. *Why do...?* [žiūrėta 2013-11-18]. Prieiga per internetą: <http://ngureco.hubpages.com/hub/Why-Do-Snakes-Shed-Their-Skins-Do-Snakes-Have-Eyes-Do-Snakes-Have-Bones-and-Do-Snakes-Have-This-And-That>
- STR 2.05.03:2003. Statybinių konstrukcijų projektavimo pagrindai. Vilnius, 2004.
- STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Vilnius, 2004.
- Talaba, D.; Roche, T. 2004. *Product Engineering: Eco-Design, Technologies and Green Energy*, Dordecht: Published by Springer.
- Tarptautinių žodžių žodynas*, Vilnius: Vyriausioji enciklopedijų redakcija, 1985.
- The Government Architects Office, 2003. Bridge Aesthetics. Design guidelines to improve the appearance of bridges in NSW.
- Vincent, J. F. V.; Bogatyrev, O. A.; Bogatyrev, N. R.; Bowyer, A. & Pahl, A.-K. 2006. *Biomimetics*.
- Vogel, S. 1988. *Life's Devices: The Physical World of Animals and Plants*, Princeton: Princeton University Press.
- What is Biomimetics?* [interaktyvus] 2007. *Reading University* [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.reading.ac.uk/biomimetics/biomimetics%20at%20Reading.pdf>
- Wikipedia* [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/>
- Лебедев, Ю.С. 1983. *Архитектурная бионика*. М.: Стройиздат.
- Лебедев, Ю.С. 1990. *Архитектурная бионика*. М.: Стройиздат.

Pranešimas: Pagrindiniai kriterijai, atspindintys gamtos inspiruotuose statiniuose

Gamtoje nėra formos be funkcionalumo kaip ir funkcionalumo be formos. Šių laikų materialiaame pasaulyje harmonija tarp funkcionalumo ir formos projektuotojams yra viena iš svarbiausių užduočių (Lodato, 2001). Todėl buvo susisteminti ir aptarti penki pagrindiniai ir svarbiausi kriterijai, atspindintys gamtos inspiruotuose statiniuose.

Šiame straipsnyje bus aptariamos esminės gamtos formų savybės – konstruktyvumas, struktūriškumas, medžiagiškumas, funkcionalumas ir ekonomiškumas – jas sąlygojantys veiksniai bei šių elementų įtaka architektūrinei raiškai (Talaba, Roche 2004).

Funkcionalumas (paskirtis)

Milijonus metų trunkanti evoliucija išstobulino gyvuosius organizmus, jų funkcionavimo ir kitimo procesus. Gamtos formos egzistuoja ne statiškai, o dinamiškai. Kiekviena gamtos forma atlieka savo paskirtį (funkciją). Todėl gamtoje forma visų pirma yra funkcionali, jos struktūra yra tvirtai pagrįsta ir neatsitiktinė (Feuerstein 2002). Pavyzdžiui kiekvieno augalo sėklinė sukonstruota taip, kad apsauginis lukštas ją saugotų nuo išorės poveikio. Medžių šakos prie išsišakojimų sustorėja, o lapo gyslelėmis cirkuliuoja jį maitinantys syvai, kurie kartu jas ir ištiesina, taip sutvirtindamos lapo plokštumą (Lodato 2001). Kiti pavyzdžiai – gyvūnų kaulinės struktūros, organai iš tvirtos, spaudimui, lenkimui ir smūgiams atsparios medžiagos. Stuburas, griaučiai – tai svarbi, tvirtą konstruktyvų pagrindą sudaranti paslanki sistema. Tokią sudėtingą paskirtį turi funkcinės kaulų formos, jų sąveika ir pati kauliena, kuri netgi nėra vienalytė. Svarbiausia kaulų savybė – tvirtumas. Jis priklauso nuo medžiagos struktūros ir formos, o formą pirmausia lemia jos paskirtis – funkcija. Todėl sunkiasvorio gyvūno šlaunikaulis labai skiriasi nuo paukščio ar voragyvio šlaunikaulio (Benyus 2003). Struktūrinė kaulų sistema, funkcinė jos įvairovė taip pat priklauso nuo organizmo sandaros, gyvenimo būdo, terpės. Kiekvienas sistemos elementas atlieka tik savo paskirtį, todėl ir jų forma skirtinga, net unikali. Kaulai tarpusavyje įvairiai sąveikauja. Ši sąveika nuolat kinta, nuo jos priklauso judesiai, kurie yra įvairių funkcijų atspindys (Feuerstein 2002).

Konstruktyvumas

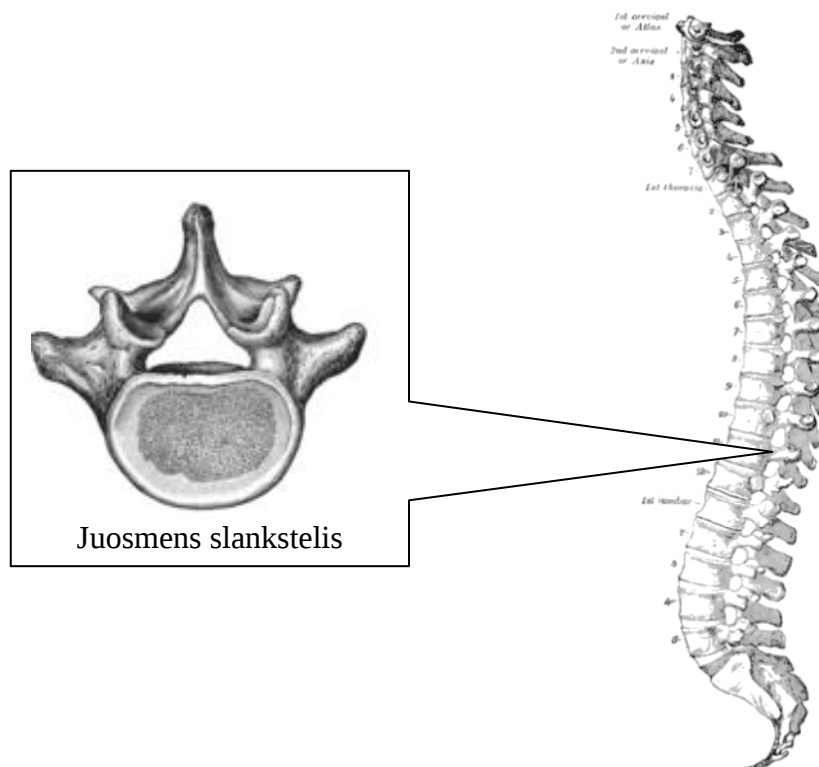
Konstruktyvumas gamtos formoms taip pat yra būtinybė. Konstrukcija – ko nors sudedamoji dalis, tarpusavio ryšys, jungimas (Ražaitis 2008). Statinio konstrukcinė sąranga lemia formos stiprumą, stabilumą ir standumą. Šios trys savybės apibrėžia konstrukcijos ypatumus. Stiprumas apibūdina konstrukcijos gebėjimą pasipriešinti ją veikiančioms apkrovoms, stabilumas nusako jos gebėjimą tamptai deformuotis neviršijant leistinų ribų. Nuo seniausių laikų žmogaus sukurti konstrukciniai dariniai pasižymi stiprumo, stabilumo ir standumo savybėmis. Ilgus amžius buvo kuriami racionalūs ir ekonomiškai konstravimo principai. Susiformavusiose konstrukcinėse sistemose priklausomai nuo pasirinktos konstrukcijos, medžiagos ir statybos technologijos išryškėja skirtingas stiprumo, stabilumo ir standumo įveiksimas: akmeniniai apeigų ir laidojimo statiniai, sieninių konstrukcijų plūkto molio ir rištų nendrių būstai, tentinės, audiniu dengtos palapinės, akmeninės stulpinės-sijinės ir skliautinių konstrukcijų šventyklos, akmeniniai arkiniai ir kabamieji metaliniai tiltai, medinio karkaso ir mūriniai sieninių konstrukcijų pastatai (Markejevaitė 2003). Gamta labai gerai atlieka pati konstrukcinius sprendinius, apskaičiuoja laikančiųjų ir laikomųjų dalių santykius. Akivaizdus gyvosios gamtos analoginiu pavyzdžiu gali būti šiuolaikinių aukštų pastatų ir augalo stiebo struktūrų konstrukcijos. Varpinių augalų stiebai gali išlaikyti didelius svorius ir nelūžti. Jeigu juos lenkia vėjas prie žemės, jie greitai atsistato vertikalioje padėtyje. Stiebo sandaros konstrukcija yra panaši į šiuolaikinių aukštų vamzdžių konstrukciją, kuri yra viena iš reikšmingiausių paskutinių inžinerinių išradimų. Augalų stiebai-žiedai yra standūs ir kieti. Išilgai sienų yra ovalinė vertikali ertmė. Vamzdžių sienelės turi analogišką konstrukcinį sprendimą.). Šiuolaikinę vamzdžio konstrukciją inžinieriai surado patys. Tik po kurio laiko buvo pastebėtas identiškas (žr. 1 pav.) (Vincent 2006).

Kitas pavyzdys – tuščiaviduris šiaudas. Jo svoris nedidelis. Jeigu šiaudą lankstysime įvairiomis kryptimis, pastebėsime, kad vamzdžio forma atspari lenkimui visomis kryptimis. Šiaudo sienelės yra sudarytos iš pluoštų, kurių struktūros atsparios tempimui. Augalo stiebe yra sustorėjimai, kurie vadinami standumo briaunomis. Jos – dar vienas akivaizdus gamtos konstruktyvumo pavyzdys, Gamtoje matomas konstruktyvumo — tvirtumo santykis tarp objekto skersmens storiausioje vietoje ir jo aukščio 1:100 (palmė) arba net 1:400 (kvietys). Statyboje tai neįmanoma (dabar 1:50). Šioje srityje laukiama naujų atradimų (Lodato 2001).cKonstruktyvumas ryškiausiai atsiskleidžia kaulų formose, jų struktūrose. Stuburas - žmogaus ir kitų stuburinių gyvūnų atraminė ašis, sudaryta iš 33 (kartais 34) slankstelių (žr. 2 pav.). Stuburas apsaugo nugaros smegenis ir palaiko galvą. Su juo jungiasi krūtinės ląsta ir dubens kaulai. Gyvūnai turi rutulio formos kaukolę. Dabar jau yra žinoma, kad iškilios formos

atsparesnės spaudimui, negu plokščios. Labiausiai „sutvarkytas“, struktūriškai organizuotas geometrinis kūnas yra sfera - jos apimtis turi mažiausią paviršiaus plotą, lyginant su kitais tokios pat apimties kūnais (Česnys *et al.* 2008). Gamtoje egzistuoja gausybė kitų įvairių formų, briaunų, sudėtingų paviršių. Visos jos tikslingos, pasižyminčios konstruktyvumu.



1 pav. Cinkuoti apvalūs vamzdžiai (kairėje) ir bambuko stiebai (dešinėje) (Cinkuoti..2012)



2 pav. Žmogaus stuburo sandara (Wikipedia 2012)

Struktūriškumas

Akivaizdžiausius formos sandaros tipus mums teikia gamta. Visi jos kūriniai yra vienokios ar kitokios struktūros, kuri galbūt ne visada pastebima. Medžio „konstrukcija“ su jo kamieniu ir šakomis yra atvira ir aiški, o žmogaus skeletą galima tik įsivaizduoti. Struktūra atlieka svarbų vaidmenį kuriant architektūrinę išraišką: ji įkūnija architektūrinę formą. Konstrukcijos veikimas dėsningas, o modeliavimo ir pritaikymo galimybės lemia tam tikri veiksniai. Architektas sugalvotai formai suteikia materialią išraišką ir struktūrą (Lodato 2001). Struktūriškumas – viena esminių gamtos formų ypatybių. Struktūra – objekto sistemos elementų sandara. Struktūros ypatybės lemia objekto formą, kurios sudarymas, kitaip dar vadinamas tektonika (Markejevaitė 2002). Tektonika (arba architektonika) - tai erdvinio meno (architektūros ir dailės) kūrinio struktūros, konstrukcinės ir meninės sandaros darna. Ji grindžiama ne tik jausmais, bet ir logika, ne tik menu, bet ir mokslu. Gamtos inspiruotų formų architektūrinė tektonika pasižymi vientisa elementų sistema ir bendru moduliu. Medžiagos ir jų konstrukcijos daro didelę įtaką architektūrinės formos tektonikai (Adomonis 1994). Joje konstrukcija yra naudojama meniniam tikslui pasiekti: svarbiausi konstrukciniai elementai (sienos, angos, stulpai, kolonos, perdangos) sudaro materialų pastato pavidalą, kuris priklausomai nuo pastato paskirties, vietos ir kompozicinio sumanymo turi vienokį ar kitokį tektonikos pobūdį. Derinant praktinę ir meninę architektūros kompoziciją, konstrukciniai elementai įgyja atitinkamą reikšmę: būna laikantieji, remiantieji, kabantieji, o pagal įspūdį – sunkūs, lengvi arba statiški, dinamiški ar plastiški (Burneika 2002). Aiškiai matoma plastiška struktūra Miunchene esančiame Olimpino stadiono stogo konstrukcijoje (žr. 3 pav.).

Tektonika atspindi konstrukcijų ir medžiagų darbo dėsningumus, vaizdžiai atskleidžia konstrukcijų ir architektūrinių-meninių formų vienybę. Architektas, pasitelkdamas meninių formų išraiškingumą, gali išryškinti konstrukcijų darbą. (Markejevaitė 2002). Vertindami šiuolaikinių tektoninių sistemų panaudojimą architektūroje, kai kurie tyrinėtojai atkreipia dėmesį į tai, kad „reikėtų atsižvelgti ne tiek į medžiagą ir naująją jos savybę – „lengvumą“, kiek į struktūrines savybes“ (Markejevaitė 1998). Architektūrinių formų kūrimui didelės įtakos turi naujų konstrukcinių sistemų struktūrinės savybės: atskirų konstrukcijos dalių jungimo ir jų tarpusavio derinimo ypatumai, tūrinės formos modeliavimo ir erdvių organizavimo galimybės.



3 pav. Olimpinis stadionas Miunchene, Vokietija, 1972 m. (Miunchen...2011)

Medžiagiškumas

Vokiečių architektas, propagavęs modernizmo architektūrą, Walteris Curtas Behrendtas savo publikacijoje „The Victory of the New Style” (1928 m.) išskyrė kelis svarbius „naujosios architektūros” kūrimo aspektus, kurie turėjo reikšmingos įtakos tuometiniams projektavimo principams ir vienas jų buvo naujų medžiagų (metalo, betono, stiklo) atsiradimas, kuris turėjo įtakos tiek konstrukcijų sprendiniams, tiek ir medžiagiškumui architektūroje (Behrendt 1928). Medžiagiškumas labai svarbus gamtos formų inspiruotoje architektūroje. Gamta yra užpildyta su geriausiais medžiagų pavyzdžiais, kurie turi puikias savybes: yra ypatingai tvirti, itin lengvi ar labai stiprūs (Benyus 2004). Tekstūra yra susijusi su medžiagos sandaros ypatybėmis, kurios lemia tiek vidines, tiek paviršines medžiagos charakteristikas. Dėl mažų šėšelių susidarymo ant objekto paviršiaus padeda suvokti formą, taip pat vizualiai sušvelninti, sumažinti stambų mastelį, suteikti įdomumo plokštumai (The Government...2003). Tekstūra – tai medienos rievėtumas, akmenų grūdėtumas ir gyslotumas, stiklo struktūros vientisumas ar sueižėjimas ar pan. (žr. 4 pav.).



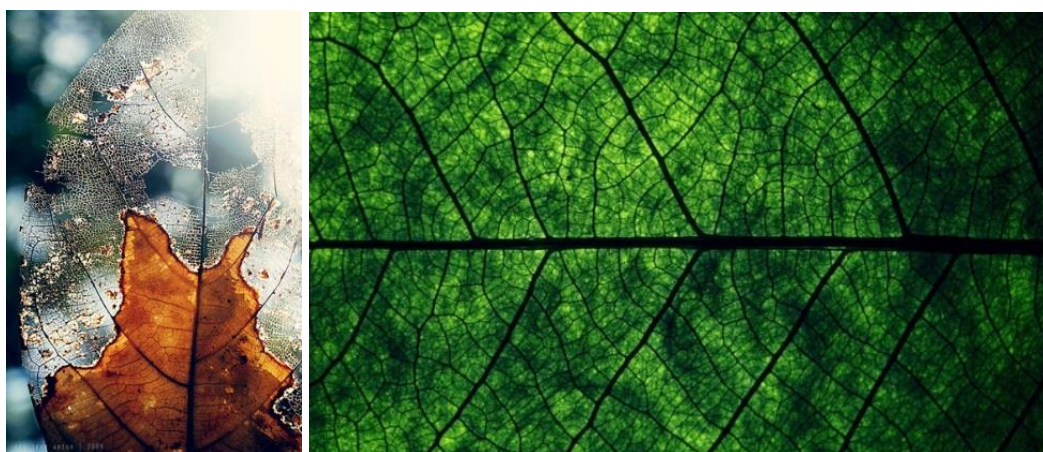
4 pav. Pavo plunksnų tekstūra (kairėje) ir medžio kamieno tekstūra (dešinėje) (Fotopedia 2010)

Kitas medžiagiškumo aspektas tai spalva. Daug spalvų, kurios yra randamos gamtoje yra iš fizinių baltymų struktūros, o ne pigmento. Šie baltymai, kitaip nei pigmentai, nėra tokie toksiški. Jei pasižiūrėtume į drugelio sparną per mikroskopą, mes pamatytume, kad iš tiesų tai yra neįtikėtina struktūra, kuri leidžia atspindėti šviesą ir todėl drugelio sparnas yra neįtikėtinai struktūros ir spalvų, be toksinų ar chemikalų (žr. 6 pav.). Kitas pavyzdys – lapo struktūra (žr. 6 pav.). Joje aiškiai matoma tekstūra, raštas bei spalva. Taip pat reikia paminėti, kad prie natūralaus, gamtai būdingo kolorito ir raštų žmogaus akys yra pripratusios, todėl išorė žmogaus nevargina ir neerzina. Toks statinys lengvai susilieja su gamta, todėl tai suteikia estetinę kokybę ir harmoniją (Berkebile, McLennan 2004).



5 pav. Drugelis (Fotopedia 2010)

Architektūrinė forma ir meninis jos pavidalas yra visada materializuoti medžiagoje, turi tam tikrą konstrukcinę sandarą, todėl visi jos elementai įprasmina statinio paskirtį, nusako jos ryšį su aplinka.



6 pav. Lapo struktūra – aiškiai matoma tekstūra su raštu ir spalva, puiki inspiracija projektavimui (Fotopedia 2010)

Ekonomiškumas

Ekonomiškumas – tai viena ryškiausių, esminių ir būtinų gyvosios gamtos savybių. Gyvoji gamta labai taupiai ir racionaliai naudoja medžiagas. Vienu atveju minimaliu medžiagų kiekiu užpildo erdves, tūrius, kitu – išlaiko įvairius apkrovimus, tempimą. Pavyzdžiui, voratinkliu voras apjuosia didelę erdvę: voratinklis yra plonas, bet tvirtas, jo plonos sausgyslės išlaiko didžiulį tempimą (Feuerstein 2002) (žr. 64 pav.) Dar vienas pavyzdys - tai bičių korys. Tūkstančius metų mąstytojai stebėjosi tobula bičių korio sandara. Kiekviena korio akelė yra tobulo šešiakampio formos, o jos šešios plonytės vaškinės sienelės ne vien suteikia tvirtumo korio struktūrai, bet ir yra išmaniausias būdas medui laikyti (žr. 7 pav.). „Dėl kažkokios geometrinės nuovokos ... (bitės) žino, kad šešiakampės akelės yra geriau negu stačiakampės arba trikampės, ir kad jose telpa daugiau medaus, sunaudojant tiek pat statybinės medžiagos“, - rašė IV mūsų eros šimtmečio graikų geometras Papas (Pappus) (Bitės...2013). Regeneraciją taip pat galima laikyti taupumu. Pavyzdžiui, mūsų kūnai yra sudaryti iš ląstelių, kurių gyvenimo trukmė gerokai trumpesnė už žmogaus gyvenimą. Nugyvenusios savo laiką ląstelės dalijasi palikdamos savo kloną ir suyra.



7 pav. Voratinklio tinklas (kairėje) ir bičių korys (dešinėje) (Fotopedia 2010)

Peržvelgę visus šiuos principus, matome, kad architektūra ir dizainas gamtoje yra tobuli ir optimalūs. Tai reiškia, kad architektūriniai elementai, tokie kaip forma, funkcija, struktūra, konstrukcija, medžiaga bei ekonomika yra stipriai susiję ir yra neatskiriami vienas nuo kito.

STAAD.PRO CODE CHECKING - EN 1993-1-1:2005

NATIONAL ANNEX - NOT USED

PROGRAM CODE REVISION V1.9 BS_EC3_2005/1

STAAD SPACE

-- PAGE NO. 4

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE FX	RESULT/ MY	CRITICAL COND/ MZ	RATIO/ LOCATION	LOADING/
--------	-------------	---------------	----------------------	--------------------	----------

=====

==

2 ST	TUB80804	(EUROPEAN SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.854	2	
	183.86 C	0.00	-1.54	1.35	
7 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.070	2	
	4.99 T	0.00	-0.23	0.00	
8 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.059	2	
	3.90 C	0.00	-0.08	0.00	
15 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.055	2	
	3.33 T	0.00	0.18	0.00	
20 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.066	2	
	4.58 C	0.00	-0.06	0.00	
21 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.3 (T)	0.020	2	
	3.76 T	0.00	0.05	0.00	
41 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.082	2	
	1.09 T	0.00	-0.26	0.00	
43 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			

	PASS	EC-6.3.3-662	0.069	2
45 ST	5.32 C	0.00	-0.03	0.00
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.3 (T)	0.017	2
47 ST	3.25 T	0.00	0.05	0.00
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.061	2
49 ST	4.79 C	0.00	-0.03	0.00
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.9.1	0.015	2
STAAD SPACE	2.50 T	0.00	0.05	1.54
				-- PAGE NO. 5

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/	CRITICAL COND/	RATIO/	LOADING/
	FX	MY	MZ	LOCATION	

=====

==

51 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.047	2
53 ST	4.03 C	0.00	-0.04	0.00
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.9.1	0.026	2
54 ST	2.18 T	0.00	0.08	1.31
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.062	2
57 ST	4.64 C	0.00	-0.10	0.00
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.060	2
60 ST	0.69 C	0.00	0.18	1.05
	TUB80804	(EUROPEAN SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.854	2
65 ST	183.86 C	0.00	-1.54	1.35
	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.9.1	0.070	2

66 ST	4.99 T	0.00	-0.23	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.059	2	
73 ST	3.90 C	0.00	-0.08	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.055	2	
78 ST	3.33 T	0.00	0.18	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.066	2	
79 ST	4.58 C	0.00	-0.06	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.3 (T)	0.020	2	
99 ST	3.76 T	0.00	0.05	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.082	2	
STAAD SPACE	1.09 T	0.00	-0.26	0.00	
				-- PAGE NO.	6

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE FX	RESULT/ MY	CRITICAL COND/ MZ	RATIO/ LOCATION	LOADING/
--------	-------------	---------------	----------------------	--------------------	----------

=====

==

101 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.069	2	
103 ST	5.32 C	0.00	-0.03	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.3 (T)	0.017	2	
105 ST	3.25 T	0.00	0.05	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.061	2	
107 ST	4.79 C	0.00	-0.03	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.015	2	

109 ST	2.50 T	0.00	0.05	1.54	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.047	2	
111 ST	4.03 C	0.00	-0.04	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.2.9.1	0.026	2	
112 ST	2.18 T	0.00	0.08	1.31	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.062	2	
115 ST	4.64 C	0.00	-0.10	0.00	
	TUB20203	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.060	2	
116 ST	0.69 C	0.00	0.18	1.05	
	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.715	2	
117 ST	174.30 C	0.00	-3.76	2.51	
	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.691	2	
118 ST	178.66 C	0.00	3.57	0.00	
	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.644	2	
STAAD SPACE	172.87 C	0.00	3.01	0.00	
				-- PAGE NO.	7

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/	CRITICAL COND/	RATIO/	LOADING/
	FX	MY	MZ	LOCATION	

=====

==

119 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.628	2	
120 ST	169.68 C	0.00	2.95	0.00	
	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.616	2	
	168.00 C	0.00	2.84	0.00	

121 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.609	2	
	165.46 C	0.00	-2.87	2.02	
122 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-661	0.639	2	
	167.69 C	0.00	-2.97	1.17	
123 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-661	0.639	2	
	167.69 C	0.00	-2.97	0.83	
124 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.609	2	
	165.46 C	0.00	2.87	0.00	
125 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.616	2	
	168.00 C	0.00	-2.84	2.06	
126 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.628	2	
	169.68 C	0.00	-2.95	2.12	
127 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.644	2	
	172.87 C	0.00	-3.01	2.20	
128 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.691	2	
	178.66 C	0.00	-3.57	2.33	
129 ST	TUB40403	(AISC SECTIONS)			
	PASS	EC-6.3.3-662	0.715	2	
	174.30 C	0.00	3.76	0.00	
STAAD SPACE					-- PAGE NO. 8

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/	CRITICAL COND/	RATIO/	LOADING/
	FX	MY	MZ LOCATION		

=====

==

130 ST TUB20203 (AISC SECTIONS)

	PASS	EC-6.3.3-662	0.333	2
29.32 C		0.00	0.14	2.16
131 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.241	2
21.65 C		0.00	-0.09	0.00
132 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.181	2
16.79 C		0.00	-0.04	0.00
133 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.125	2
11.77 C		0.00	-0.02	0.00
134 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.080	2
7.34 C		0.00	-0.02	0.00
135 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.041	2
3.37 C		0.00	0.02	2.16
136 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.9.1	0.026	2
1.76 T		0.00	0.08	2.16
137 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.2.9.1	0.026	2
1.76 T		0.00	-0.08	0.00
138 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.041	2
3.37 C		0.00	-0.02	0.00
139 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.080	2
7.34 C		0.00	0.02	2.16
140 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.125	2
11.77 C		0.00	0.02	2.16
STAAD SPACE				-- PAGE NO. 9

ALL UNITS ARE - KN METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER TABLE RESULT/ CRITICAL COND/ RATIO/ LOADING/

	FX	MY	MZ	LOCATION
--	----	----	----	----------

=====

==

141 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.181	2
	16.79 C	0.00	0.04	2.16
142 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.241	2
	21.65 C	0.00	0.09	2.16
143 ST	TUB20203	(AISC SECTIONS)		
	PASS	EC-6.3.3-662	0.333	2
	29.32 C	0.00	-0.14	0.00

***** END OF TABULATED RESULT OF DESIGN *****