



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

ARCHITEKTŪROS INŽINERIJOS KATEDRA

Inga Makuškaitė

**KUPOLO KAIP KONSTRUKCINIO STRUKTŪROS ELEMENTO
NAUDOJIMAS PASTATUOSE IR RYŠIO SU JŲ ARCHITEKTŪROS
IŠRAIŠKA TYRIMAI**

**RESEARCH OF DOME AS CONSTRUCTIONAL STRUCTURE'S
ELEMENT USAGE IN BUILDINGS AND RELATION WITH THEIR
ARCHITECTURAL EXPRESSION**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos studijų programa, valstybinis kodas 62402T108

Architektūros inžinerijos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

ARCHITEKTŪROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Josifas Parasonis

(Vardas, pavardė)

(Data)

Inga Makuškaitė

**KUPOLO KAIP KONSTRUKCINIO STRUKTŪROS ELEMENTO
NAUDOJIMAS PASTATUOSE IR RYŠIO SU JŲ ARCHITEKTŪROS
IŠRAIŠKA TYRIMAI**

**RESEARCH OF DOME AS CONSTRUCTIONAL STRUCTURE'S
ELEMENT USAGE IN BUILDINGS AND RELATION WITH THEIR
ARCHITECTURAL EXPRESSION**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos studijų programa, valstybinis kodas 62402T108

Architektūros inžinerijos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
ARCHITEKTŪROS INŽINERIJOS KATEDRA

Technologijos mokslai.....mokslo sritis

.....mokslo kryptis

Statybos inžinerija.....studijų kryptis

Statyba.....studijų programa, valstybinis kodas 62402T108

Architektūros inžinerija.....specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Josifas Parasonis

(Vardas, pavardė)

2011 05 09

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

20110505.....Nr.

Vilnius

Studentas (ei) *INGA MAKUŠKAITE*
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *KUPOLO KAIP KONSTRUKCINIO STRUKTŪROS ELEMENTO NAUDO-*
JIMAS PASTATUOSE IR RUSIO SU JU, ARCHITEKTŪROS IŠRAIŠKA TYPINAI
patvirtinta 2010 m. spalio mėn. 26 d. dekanų potvarkiu Nr. 528 st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2011m. gegužės mėn. 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

SUFORMULUOTI IR APIBRĖŽTI DARBO TIKSLUS IR UŽDAVINIUS, NUMATYTI METODUS
IŠKELTIEMS UŽDAVINIAMS PASIEKTI. SURINKTI LITERATŪROS PAGRINDŲ ANALIZUOTI KUPOLĄ
KAIP KONSTRUKCINĮ STRUKTŪROS ELEMENTĄ, JO RAIDĄ IR NAUDOJIMO TENDENCIJAS
ISTORINIO BĖGYJE. ATSKLEISTI KUPOLO KONSTRUKCIJŲ VYSTYMŲ TENDENCIJŲ, ITAKĄ
ARCHITEKTŪRAI IR JOS STILIŲ VYSTYMŲSI. ATLIKTOS ANALIZĖS PAGRINDŲ IŠRINKTI KUPOLO
KONSTRUKCIJOS PANAUDOJIMO GALIMYBES ŠIUOLAIKINIAME PASTATE, ATLIKTI SKIRTINGŲ
KONSTRUKCIJŲ, KUPOLŲ LYGINAMĄJĄ ANALIZĘ, PATEIKTI TYRIMO MEDŽIAGĄ PAGRINDINIS
IŠVADAS

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

[Parašas]
(Parašas)

DOC. JUOZAPAS ŠIPALIS

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

[Parašas]
(Parašas)

INGA MAKUŠKAITE

(Vardas, pavardė)

2011 05 10

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Statybos fakultetas

Architektūros inžinerijos katedra

ISBN

ISSN

Egz.sk. 1

Data

2011-05-18

Architektūros inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas Kupolo kaip konstrukcinio struktūros elemento naudojimas pastatuose ir ryšio su jų architektūros išraiška tyrimai

Kalba

☒ X lietuvių

☐ užsienio

Anotacija

Baigiamojo magistro darbo uždaviniai – išanalizuoti kupolą kaip konstrukcinę sistemą, atlikti kupolo konstrukcijos raidos analizę, pateikti kupolinių konstrukcijų schemas, įvertinti kupolo statybai pritaikytą naują konstrukcinį elementą - konstrukcinį, architektūriniu požiūriu, pateikti būdingiausių statinių pavyzdžius bei kupolo denginio formavimo principines schemas, įvertinti medžiagos įtaką kupolo konstrukcijai, pritaikyti kupolo konstrukciją Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijoje, atlikti lyginamąją esamos konstrukcijos ir kupolo denginio analizę.

Konkrečių statinių ir literatūros apie juos analizės būdu išsiaiškinti kupolo konstrukcijos veikimo principai bei kupolo kaip konstrukcinės struktūros elemento raida – konstrukcinį, architektūriniu požiūriu apimant laikotarpį nuo priešistorinių laikų iki XIX – XX a.

Išanalizavus kupolo architektūrines pritaikymo galimybes ir konstrukcinius sprendinius pateiktas projektinis pasiūlymas, vietoje esamos Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės denginio įrengti kupolą. Nagrinėti du kupolo tipai: gelžbetoninis ir metalinis žiedinis, atlikti inžineriniai skaičiavimai su programa STAAD. Pro bei sąmatos skaičiavimai su programa SISTELA. Lyginamosios denginių analizės būdu nustatyta, kad visus - standumo, stabilumo, ekonomiškumo bei estetiškumo parametrus tenkina metalinis žiedinis kupolas.

Darbą sudaro: įvadas, penki pagrindiniai skyriai, išvados, literatūros sąrašas bei priedai.

Darbo apimtis – 98 psl. teksto be priedų, 82 iliustr., 33 lent., 31 bibliografinių šaltinių, 9 priedai.

Prasminiai žodžiai: kupolas, gelžbetoninis kupolas, metalinis žiedinis kupolas, konstrukcinė sistema, konstrukcinės struktūros elementas, lyginamoji analizė.

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Architektūros inžinerijos katedra

ISBN
Egz.sk. 1
Data 2011-05-18

Construction Engineering study programme magister thesis

Research of dome as constructional structure's element usage in buildings and relation with their architectural expression

Kalba

☐ lietuvių
☒ užsienio

Annotation

The main task of master's thesis is to analyse dome as structural system, to analyse development of dome structure, to represent schemes of dome constructions, to rate new fitted element- in a view of constructive and architectural point, to represent archetypal examples of buildings and principal schemes of dome covering formation, to rate influence of material for dome constructions, to adapt construction of dome for Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gymnasium, to perform comparative analysis of present construction and dome.

To ascertain principles of dome construction and chronological development of dome from prehistoric time till XIX – XX a. using examples of specific buildings and literature.

Designed version of replacing roof construction to dome for Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gymnasium is represented. Analysis of two types of dome: reinforced concrete and metallic circular were researched, engineering calculations were carry out with program Staad. Pro and estimation calculations were carry out with program Sistela. Method of comparative analyses showed that metallic circular dome supplies better parameters of stiffness, stability, economy and aesthetics.

Thesis consists of introduction, five main chapters, conclusions, list of information and supplements.

Work size – 98 p. of text without appendixes, 82 pictures, 33 tables, 31 source of literature, 9 supplements.

Keywords: Dome, reinforced concrete dome, metal ring dome, structural system, constructive element of the structure, comparative analysis.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
ĮVADAS	11
1. TYRIMO METODOLOGIJA.....	12
2. KUPOLAS KAIP KONSTRUKCINIS STRUKTŪROS ELEMENTAS IR JO FORMAVIMO PRINCIPAI.....	13
2.1. KUPOLO DENGINIO GEOMETRIJOS FORMAVIMAS.....	14
2.1.1 KUPOLO DENGINIO GEOMETRIJOS FORMŲ ĮVAIROVĖ	16
2.1.2 KUPOLO DENGINIO KONSTRUKCIJOS VEIKIMO PRINCIPAI:.....	17
3. KUPOLO KAIP KONSTRUKCINIO STRUKTŪROS ELEMENTO RAIDĄ.....	18
3.1. KUPOLINIŲ KONSTRUKCIJŲ IŠTAKOS	18
3.2. ROMĖNŲ ARCHITEKTŪRA.....	19
3.3. BIZANTIJOS ARCHITEKTŪRA	22
3.4. GOTIKOS ARCHITEKTŪRA	25
3.5. RENESANSO ARCHITEKTŪRA.....	27
3.6. BAROKO ARCHITEKTŪRA.....	30
3.7. KLASICIZMO ARCHITEKTŪRA.....	33
3.8. KLASICIZMO ARCHITEKTŪRA LIETUVOJE	35
3.9. IŠVADOS	38
4. XIX – XX a. KUPOLO DENGINIO FORMAVIMAS: KONSTRUKCIJOS MEDŽIAGOS IR FORMOS SINTEZĖ	40
4.1. GELŽBETONINIAI - MONOLITINIAI KUPOLAI	40
4.2. METALINIAI KUPOLAI.....	44
4.3. MEDINIAI KUPOLAI	49
4.4. GEODEZINIAI (TINKLINIAI) KUPOLAI	54
4.5 IŠVADOS	59
5. KUPOLO KONSTRUKCIJOS PRITAIKYMAS ŠALČININKŲ LIETUVOS TŪKSTANTMEČIO GIMNAZIJOS AKTŲ SALĖJE	62
5.1. ESAMOS ERDVINĖS SANTVAROS ĮVERTINIMAS KONSTRUKCINIŲ IR ARCHITEKTŪRINIŲ POŽIŪRIAIS.....	62
5.2. KUPOLO KONSTRUKCIJOS PRITAIKYMAS	76
5.3. LYGINAMOJI DENGINIO KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ	90
5.4. IŠVADOS	94
IŠVADOS.....	95
LITERATŪRA	97
PRIEDAI	

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. Pagrindiniai sukimosi paviršiai (Ražaitis 2004)i.	14
2.2 pav. Slinkimo būdu formuojami laisvosios formos paviršiai (Ražaitis 2004)	14
2.3 pav. Sudėtinės kevalinės konstrukcijos (Ražaitis 2004)	15
2.4 pav. Kupolo denginio geometrinių formų įvairovė (Рюле 1973)	16
2.5 pav. Kupolo konstrukcijos veikimo principinės schemos (Francis 1996).....	17
3.1 pav. Pirmųjų kupolų formavimas (Andriūšytė 2007).....	18
3.2 pav. Kupolo formavimas iš akmenų ar plytų (Andriūšytė 2007).....	18
3.3 pav. Romos Panteonas 120-124 m. e. m. (Capodiferro 2007)	20
3.4 pav Sferinis kupolas (Andriūšytė 2007)	21
3.5pav. Romos Panteonas 120-124 m. e. m (Capodiferro 2007)	21
3.6 pav. Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje 532-537m. (Parkyn 2005)	23
3.7 pav. Kupolas su burėmis (Morimer 1999).....	24
3.8 pav. Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje 532-537m. (Parkyn 2005)	24
3.9 pav. Šartro katedra, 1220m. (Field 2001)	25
3.10 pav. Kontraforsų ir arkbutanų sistema (Lukošytė - Tolvaišienė 2008)	26
3.11 pav. Šartro katedra (Field 2001)	26
3.12 pav. Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra (Capodiferro 2007)	28
3.13 pav. Kupolas pakeltas ant būgno (Francis 1996)	29
3.14 pav. Kupolo kiautai (Francis 1996)	29
3.15 pav. Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra (Capodiferro 2007).....	29
3.16 pav. Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (Parkyn 2005).....	31
3.17 pav. Kupolo denginio formavimas (Parkyn 2005)	32
3.18 pav. Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (Parkyn 2005).....	32
3.19 pav. Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Field 2001).....	33
3.20 pav. Kupolo denginio formavimas (Parkyn 2005)	34
3.21 pav. Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Field 2001).....	34
3.22 pav. Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834.m (Sudervė, Lietuva).....	36
3.23 pav. Sudervės bažnyčios planas ir fasadas (Lietuvos architektūros istorija II, 1994)	37
3.24pav. Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834 m (Sudervė, Lietuva).....	37
4.1 pav. Gelžbetoninių – monolitinių kupolų konstrukcinių technologijų vystymasis	42
4.2 pav. Meridianinės ir žiedinės jėgos sferiniame kevale (Ražaitis 2004)	43
4.3 pav. Vidinių jėgų pasiskirstymas kupole (Ražaitis 2004)	43
4.4 pav. Prancūzų komedijos teatro Paryžiuje denginio konstrukcijos (1786m) (Kvedaras 1977).....	45
4.5 pav. Isakijaus soboro metalinis kupolas,1840 m. (Kvedaras 1977)	45
4.6 pav. Briaunoto kupolo schema (Kvedaras 1977).....	46
4.7 pav. Briaunoto kupolo, apkrauto vertikalia apkrova, skaičiavimo schema (Kvedaras 1977).	46
4.8 pav. Vėjo apkrovos pasiskirstymas ant kupolo (Kvedaras 1977).....	47

4.9 pav. Briaunoto žiedinio kupolo schema (Kvedaras 1977)	47
4.10 pav. Briaunoto žiedinio kupolo skaičiuojamoji schema (Kvedaras 1977)	48
4.11 pav. Plonasienis kupolas (Valentinavičius 2000)	51
4.12 pav. Briaunotas kupolas (Valentinavičius 2000)	53
4.13 pav. Strypiniai kupolai (Ražaitis 2004)	54
4.14 pav. Geodezinio kupolo formavimas (Ražaitis 2004)	54
4.15 pav. Aliuminio kupolas, perdengiantis 165m skersmens angą (Ražaitis 2004)	55
4.16 pav. Skaidraus kupolo bendras vaizdas ir mazgo konstrukcija (Ražaitis 2004)	56
4.17 pav. „Kaizer“ sistemos kupolas iš rombo formos šampuotų aliuminio elementų (Ražaitis 2004)	56
4.18 pav. Teatro pastato denginys iš „Temcor“ kupolo sistemos šešiakampio formos šampuotų aliuminio elementų (Ražaitis 2004)	56
4.19 pav. Tinklinių kupolų schemas ir tinklelio mazgai (Valentinavičius 2000)	57
4.20 pav. Tinklinio suglausto kupolo pjūvio bei plano schemas ir kreivinių atrėmimo į mūrлотį sprendimai (Valentinavičius 2000)	58
5.1 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos schema (Archiforma 1998)	62
5.2 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazija (Archiforma 1998)	63
5.3 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salė (Archiforma 1998)	63
5.4 pav. Aktų salės denginio bendras vaizdas.	64
5.5 pav. Aktų salės denginio planas	64
5.5 pav. Aktų salės denginio konstrukcinis mazgas	65
5.6 pav. Denginio savasis svoris.	66
5.7 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-3 dalis)	67
5.8 pav. Sniego apkrova į santvaros viršutines juostas	68
5.9 pav. Lietuvos vėjo apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-4 dalis)	69
5.10 pav. Plokščiojo stogo schema (Eurokodas 1 1-4 dalis)	71
5.12 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas Staad programa I var.	73
5.13 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas Staad programa II var.	74
5.14 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės pjūvis	76
5.15 pav. Gelžbetoninio kupolo bendras vaizdas	76
5.16 pav. Gelžbetoninio kupolo vaizdas plane	77
5.17 pav. Gelžbetoninio kupolo schema (kiauto storis kintamas 20cm -4cm)	77
5.18 pav. Kupolo savasis svoris	77
5.19 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-3 dalis)	78
5.20 pav. Sniego apkrovos formos koeficiento nustatymas (Eurokodas 1 1-3 dalis)	79
5.21 pav. Kupolo sniego apkrovos formos koeficiento nustatymas	80
5.22 pav. Sniego apkrova kupolo konstrukcijai I variantas.	80
5.23 pav. Sniego apkrova kupolo konstrukcijai II variantas.	80
5.24 pav. Lietuvos vėjo apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-4 dalis)	81

5.25 pav. Apskritųjų kupolų rekomenduojamos $c_{pe,10}$ išorinio slėgio koeficientų reikšmės (Eurokodas 1 1-4 dalis)	85
5.26 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas kupolo arkoms	86
5.27 pav. Vėjo apkrovų išdėstymo schema	86
5.28 pav. Metalinio žiedinio kupolo bendras vaizdas	88
5.29 pav. Metalinio žiedinio kupolo vaizdas plane	88
5.30 pav. Metalinio žiedinio kupolo schema	88
5.31 pav. Kupolo savasis svoris	89

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė. Kupolo konstrukcija Romėnų architektūroje	21
3.2 lentelė. Kupolo konstrukcija Bizantijos architektūroje	24
3.3 lentelė. Kupolo konstrukcija Gotikos architektūroje	26
3.4 lentelė. Kupolo konstrukcija Renesanso architektūroje	29
3.5 lentelė. Kupolo konstrukcija Baroko architektūroje	32
3.6 lentelė. Kupolo konstrukcija Klasicizmo architektūroje	34
3.7 lentelė. Kupolo konstrukcija Lietuvos klasicizmo architektūroje	37
4.1 lentelė. Gelžbetoninių – monolitinių kupolų konstrukcinių formų vystymasis (Рюле, 1973)	40
4.2 lentelė. Metalinių kupolų vystymasis	44
4.3 lentelė. Medinių kupolų vystymasis (Valentinavičius 2000)	49
5.1 lentelė. Rekomenduojamos c_e reikšmės (Eurokodas 1 1-3 dalis)	67
5.2 lentelė. Svarbiausios pagrindinės vėjo greičio reikšmės $v_{b,0}$ (Eurokodas 1 1-4 dalis)	68
5.3 lentelė. Vietovės kategorijos ir vietovės parametrai (Eurokodas 1 1-4 dalis)	69
5.4 lentelė. Plokščiųjų stogų išorinio slėgio koeficientai (Eurokodas 1 1-4 dalis)	72
5.5 lentelė. Skaičiuojamos apkrovos	74
5.6 lentelė. Apkrovų deriniai	74
5.7 lentelė. 22m erdvinės santvaros kiekių žiniaraštis	75
5.8 lentelė. Rekomenduojamos c_e reikšmės (Eurokodas 1 1-3 dalis)	79
5.9 lentelė. Svarbiausios pagrindinio vėjo greičio reikšmės $v_{b,0}$ (Eurokodas 1 1-4 dalis)	81
5.10 lentelė. Vietovės kategorijos ir vietovės parametrai (Eurokodas 1 1-4 dalis)	82
5.11 lentelė. Skaičiuojamos apkrovos	86
5.12 lentelė. Apkrovų deriniai	87
5.13 lentelė. Gelžbetoninio kupolo kiekių žiniaraštis	87
5.14 lentelė. Metalinio žiedinio kupolo kiekių žiniaraštis	89
5.15 lentelė. Maksimali atraminė reakcija ir maksimalus mazgo poslinkis	90
5.16 lentelė. Aktų salės stogo konstrukcijos sąmata	90
5.17 lentelė. Maksimali atraminė reakcija ir maksimalus mazgo poslinkis	91
5.18 lentelė. Gelžbetoninio kupolo konstrukcijos sąmata	91
5.19 lentelė. Maksimali atraminė reakcija ir maksimalus mazgo poslinkis	92

5.20 lentelė. <i>Metalinio žiedinio kupolo konstrukcijos sąmata</i>	92
5.21 lentelė. <i>Maksimalios atraminės reakcijos</i>	93
5.22 lentelė. <i>Maksimalios atraminės reakcijos</i>	93
5.23 lentelė. <i>Stogo konstrukcijų sąmatos</i>	93

IVADAS

Pastatų stogų konstrukcijos kito evoliucionuojant perdengimo būdams, kurie savo ruožtu priklausė nuo statybinių medžiagų raidos. Senovės Graikijoje taikyta statramstinė – sijinė konstrukcija, Romoje atsirado arka, skliautas, kupolas. Gotikoje – konstruota dviejų tipų karkasinė sistema – fachverkas. XIX a. atrastos metalo, gelžbetonio konstrukcijos, XX a. – kabančios, pripučiamos konstrukcijos, klostės, kevalai. Atrasti nauji konstrukcijų formavimo būdai.

Vykstant konstrukcijų raidai susiformavo šios konstrukcinės sistemos:

1. Ramstinė – sijinė ir jos išraiška – orderinė sistema;
2. Sienų konstrukcija;
3. Arkų, skliautų ir kupolų konstrukcijos;
4. Fachverko konstrukcija;
5. Modernių konstrukcijų sistemos;

Baigiamojo magistro darbo objektas - kupolas kaip konstrukcinės struktūros elementas.

Baigiamąjį darbą sudaro dvi dalys kupolo kaip konstrukcijos analizė ir kupolo konstrukcijos pritaikymas šiuolaikiniame pastate.

Magistro darbe nagrinėjamas kupolas, nes jo kaip konstrukcinės struktūros elemento darbas skiriasi nuo kitų plonasienių erdvinių konstrukcijų. Kupolas beveik visuose taškuose yra gniuždomas - dėl šios priežasties tai yra viena racionaliausių bei ekonomiškiausių erdvinių konstrukcijų.

Darbo tikslas – aptarti kupolo kaip konstrukcinės struktūros elemento raidą, ištirti architektūrines pritaikymo galimybes ir konstrukcinius sprendinius.

Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti kupolą kaip konstrukcinę sistemą bei jo veikimo principus.
- Atlikti kupolo konstrukcijos raidos analizę. Pateikti kupolinių konstrukcijų schemas. Įvertinti kupolo statybai pritaikytą naują konstrukcinį elementą - konstrukciniu, architektūriniu požiūriu. Pateikti būdingiausių statinių pavyzdžius.
- Pateikti kupolo denginio formavimo principines schemas. Įvertinti medžiagos įtaką kupolo konstrukcijai.
- Pritaikyti kupolo konstrukciją Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijoje. Atlikti lyginamąją esamos konstrukcijos ir kupolo denginio analizę.
- Suformuoti baigiamojo darbo išvadas.

1. TYRIMO METODOLOGIJA

Magistrinio darbo tyrimas susideda iš kelių esminių etapų:

Pirmas etapas: tikslų, uždavinių išsikėlimas, medžiagos rinkimas.

Antras etapas: surinktos medžiagos sisteminimas.

Trečias etapas: remiantis surinkta medžiaga bei pasitelkiant savo žinias ieškomi atsakymai į užsiduotus tikslus bei uždavinius.

Ketvirtas etapas: darbo apibendrinimas ir išvados.

Magistriniame darbe taikomi šie analizės metodai:

- aprašomasis metodas;
- lyginamasis metodas;
- analitinis metodas;
- projektavimo metodas.

Naudojami įvairūs literatūros šaltiniai: knygos (enciklopedijos, terminų žodynai, žinynai), žurnalai, straipsniai, projektai, internetinės prieigos.

2. KUPOLAS KAIP KONSTRUKCINIS STRUKTŪROS ELEMENTAS IR JO FORMAVIMO PRINCIPAI

Kupolas kaip perdengimo sistema atsirado iškilus poreikiui be tarpinių atramų perdengti dideles erdves ir atsiradus statybinėms technologijoms, galinčioms iškilusias problemas išspręsti. Ne be pagrindo ši konstrukcija, užsimezgusi ankstyvosiose Mesopotamijos civilizacijų vystymosi stadijose, išstobulėjo Romos imperijos laikais, kai reikėjo išreikšti imperijos didybę ir turtingumą. Pirmasis ryškus, iki šių dienų išlikęs statinys yra Romos Panteonas, kuris laikomas bene gražiausiu romėnų pastatu. Ši apskrita šventykla pastatyta dar 118 – 128 m. po Kr. Vėlesniais laikais ši konstrukcija vainikavo bažnyčių pastatus, tuo pabrėždama jų apoteozę. Panaudota ši konstrukcija ir svarbiuose visuomeniniuose pastatuose – Kongreso rūmuose Vašingtone, Reichstago pastate Berlyne, taip pat civiliniuose pastatuose, kuriems reikėjo didelių erdvių be tarpinių atramų: konferencijų salėse, sporto arenose, rūmuose, ir t.t.

Sekant kupolo kaip konstrukcijos raida erdvės ir laiko požiūriu, pastebima jo formos ir struktūros kaita, kuri lėmė statinių, kuriuose jie panaudoti, estetinę išraišką ir architektūrines formas.

Analizuojant literatūrą ir konkrečių statinių pavyzdžius išsiaiškinta, kad kupolai būna pusrutulio (sferinis, plokščiasis), elipsės, parabolės (išstėstasis), aštraus lanko, svogūno (svogūninis) formos, gali būti dvigubi. Kupolas dengia kvadrato, daugiakampio, apskrito plano erdves, kai kada bokšto viršūnę. Jei statinio planas apskritas, kupolas remiasi į sienas – tiesiogiai arba per *būgną*¹, kai patalpa kvadratinė – iškeliamas ant *burio*². Atramoms perduodamos vertikalios gniuždymo ir horizontalios skėtimo jėgos. Kupolu dengta erdvė apšviečiama per būgno langus, *liukarnas*³ arba viršūnės žibintą. Formuojami kupolai iš įvairių medžiagų, dengiami dažniausiai metalo skarda. Kupolinių konstrukcijų pritaikymo sfera – tai ne tik sakraliniai pastatai, bet ir rezidencijos, teatrai, parodų salės, sporto rūmai.

¹ *Būgnas* – cilindro formos konstrukcinis elementas, ant kurio pakeliamas kupolas. Būgno pavidalo konstrukcijoje įrengiami langai, dienos šviesai patekti.

² *Burė* – konstrukcinis kupolinės perdangos elementas: išpūstos trikampės burės pavidalo skliauto išpjova. Sudaro perėjimą nuo apskrito skerspjūvio kupolo prie kvadratinio plano patalpos erdvės. Perduoda kupolo svorį arkoms ir stulpams.

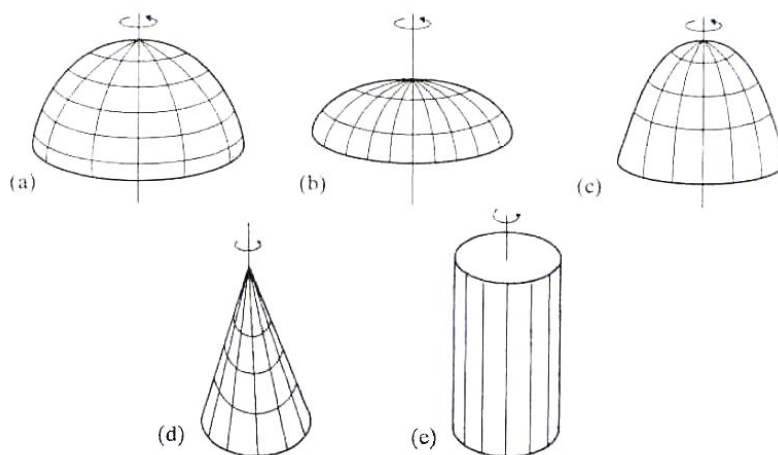
³ *Liukarna* – nedidelis puošnus stogo langas su apvadais. Jo anga apskrita, ovali, rečiau – stačiakampė.

2.1. KUPOLO DENGINIO GEOMETRIJOS FORMAVIMAS

Standžios viengubo ir dvigubo kreivumo erdvinės konstrukcijos

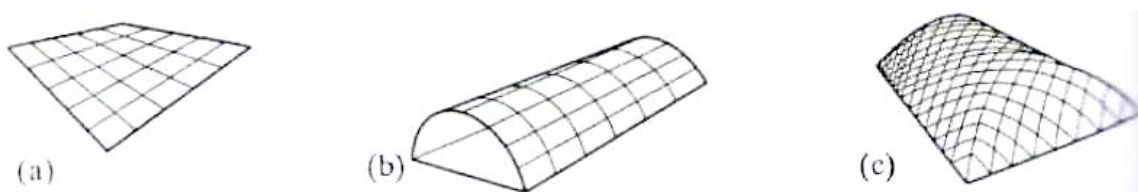
Šių konstrukcijų grupę sudaro trimatės strypinės ir plonasienės kevalinės konstrukcijos, skirtos perdengti didelėms angoms be papildomų atramų. Konstrukcijos vidurinis paviršius formuojamas:

1) sukanč kreivę arba tiesę apie ašį, esančią toje pačioje plokštumoje kaip ir sudaromoji, kad būtų gauti dvigubo kreivumo teigiamieji Gauso paviršiai (žr. 2.1 pav).



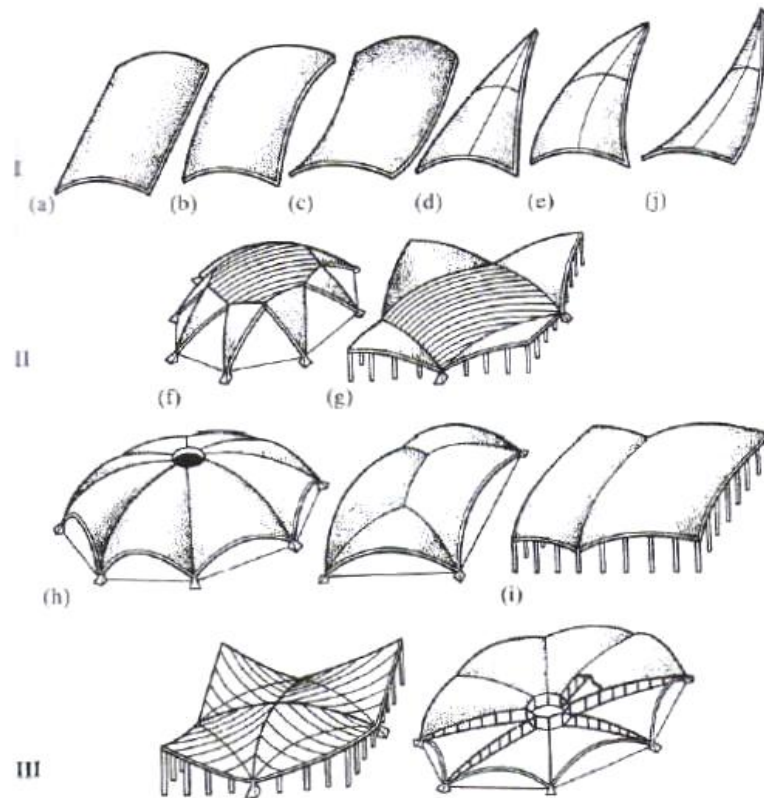
2.1 pav. Pagrindiniai sukimosi paviršiai: a - sferinis; b – elipsinis; c – parabolinis; d – kūginis; e – cilindrinis
(Ražaitis 2004)

2) slinkimo būdu – slenkant plokščią sudaromąją kreivę arba laužytą liniją statmeną jai kreive arba tiese (žr. 3.2 pav).



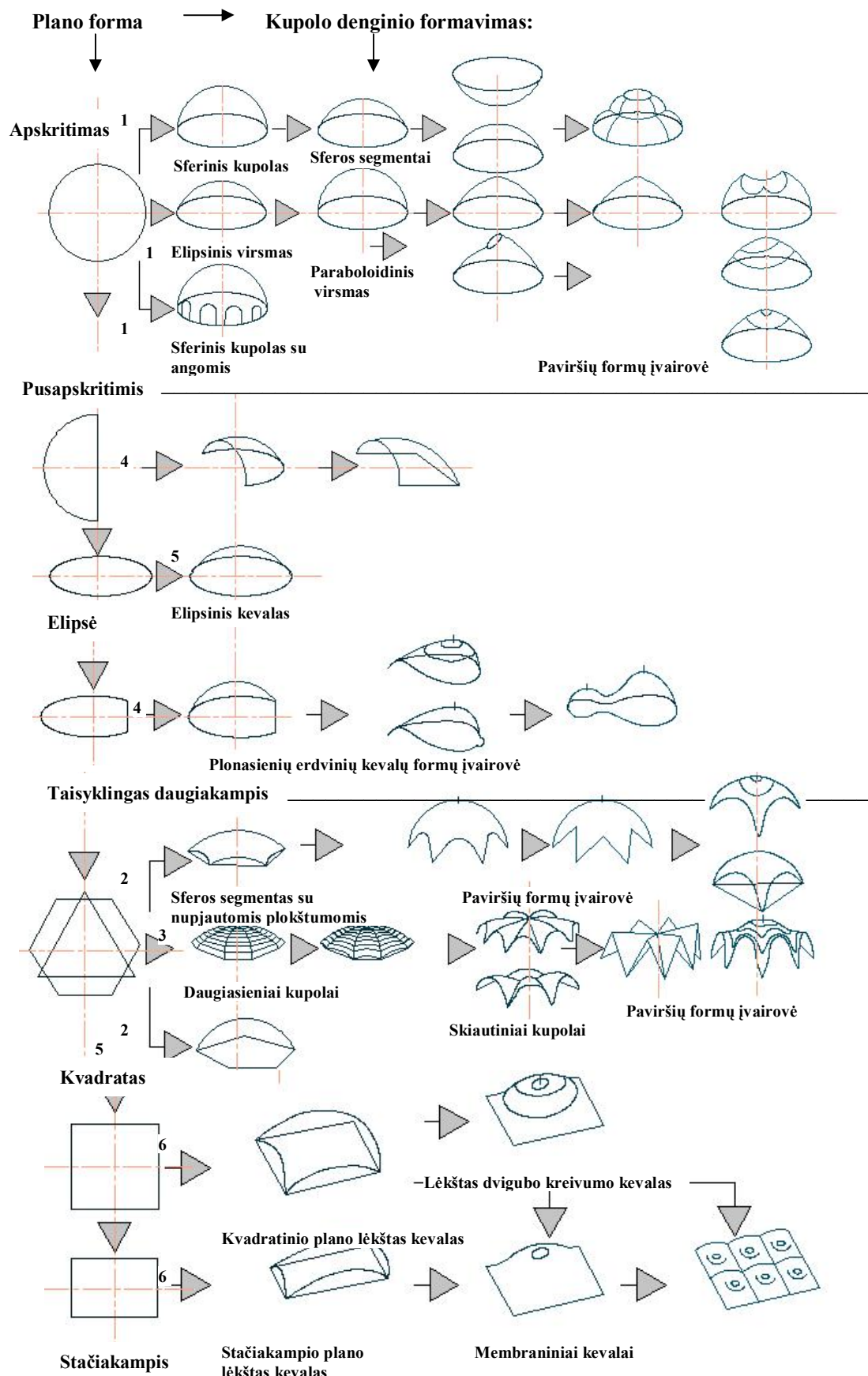
2.2 pav. Slinkimo būdu formuojami laisvosios formos paviršiai: a – parabolinis hiperboloidas; b – cilindrinis; c – laisvos formos (Ražaitis 2004)

3) sudėtinės trimatės konstrukcijos paviršius, formuojamas standžiasias kevalines konstrukcijas sujungus į vieną konstrukcinę sistemą (žr. 2.3 pav).



2.3 pav. Sudėtinės kevalinės konstrukcijos: I – kevalo sudėtinės dalys; II – kupolo formos sudėtiniai kevalai; III – sudėtiniai kabamieji kevalai; a, d – nulinio; b, c – teigiamo, c, f – neigiamo Gauso kreivumo (Ražaitis 2004)

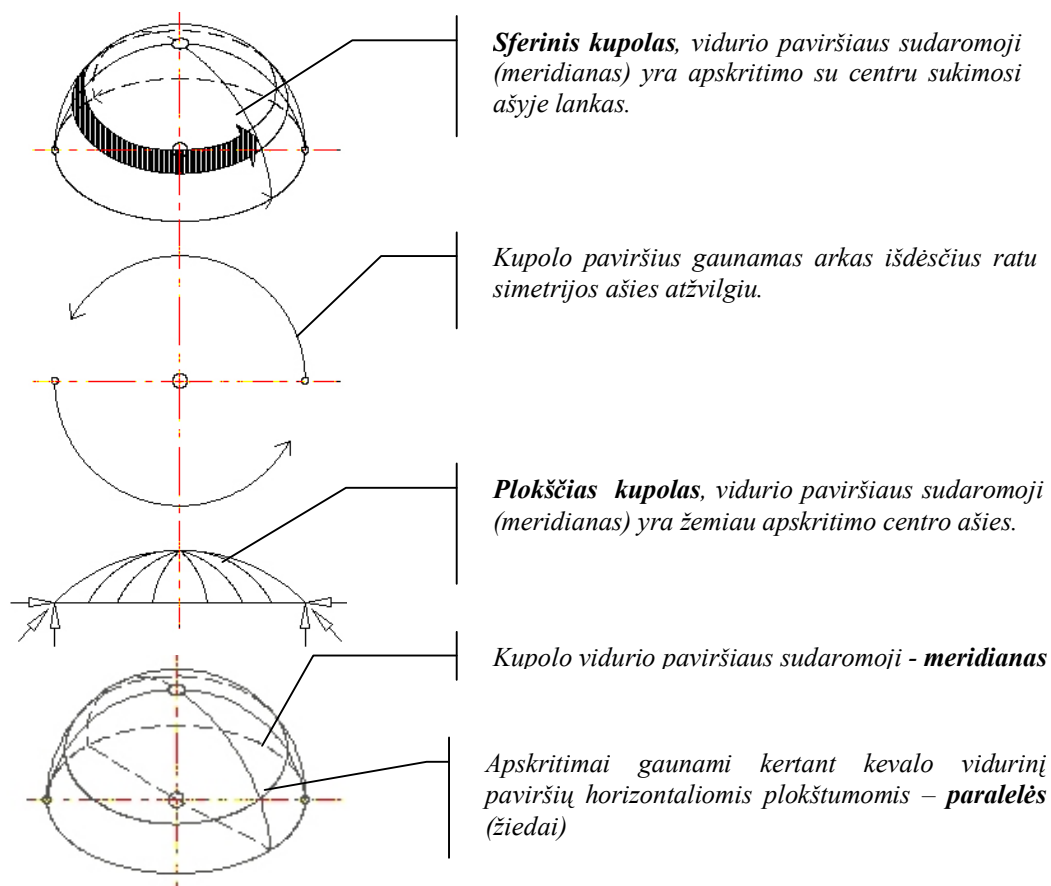
2.1.1 KUPOLO DENGINIO GEOMETRIJOS FORMŲ ĮVAIROVĖ



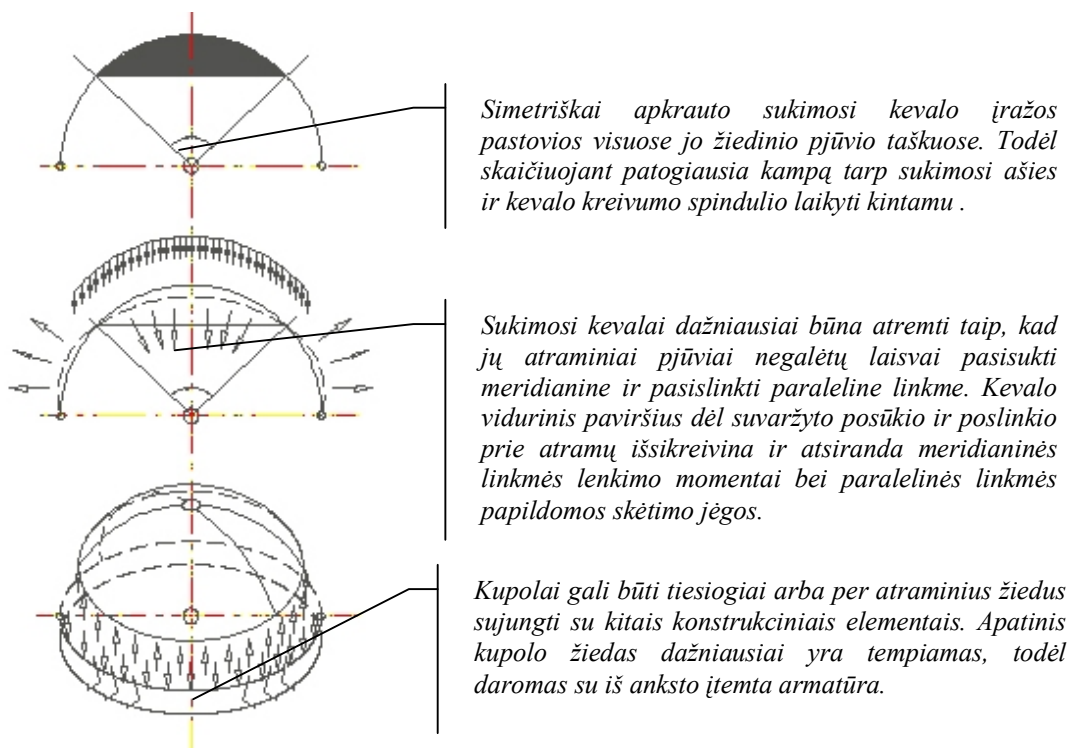
2.4 pav. Kupolo denginio geometrinių formų įvairovė (Рюле 1973)

2.1.2 KUPOLO DENGINIO KONSTRUKCIJOS VEIKIMO PRINCIPAI:

Kupolo formavimo principai:



Kupolo konstrukcijos veikimo principai:



2.5 pav. Kupolo konstrukcijos veikimo principinės schemos (Francis 1996)

3. KUPOLO KAIP KONSTRUKCINIO STRUKTŪROS ELEMENTO RAIDA

Kaip minėta 2 skyriuje, kupolas kaip denginio konstrukcija buvo naudojamas nuo seniausių laikų. Jo panaudojimo užmojų reikšminguose pastatuose sąlygojo gebėjimas perdengti dideles erdves, medžiagų sąnaudų ekonomiškumas, taip pat stabilumas įvairiose geofizinėse sąlygose. Dėl šių savybių kupolo, kaip konstrukcijos, panaudojimas išplito visuose geografiniuose regionuose, neaplenkdamas ir Lietuvos.

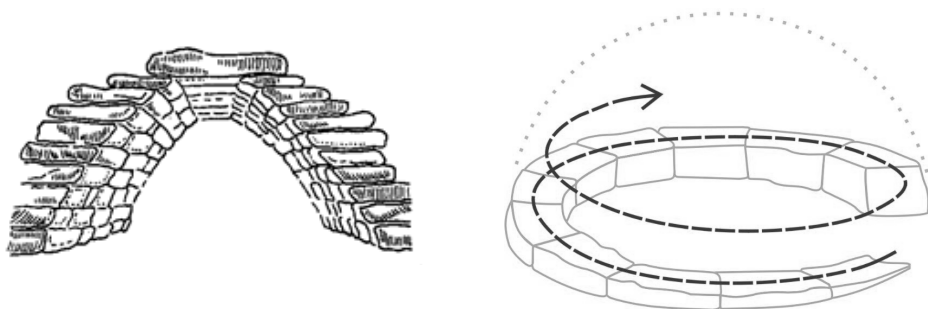
3.1. KUPOLINIŲ KONSTRUKCIJŲ IŠTAKOS

Kupolinių statinių ištakos aptinkamos jau priešistoriniais laikais - tai iš liaunų karčių statytos pirmąsios trobelės (žr. 3.1 pav).



3.1 pav. Pirmųjų kupolų formavimas (Andriušytė 2007)

Netikrasis (paslėptasis) kupolas (žr. 3.2 pav.) – tai išgaubto kiauto denginys: akmenų ar plytų vainikai dedami vieni ant kitų taip, kad į viršų siaurėtų. Išorinis ir vidinis paviršius laiptuotas. Perduoda tik vertikalios gniuždymo jėgas. Naudotas Mesopotamijoje, Kretos – Mikėnų statiniuose. Ant asirų (*Asirija–šiaurinė Mesopotamijos dalis su sostine Ninevija. Galingiausia ir labiausiai žinoma Naujoji Asirijos karalystė 911-612 m. pr. m. e.) bareljefų*⁴ galima pamatyti profiliu pavaizduotus pusiau apvalius arba elipsinius kupolus.



3.2 pav. Kupolo formavimas iš akmenų ar plytų (Andriušytė 2007)

⁴ *Bareljefas* - iškilus skulptūrinis vaizdas arba ornamentas plokštumoje.

3.2. ROMĖNŲ ARCHITEKTŪRA (Va. pr. Kr. - V a.)

Romos Panteonas 120-124 m. e. m.

Dinamiškas Romos imperijos politinis ir ekonominis vystymasis sudarė sąlygas nuosekliai architektūros raidai, o tai leido tobulinti statybos techniką ir technologiją. Nors *orderius*⁵ pasiskolinę iš graikų architektūros, romėnai atrado ir naujų išraiškos formų, kaip įvairūs pastatų tipai, jų erdvinis sudėtingumas, visoje imperijoje įdiegtas suderintas miestų planavimas. Tikrosios arkos, anksčiau naudotos etruskų architektūroje, konstrukcinės galimybės buvo logiškai pritaikytos romėnų statinių skliautuose ir kupuluose. Šie struktūros tobulinimai įgalino naujų architektūros formų, pranokstančių graikų stulpo ir sijos (antablemento) konstrukcijos rėmus atsiradimą. Kupolinė betono karkaso konstrukcija panaudota Panteone (žr. 3.3 ir 3.5 pav), viename išpūdingiausių išlikusių imperijos laikotarpio pastatų Romoje. Unikalus pastatas išsaugotas, nes naudotas ir vėliau sekusiais krikščionybės laikais. Stulbinantis 43,4 m skersmens kupolas nebuvo pralenktas iki XIX amžiaus.

Romos Panteoną 27 m. pr. Kr. Pradėjo statyti Augusto konsulas Agripa – tai užrašyta portiko pavidalo fasado frize, tačiau pagrindiniai ir baigiamieji darbai buvo atlikti 120-124m. jau valdant imperatoriui Adrianai. Šešiolika *oktostilo*⁶ tipo portiko kolonų yra korintinės, *fustai*⁷ be *kaneliūrų*⁸, kapiteliai iš marmuro, antablementas, nelabai gilus frontonas – visa tai priminė graikų šventyklą. Tačiau statinys turi ir radikalią naujovę – apskrito plano pastatą dengia kupolas. Taigi Panteonas yra beveik 44 m. skersmens apskrito plano šventykla, neturinti analogo senovės architektūroje – tikslaus apskritimo plano vidinė erdvė uždengta kupolu, suprojektuotu pagal *termų*⁹ kupolų koncepciją (kupolas visu kontūru remiasi į sieną), tik šioji turi 8 metrų skersmens angą viršuje; visa tai priderinta prie naujo konteksto – siekio sukurti religinį mikrokosmosą. Panteonas yra į dangų atvertas skliautas, per kurį saulės spinduliai patenka į visų dievybių šventyklą – tai kosminė metafora, išreikšta kupolo skliauto ilduboje spindinčiomis bronzinėmis žvaigždėmis. Kupolo būgno siena yra 6 metrų storio, tačiau, kad vizualiai atrodytų lengvesnė, joje padarytos aštuonios nišos, pakaitomis stačiakampės ir pusapvalės, vienoje jų yra įėjimo durys, priekinė tuščia, o likusios apgaubia korintines dvigubas kolonas ir *piliastras*¹⁰.

⁵ **Orderis** – architektūros konstrukcija, kurios visos dalys susietos modulių sistema ir pasižymi proporcijų ir dekoru vientisumu. Orderių kompozicija pagrįsta trijų dalių principu: stereobatas, kolona, antablementas (kiekviena jų irgi tridale). Būdinga vertikalų ir horizontalių elementų harmonija. Dorėniškasis, jonėniškasis, korintiškasis orderiai suformuoti graikų, toskaniškasis ir kompozicinis – romėnų.

⁶ **Oktostilas** - sen. graikų šventykla su 8 kolonomis pagrindiniame fasade.

⁷ **Fustas** - archit. vertikalioji kolonos dalis, liemu.

⁸ **Kaneliūra** - kolonos arba pilastro liemens išilginis griovelis.

⁹ **Terma** - romėniška pirtis garsiausia iš visų senovinių pirčių variantų. Jos plačiai garsino Romos imperiją ir pasižymėjo puikiais architektūriniais bei technologiniais pasiekimais, o taip pat specifine savo kultūra.

¹⁰ **Piliastras** - konstrukcinis arba dekoratyvinis architektūros elementas; kolonos arba stulpo pavidalo vertikalus sienos kyšulys; Piliastrais skaidomos arba stiprinamos sienos.

Taigi siena neatrodo nei masyvi, nei ištisinė - ją suskaido aštuoni milžiniški *pilioriai*¹¹, kuriuose susilieja dvejopos jungtys: vizualios nišos ir konstrukcinės plytų arkos. Yra ir krūvio skirstomųjų arkų (kupolo *kesonai*¹²): jos įterptos į kupolo gaubtą ir palengvina jo svorį (žr. 3.4 pav); taip pastate nuostabiai suderinti išradingi konstrukcijų sprendiniai ir dekoratyvinis piešinys, o visa kartu naujoviškai įkūnija religinę idėją.

Portikas – sudaro platus trikampis akmeninis frontonas, paremtas aštuoniomis laisvai išdėstytomis kolonomis.

Anga – kupolo viršuje aštuonių metrų skersmens anga.

Žiedai – kupolo išorę puošia septynios žiedinės pakopos.



3.3 pav. Romos Panteonas 120-124 m. e. m. (wikipedia... 2011)

¹¹ **Piliorius** - keturkampė arba daugiakampė atrama, stulpas; kaip ir kolona kai kada turi bazę, kapitėlį; remia perdangą, paramines arkas ir skliautus, skaido erdvę.

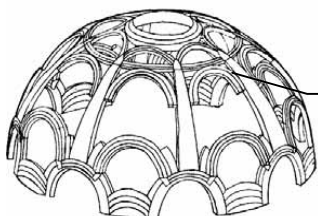
¹² **Kesonai** – kvadrato, daugiakampio, rečiau apskritimo ar ovalo įdubos kupolo paviršiuje. Kesonai sustiprina perdangą, pagerina akustiką, puošia. Konstrukciniai kesonai daromi iš medžio, akmenų, dekoratyviniai – tinko.

Kupolo konstrukcija Romėnų architektūroje (žr. 3.1 lentelę)

Apibendrinant šį kupolo konstrukcijos vystymosi etapą galima daryti išvadas, kad Romos imperijos laikotarpis (I-V a.) pasižymėjo architektūros ir technikos pasiekimais: tiesti keliai, statyti tiltai, akvedukai, visuomeniniai pastatai (termos, cirkai, amfiteatrai), imta taikyti naujas statybines medžiagas bei konstrukcijas. Svarbiausias ir lemiamas atradimas – į betonavimą panaši liejamos statybos technika, naudota nuo II a. pr. Kr. pab., kuri lėmė kupolinių konstrukcijų vystymąsi.

3.1 lentelė. Kupolo konstrukcija Romėnų architektūroje.

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.2	Romėnų architektūra <i>(Va. pr. Kr. - V a.)</i>	Sferinis kupolas. Jo svoris išdėstomas visu perimetru vienodai.	Pradėti naudoti kesonai – formuoja kupolo vidinį paviršių, konstrukcijai teikia lengvumo įspūdį.



Kesonai – kvadrato, daugiakampio, rečiau apskritimo ar ovalo įdubos kupolo paviršiuje. Kesonai sustiprina perdangą, pagerina akustiką, puošia. Konstrukciniai kesonai daromi iš medžio, akmens, dekoratyviniai – tinko.

3.4 pav Sferinis kupolas (Andriušytė 2007)



3.5 pav. Romos Panteonas 120-124 m. e. m
(wikipedia... 2011)

Romos Panteonas 120-124 m. e. m.

- pusrutulio formos kupolo skersmens – 43.4 m.
- didžiausias kada nors sumūrytas plytų kupolas.
- vidinis kupolo paviršius suskirstytas į penkias dalis – smailėjančiais kesonais⁶ (kiekvienoje eilėje po 28).
- lango lubose angos skersmuo - apie 8 m.
- kupolo išorę puošia septynios žiedinės pakopos.

3.3. BIZANTIJOS ARCHITEKTŪRA (Va. – XVI a.)

Konstantinopolis, kaip Romos imperijos rytinės dalies sostinė, perėmė ir tęsė statybos ir architektūros tradicijas.

Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje 532 - 537m. (Stambulas, Turkija)

Šv. Sofijos šventovė (žr. 3.6 ir 3.8 pav) - vienas didžiausių kupolu dengtų pastatų pasaulyje. Iš išorinio silueto galime susidaryti įspūdį apie milžinišką vidinę erdvę, kurią dengia 31m skersmens kupolas. Šv. Sofijos šventovė buvo pastatyta ir išdailinta vos per šešerius metus (532 – 537 m.). Jos didingumas ir konstrukcijos išmoningumas neparemia prielaidos, kad ankstyvoji krikščioniškoji architektūra viduramžių pradžioje išgyveno nuosmukį.

Antemijui ir Izidoriui Justiniano nurodymu buvo pavesta pastatyti beprecedentę šventovę, kuri tikėtų ir įprastinėms Bizantijos liturginėms apeigoms, ir valstybiniais ceremonialams bei iškilmėms. Architektai projektavo taip detaliai, kad marmurines grindis padalijo į juostas (upes), - tai turėjo padėti bažnyčios dvasininkams atlikti apeigas. Nors ši architektūra funkcionali, bet kartu ji teikė tikintiesiems gaubiančios šviesos ir erdvės potyrį, ypač po didžiuoju kupolu, kuris greitai Bizantijos teologinėje egzegezėje pradėtas suprasti kaip dangaus simbolis.

Kupolo statybos technika paslėpta nuo žmonių akių. Lankytojams matomas centrinis kupolas ir *kontraforsais*¹³ paremti puskupoliai rytuose ir vakaruose. Matomos marmurinės kolonados (išklotos spalvotu marmuru iš įvairių Viduramžio jūros kraštų skaldyklų) ir gysloto marmuro dangos (dažnai sudėtos viena priešais kitą taip, kad jų simetriškas gyslotumas keltų mintį apie akmenyje slypinčias paslaptingas formas), taip pat giliai išraižyti marmuriniai kapiteliai, skliautų šlaitai bei karnizai. Tačiau vargu ar žmonės pastebi klintį arba žaliąjį vietinį granitą, plytas, kalkių skiedinį, švino ir geležies sankabas, laikančiuosius ir remiančiuosius konstrukcijos elementus po visa šia apdaila; galbūt nepastebi tarp kolonų ir skliautų įstatytų medinių inkarinių sijų, kurios padeda stabilizuoti konstrukcijoje veikiančius slėgius.

Justiniano bažnyčia buvo ne karta rekonstruota. 558 m. įgriuvus kupolui, jis buvo perstatytas ir tapo maždaug septyniais metrais aukštesnis; tą darbą atliko Izidorius Jaunesnysis. Kupolui jis suteikė dabartinę formą ir atrėmė pavojaingą pirmojo, žemesniojo kupolo skėtimą. Tikėtina, kad po 869 metų žemės drebėjimo buvo perstatyti šiaurinis ir pietinis navos *timpanai*¹⁴, o po 989 metų žemės drebėjimo, vadovaujant armėnų architektui Tradui, atstatyta pagrindinė vakarų arka, puskupolis ir kupolo dalys. 1317 metais pristatyti šiaurinis ir rytinis kontraforsai, o po 1346 metų žemės drebėjimo perstatyta rytų arka, puskupolis ir kupolo dalys.

1453 m. Konstantinopolį užgrobė turkai Osmanai, jų kariuomenė per pačias mišias įsiveržė į šventovę – tai buvo paskutinės mišios, laikytos šioje bažnyčioje. Šv. Sofijos šventovė buvo

¹³ **Kontraforsas** – konstrukcinis pastato elementas, iš sienos išsikišusi vertikali atrama. Ji sutvirtina sieną, atremia skliauto skėtimą jėgą.

¹⁴ **Timpanas** - pusapvalė arba trikampė įduba virš portalo, durų, lango.

paversta mečete, prie jos pristatyti keturi minaretai bei kiti musulmoniški priedai: *apsidės*¹⁵ apatinėje dalyje buvo įrengtas *mihrabas*¹⁶, orientuotas Mekos link, dešinėje pastatytas *minbaras*¹⁷, o kairėje sultono ložė; ant atraminių stulpų pakabinti didžiuliai skydai su arabiškais užrašais.

Šv. Sofijos šventovės architektūrą išpūdingai nukopijavo ir išplėtojo architektas Sinanas, projektuodamas Suleimano Puikiojo mečetę. Paskutinius svarbesnius remonto darbus 1847 – 1849 metais puikiai atliko šveicarų architektai Gaspere ir Giuseppe Fossati: jie sutvirtino pastatą ir atnaujino apdailą. 1931 metais šis statinys tapo muziejumi.

Minaretai - 1453m. Konstantinopolį užgrobė turkai Osmanai. Šv. Sofijos šventovė buvo paversta mečete, prie jos pristatyti keturi minaretai.

Centrinis kupolas – jį remia rytinis ir vakarinis pusrutuliniai kupolai, visi kartu jie formuoja pagrindinę navą.

Profilis – 558m. įgriuvus kupolui, jis buvo perstatytas su aukštesniu profiliu ir tapo maždaug septyniais metrais aukštesnis.

Ramstinė arka – per atramas tiesiogiai į žemę perkelia pagrindinių kupolų krūvį.

Timpano sieną – teoriškai nelaiko jokio svorio ir gali būti maksimaliai panaudota langams įrengti.



3.6 pav. Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje 532-537m. (hagiasophia...2011)

¹⁵ **Apsidė** – [lankas, skliautas]: archit. išsikišusi pusapvalė arba daugiakampė kulto pastato (ir jo vidaus) dalis, dengta puskupoliu arba pusskliaučiu.

¹⁶ **Mihrabas** - niša nurodanti besimeldžiantiems kryptį į Meką.

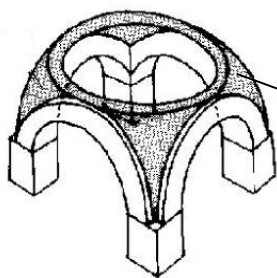
¹⁷ **Minbaras** – mečetėje esanti tribūna, iš kurios imamas sako pamokslą.

Kupolo konstrukcija Bizantijos architektūroje (žr. 3.2 lentelę)

Apibendrinant šį skyrių galima teigti, kad Bizantijoje susiformavo kupolinė bažnyčia - graikiškojo kryžiaus plano, su centre iškeltu kupolu. Visos graikiškojo kryžiaus kraštinės yra lygios. Nuo VI a. pradėtos statyti ir stačiakampės lotyniškojo kryžiaus plano kupolinės bazilikos. Pereiti nuo apatinės kvadratinės pastato dalies į aukštesnę apskritą arba daugiakampio plano dalį buvo naudojami *trompai*¹⁸ ir burės (žr. 3.7 pav). Ši konstrukcija paplito Bizantijoje, viduramžių architektūroje Azijoje ir Europoje.

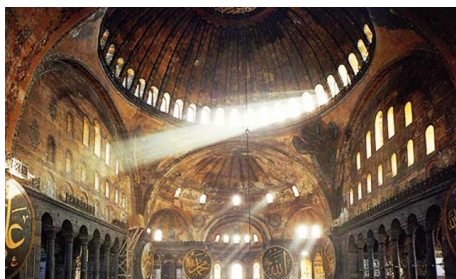
3.2 lentelė. Kupolo konstrukcija Bizantijos architektūroje

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.3	Bizantijos architektūra (Va. – XVI a.)	Kupolas su burėmis. Jo svoris remiasi į keturis tvirtus, kampuose išdėstytus, tarpusavyje sujungtus arkomis, stulpus.	Dėl burių konstrukcijos galima pereiti nuo apskritos dengiamos erdvės prie keturkampės.



Burė – konstrukcinis kupolinės perdangos elementas: išpūstos trikampės burės pavidalo skliauto išpjova. Sudaro perėjimą nuo apskrito skerspjūvio kupolo prie kvadratinio plano patalpos erdvės. Perduoda kupolo svorį arkoms ir stulpams.

3.7 pav. Kupolas su burėmis (Morimer 1999)



3.8 pav. Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje
532-537m. (hagiasophia...2011)

Šv. Sofijos šventovė Konstantinopolyje 532-537m

- kupolo skersmuo – 31 m., kupolo aukštis – 62 m.
- burės perduoda jėgas nuo kupolo į didžiausias arkas, skersinės skėtimo jėgas mažina kontraforsai, o išilginės jėgos perduodamos puskupoliams.
- medžiagos: akmuo, plytos, skiedinys, švino ir geležies sankabos.
- tarp kolonų ir skliautų įstatytos medinės inkarinės sijos, padedančios stabilizuoti konstrukcijoje veikiančius slėgius.

¹⁸ **Trompai** – tai trikampės skliautinės nišos pavidalo konstrukcijos, kurių forma yra kūgio dalis, užimanti jo pusę arba ketvirtį. Kartais trompai yra atraminės kampinių kupolų, erkerių konstrukcijos.

3.4. GOTIKOS ARCHITEKTŪRA (XII a.–XVI a.)

Gotika architektūroje žymi išsilaisvinimo iš masyvumo konstrukcijose pradžia, todėl kupolas kaip denginio konstrukcija praranda savo pozicijas.

Šartro katedra, 1220m (Paryžius, Prancūzija)

Šartro katedra (žr. 3.9 ir 3.11 pav) yra geriausiai išsilaikiusi iš pagrindinių II de Franco, Paryžių supančios istorinės srities katedrų, kurios drauge pradėjo Europoje gotikos stilių. Kiekviena katedra originali, tačiau visos kartu suformavo stilių, kuris laikėsi ištisą šimtmetį ir paplito po visą krikščionių pasaulį. Tai buvo sistema, pagrįsta ne masyvaus mūro tvirtumu, o jame veikiančių jėgų pusiausvyra. Gotiškoji smaili arka, pakeitusi romaninio stiliaus apvaliąją, reiškė, kad įvairaus pločio arkos gali pakilti iki to paties aukščio: akmeninio skliauto svorį dabar buvo galima koncentruoti į tam tikrus taškus, užuot paskirsčius išilgai sienos; tai leido erdvėje tarp taškų daryti vis didesnius langus, o gniuždymo jėgas per *arkbutanus*¹⁹ (žr. 10 pav) nukreipti žemyn į pastato išorę, suteikiant visam statiniui lengvumo, dinamiškumo įspūdį, kurio anksčiau nepavykdavo pasiekti.

Šartro katedra statyta pagal tradicinį lotyniškojo kryžiaus planą, su nava, *tranceptais*²⁰ ir choru, kurie susieina kryžmoje. Choras baigiasi apside su koncentriškai išdėstytomis koplyčiomis. Vidaus profilis triaukštis: plačiaskliautė cilindrinė atramų arkada, kurių kolonos išdėstytos keturiomis pagrindinėmis kryptimis, o viduje kyla iki pat viršutinio skliauto; virš jos siauras *triforijus*²¹ su penkiomis mažomis arkomis kiekviename tarpsnyje; ir giliai į skliautus įsiterpanti viršutinė langų eilė (klestorius) su akmens ažūru. Klestorius neįprastai nusileidžia žemyn iki skliautų pagrindo. Iš devynių Šartroi planuotų bokštų buvo pastatyti tik du.

Nors daugeliu atvejų Šartro katedra yra tipiškas ankstyvosios gotikos statinys, nepaprasta tai, kad joje išliko visos skulptūros ir kas dar labiau išskirtina visi vitražai. Todėl, viską įvertinus, Šartro katedra laikoma vienu žymiausių pasaulio architektūros šedevrų.



Arkbutanas – išorinė atraminė pusarkė, perkeltanti skliauto skėtimo jėgas į apatinius ramsčius (kontraforsus).

Kontraforsas – konstrukcinis pastato elementas, iš sienos išsikišusi vertikali atrama. Ji sutvirtina sieną, atremia skliauto skėtimo jėgą.

Klestorius – viršutinių langų eilė, neįprastai nusileidžia žemyn iki skliautų pagrindo.

Bokštai – iš devynių Šartroi planuotų bokštų buvo pastatyti tik du.

3.9 pav. Šartro katedra, 1220m. (greatbuildings...2011)

¹⁹ **Arkbutānas** – išorinė atraminė pusarkė, perkeltanti skliauto skėtimo jėgas į apatinius ramsčius (kontraforsus).

²⁰ **Tranceptas** – skersinė bažnyčios nava, statmenai kertanti išilginę navą prieš pat presbiteriją.

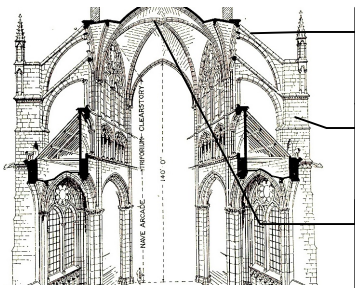
²¹ **Trifora** – trilypės arkos formos anga, perskirta kolonomis arba stulpeliais.

Kupolo konstrukcija Gotikos architektūroje (žr. 3.3 lentelę.)

Kupolinėms konstrukcijoms skiriama mažai dėmesio, tobulinama skliautų sistema. Pagrindiniai gotikinės architektūros bruožai: pastatai ypatingai aukšti, dominuoja vertikalios linijos, pabrėžiančios kilimą į dangų, smailios arkos, gausu bokštelių. Bažnyčios dažniausiai trinarės arba penkianarės, su gerokai aukštesne už šonines centrine nava.

3.3 lentelė. Kupolo konstrukcija Gotikos architektūroje

	Laikotarpis	Skliautų konstrukcija	Architektūra
3.4	Gotikos architektūra (XII a. – XVI a.)	<i>Siekiant palengvinti pagrindinio pastato tūrio konstrukciją, naudojami kontraforsai, perimantys didžiąją dalį spaudimo iš pagrindinių kolonų, o į viršų smailėjanti arka, buvo kryžminio skliauto²² pagrindas, tarpai tarp kurių buvo užpildomi plonesniu kevalu. Pastato skliauto skėtimo jėga atlaiko kontraforsų ir arkbutanų sistema.</i>	<i>Kontraforsų ir arkbutanų sistema leido gerokai paaukštinti bažnyčias bei smarkiai padidinti langų plotą. Atsiradusioje erdvėje pradėta diegti įvairias dekoracijas – langų vitražus, lipdinius ant lubų.</i>

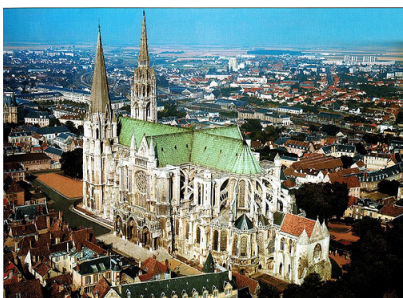


Arkbutanas - išorinė atraminė pusarkė, perkianti skliauto skėtimo jėgas į apatinius ramsčius (kontraforsus).

Kontraforsas – konstrukcinis pastato elementas, iš sienos išsikišusi vertikali atrama. Ji sutvirtina sieną, atremia skliauto skėtimo jėgą.

Skliautas – erdvinė pastato perdanga. Jis atlaiko ir perkelia į atramas vertikalias skėtimo jėgas.

3.10 pav. Kontraforsų ir arkbutanų sistema (Lukošytė - Tolvaišienė 2008)



3.11 pav. Šartro katedra,
(greatbuildings...2011)

Šartro katedra, 1220m (Paryžius, Prancūzija)

- viena pirmųjų gotikinių katedrų, kur pritaikytas keturių dalių skliautas.
- išlaikytas aukso pjūvis: kolonų aukštis tiksliai atitinka šoninės navos plotį, ir tai suteikia nuostabios darnos pojūtį.
- Skulptūrose bei vitražuose atskleidžiama šiaurietiško humanizmo dvasia.

²² **Skliautas** – erdvinė pastato perdanga. Jis atlaiko ir perkelia į atramas vertikalias skėtimo jėgas.

3.5. RENESANSO ARCHITEKTŪRA (XV a. – XVII a.)

Naujųjų amžių pradžia architektūroje žymi renesansas, sugebėjęs apjungti savyje kupolo savybes perdengti dideles angas su gotikos konstrukcijos grakštumu.

Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra 1418-1432m. (Florencijoje, Italija)

Filippas Brunelleschis yra pirmasis menininkas, pagal kurio darbus galima suvokti ir apibūdinti XVa. renesansą. Architektas studijavo antikos kūrinius, senovės romėnų statybos techniką, sužinojo apie istorinę patirtį, kurią panaudojo kurdamas modernius darbus, sužinojo apie galimus įvairių problemų sprendimus, gyvendinant savo projektus; pats žymiausias jo statinys – Mergelės Marijos Gėlių katedros kupolas (žr. 3.12 ir 3.15 pav). Brunelleschis laimėjo 1418 metais surengtą konkursą kupolui užbaigti ir po to baigė Arnolfo di Kambijo pradėtą projektą. Šis kupolas vėliau tapo iškiliausiu statiniu, būdingiausiu miesto architektūrinio peizažo akcentu. Architektas turėjo ne tik pabaigti statinį, pradėtą pagal Arnolfo numatytą gotikinę sistemą, bet ir spręsti technines statybos problemas bei, neatmesdamas jau esamo kitos raiškos klodo, sukurti estetinį vaizdą pagal naujus idealus.

Rengdamas techninę dalį, Brunelleschis meistriškai paruošė medinės armatūros sistemos brėžinius, pagal kuriuos kupolo būgno viduje buvo pastatyta dviguba konstrukcija (žr. 3.14 pav), kuri sudaro kupolą, ir šis sprendinys leido naudoti lengvesnes akmenines konstrukcijas, kurios buvo išdėstomos pagal „žuvies ašakų“ schemą, dažnai naudotą senovėje. Taigi panaudotas visai kitoks, nei gotikoje buvo įprasta, mūrinio tipas. Tačiau iš gotikos liko didelės, smailėjančios *nerviūros*²³, išorėje išryškintos kaip baltos jėgos linijos tarp iš raudonų plytų išmūrytų segmentų, taip suformuojant išorinius kupolo kontūrus. Baigiamoji kupolo dalis – stoglangių sistema yra kaip atskira konstrukcija, nedidelės aštuoniakampio plano šventyklėlės pavidalo, kurios viršų dengia kūgio formos stogelis. Stoglangių sistema sutvirtinta kontraforsais, užbaigti *voliotomis*²⁴. Šią spiralinę figūrą Brunelleschis pasiskolino iš pirminės vietos – jonėninių kolonų; nuo šiol ji bus įkomponuota į naują architektoniką ir turės visai kitą paskirtį.

Gotikinę architektūrą priminė tik užbaigto kupolo smailėjantis profilis; kupolą laiko ne kontraforsai, o tik kupolo būgnas, kurį teko sutvirtinti, kad laikomas svoris nepažeistų jo paties masės stabilumo. Savo 40 metrų skersmens kupolas galėjo varžytis su senovės laikų kupolais dengtomis erdvėmis. Modernus, visų gerbiamas architektas Brunelleschis, kuris dar gyvas sulaukė šlovės ir pripažinimo, puikiai išmanė statybos paslaptis. Kupolas pakeitė viduramžių erdvės pusiausvyrą, iškėlė interjero erdvės vertikalę viršum gotikinių navų horizontalios inercijos.

Pats kupolo eksterjeras keičia miesto vaizdo pobūdį, tiek žvelgiant iš tolo, tiek iš arti: jis matomas iš visų gatvių kaip tūris, įsiliejantis į bendrąją geografinę panoramą ir simboliškai

²³ *Nerviūra* - konstrukcinis arba dekoratyvinis architektūros elementas, išsikišusi profiliuota skliauto briauna.

²⁴ *Voliota* - archit. spiralės pavidalo užraitas su apsikritimu (vad. akute) viduryje; vartotas dažniausiai joninio, korintinio ir kompozicinio orderio kapitelyje.

atpažįstamas kaip šventasis kalnas. Kupolas užvaldo miesto peizažą taip, kad iš kur bežiūrėtum, iš toli ar iš arti, atrodo, galėtų suteikti prieglobstį visam Florencijos miestui ir miestiečiams, - taip sakė L.B. Albertis, taipogi apibūdinęs šį kupolą kaip pirmąjį naujojo stiliaus statinį.

Žibintas – jis uždengia centrinę ovalinę angą kupole, ir tampa papildomu vertikaliu žemyn nukreiptos jėgos komponentu, sumažindamas išorinį gniuždymą į būgno bazę.

Paaukštintas kupolas – ambicingo aukščio kupolui, dar labiau paaukštintam būgno, reikėjo smailaus profilio, krūvius vertikaliai nukreipiančio į atraminę struktūrą. Būgno bazę sustiprina geležinės sankabos.

Nerviūros – aštuonias išsikišusias keturių metrų gylio nerviūras papildo šešiolika paslėptų nerviūrų, spinduliais einančių iš centro.

Sutvirtintas kupolas – vidinis plytų ir akmenų kupolas sutvirtintas segmentinėmis nerviūromis bei specialių žiedų eilėmis.

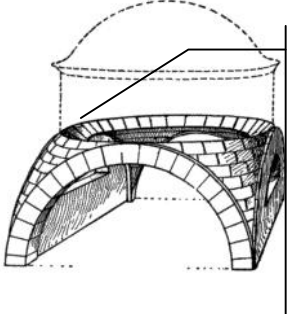
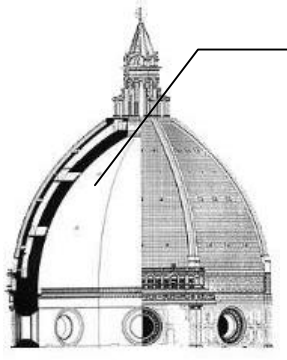


3.12 pav. Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra (planetware... 2011)

Kupolo konstrukcija Renesanso architektūroje (žr. 3.4 lentelę)

Renesansas kaip meninis stilius pasižymi kompozicinės darnos ir vienovės siekiais, paprastumu ir simetrija, aiškumu ir statika. Kompozicinio balanso įvairiose architektūros rūšyse siekta remiantis matematiniais skaičiavimais („aukso pjūvio formulė“²⁵). Architektūroje ypač populiarios buvo romėniškos arkinės-skliautinės, kupolinės konstrukcinės sistemos.

3.4 lentelė. Kupolo konstrukcija Renesanso architektūroje

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.5	Renesanso architektūra (XVa. – XVII a.)	▪ Kupolas pakeliamas ant būgno (žr. 3.13 pav). ▪ Konstruojami du kupolo kiautai – vidinis ir išorinis.	▪ Išorinis kiautas (stogas) gali būti aukštas, pageidaujamo silueto (vidaus erdvėja toks kupolo gylis nereikalingas).
 Būgnas – cilindro formos konstrukcinis elementas, ant kurio pakeliamas kupolas. Būgno pavidalo konstrukcijoje įrengiami langai, dienos šviesai patekti.		 Kupolo kiautai – vidinis ir išorinis; jie surišami. Tokia konstrukcija lengvesnė nei monolitinis mūras. Vidinis kiautas yra laikantysis, išorinis – atlieka stogo vaidmenį.	
3.13 pav. Kupolas pakeltas ant būgno (Francis 1996)		3.14 pav. Kupolo kiautai (Francis 1996)	
  3.15 pav. Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra (planetware... 2011)		<u>Švč. Mergelės Marijos Gėlių katedra 1418-1432m. (Florencijoje, Italija)</u> ▪ kupolo skersmuo – 44.8 m. ▪ dvigubas kupolo kiautas, išorinis pereina į smailę formuodamas kupolo paviršių. Tarp abiejų sienelių yra baltos nerviūros– jos matyti ir išorėje. ▪ kupolo kiautai sumūryti nenaudojant į žemę įkalamų pastolių – pakako tik kontraforsų⁸, kurie patys tapo atramomis. ▪ kupolo žibintas pritvirtintas 1436m.	

²⁵ **Aukso pjūvis** - pagrįstas Euklido geometrijos postulatu apie tobulą atkarpos padalijimą į dvi dalis taip, kad ilgesniosios dalies santykis su trumpesniąja būtų lygus visos atkarpos santykiui su ilgesniąja dalimi. Skaičius, kurio reikšmė apytiksliai lygi **1,618**

3.6. BAROKO ARCHITEKTŪRA (XVI a.–XVII a.)

Baroko architektūroje toliau tobulinama kupolo konstrukcija, tęsiamas renesanso architektūroje susiformavęs kupolo su kiautais vystymas.

Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (Londonas, Anglija)

Christopherio Wreno Šv. Pauliaus katedra (žr. 3.16 ir 3.18 pav), žymiausias Anglijos baroko pastatas, nebūtų atsiradusi, jei nebūtų įvykęs Didysis Londono gaisras (1666m.), sunaikinęs jos viduramžių pirmtakę ir didžiąją miesto dalį pavertęs pelenais.

Galima išskirti kelis Šv. Pauliaus katedros raidos etapus. 1670m. Wrenas sukūrė labai kuklų projektą, susidedantį iš vestibulio su kupolu ir gana mažos stačiakampės bažnyčios. Buvo nuspręsta, kad šis projektas nepakankamai įspūdingas. Architektas toliau kūrė planus: kai kurių jų pagrindas buvo lotyniškasis kryžius su kupolu kryžmoje, kitų – graikiškais kryžius (su vienodo ilgio atšakomis), irgi su kupolu.

Šis graikiškojo kryžiaus planas Wrenui labiausiai patiko, ir 1673m. jis padarė modelį, vadinamą Didžiojo modeliu, tikėdamasis, kad jis bus patvirtintas. Bažnyčios valdžia reikalavo grįžti prie labiau tradicinio plano su ilga nava. Tačiau Didysis modelis lieka ryškiu Wreno vaizduotės liudijimu. Kaip architektūros kūrinys, jis būtų buvęs labiau jaudinantis negu pastaroji katedra: keturios vienodos pastato atšakos, be to, erdvus vestibulis vakarų gale ir didžiulis centrinis kupolas. Atšakos sujungtos ne tiesiais kampais, bet išlinkiais – nuostabiai originalus sumanymas, vienintelis Anglijoje ir pasaulyje. Išlinkių žaismas – gaubtos žemutinio aukšto sienos, susiduriančios kupolo išlinkiais – būtų buvęs puikus baroko virtuoziško išradingumo įkūnijimas.

Kitas etapas sunkiai suprantamas: tai projektas, kuriame Didžiojo modelio profesionalumą pakeičia groteskiškas mėgėjiškumas. Čia Wrenas grįžta prie išilginio plano, tačiau virš kryžmos iškelia keturaukštį kupolo ir bokšto junginį: išgaubtas (svogūniškas) pagrindas, laikantis cilindrišką būgną su sudvejintomis kolonomis, paskui nedidelis kupolas ir galiausiai – į *pagodą*²⁶ panašus bokštas. Šiam projektui 1675 metų gegužės mėnesį Wrenas gavo karališkąjį leidimą su teise persigalvoti vykstant statybai.

Tą karalius ir padarė beveik iš karto, ir tuomet prasidėjo tikra baigto projekto evoliucija. Leidimą gavusio projekto keistasis stilių mišinys buvo pakeistas kupolu, kurį pažįstame ir šiandien.

Įgyvendindamas savo viziją, Wrenas susidūrė su daugeliu problemų, kurias jis puikiai sprendė. Konstrukcinės kupolo atramos sukėlė Wrenui daugiau rūpesčių negu bet kuri kita katedros dalis. Aštuonias atramas jis pastatė iš skaldos su baltai gelsvos klinties danga. Tačiau greitai suprato, kad tai nepakankamai tvirta, ir turėjo imtis keblaus darbo – pakeisti atramų medžiagas

²⁶ **Pagoda** - daugiaaukštė bokšto pavidalo budistų kulto relikvijų saugykla arba memorialinis statinys (dažnai aukštus skiria stogeliai su į viršų užrištais kraštais).

stipriu mūriniu. Saugumui padidinti, norint sustabdyti kupolo skėtimąsi, 1706 metais jo cokolis buvo apjuostas „Didžiąja geležine grandine“.

Kita išmoninga gudrybė pritaikyta pačiam kupolui. Ankstesni kupolai, pavyzdžiui, Florencijos katedros, buvo dvigubi: vidinis kupolas matomas iš vidaus, o išorinis – iš lauko. Wrenas, norėjęs karūnuoti savo kupolą neįprastai sunkia *cupola* konstrukciją papildė plytiniu kūgiu, nematomu nei iš vidaus, nei iš išorės; jis kyla nuo galerijos ir laiko *cupola* (žr. 3.17 pav). Vidinis kupolas mūrinis, išorinio karkasas medinis, o danga – švino.

Galiausiai eksterjere Wrenas aplink visą katedrą virš šoninių navų sienų pristatė dengiančiąją sieną, sukurdamas dviejų aukštų profilį vietoj vienaukščio, kuris būtų rodęs tikrąjį navų aukštį. Taip visiškai paslepia, kad šviesa į pagrindines erdves patenka pro viršutinę langų eilę kaip viduramžių katedrose, ir kad skliautą laiko arkbutanai. Wreno siekiamas tikslas buvo vizualiai sukurti solidų pagrindą kupolui, tarsi skriejančiam ore, o konstrukcijos požiūriu - pastatyti papildomus kontraforsus kupolo skėtimui atlaikyti.

Be visų šių išradingų priemonių šiandien Šv. Pauliaus katedra neatrodytu tokia didinga ir kelianti susižavėjimo jausmą.

Bokštai – galutinai suformuoti po 1700m.

Cupola – bokštas apvainikuojamas svogūninio tipo kupolu. Cupolą laiko plytinis kūgis kylantis nuo galerijos.

Kupolas – panaudotas baroke susiformavęs kupolas iš trijų apvalkalų. Vidinis kupolas matomas iš vidaus, išorinis – iš lauko, plytinio kūgio, nematyti nei iš vidaus, nei iš išorės;

„Didžioji geležinė grandinė“ - Saugumui padidinti, norint sustabdyti kupolo skėtimąsi, 1706 metais jo cokolis buvo apjuostas „Didžiąja geležine grandine“.



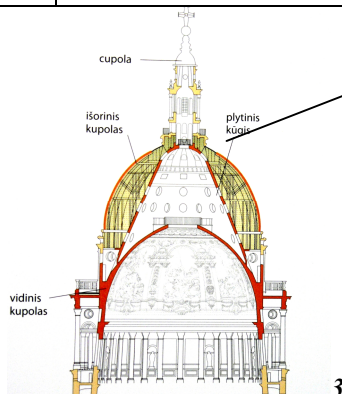
3.16 pav. Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (stpauls...2011)

Kupolo konstrukcija Baroko architektūroje (žr. 3.5 lentelę)

Baroko architektūroje asketiškumas derinamas su hedoniškumu, rafinuotumas – su grubumu, abstrakti simbolika – su natūralistiniu detalių tvarkymu. Baroko kūriniai didingi, prabangūs, dinamiški. Pagrindiniai architektūros bruožai – kaip priešprieša ramioms, stabilioms geometrinėms formoms kuriami judrūs, pulsuojantys statinių planai.

3.5 lentelė. Kupolo konstrukcija Baroko architektūroje

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.6	Baroko architektūra (XVI a. – XVII a.)	<i>Baroke susiklosto kupolo iš trijų apvalkalų koncepcija. Sudėtingoms paviršiaus detalių formoms išgauti buvo naudojamos plytos, tinkas.</i>	<i>Kupolas gali būti pageidaujamo silueto. Sienų plokštuma suskaidoma piliastrais. Tiesias linijas keičia lenktos, laužytos. Pastatai puošiami gausybe skulptūrų.</i>



Vidinis kupolas matomas iš vidaus, o išorinis – iš lauko. Konstrukciją papildyta plytiniu kūgiu, nematomu nei iš vidaus, nei iš išorės; jis kyla nuo galerijos ir laiko cupolą. Vidinis kupolas mūrinis, išorinio karkasas medinis, o danga – švino.

3.17 pav. Kupolo denginio formavimas (Parkyn 2005)



3.18 pav. Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (stpauls...2011)

Šv. Pauliaus katedra 1675 – 1711m. (Londonas, Anglija)

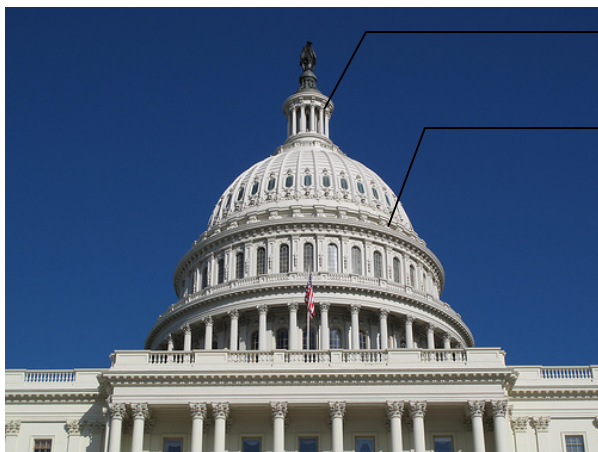
- Šv. Pauliaus katedra, žymiausias Anglijos baroko pastatas
- aplink visą katedrą virš šoninių navų sienų pristatyta dengiančioji siena, taip sukuriamas dviejų aukštų profilis.
- norint sustabdyti kupolo skėtimąsi, 1706 metais jo cokolis buvo apjuostas „Didžiąja geležine grandine“.
- bendras katedros ilgis- 156m; transeptų ilgis – 76m.; navos plotis – 37m.; aukštis iki kupolo viršūnės kryžiaus – 110m.

3.7. KLASICIZMO ARCHITEKTŪRA (XVII a.–XIX a)

Klasicizmas atsirado Prancūzijoje, kur pakeitė du šimtus metų vyravusį baroką. Klasicizmas buvo priešingybė puošniajam barokui, tai buvo paprastas, bet didingas stilius. Pagrindiniai bruožai: senovės Graikijos ir Romos imperijos pastatų kopijavimas; senovinių pastatų architektūros elementų kopijavimas; plačiai naudojamos kolonos, kupolai; siekiant pasiekti harmoniją pastatai simetriški; lyginant su baroko architektūra klasikinės architektūros pastatų sienos lygios; bažnyčios – dažnai fasadas užstoja stogą.

Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Vašingtonas, JAV).

Jungtinių Valstijų Kapitolijus yra Jungtinių Amerikos Valstijų federalinės įstatymų leidžiamosios valdžios - Jungtinių Valstijų Kongreso, susirinkimų vieta (žr. 3.19 ir 3.21 pav). Pastatas yra JAV sostinėje Vašingtone, jis yra pastatytas ant Kapitolijaus kalvos. Kapitolijus yra geografiniame Vašingtono centre. Oficialiai, rytinė ir vakarinė Kapitolijaus pusės yra vadinamos fasadais. Istoriskai, rytinis pastato fasadas buvo skirtas svečių ir aukštus postus užimančių pareigūnų atvykimui. Po to, kai G. Washingtonas 1793 m. rugsėjo 18 d. padėjo kartinį akmenį, darbai stūmėsi į priekį pamažu. Senato sparnas buvo tik vos baigiamas, kai 1800-aisiais į jį įsikėlė Senatas, Atstovų rūmai, Aukščiausiasis Teismas, apygardos teismai ir Kongreso biblioteka. Kapitolijus vis dar neturėjo kupolo, kai per 1812-ųjų karą Vašingtoną užpuolė britai. Pastatas buvo padegtas ir smarkiai nukentėjo. 1815-aisiais Benjaminas Latrobas buvo paskirtas Kapitolijaus architektu ir gavo progą jį atstatyti. Jam buvo leista pasiūlyti savo paties projektą, kuris 1817-aisiais patvirtintas. 1818-aisiais Kapitolijaus architektu tapo C. Bulfinchis ir toliau tęsė daugelį Latrobo idėjų. Didžiuma pastato buvo užbaigta iki 1829-ųjų. Bulfinchis suprojektavo medinio rėmo žalią varinį 68 metrų aukščio kupolą. 1850 m. pridurti Thomaso Walterio Senato ir Atstovų rūmų sparnų priestatai. Pastatas dabar tartum prašėsi aukštesnio kupolo. Pagal Walterio projektą naujo, ketinio, kupolo statyba prasidėjo 1855-aisiais ir darbas vis dar tęsiasi per Abrahamo Lincolno inauguraciją 1861-aisiais.



kupolo viršuje stovi šešių metrų aukščio „Laisvės“ statula.

Kupolas – Keturaukštis kupolo ir bokšto junginys. Masyvus 68 metrų aukščio kupolas. Vidinis kiautas yra laikantysis, išorinis – atlieka stogo vaidmenį. Konstrukciją papildyta kūgiu, nematomu nei iš vidaus, nei iš išorės; jis kyla nuo galerijos ir laiko masyvią skulptūrą esančią kupolo viršūnėje.

3.19 pav. Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Field 2001)

Kupolo konstrukcija Klasicizmo architektūroje (žr. 3.6 lentelę)

Klasicizmo architektūrai būdingas senovės Graikijos ir Romos imperijos pastatų architektūros elementų kopijavimas, tačiau, tobulėjant technologijoms, kupolo storis mažėja, konstrukcijos tampa lengvesnės.

3.6 lentelė. Kupolo konstrukcija Klasicizmo architektūroje

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.7	Klasicizmo architektūra (XVII a. – XIX a.)	Kupolo konstrukcijai naudojami metaliniai, mediniai elementai.	Kupolo konstrukcijos vystymąsi ir architektūros formų įvairovę lėmė XVIII a. pradėtos naudoti lieto metalo konstrukcijos.



Masyvus 68 metrų aukščio kupolas panašus į Šv. Pauliaus bažnyčios kupolą. Vidinis kiautas yra laikantysis, išorinis – atlieka stogo vaidmenį. Vidinis kupolas matomas iš vidaus, o išorinis – iš lauko. Konstrukciją papildyta kūgiu, nematomu nei iš vidaus, nei iš išorės; jis kyla nuo galerijos ir laiko masyvią skulptūrą esančią kupolo viršūnėje.

3.20 pav. Kupolo denginio formavimas (Parkyn 2005)



3.21 pav. Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Field 2001)

Kongreso rūmų pastatas – Kapitolijus 1793-1865 m. (Vašingtonas, JAV).

- pastato matmenys 214 x 107 m.
- 1960 metais rytinis fasadas pailgintas dar 10 metrų.
- masyvus 68 metrų aukščio kupolas panašus į Šv. Pauliaus bažnyčios kupolą.
- kupolo viršuje stovi šešių metrų aukščio „Laisvės“ statula.

3.8. KLASICIZMO ARCHITEKTŪRA LIETUVOJE (XVII a.–XIX a)

Klasicizmo laikotarpiu Lietuvoje, taip pat kaip ir kitose Europos valstybėse, atsigręžta į senovės Romos ir Graikijos architektūrą, atgijo kupolo konstrukcijos naudojimas pastatuose.

Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834 m. (Sudervė, Lietuva)

Sudervės parapijos istorija pradžia siekia 1783 m., kai Vilniaus vyskupas Ignotas Masalskis priėmė sprendimą šalia Verkių (Kalvarijų), Lukiškių ir Maišiagalos bažnyčių įkurti dar vieną parapiją. Po metų Sudervėje jau buvo pastatyta medinė Šv. Petro ir Povilo bažnyčia. Parapija taip pat jau turėjo kleboną – dominikoną, vyskupą, Šv. Stanislovo ordino kavalierių Valentimą Volčackį. Jo rūpesčiu ir pastatyta medinė bažnyčia. Pirmoji Sudervės bažnyčia buvo pastatyta greitai ir iš pigių medžiagų, todėl buvo nepatvari. Bažnyčios fundatorius nutarė pastatyti mūrinę bažnyčią. Istoriniai dokumentai liudija, kad medinėje bažnyčioje buvo gražus Švč. Trejybės paveikslas - galbūt tai ir paskatino fundatorių kitą, mūrinę bažnyčią, tituluoti šiuo vardu.

Mūrinė bažnyčia buvo pradėta statyti 1803 m. ant kito, nei stovėjo medinė bažnyčia, Sudervės kalno. Statybų fundatorius buvo V. Vočackis. Jam mirus, statybas toliau prižiūrėjo Sudervės dvaro paveldėtojas Ipolitas Lanevskis Volkas. Įdomu, kad ji buvo statoma 19 metų, iki 1822 m. Bažnyčia buvo taip ilgai statoma dėl sunkios politinės situacijos. Po trečio Respublikos padalinimo Lietuva buvo prijungta prie Rusijos ir padalinta į dvi dalis: Užnemunė atiteko Prūsijai, kita dalis (rytų) – Rusijai. Europą užgriuvo revoliucijos ir su tuo susiję neramumai. Nepaisant tų sunkumų, 1822 m. mūrinė bažnyčia buvo užbaigta (žr. 3.22 ir 3.24 pav), o medinė dėl avarinio stovio - nugriauta. Naujos bažnyčios vidaus darbai tęsėsi iki 1834 m. ir tik tuomet ji buvo iškilmingai konsekruota.

Ši bažnyčia išsiskiria tuo, jog yra Lietuvoje retai aptinkamos architektūros formos - klasicistinių formų kupolinė rotunda. Bažnyčia yra apskrito plano, uždengta kupolu ir fasadinėje pusėje apjuosta šešių kolonų eile (žr. 3.23 pav) bei papuošta nišose pastatytais didžiulėmis keturių evangelistų bei apaštalų Petro ir Pauliaus skulptūromis. Viduje ji taip pat pasižymi vientisa, bet nenuobodžia erdve, turinčia ir simbolinę prasmę: keturios gilios nišos vidinėje sienos pusėje kuria įspūdį, kad į apskritimą yra įbrėžtas graikiškas kryžius.

Istoriniai šaltiniai liudija, jog bažnyčia buvo pastatyta pagal Romos Panteono pavyzdį. Panašios jos tuo, kad yra apskrito plano, uždengtos sferiniu kupolu – jo svoris išdėstomas visu perimetru vienodai, fasadinę pusę juosia kolonų eilė. Vienas iš skirtumų tai, kad Sudervės bažnyčioje kesonai ištaipyti lubose - imitacija, taip pat Panteono kupolo išorę puošia septynios žiedinės pakopos, o lubose yra 8m skersmens anga. Nors bažnyčia suprojektuota Romos Panteono šventyklos pavyzdžiu, skiriasi nuo jos ir gerokai mažesniu masteliu, ir architektūros detalėmis. Klasicizmo stilius įnešė daug architektūrinių pakeitimų.

Priesieniai – šonuose simetriškai išsikišę laiptinių priesieniai, kurių kampus sieja žiedinė šešių kolonų kolonada - atviras prieangis;

Portalas – toscaninės kolonados centre yra portalas.

Tarp piliastrių esančiose nišose stovi skulptūros.

Kupolas – aukštesnis navos tūris dengtas kupolu; kupolo būgną skaido: piliastrai, pusapskričiai langai ir stačiakampės nišos.



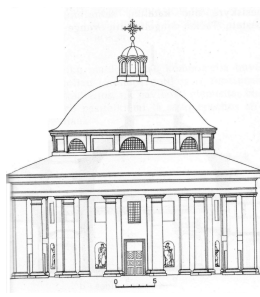
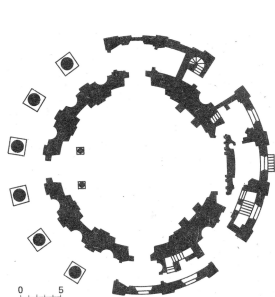
3.22 pav. Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834 m. (Sudervė, Lietuva)

Kupolo konstrukcija Lietuvos klasicizmo architektūroje (žr. 3.7 lentelę)

Lietuvoje pastatyta vos viena kita rotondinė, kupolu dengta bažnyčia. Šie sakraliniai statiniai dėl savo retumo, unikalios formos yra laikomi kultūros paveldu, padedančiu formuoti Lietuvos įvaizdį, tačiau tik Sudervės Švč. Trejybės bažnyčiai suteiktas valstybės saugomo objekto statusas.

3.7 lentelė Kupolo konstrukcija Lietuvos klasicizmo architektūroje

	Laikotarpis	Kupolo konstrukcija	Architektūra
3.8	Klasicizmo architektūra (XVII a. – XIX a.)	<i>Tobulėjant technologijoms kupolo storis mažėja, konstrukcijos tampa lengvesnės. Kupolo konstrukcijai naudojami metaliniai, mediniai elementai.</i>	<i>Kupolo konstrukcijos vystymąsi ir architektūros formų įvairovę lėmė XVIII a. pradėtos naudoti lieto metalo konstrukcijos.</i>



1803m. Romos Panteono šventyklos pavyzdžiu suprojektuota Švč. Trejybės bažnyčia Sudervėje.

3.23 pav. Sudervės bažnyčios planas ir fasadas (Lietuvos architektūros istorija II, 1994)



3.24 pav. Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834.m (Sudervė, Lietuva)

Sudervės Švč. Trejybės bažnyčia 1803 – 1834.m (Sudervė, Lietuva)

- bažnyčia yra apskrito plano; kupolo skersmuo – 31m. rotondos aukštis – 30m.
- centrinė rotondinė²⁷ patalpa yra nava, kurios išilginėje ašyje pristatyta vieduoklės formos presbiterija²⁸ ir zakristija;
- šonuose simetriškai išsikišę laiptinių priesieniai, kurių kampus sieja žiedinė šešių kolonų kolonada - atviras prieangis;
- nišos formuoja apskritime įbrėžtą graikišką kryžių.
- toskaninės kolonados centre yra portalas²⁹;
- tarp piliastų esančiose nišose stovi skulptūros;
- sienas skaido platesni piliastrai, o tarp jų dviem lygiais išdėstyti stačiakampiai langai;
- horizontalios traukos skiria arkines nišas nuo viršutinių langų;
- aukštesnis navos tūris dengtas kupolu; kupolo būgną skaido: piliastrai, pusapskričiai langai ir stačiakampės nišos

²⁷ **Rotonda** – apskritas, dengtas kupolu statinys, apjuostas kolonada.

²⁸ **Presbiterija** – dvasininkams skirta bažnyčios dalis vidurinės navos gale.

²⁹ **Portalas** – puošnus įėjimas į pastatą. Puošiamas įvairių profilių apvadais, kolonomis, piliastrais, arkomis, skulptūromis.

3.9. IŠVADOS

Išnagrinėta romėnų, Bizantijos, renesanso, baroko laikotarpių kupolo raida. Šiose epochose ryškiausiai atsiskleidžia kupolo konstrukcijos tobulėjimas. Visais atvejais pritaikius kupolo statybai naują konstrukcinį elementą, įtaka padaroma ir pastato tūrinei - erdvinei sandarai.

- Romėnai pradėjo naudoti betoną – statybinių medžiagų, leidusių statyti didelius tarpatramius perdengiančias kupolines konstrukcijas. Kitaip nei šiuolaikinis gelžbetonis, romėnų betonas nebuvo armuotas, tad jį reikėjo paremti iš išorės, ir jis netiko tempimo apkrovoms atlaikyti. Be to, sumaišytas jis nebuvo skystas, o tai riboja sudėtingo įvairialyčio formavimo galimybes. Romėnai tai pat pirmieji kupolo konstrukcijai pritaikė kesonines lubas. Kesonai sustiprina perdangą, gerina akustiką, kesonų forma pabrėžia žemesnius, gilesnius karnizus, padėdama neutralizuoti žiūrint nuo žemės atsirandantį perspektyvos iškrypimą.
- Bizantijos architektūroje atrastas naujas konstrukcinės kupolinės perdangos elementas – burės. Tai – trikampės burės pavidalo skliauto išpjova. Šis atradimas pakeitė kupolinių pastatų formą, dėl burių naudojimo atsirado galimybė pereiti nuo apskrito skerspjūvio kupolo prie kvadratinio plano patalpos erdvės.
- Gotikos architektūroje kupolinėms konstrukcijoms skiriama mažai dėmesio, tobulinama skliautų sistema.
- Renesanse iš naujo atrandama kupolo konstrukcija - jis pakeliamas ant būgno, kuriame įrengiami langai dienos šviesai patekti. Formuojami du kupolo kiautai – vidinis ir išorinis, jie surišami. Tokia konstrukcija lengvesnė nei monolitinis mūras. Vidinis kiautas yra laikantysis, išorinis – atlieka stogo vaidmenį, keičia kupolo formą, nes gali būti pageidaujamo silueto.
- Baroke susiklosto kupolo iš trijų apvalkalų koncepcija. Kupolo konstrukcija papildyta plytų mūro kūgiu, nematomu nei iš vidaus, nei iš išorės - jis skirtas kupolo paaukštinimo apkrovoms atlaikyti.
- Klasicisme architektūrai būdingas senovės Graikijos ir Romos imperijos pastatų, architektūros elementų kopijavimas, plačiai naudojamos kolonos, kupolai. Tobulėjant technologijoms, kupolo storis mažėja, konstrukcijos tampa lengvesnės. Kupolo konstrukcijai naudojami metaliniai, mediniai elementai.

Išnagrinėjus kupolo konstrukcijos raidą romėnų, Bizantijos, renesanso, baroko laikotarpioose, pastebima šios konstrukcijos formos kaita. Atrasti nauji konstrukciniai elementai, naujos statybos technologijos leido keisti pastatų, kuriuose panaudoti kupolai, estetinę išraišką ir architektūrines formas (žr. 3.8 lentelę).

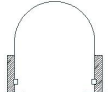
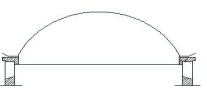
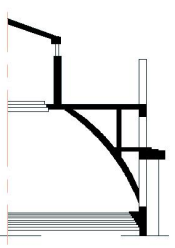
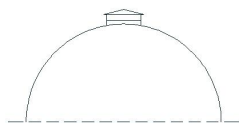
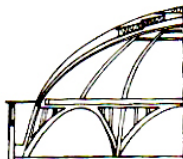
4. XIX – XX a. KUPOLO DENGINIO FORMAVIMAS: KONSTRUKCIJOS MEDŽIAGOS IR FORMOS SINTEZĖ

Pramonės revoliucijos ir jos iššauktas audringas technologijų vystymasis visose srityse neaplenkė ir statybinių medžiagų bei pačios statybos sferos. To pasekoje tobulinamos statybinės konstrukcijos, tarp jų ir kupolinės. Joms naudojamos patobulintos senos medžiagos, o taip pat pritaikomos naujai įsisavintos, kaip antai metalas. Todėl sukurama eilė visai naujų kupolinės konstrukcijos sistemų: gelžbetoninės, metalinės: briaunoti, žiediniai, geodeziniai kupolai.

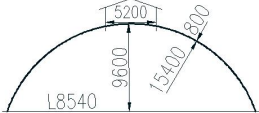
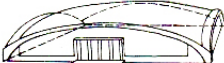
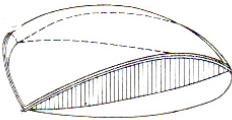
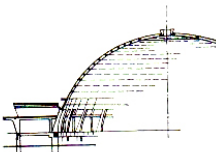
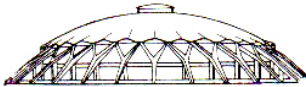
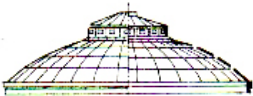
4.1. GELŽBETONINIAI - MONOLITINIAI KUPOLAI

Svarbiausias atradimas lėmęs gelžbetoninių, monolitinių konstrukcijų vystymąsi, tai dar II a. pr. Kr. Romėnų atrasta, į betonavimą panaši liejamos statybos technika (žr. 3.1 lentelę).

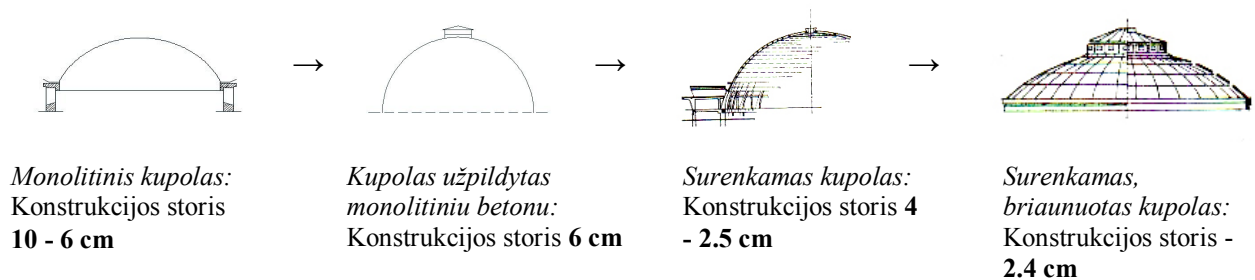
4.1 lentelė. Gelžbetoninių – monolitinių kupolų konstrukcinių formų vystymasis (Pjone 1973)

Konstrukcinė schema	Vieta, statybos metai	Matmenys			Pastabos, konstrukcinė charakteristika
		Aukštis, m	Skersmuo, m	Storis, cm	
	Birža, Amsterdamas, 1910m.(Danija)	2.82	5.64	6	Monolitinis kupolas
	Bažnyčia, Nijmegenas, 1914m. (Olandija)	7.25	14.5	10	Monolitinis kupolas
	Paštas, Krokuva 1922m. (Lenkija)	8.5	17	10	Monolitinis kupolas
	Planetariumas, Jenas 1923m. (Vokietija)	12.5	25	6	Kupolas užpildytas monolitiniu betonu
	Parodų paviljonas 1928 – 1929m. (Vokietija)	-	75	9	Monolitinis kupolas

4.1 lentelės tęsinys *Gelžbetoninių – monolitinių kupolų konstrukcinių formų vystymasis (Рюле 1973)*

Konstrukcinė schema	Vieta, statybos metai	Matmenys			Pastabos, konstrukcinė charakteristika
		Aukštis, m	Skersmuo, m	Storis, cm	
	Sinagoga, Vilendorfas, 1930m. (Vokietija)	15.4	28.5	8	Monolitinis kupolas
	Turgus, 1934m. (Ispanija)	44.1	47.6	9	Monolitinis kupolas
	Bažnyčia, 1948m. (Šveicarija)	17	24	8	Elipsės plano monolitinis kupolas, atrėmimo žiedas su išanksto įtemta armatūra.
	Požeminė stotis, Stokholmas, 1952m. (Švedija)	21	21	7	Kvadratinio plano, lėkštas, dvigubo kreivumo, monolitinis kupolas
	Technologijos Universitetas, Masačiutsesas 1955m (JAV)	Kreivės Spindulys $R = 34m$	Atstumas tarp atramų $L=47m$	6.5 – 8.5	Monolitinis, trikampio plano, trijų atramų sferinis kevalas.
	Turgus, 1955m. (Alžyras)	20.8	42	4 (ties atramomis 27.5)	Surenkamas kupolas
	Sporto kompleksas, Roma 1956 - 1957m. (Italija)	-	60	2.5	Surenkamas kupolas
	Cirkas, Kijevas 1959m. (Ukraina)	-	42.3	2.4	Surenkamas, briaunotas kupolas

Iš pateiktos 4.1 lentelės matome, kad tobulėjant technologijoms kupolo storis mažėja, konstrukcija tampa lengvesnė (žr. 4.1 pav.). Plonasienėmis gelžbetoninėmis erdvinėmis konstrukcijomis be tarpinių atramų galima perdengti didelių vidinių erdvių pastatus (angarus, sporto ir įvairių renginių sales, parodų paviljonus, turgaus hales), kurių tarpatramis gali viršyti 100 metrų. Svarbiausi plonasienių kevalinių konstrukcijų elementai yra kevalas ir atraminis kontūras. Gelžbetoninės plonasienės erdvinės konstrukcijos gali būti monolitinės, surenkamos ir surenkamos – monolitinės. Monolitiniai kupolai paprastai būna $\geq 60mm$ storio, be briaunų. Tose vietose, kur kevalo storis didesnis kaip $\geq 90mm$ dedami du armatūriniai tinklai.



4.1 pav. Gelžbetoninių – monolitinių kupolų konstrukcinių technologijų vystymasis

Pastaba: kupolo konstrukcijos storis taip pat priklauso ir nuo perdengiamo tarpatramio ilgio.

Gelžbetoninių – monolitinių kupolų skaičiavimo principai

Sferinio kupolo paviršių veikiant apkrovai, atsiranda dviejų krypčių jėgos. Per visą kupolo sudaromųjų ilgį meridianinės krypties jėgos N_Φ veikia panašiai kaip arkoje (4.2 pav. a). Šia kryptimi kupole neišsivysto lenkimo momentai, nes žiedinė kryptimi taip pat veikia ašinės jėgos, statmenos meridianinėms jėgoms. Žiedinės jėgos N_θ gniuždo viršutinę kupolo segmento zoną ir tempia apatinę (4.2 pav. a, b). Meridianinės jėgos sumuojasi ir veikia į kupolo pagrindą (4.2 pav. c). Į nagrinėjamą kupolo paviršių veikiančių vertikalųjų apkrovų atstojamąjį pažymime F , o meridianinę jėgą į horizontalaus pjūvio vienetinį ilgį N_Φ . Bet kuriame kupolo horizontalaus pjūvio taške įrašos N_Φ ir N_θ yra pastovaus dydžio. Iš pusiausvyros sąlygų $\sum F_z = 0 : F = (N_\Phi \cdot \sin \Phi)(2\pi a)$. Kupolo horizontalaus pjūvio spindulys $a = R \sin \Phi$. Tuomet meridianinė jėga bet kuriame kevalo taške:

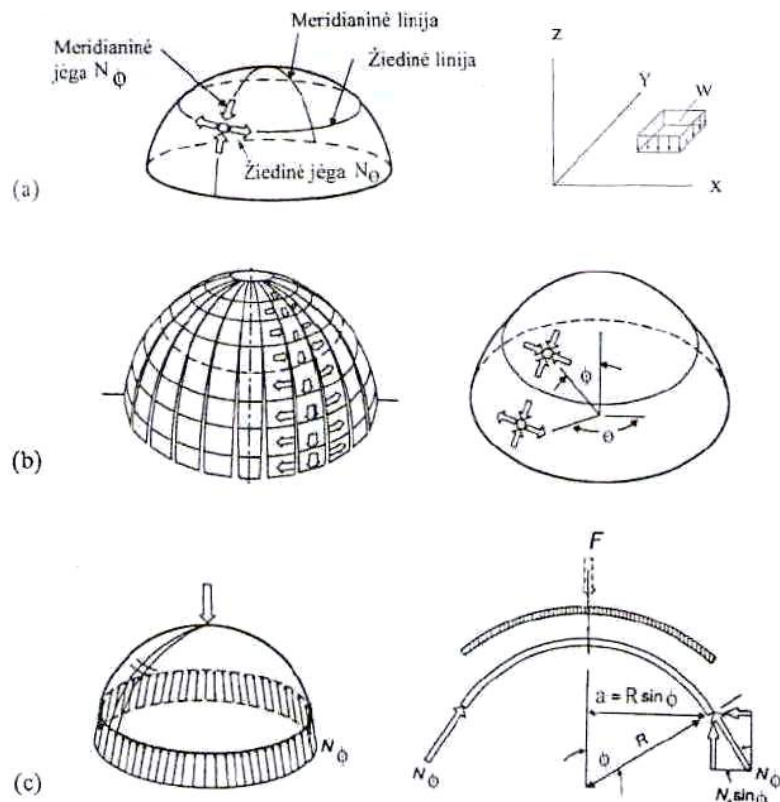
$$N_\Phi = F / 2\pi R \sin^2 \Phi. \quad (4.1)$$

Arba imant vienodai paskirstytą apkrovą w sferos paviršiaus plote (pvz. : N/m^2):

$$N_\Phi = Rw / (1 + \cos \Phi). \quad (4.2)$$

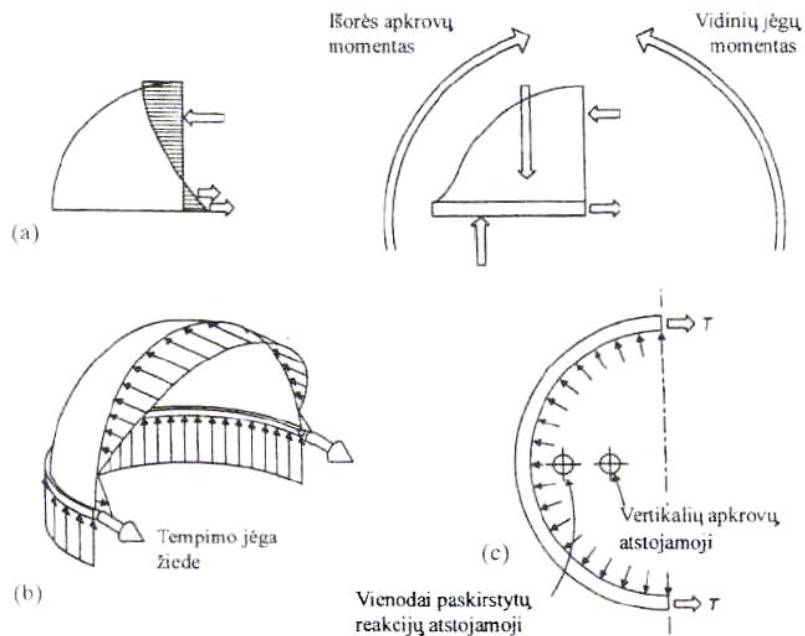
Žiedinė jėga veikianti bet kuriame horizontaliame pjūvyje, yra:

$$N_\theta = Rw \left(-\frac{1}{1 + \cos \theta} + \cos \theta \right). \quad (4.3)$$



4.2 pav. Meridianinės ir žiedinės jėgos sferiniame kevale: a – jėgos, veikiančios sferiniame kevale; b – žiedinės jėgos gniuždo viršutinę kevalo dalį ir tempia apatinę; meridianine kryptimi veikiančios jėgos visuomet gniuždydmo; c – meridianinės jėgos perduodamos į kevalo atraminį žiedą (Ražaitis 2004)

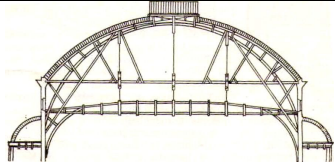
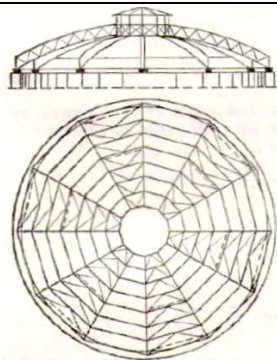
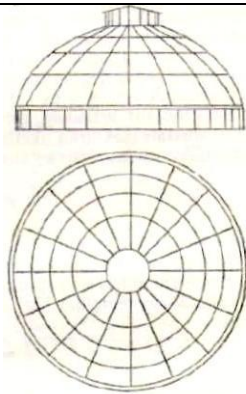
Kupolo statinės pusiausvyros schema ir vidinių jėgų pasiskirstymas pavaizduoti 4.3 pav.



4.3 pav. Vidinių jėgų pasiskirstymas kupole: a – kupolo dalies statinės pusiausvyros schema; b – jėgų pasiskirstymo aksonometrinis vaizdas; c - vaizdas plane (Ražaitis 2004)

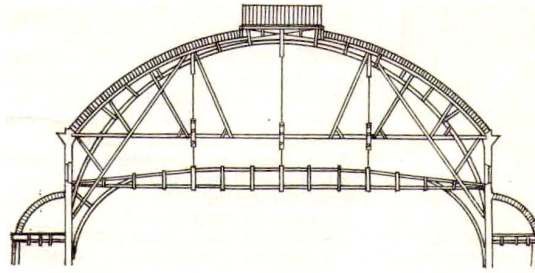
4.2. METALINIAI KUPOLAI

4.2 lentelė. Metalinių kupolų vystymasis

Konstrukcijos schema	Pastabos
	<i>XVII a. pradėti naudoti kaltos geležies elementai</i>
	<i>XVIII a. pradėtos naudoti lieto metalo konstrukcijos</i>
XIX a. geležis pradėta valcuoti, konstrukcijos jungiamos kniedėmis	
	<u>Briaunoti kupolai:</u> <i>Briaunotąjį kupolą sudaro apskritimo spindulių kryptimis sustatytų arkų sistema. Tarp briaunų žiedo kryptimi dedami ištisiniai arba spragotiniai ilginiai, kurie atlaiko stogo dangos konstrukcijas ir užtikrina briaunų pastovumą iš jų plokštumos. Ilginiai dedami kas 3-4m. Kad kupolas būtų pastovus, briaunos surišamos pusspyriniais ryšiais.</i>
	<u>Briaunoti žiediniai kupolai:</u> <i>Šių kupolų žiediniai ilginiai, standžiai sujungti su briaunomis į bendrą erdvinę sistemą, sulaiko briaunų deformacijas ir užtikrina kupolo bendrą erdvinį standumą. Šiuo atveju briaunos yra lengvesnės, nes dalį krūvių atlaiko žiediniai ilginiai. Briaunos ir žiedus galima daryti iš valcuotų profiliuotųjų.</i>

Metalas, kaip pagrindinė statybinių konstrukcijų medžiaga, Europoje pradėta naudoti XVII a. pabaigoje (žr. 4.2 lentelę). Vienas seniausių kupolinių pastatų iš kaltos geležies elementų – tai Ivano Didžiojo varpinės kupolo karkasas, pastatytas 1603 m. Maskvoje.

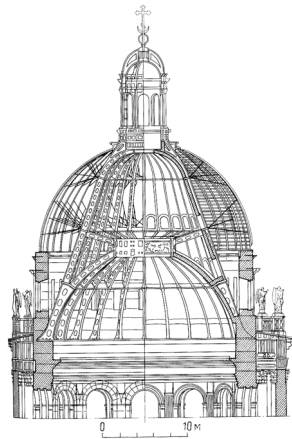
XVIII a. buvo pradėtos naudoti lieto metalo konstrukcijos. Metalinės kupolinės konstrukcijos pradėtos naudoti didelių tarpatramių visuomeniniams pastatams. Vienas seniausių pavyzdžių komedijos teatro metalinės konstrukcijos, pastatytos 1786 m. Paryžiuje (žr. 4.4 pav).



4.4 pav. Prancūzų komedijos teatro Paryžiuje denginio konstrukcijos (1786m) (Kvedaras 1977)

Iš pradžių metalinių konstrukcijų buvo gaminama mažai, nes neišvystyta metalurgijos pramonė negalėjo tiekti statyboms reikiamo metalo kiekio, taip pat nebuvo sukurta metalinių konstrukcijų skaičiavimo metodo.

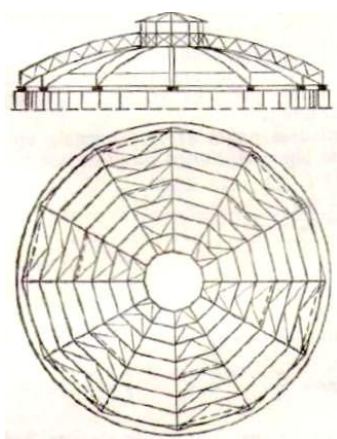
Pramonės būdu išlydyta geležis gauta tik XIX a. pradžioje. 1819 m. geležis pradėta valcuoti, o 1820 m. konstrukcijos pradėtos jungti kniedėmis. 1840 m. Peterburge pastatytos Isakijaus soboro kūginio kupolo metalinės konstrukcijos (žr. 4.5 pav).



4.5 pav. Isakijaus soboro metalinis kupolas, 1840 m. (Kvedaras 1977)

■ Briaunotieji kupolai

Briaunotąjį kupolą sudaro apskritimo spindulių kryptimis sustatytų arkų sistema (žr. 4.6 pav). Tarp briaunų žiedo kryptimi dedami ištisiniai arba spragotiniai ilginiai, kurie atlaiko stogo dangos konstrukcijas ir užtikrina briaunų pastovumą iš jų plokštumos. Ilginiai dedami kas 3-4 m. Kad kupolas būtų pastovus, briaunos surišamos pusspyriniais ryšiais. Briaunos daromos ištisinio skerspjūvio arba spragotinės – lengvų santvarų tipo. Kupolo viršuje visos briaunos (pusarkės) prijungiamos prie gniuždomo viršutinio žiedo. Darant šį žiedą pakankamai standų, didelio skersmens ir standžiai prijungiant prie jo briaunas, briaunos skaičiuojamos kaip dviejų lankstų arkos, apkrautos atitinkama apkrova. Jei viršutinis briaunos galas prijungiamas prie mažesnio skersmens žiedo, briaunos skaičiuojamos kaip trijų lankstų arkos.

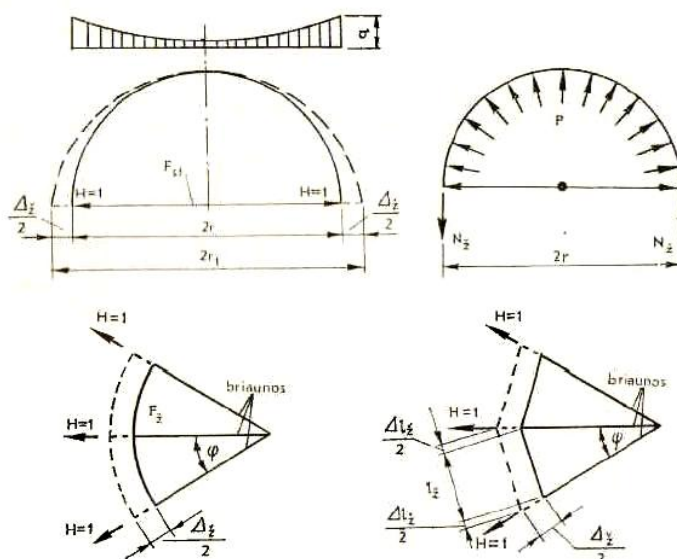


4.6 pav. Briaunoto kupolo schema (Kvedaras 1977)

Arkų skėtimo jėgas atlaiko apatinis tempiamas žiedas. Briaunas išdėstant retai, vietoje žiedo galima daryti taisyklingą daugiakampį, kurio kampai paremti ant kolonų paslankiai radialine kryptimi. Žiedą arba daugiakampį galima remti ant sienos, gelžbetoninių rėmų arba kitokių konstrukcijų.

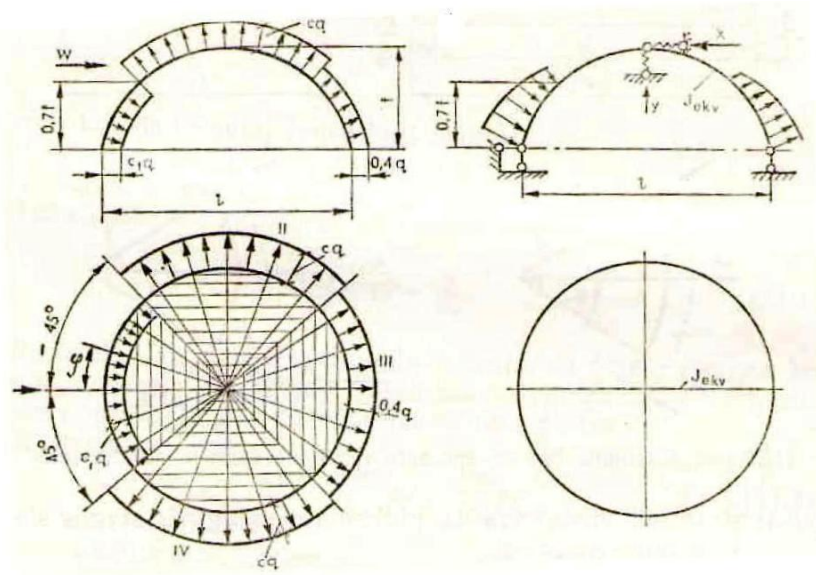
Metallinių briaunuotų kupolų skaičiavimo principai

Briaunoti kupolai skaičiuojami kaip atskiros plokščios arkos, kurių skėtimo jėgas H atlaiko žiedas (žr. 4.7 pav). Veikiant visų briaunų skėtimo jėgoms H , žiedas ilgėja, didėja jo skersmuo. Todėl skaičiuojant atskirą briauną kaip dviejų lankstų arką, reikia laikyti, kad ši arka turi sąlyginę stygą, kurios tamprios deformacijos turi būti lygios žiedo tamprioms deformacijoms, kai veikia visos briaunų horizontalios reakcijos.



4.7 pav. Briaunoto kupolo, apkrauto vertikalia apkrova, skaičiavimo schema (H – vienos briaunos skėtimo jėga; r – atraminio žiedo spindulys; l_z – žiedo tiesiosios dalies ilgis tarp briaunų; φ – kampas tarp briaunų; F_{st} – sąlyginis stygos skerspjūvis; F_z – žiedo skerspjūvis; Δ_z – žiedo skersmens padidėjimas) (Kvedaras 1977).

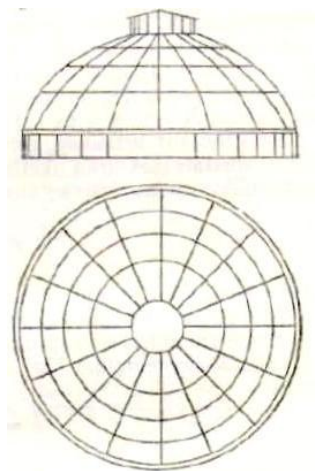
Skaičiuojant kupolą, veikiamą horizontalios vėjo arba vienpusės vertikalios apkrovos, laikoma, kad jo didžiausias horizontalus poslinkis yra viršūnėje (pagrindinė sistema pasirenkama, pridėdant arkos spynoje tamprias atramas X ir Y). II ir IV kvadratuose esančios arkos šiam poslinkiui įtakos neturi (vėjo kryptis joms yra statmena) (žr. 4.8 pav).



4.8 pav. Vėjo apkrovos pasiskirstymas ant kupolo: dešinėje – vėjo pasiskirstymo schema; kairėje – kupolo skaičiuojamoji schema (Kvedaras 1977)

■ Briaunotieji žiediniai kupolai

Šių kupolų žiediniai ilginiai, standžiai sujungti su briaunomis į bendrą erdvinę sistemą, sulaiko briaunų deformacijas ir užtikrina kupolo bendrą erdvinį standumą (žr. 4.9 pav). Šiuo atveju briaunos yra lengvesnės, nes dalį krūvių atlaiko žiediniai ilginiai. Briaunas ir žiedus galima daryti iš valcuotų profiliuotųjų.

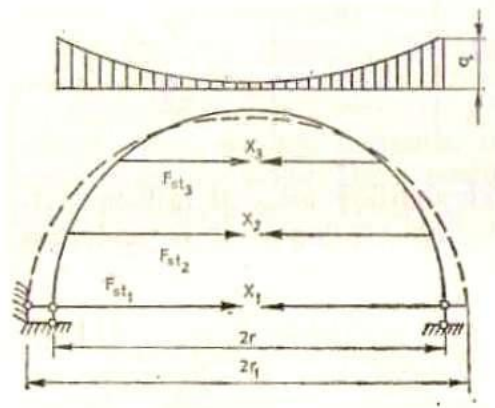


4.9 pav. Briaunoto žiedinio kupolo schema (Kvedaras 1977)

Metalinių briaunuotų žiedinių kupolų skaičiavimo principai

Šio tipo kupolo žiedai atlieka panašias funkcijas kaip briaunotojo kupolo atraminis žiedas. Todėl, juos skaičiuojant, galima išskirti plokščias dviejų lankstų arkas su daugeliu sąlyginių stygų, kurių tamprios deformacijos būtų lygios žiedinių ilginių tamprioms deformacijoms.

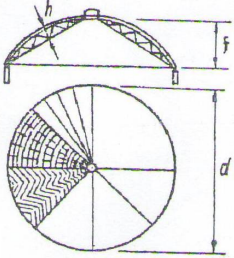
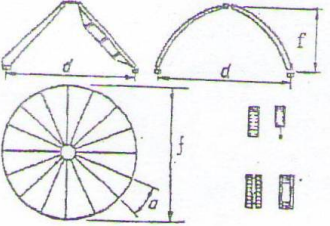
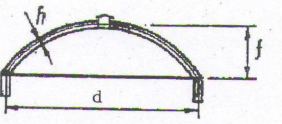
Nežinomieji sąlyginėse stygose nustatomi jėgų metodu, sprendžiant n lygčių sistemą su n nežinomųjų (čia n – žiedų skaičius). Briaunotąjį žiedinį kupolą, veikiamą horizontaliosios apkrovos, galima skaičiuoti taip pat, kaip ir briaunotąjį kupolą, sąlyginai laikant, kad kupolo žiediniai pjūviai pasislenka vienas kito atžvilgiu be skersinių deformacijų (žr. 4.10 pav).



4.10 pav. Briaunoto žiedinio kupolo skaičiuojamoji schema (r – atraminio žiedo spindulys; F_{st} – sąlyginis stygos skerspjuvis) (Kvedaras 1977)

4.3. MEDINIAI KUPOLAI

4.3lentelė. Medinių kupolų vystymasis (Valentinavičius 2000)

Konstrukcijos pavadinimas ir schema	Techniniai rodikliai				
KUPOLAI	d (m)	f/l; f/d	h/l; h/d	k _s	k _m (%)
<i>Briaunoti kupolai, kai briaunoms vartojamos strypinės santvaros</i> 	20-70	1/2-1/6	1/20-1/40	3-5	4-6
<i>Briaunoti kupolai, kai briaunos iš tiesių arba lenktų pastovaus arba kintamo skerspjūvio elementų</i> 	25-100	1/2-1/6	1/15-1/40	2-4	2-3
<i>Plonasieniai kupolai – kevalai</i> 	12-35	1/4-1/6	1/200	8-12	3-5

(f - kupolo aukštis; d – kupolo žiedo skersmuo; h – briaunos skerspjūvio aukštis; a- atstumas tarp briaunų, apatinio žiedo atžvilgiu)

■ Plonasieniai kupolai

Mediniai plonasieniai kupolai projektuojami 12 – 35 m skersmens (žr. 4.3 lentelę). Tai pakankamai standi konstrukcija, kuriai reikia palyginti nedaug medžiagų. Kupolams galima panaudoti žemesnės rūšies medieną.

Kupolo kontūras yra rutulio formos, kurio aukštis $f = (1/4 - 1/6) D$. Plonasienis kupolas bei jį sudarantys pagrindiniai elementai parodyti 4.11 paveiksle. Meridianinės briaunos – arkutės, atlaiko meridianine kryptimi veikiančias gniuždymo įrašas ir jas perduoda į viršutinį bei apatinį atraminį žiedą. Briaunos susideda iš sukljuotų arba sukaltų lentų. Briaunų – arkučių skerspjūvio aukštis ne mažesnis kaip 1/250 kupolo skersmens. Atstumas tarp jų ašių ties atraminiu žiedu yra

0,80 iki 1,50 m. Sukalamų arkučių lentos sandūrose gerai suleidžiamos. Sandūros daromos su pralankomis. Pirmoji viršutinės ir apatinės arktės skerspjuvio lentų sandūra turi būti ne arčiau kaip 3 m. nuo viršutinio žiedo. Lentų plotis 150 - 200 mm. Su viršutiniu gniuždomu žiedu briaunų arkučių galai jungiami lanksčiai metaliniais andėklais. Kai veikia didelės skersinės jėgos, arktės prijungiamos metaliniais lizdais.

Žiedinis paklotas atlaiko žiedo kryptimi veikiančias tempimo ar gniuždymo įrašas. Apatinėje kupolo dalyje, kur žiedo kryptimi gali būti tempimo įrašų, paklotas daromas dvisluoksnis. Apatinės pakloto lentos dedamos ant meridianinių arkučių, viršutinės lentos dengia apatinių lentų sandūras. Abu lentų sluoksniai sukalami. Lentos neišlenkiamos, dėl to tarp jų yra plyšiai. Lentų storis 19 - 25 mm, o plotis 100 - 150 mm. Kupolo viršuje, prie išlankinio žiedo, žiedinis paklotas yra gniuždomas. Čia paklotas daromas iš vienos lentos (tašelių), kurių storis lygus dvigubo pakloto storiui. Pakloto lentos sandūrose turi būti gerai suleidžiamos.

Įstrižas paklotas atlaiko šlyties įrašas, atsirandančias nuo nesimetrinės apkrovos. Jis susideda iš vieno sluoksnio lentų, dedamų virš žiedinio pakloto eglute, maždaug 45° kampu. Lentų storis 16 - 25 mm.

Viršutinis žiedas daromas metalinis arba medinis. Medinis žiedas gali būti klijuotinis arba iš kreivinių. Žiedo skersmuo turi būti toks, kad lengvai tilptų į jį atremiamos medinės arktės ($d \geq n \cdot b / \pi$, čia b – arktės skerspjuvio plotis, n – arkučių skaičius). Viršutinio žiedo anga panaudojama stoglangiui įrengti arba vėdinimui.

Atraminis žiedas atlaiko arkučių skėtimą yra tempiamas. Jis gaminamas iš gelžbetonio, metalo arba medžio (tai priklauso nuo įrašų dydžio ir atraminės konstrukcijos). Arkučių galai inkasuojami atraminiam žiede, o šis patikimai sujungiamas su žemiau esančia konstrukcija.

Medinių plonasienių kupolų skaičiavimo principai

Kupolai apskaičiuojami remiantis bemomente teorija. Kiek reikia vinių žiediniam paklotui sujungti su meridianinėms arktėmis, apskaičiuojama pagal įrašų skirtumą arkučių ilgyje.

Viršutinis kupolo žiedas apskaičiuojamas kaip gniuždomas elementas, patikrinant sandūrose glemžimą ir žiedo stabilumą. Jei per visą žiedo ilgį veikiančios išorinės apkrovos vienodos, tai žiedo gniuždymo įrašas:

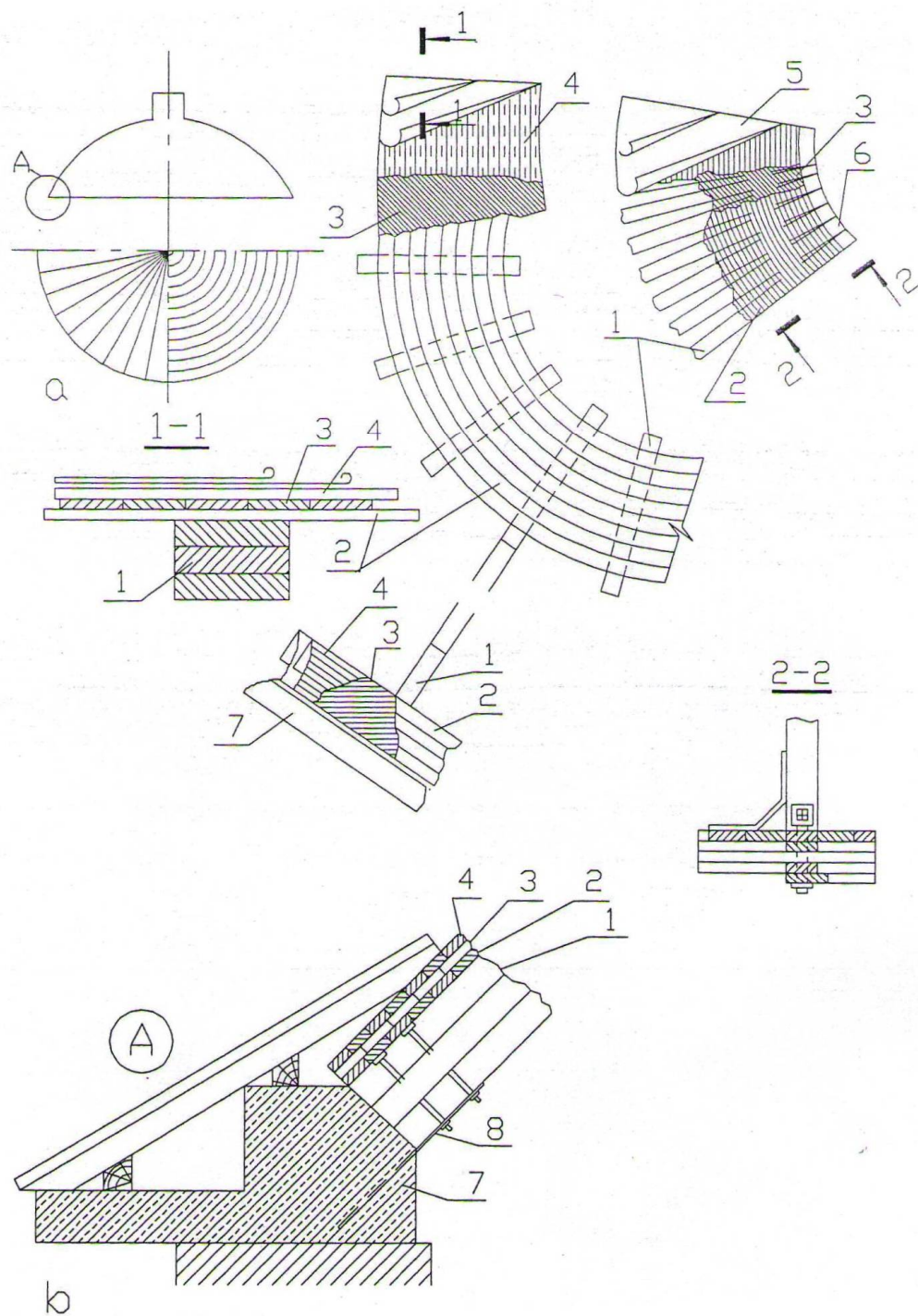
$$N_{\max} = T \cdot r. \quad (4.4)$$

čia: T – meridianinė įraš žiedo ilgio vienetai; r – žiedo kreivumo spindulys.

Kritiniai žiedo įtempiai patikrinami pagal šia formulę:

$$\sigma_{cr} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{r^2 \cdot A} \leq R_c. \quad (4.5)$$

čia: E – žiedo medžiagos tamprumo modulis; I – skerspjuvio inercijos momentas vertikaliosios ašies atžvilgiu; A – skerspjuvio plotas.



4.11 pav. Plonasienis kupolas: a – kupolo schema, b – kupolo elementai ir detalės; 1- lanksčios arkutės, suklijuotos iš lentų, 2 – apatinis žiedinis paklotas, 3 – įstrižas paklotas, 4 – viršutinis žiedinis paklotas, 5 – stogo danga, 6 – viršutinis atraminis žiedas, 7 – apatinis gelžbetoninis žiedas, 8 – arkutės inkaras (Valentinavičius 2000)

■ Briaunotieji kupolai

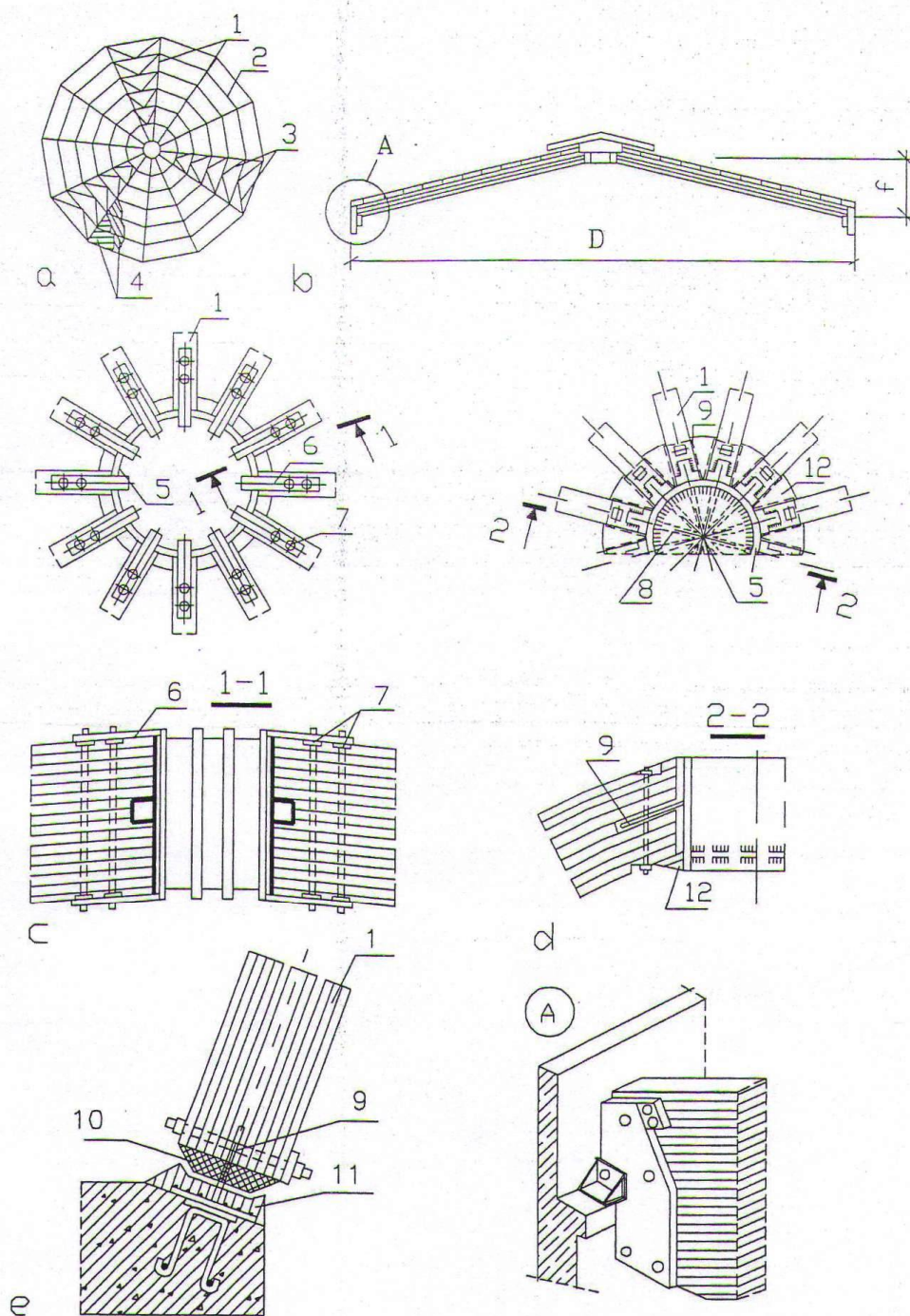
Šie kupolai susideda iš atskirų, radialiai sustatytų lenktų arba tiesių briaunų, kurios remiasi į viršutinį ir apatinį žiedą arba pamatus (žr. 4.12 pav). Kupolo paviršių sudaro denginys, atremtas į briaunų viršutinę plokštumą. Denginys daromas iš skydų arba lentų pakloto, kuris remiasi į žiedu sudėtus ilginius.

Laikančiųjų meridianinių briaunų skerspjūvis būna pastovus ir kintamas. Briaunos daromos klijuotinės (iš lentų arba faneros), būna sudėtinio skerspjūvio arba spraginės. Briaunos lemia kupolo standumą, suteikia jam taisyklingą formą ir palengvina jo montavimą. Briaunos skerspjūvio aukštis būna $1/50 - 1/75$ kupolo skersmens. Jos dedamos kas 4,5 - 6 m. viena nuo kitos apatinio žiedo atžvilgiu. Atskiros standžios briaunos sujungiamos skersiniais ryšiais, kurie turi užtikrinti briaunos apatinės juostos stabilumą. Tarp gretimų briaunų turi būti ne mažiau kaip trys ryšiai, jungiantys šias briaunas poromis per visą briaunų ilgį. Dažnai gretimos briaunos jungiamos ryšiais poromis visame denginyje.

Paklotas daromas dviejų sluoksnių – išilginis ir įstrižas. Jis dedamas ant ilginių.

Skirtingai nuo plonasienių kupolų, viršutinis žiedas turi būti standesnis, nes jis ir lenkiamas, ir sukamas. Jei viršutinio žiedo skersmuo pakankamai didelis, tai jo standumas ir stabilumas padidinamas vidiniais spyriais. Briaunos su viršutiniu ir apatiniu žiedu jungiamos lanksčiai. Briaunoti kupolai vertikaliam simetriniam apkrovai gali būti apytiksliai apskaičiuojami kaip plokščios arkos, veikiamos trikampės formos apkrovos. Briaunų įrašos nuo veikiančios horizontalios vėjo arba nesimetrinės vertikaliosios apkrovos gali būti apskaičiuojamos suskaidant kupolą į plokščias trijų lankstų arkas. Arkos horizontalųjį poslinkį suvaržo kitų arkų tampri atrama. Jei į tai neatsižvelgiama, tai apskaičiuotoji konstrukcija turi didesnę laikomosios galios atsargą.

Briaunų sujungimas su žiediniais ilginiais turi įtakos briaunų – arkų skerspjūvio matmenims, jų standumui ir stabilumui. Sujungus ilginius su briaunomis, sumažėja briaunų projektinis ilgis, kai briaunos apskaičiuojamos plokštumoje, statmenoje veikiančiam lenkiamajam momentui.

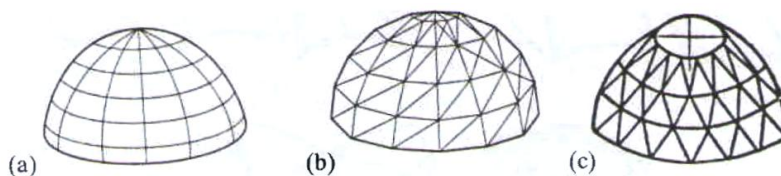


4.12 pav. Briaunotas kupolas: a – briaunoto kupolo schema, b – kūginio briaunoto kupolo pjūvis; c, d – kupolo briaunų jungimo prie viršutinio žiedo sprendimai, e – briaunų jungimo prie apatinio žiedo arba pamatų sprendimai; 1- briauna, 2 – ilginiai, 3 – ryšiai šlaito kryptimi, 4 – stogo elementai, 5 – viršutinis atraminis metalinis žiedas, 6 – metalinė plokštė, 7 – dygliuotasis spraustelis, 8 – sąstanda, 9 – juostelintis lankstas, 10 – klijuotos medienos intarpas, 11 – polimerbetonis, 12 – atraminis staliukas (Valentinavičius 2000)

4.4. GEODEZINIAI (TINKLINIAI) KUPOLAI

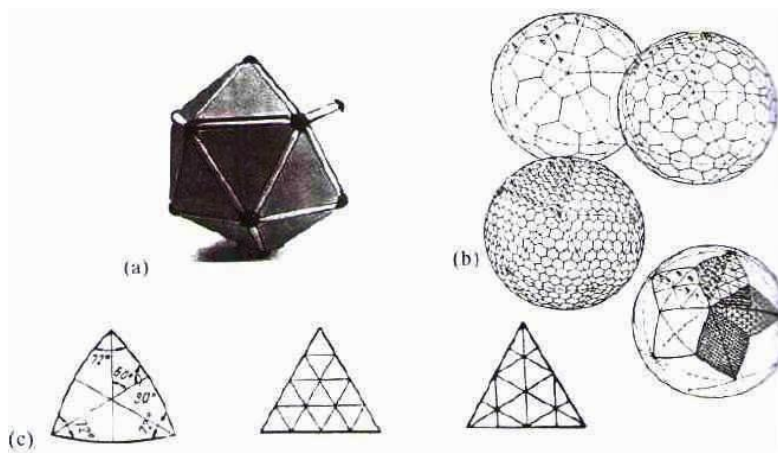
Tinkliniai kupolai – lengva ir ekonomiška konstrukcija, naudojama perdengiant įvairios paskirties didelių plotų patalpas. Kupolo elementai gali būti naudojami iš plieno, aliuminio, medienos. Projektuojant svarbu naudoti kuo mažiau skirtingų matmenų elementų. Tipiškos stropinių kupolų formos yra sferinė ir kūginė.

Sferinių briaunotojų kupolų konstrukcija sudaryta iš arkų, viena su kita sujungtų žiedais, išdėstytais koncentriškai (žr. 4.13 pav. a). Arkos ir žiedai sudaro statiskai neišsprendžiamą sistemą, kurioje sudėtinga įvertinti bendrą jų darbą. Kupolo konstrukcija patobulinta įdėjus įstrižuosius strypus, kurie dalija plotą tarp arkų ir žiedų į trikampius laukus. Šio tipo kupolas vadinamas Švedlerio kupolu (žr. 4.13 pav. b). Didžiausias 101.2 m skersmens, 34 m aukščio šio tipo kupolas pastatytas Šarlotėje (Šiaurės Karolina, JAV).



4.13 pav. Strypiniai kupolai: a – briaunotasis; b – Švedlerio; c – tinklinis (Ražaitis 2004)

Kupolų konstrukcija tapo lengvesnė masyviais arkos formos briaunas pakeitus strypiniais elementais. Kupolas formuojamas iš horizontaliųjų žiedų ir tinklelio strypų. Šio tipo kupolai vadinami tinkliniais (žr. 4.13 pav. c). Tačiau taip formuojamas kupolas reikalauja didelio kiekio skirtingų elementų. Tinkliniai kupolai tapo viena iš dažniausiai naudojamų šio tipo konstrukcijų, sukūrus geodezinį kupolą. Šį kupolą, dar vadinamą Fulerio (žr. 4.14 pav a), sudarančių elementų geometriniai parametrai yra unifikuoti. Kaip pagrindą imant dvidešimtkampį ikosaedrą, įrašytą į rutulinę sferą, galima sukonstruoti kupolą, susidedantį iš 20 lygiašonių trikampių, kurių kiekvieno viršūnės kampas lygus 72° . Kiekvienas trikampis gali būti padalytas į daugybę vienodų smulkesnių trikampių (žr. 4.14 pav. b).



4.14 pav. Geodezinio kupolo formavimas: a – ikosaedras, įrašytas į rutulinę sferą; b – daugiakampiai, suprojektuoti į sferinį paviršių; c – sferinio paviršiaus trikampių parametrai ir dalijimas į smulkesnius trikampius (Ražaitis 2004)

Suprojektavus ikosaedro trikampius į sferos paviršių gaunami ne plokšti, bet sferiniai trikampiai (žr. 4.14 pav. c), kurių kraštinės yra kreivosios, gulinčios ant sferinio paviršiaus. Sferos pagrindinis trikampių tinklas gali būti sumodeliuotas iš šešių lygiašonių trikampių, išdėstytų apie vieną tašką ir sudarančių šešiakampį. Šešiakampiai visiškai neužpildo rutulinio paviršiaus ir todėl turi būti įtraukta 12 penkiakampių. Geodezinio kupolo sprendimas sudarė prielaidas suvienodinti jo elementus ir sujungimo mazgus. Taip buvo sukurtos kupolų sistemos iš vamzdinio profiliuotųjų plieninių ir aliuminio elementų.

■ Plieniniai, aliuminiai geodeziniai kupolai

Geodezinių kupolų strypai dažniausiai daromi iš vamzdžių. Strypai sujungiami varžtais, dedant atitinkamus šampuotus mazginius lakštus arba privirinant prie rutulio strypų galus bei įleidžiant įsriegtus galus į atitinkamas detales.

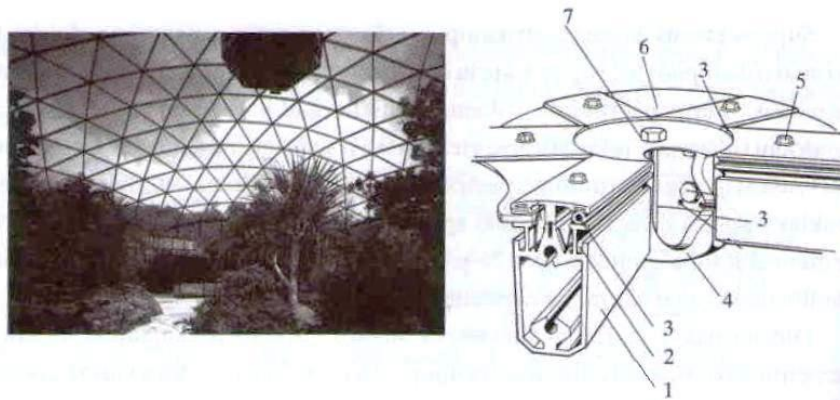
Geodeziniai kupolai būna vienasluoksniai ir dvisluoksniai. Dvisluoksnių kupolų strypų sujungimo mazgai yra panašūs į kitų struktūrinių konstrukcijų mazgus. Jie išdėstomi ant dviejų koncentriškų rutulinių paviršių. Iš šių paviršių spindulių skirtumo ir nustatomas kupolo konstrukcijų aukštis. Tokie kupolai labai standūs ir jais galima perdengti labai didelius tarpatramius (geodeziniai kupolai skaičiuojami kaip kevalai nemomentinės teorijos metodu).

Didžiausias, t.y. 165 m skersmens angaro kupolas iš vamzdynių aliuminio elementų buvo sukonstruotas Kalifornijoje (JAV) (žr. 4.15 pav). Tokio tipo kupolams gali būti naudojami ir plieniniai vamzdyniai elementai.



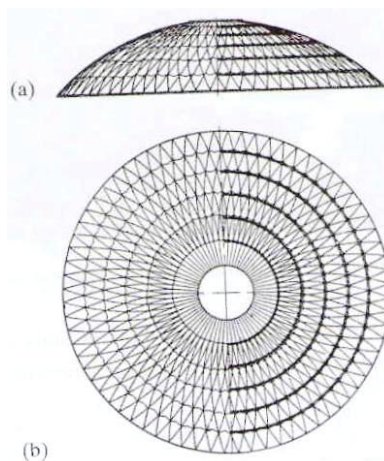
4.15 pav. Aliuminio kupolas, perdengiantis 165m skersmens angą (Ražaitis 2004)

Kupolai daugeliu atvejų įstiklinami skaidriais akrilo lakštais, naudojant specialaus profiliuotą aliuminio elementus ir hermetiškus jungimo mazgus (žr. 4.16 pav).

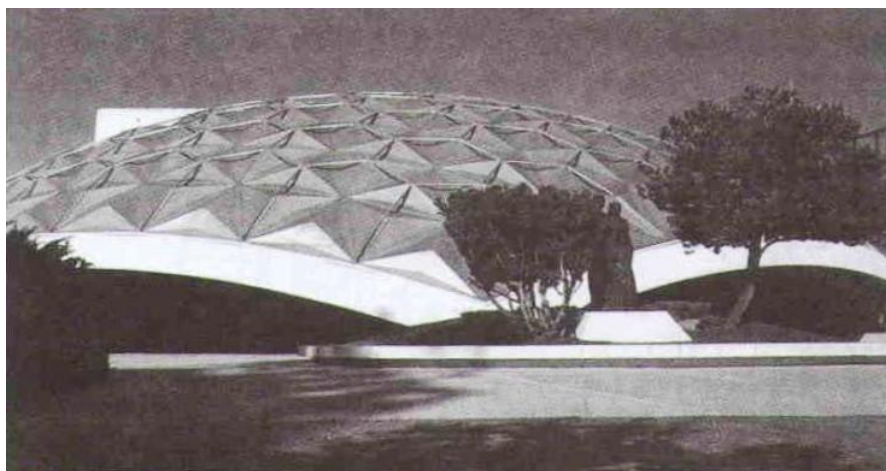


4.16 pav. Skaidraus kupolo bendras vaizdas ir mazgo konstrukcija: 1 – aliuminio profiliuotis, 2 – kondensato nuvedimo latakas, 3 – tarpinė iš silikono, 4 mazgo elementas iš aliuminio, 5 – plieninis varžtas, 6 – skaidraus akrilo lakštas, 7 – mazgo dangtelis ir centrinis varžtas (Ražaitis 2004)

Efektyvi ir lengva kevalinė – klostinė kupolo konstrukcija įrengiama naudojant vienodų matmenų rombo arba šešiakampio formos šampuotus aliuminio lakštus (žr. 4.17 ir 4.18 pav).



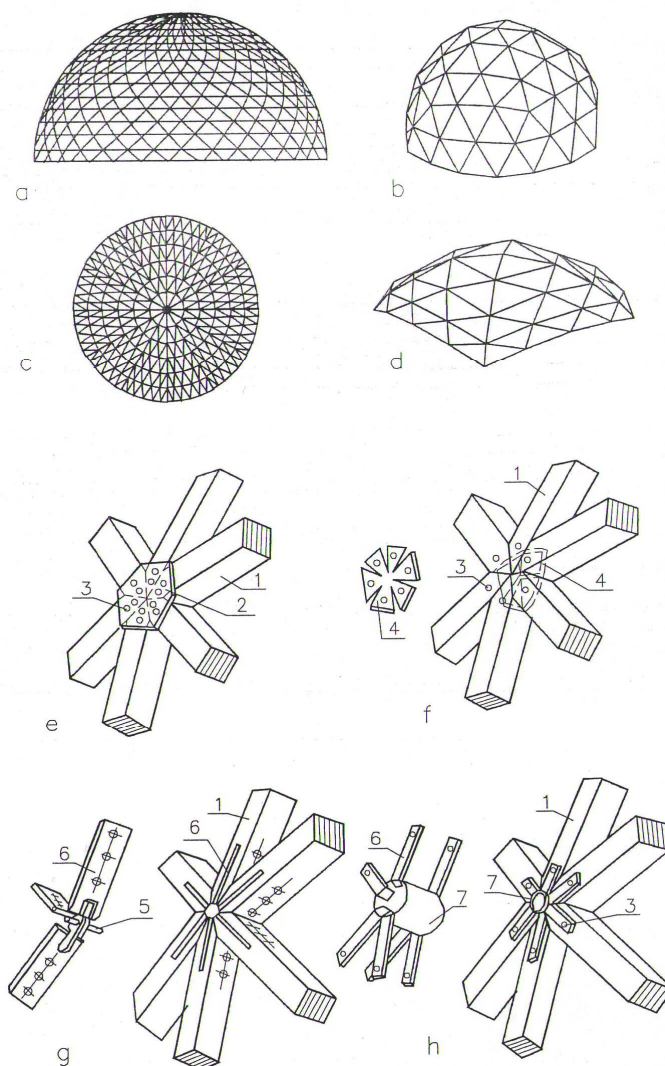
4.17 pav. „Kaizer“ sistemos kupolas iš rombo formos šampuotų aliuminio elementų: a – fasadas; b – planas (Ražaitis 2004)



4.18 pav. Teatro pastato denginys iš „Temcor“ kupolo sistemos šešiakampio formos šampuotų aliuminio elementų (Ražaitis 2004)

■ Mediniai geodeziniai kupolai

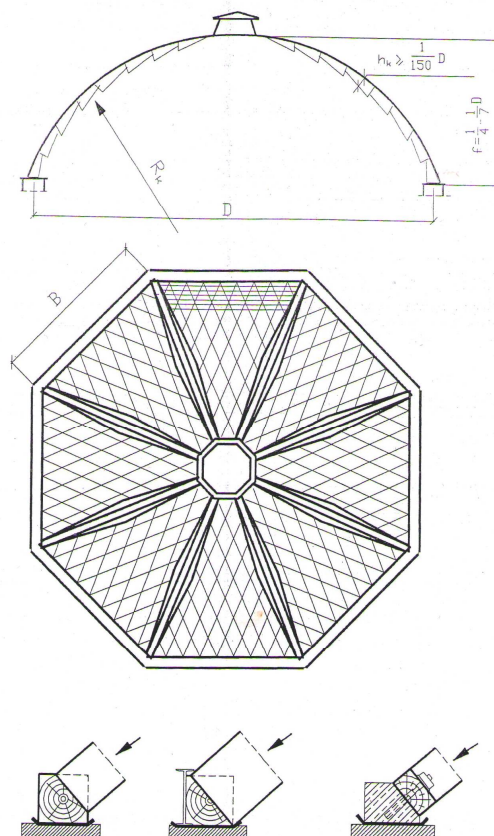
Geodeziniai kupolai susideda iš sferiniame paviršiuje esančių daugiakampių elementų. Tinklelį sudaro trikampiai, trapecijos, rombai, šešiakampiai ir kitos geometrinės figūros. Elementai mazguose jungiami lanksčiai (žr. 4.19 pav). Tinkliniai kupolai yra lengvi, gražūs. Jau dabar yra suprojektuota 257 m skersmens tinklinių kupolų.



4.19 pav. Tinklinių kupolų schemas ir tinklelio mazgai: a, b – sferinis su trikampių tinkleliu apvalaus arba daugiakampio plano pastatams; c – sferinis (Čivito sistema), d – piramidės formos kvadrato arba stačiakampio plano pastatams, e – elementų sujungimas mazge metaline arba fanerine detale; f – elementų sujungimas mazge, metalinę detalę įstatant į elementų horizontalias įpjovas ir suveržiant varžtais; g – elementų sujungimas mazge, metalinę detalę įstatant į elementų vertikalias įpjovas ir suveržiant varžtais; h – elementų sujungimas mazge, jungiant elementus plokštėmis, privirintomis prie vamzdinės šerdies.; 1 – briauna, 2 – jungiamoji metalinė arba fanerinė detalė, 3 – vinis, 4 – jungiamoji metalinė arba fanerinė detalė, 5 – varžtas, 6 – metalinės plokštės, 7 – metalinis vamzdis (Valentinavičius 2000)

Tinklinius kupolus dažniausiai sudaro trikampių elementų tinklelis. Pavyzdžiui JAV yra stadionas, kurį dengia 153 m skersmens ir 29,2 m aukščio kupolas. Trikampio tinklelio klijuotųjų elementų ilgis nuo 10,7 iki 18,9 m. Lenkti tinklelio elementai tarp savęs sujungiami varžtais ir metalinėmis detalėmis. Kupolo elementų įrašos apskaičiuojamos naudojantis bemomente teorija (kaip ir vientiso kevalo). Tinklelio strypai dar ir lenkiami vietinės apkrovos. Šiuo atveju kupolo tinklelio elementai apskaičiuojami kaip ekscentriškai gniuždomi strypai. Skaičiuojant tikrinamas vietinis ir bendrasis kupolo stabilumas.

Paprasčiausius tinklinius kupolus sudaro radialiosios briaunos, tarp kurių esantis plotas užpildomas kreivinėmis (žr. 4.20 pav). Konstrukcija yra panaši į išlankinį – tinklinį skliautą. Suglausto skliauto formos kupolo pjūvis yra taisyklingas daugiakampis. Kiekvieną daugiakampio šoną atitinka kupolo sektorius, kurį sudaro paprasto cilindrinio skliauto dalys. Gretimi suglausto skliauto sektoriai sujungiami specialiomis briaunomis. Suglaustam kupolui vartojant klijuotines kreivines, briaunos taip pat turi būti klijuotinės. Atraminis žiedas gaminamas iš medžio, metalo arba gelžbetonio. Viršutinis žiedas paprastai daromas pagal daugiasluoksnės išlankinės arkos principą.



4.20 pav. Tinklinio suglausto kupolo pjūvio bei plano schemas ir kreivinių atrėmimo į mūrlotį sprendimai
(Valentinavičius, 2000)

4.5 IŠVADOS

XIX – XX a. laikotarpyje tobulinamos statybos technologijos, kurios leido ekonomiškiau naudoti statybines medžiagas, tuo pačiu sparčiau bei pigiau atlikti statybos darbus. Šie procesai turėjo įtakos statybinių konstrukcijų vystymuisi, tame tarpe ir kupolinių konstrukcijų tobulėjimui.

Šiame etape ištobulėjo arba buvo sukurta nemažai naujų kupolinių konstrukcijų sistemų.

- XIX a. viduryje sukūrus betono armavimo principus, atsirado galimybė konstruoti plonasienius kevalinius kupolus. Iš gelžbetonio galima statyti įvairių architektūrinių formų konstrukcijas ir statinius. Plonasienėmis kupolinėmis gelžbetoninėmis konstrukcijomis be tarpinių atramų galima perdengti didelių vidinių erdvių pastatus (angarus, sporto ir įvairių renginių sales, parodų paviljonus, turgaus hales). Pagrindiniai plonasienių kupolinių konstrukcijų elementai yra kevalas ir atraminis kontūras. Gelžbetoninės plonasienės erdvinės konstrukcijos gali būti monolitinės, surenkamos ir surenkamos – monolitinės (žr. 4.4 lentelę a).
- XVIII a. metalinės konstrukcijos pradėtos lieti, tačiau pramonės būdu išlydyta geležis gauta tik XIX a. pradžioje, ją pradėta valcuoti, konstrukcijas - jungti kniedėmis. Išsivysčius metalo gamybos technikai atsiranda metaliniai kupolai, jie naudojami didelėms angoms perdengti, gali būti briaunoti arba briaunoti žiediniai kupolai (žr. 4.4 lentelę b).
- Sukuriama visiškai nauja metalinio geodezinio kupolo konstrukcija. Geodeziniai kupolai – lengva, ekonomiška konstrukcija, kuri kaip ir gelžbetoniniai, metaliniai ar mediniai kupolai, naudojama norint perdengiant įvairios paskirties didelių plotų patalpas. Kupolo elementai gali būti naudojami iš plieno, aliuminio ar medienos (žr. 4.5 lentelę).
- Mediena kaip statybinė medžiaga naudojama nuo priešistorinių laikų, tačiau tik atsiradus klijuotinės medienos konstrukcijoms, buvo įmanoma išgauti kupolo paviršiaus formą. Mediniai kupolai pakankamai standi konstrukcija, kuriai reikia palyginti nedaug medžiagų. Kupolai gali būti plonasieniai arba briaunoti (žr. 4.4 lentelę, c).

Pastaba: bendrą kupolo raidos genezę nuo priešistorinių laikų iki XX a. žiūrėti A priede.

5. KUPOLO KONSTRUKCIJOS PRITAIKYMAS ŠALČININKŲ LIETUVOS TŪKSTANTMEČIO GIMNAZIJOS AKTŲ SALĖJE

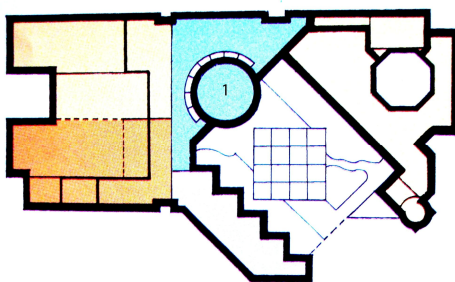
3 skyriuje pristatoma kupolo konstrukcijos raida. 4 skyriuje analizuojamos kupolo pritaikymo galimybės, naudojamos medžiagos, kupolo konstrukcijos veikimo principai. 5 skyriuje analizuojama galimybė pritaikyti kupolo konstrukciją šių dienų pastate.

Įvertinus nagrinėjamos konstrukcijos privalumus ir trūkumus, šiame skyriuje bus pateiktas projektinis pasiūlymas panaudoti kupolo konstrukciją 1997 m. pastatytos Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės perdengimui.

5.1. ESAMOS ERDVINĖS SANTVAROS ĮVERTINIMAS KONSTRUKCINIŲ IR ARCHITEKTŪRINIŲ POŽIŪRIAIS

Mokyklos, iškilusios palyginti mažame Šalčininkų mieste, funkcinė programa atrodo išpūdingai: pastatyta ne tik 36 klasės, valgykla, aktų ir sporto salės, bet ir baseinas bei galintis savarankiškai funkcionuoti jaunimo centras.

Visos šios funkcinės grupės formuoja paprastus geometrinius tūrius, iš kurių tarsi iš kaladėlių dėliojamas mokyklos kompleksas. Kompoziciją organizuojančiu tūriu tampa aktų salės cilindras, aplink kurį tarsi aplink ašį, turėjo suktis visos kitos (žr. 5.1 pav). Diferencijuoti geometriniai tūriai turėjo suskaldyti šiaip jau masyvų pastato tūrį. Iš esmės tai pavyko. Šis kompozicijos principas aiškiai suvokiamas pagrindiniame mokyklos kieme bei interjeruose aplink aktų salę.



5.1 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos schema (aktų salė pažymėta 1) (Archiforma 1998)

Labiau monotoniški, ilgi ir masyvūs atrodo išoriniai mokyklos fasadai. Lakonišką ir aiškų žaidimą diferencijuotais geometriniiais tūriais niveliuoja skirtingų faktūrų ir spalvų stoka (žr. 5.2 pav.)



5.2 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazija (Archiforma 1998)

Šiek tiek trikdo kontrastai aktų salės viduje – lubų architektūrinė grafika, kurią formuoja ažūrinė laikančioji konstrukcija ir perdanga iš gofruoto metalo nelabai dera su didelėmis lygiomis salės sienomis (žr. 5.3 pav.)



5.3 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salė (Archiforma 1998)

Pastaba: dėl eksploatacinių sąlygų konstrukcija kelia abejonių. Norint įvertinti aktų salės denginį konstrukciniu požiūriu atliekami inžineriniai skaičiavimai.

22m erdvinė santvara – inžineriniai skaičiavimai

Šiuo metu aktų salės denginio konstrukciją sudaro aštuonios 11m erdvinės santvaros (žr. 5.4 pav.)

Skaičiavimams atlikti naudojamos programos:

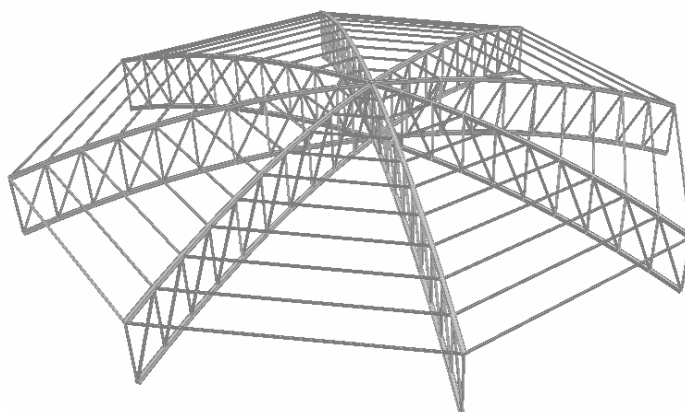
STAAD. Pro programa – inžineriniams skaičiavimams;

SISTELA - sąmatos skaičiavimams.

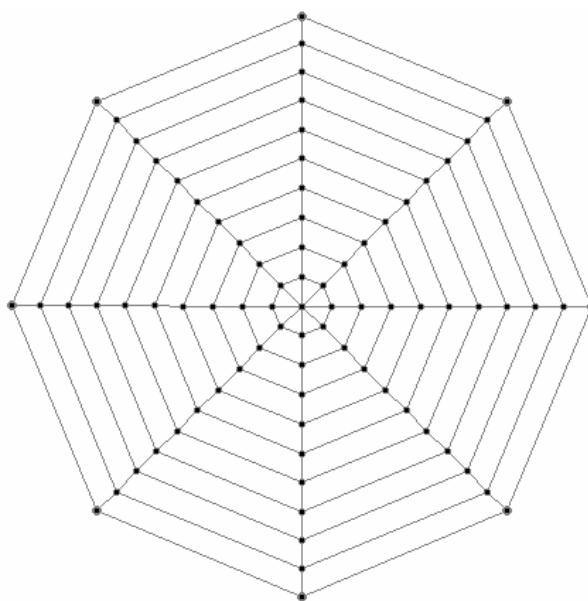
Inžineriniai skaičiavimai

Skaičiuojamoji schema:

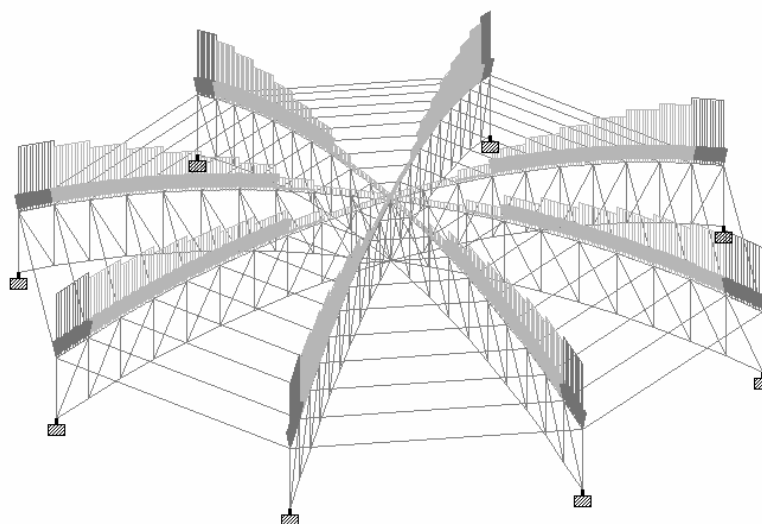
Pasekmių klasė CC2, patikimumo klasė RC2. Panaudojimo kategorija C1 (mokykla). **Klasės ir kategorijos parenkamos priklausomai nuo pastato paskirties (denginio bendras vaizdas 5.4 pav., vaizdas plane 5.5 pav.)**



5.4 pav. Aktų salės denginio bendras vaizdas.



5.5 pav. Aktų salės denginio planas



5.6 pav. Denginio savasis svoris

Sniego apkrova

Sniego apkrova skaičiuojama pagal *Eurokodą 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-3 dalis*. Bendrieji poveikiai. Sniego poveikiai.

Pagal EN 1991-1-3 sniego apkrova nuolatinėms ir trumpalaikėms skaičiuotinėms situacijoms nustatoma taikant tokią formulę:

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k \quad (5.1)$$

čia:

s_k – charakteristinė sniego apkrovos reikšmė nustatoma pagal 8 lentelę priklausomai nuo sniego apkrovos rajono;

μ – stogo sniego apkrovos formos koeficientas;

C_e – atodangos koeficientas, priklausomai nuo vietovės topografinės charakteristikos, reikšmė pateikta 9 lentelėje;

C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos. Terminis koeficientas turi būti panaudojamas, kai atsižvelgiama į dėl tirpimo sumažėjusią sniego apkrovą ant stogo, turinčio didelį šiluminį laidumą ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Visais kitais atvejais, $C_t = 1,0$.

Sniego antžeminės apkrovos s_k charakteristinės reikšmės:

Sniego apkrovos rajonas	s_k , kN/m ²
I	1,2
II	1,6



5.7 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-3dalis)

Žymenys:

I, II – sniego apkrovos rajonas.

5.1 lentelė. Rekomenduojamos c_e reikšmės (Eurokodas 1 1-3dalis)

Vietovės topografinė charakteristika	c_e
Neapsaugota nuo vėjo ^a	0,8
Normali ^b	1,0
Apsaugota ^c	1,2

^a Plokščios, lygios vietovės, iš visų pusių neapsaugotos arba truputį apsaugotos aukštesnių statinių arba medžių.
^b Vietos, kuriose vėjas sniegą ant statinių perneša nereikšmingai dėl vietovės savybių, kitų statinių arba medžių.
^c Vietos, kuriose nagrinėjami statiniai yra aiškiai žemesni už supančią vietovę arba supančius medžius ir (arba) supančius aukštesnius statinius.

Pastaba:

$S_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$ – Pastatas pastatytas Šalčininkuose, t.y II sniego apkrovos rajonas.

$C_e = 1,0$; Mokykla yra sklype, greta kitų statinių bei medžių, todėl priimama jog vėjas sniegą ant statinių perneša nereikšmingai.

$C_t = 1,0$; Šiluminė stogo izoliacija atitinka reikalavimus.

Skaičiuojama sniego apkrova:

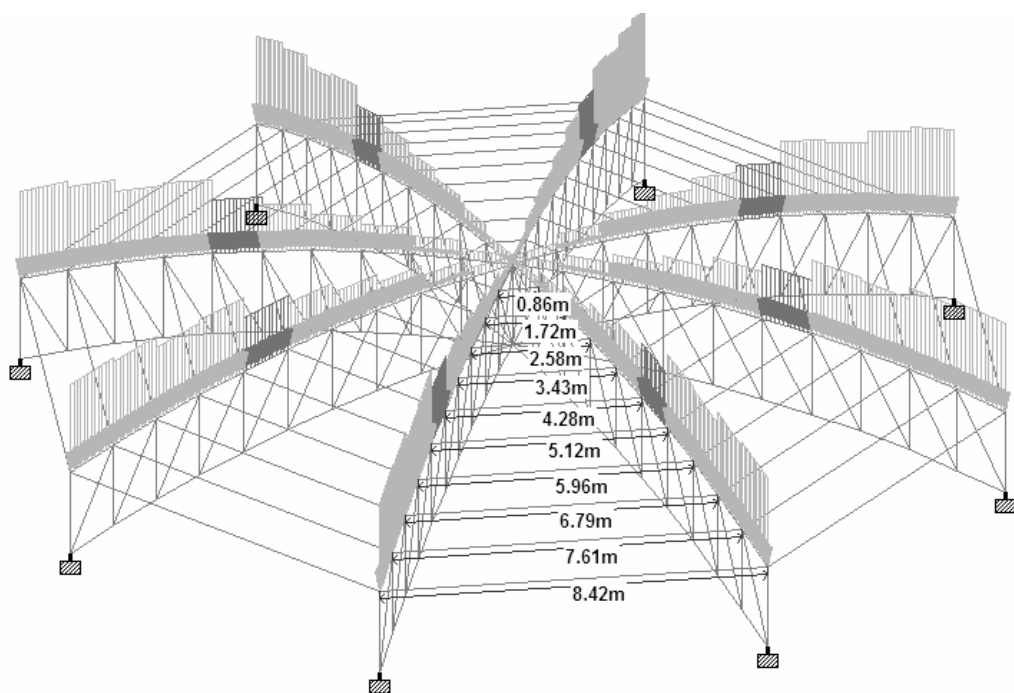
$$s = \mu_i C_e C_t S_k$$

$s = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 1,6 \text{ kN/m}^2$ - charakteristinė reikšmė.

$s = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,35 = 2,16 \text{ kN/m}^2$ - skaičiuotinė reikšmė.

Pastaba:

Sniego apkrova surenkama į metalinių santvarų viršutinės juostas. Atstumai tarp santvarų skirtingi, todėl sniego apkrova kiekvienam atvejui skaičiuojama atskirai.



5.8 pav. Sniego apkrova į santvaros viršutines juostas

$$s_1 = 1.6 \cdot 8.42 = 13.47 \text{ kN} / \text{m};$$

$$s_2 = 1.6 \cdot 7.61 = 12.18 \text{ kN} / \text{m};$$

$$s_1 = 1.6 \cdot 6.79 = 10.86 \text{ kN} / \text{m}.$$

Vėjo apkrova

Vėjo apkrova skaičiuojama pagal *Eurokodą 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis*.

Bendrieji poveikiai. Vėjo poveikiai.

LIST EN 1994 – 1 – 4, skirta nustatyti vėjo poveikiams.

Mokykla pastatyta Šalčininkuose, kuris priklauso I Lietuvos vėjo greičio rajonui.

Pagrindinio vėjo greičio reikšmė:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 24.0 = 24 \text{ m} / \text{s} \quad (5.2)$$

čia:

$v_{b,0}$ – pagrindinė vėjo greičio reikšmė (žr. 5.2 lentelę);

c_{dir} - vėjo krypties koeficientas;

c_{season} – metų laiko koeficientas.

5.2 lentelė. Svarbiausios pagrindinės vėjo greičio reikšmės $v_{b,0}$ (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Vėjo greičio rajonas	$v_{b,0}$, m/s
I	24
II	28
III	32



5.9 pav. Lietuvos vėjo apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Žymenys:

I, II, III – vėjo apkrovos rajonai

Pastaba: vėjo apkrovos rajonų ribos nustatomos pagal administracinio rajono ribas.

Pagrindinio vėjo greičio slėgio reikšmė:

$$q_p = \frac{\rho}{2v_b^2}; \quad (5.3)$$

$$q_p = \frac{1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} \cdot 24^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.36 \text{ kPa}.$$

čia:

ρ – oro tankis (gali būti priimtas 1.25 kg/m^3);

v_b – pagrindinė vėjo greičio reikšmė.

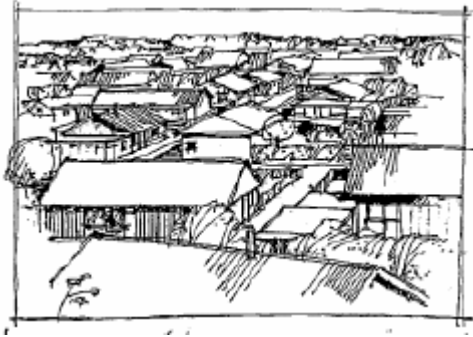
Mokyklos aplinka atitinka III vietovės kategoriją.

5.3 lentelė. Vietovės kategorijos ir vietovės parametrai (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Vietovės kategorija	Vietovės charakteristika	z_0 , m	$z_{\min}$, m
0	Atviri jūros ar jūros pakrančių ruožai	0,003	1,0
I	Ežerai ir plokšti horizontalūs ruožai su nežymia augalija ir be kliūčių	0,01	1,0
II	Mažai augmenijos; izoliuotos kliūtys atstumais bent 20 kartų didesniais už kliūčių aukštį	0,05	2,0
III	Reguliari augmenija; miškai; priemiesčiai; kaimai	0,3	5,0
IV	Bent 15% paviršiaus užstatyta pastatais, kurių vidutinis aukštis bent 15 m	1,0	10,0

III vietovės kategorija

Įprastine augalija apaugę arba pastatais užststyti, arba atskirų kliūčių, nutolusių viena nuo kitos ne daugiau nei 20 kliūčių aukščių, plotai (pvz., kaimai, priemiesčių vietovės, ištisas miškas)



Nustatomas vietovės koeficientas k_r , pasirinktiems atskaitos aukščiams $z_{e1}=10.4\text{m}$, Šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai (žr. 5.3 lent.), $z_0=0.3$, $z_{0,II}=0.05$, mažiausias aukštis $z_{\min}=0.5\text{m}$.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.22. \quad (5.4)$$

Šiurkštumo koeficientų nustatymas:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), \text{ bet } z \geq z_{\min}. \quad (5.5)$$

$$\bullet \quad c_{r1}(z_{e1}) = 0.22 \cdot \ln \left(\frac{10.4}{0.3} \right) = 0.78; \quad 10.4 \geq 5.0\text{m},$$

čia:

k_r – vietovės koeficientas;

z – kolonos aukštis;

z_0 – šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai (žr. 16 lent.).

Ekspozicijos koeficientų nustatymas:

$$c_e(z) = 1 + \frac{7}{\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}; \quad (5.6)$$

$$\bullet \quad c_{e1}(z_{e1}) = 1 + \frac{7}{\ln \left(\frac{10.4}{0.3} \right)} = 3.0.$$

čia:

z – paviršiaus aukštis;

z_0 – šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai (žr. 5.3 lent.).

Viršutinio vėjo slėgio nustatymas:

$$q_p(z) = q_b \cdot [c_r(z)]^2 \cdot \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right]; \quad (5.7)$$

- $q_{p1}(z_{e1}) = 0.36 \cdot 0.78^2 \cdot 3.0 = 0.65 \text{ kN} / \text{m}^2.$

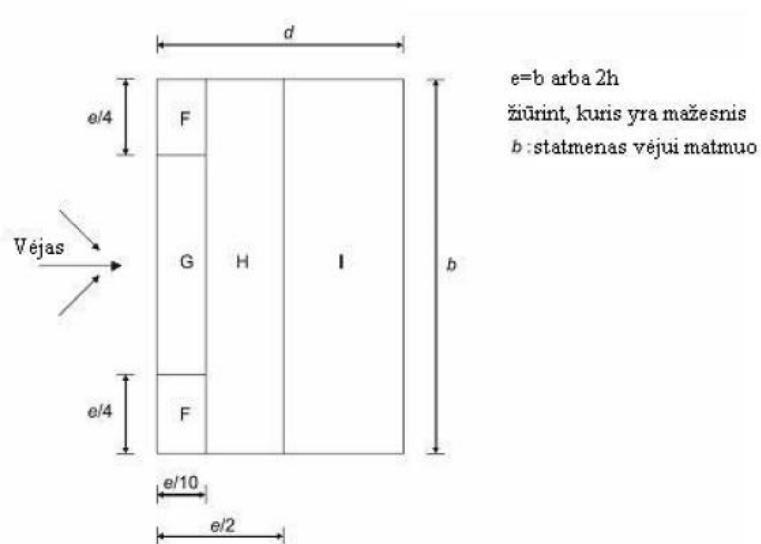
čia:

$c_r(z)$ – šiurkštumo koeficientas;

q_p - pagrindinio vėjo greičio slėgio reikšmė.

Skaičiuojamas vėjo slėgis mokyklos stogo konstrukcijai

Pastaba: Priimama, kad vidutinio slėgio c_{pi} pastate nėra.



5.10 pav. Plokščiojo stogo schema (Eurokodas 1 1-4 dalis)

$d = 22 \text{ m};$

$b = 22 \text{ m};$

$e = 2h = 20.8 \text{ m}$ – priimame mažesnę dydį;

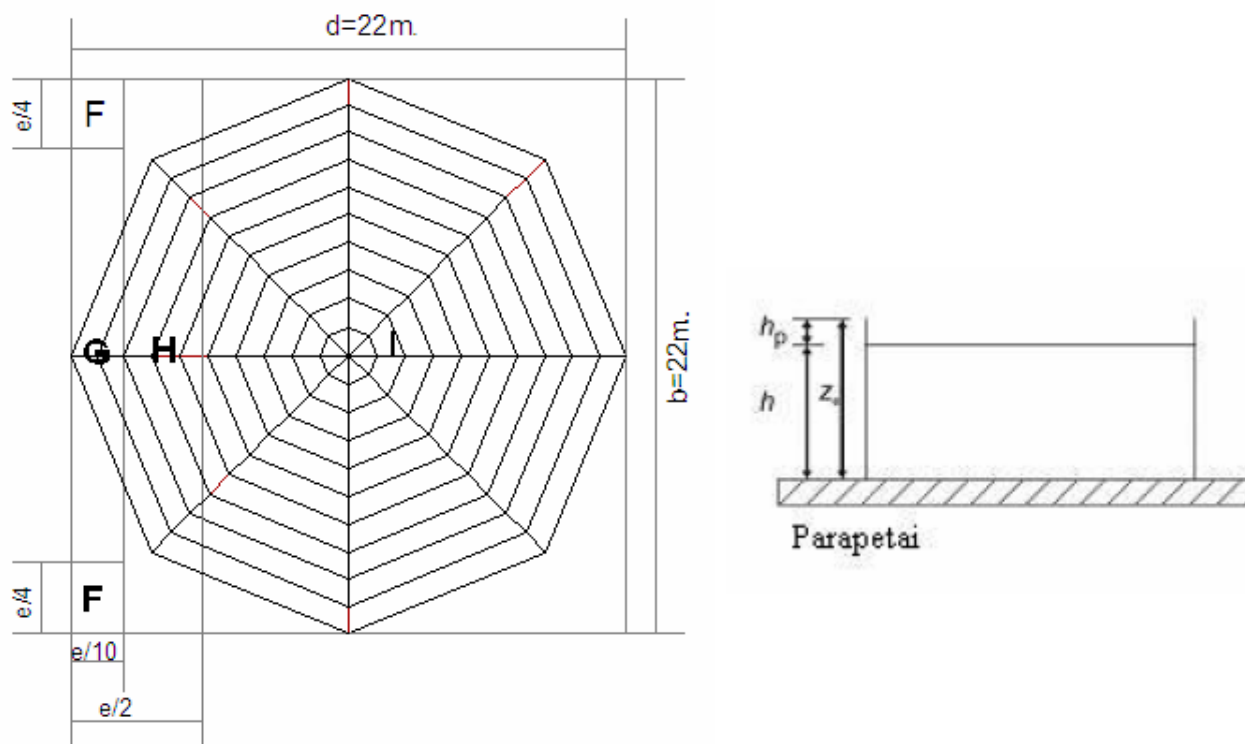
$e/4 = 2.6 \text{ m};$

$e/10 = 2.1 \text{ m}$

$e/2 = 5.2 \text{ m};$

$h_p = 0.26 \text{ m};$

$h_p/h = 0.025 \text{ m}.$



5.11 pav. Stogo planas

5.4 lentelė. Plokščiųjų stogų išorinio slėgio koeficientai (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Stogo tipas		Ruožas							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Aštrios atbrailos		- 1,8	- 2,5	- 1,2	- 2,0	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
Su parapetais	$h_p/h=0,025$	- 1,6	- 2,2	- 1,1	- 1,8	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
	$h_p/h=0,05$	- 1,4	- 2,0	- 0,9	- 1,6	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2
	$h_p/h=0,10$	- 1,2	- 1,8	- 0,8	- 1,4	- 0,7	- 1,2	+0,2	- 0,2
								+0,2	- 0,2

1 PASTABA Stogų su parapetais ir kreivinėmis atbrailomis tarpinėms h_p/h ir r/h reikšmėms galima taikyti tiesinę interpoliaciją.

$c_{ep,F}$ - šiame ruože nėra stogo dalies;

$c_{ep,G} = -1.1$;

$c_{ep,H} = -0.7$;

$c_{ep,I} = +0.2$.

I ruožui:

kai $a = 8.42 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 8.42 = +1.1 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 7.61 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 7.61 = +0.99 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 6.79 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 6.79 = +0.88 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 5.96 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 5.96 = +0.77 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 5.12 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 5.12 = +0.67 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 4.28 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 4.28 = +0.56 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 3.43 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 3.43 = +0.45 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 2.58 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 2.58 = +0.34 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 1.72 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 1.72 = +0.22 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 0.86 \text{ m}$:

$$w_{v,I} = q_p \cdot c_{ep,I} \cdot a = 0.65 \cdot (+0.2) \cdot 0.86 = +0.11 \text{ kN/m} .$$

H ruožui:

kai $a = 7.61 \text{ m}$:

$$w_{v,H} = q_p \cdot c_{ep,H} \cdot a = 0.65 \cdot (-0.7) \cdot 7.61 = -3.46 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 6.79 \text{ m}$:

$$w_{v,H} = q_p \cdot c_{ep,H} \cdot a = 0.65 \cdot (-0.7) \cdot 6.79 = -3.1 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 5.96 \text{ m}$:

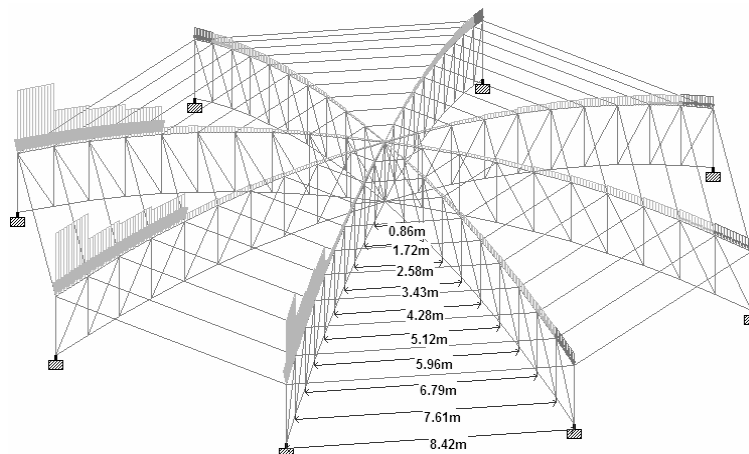
$$w_{v,H} = q_p \cdot c_{ep,H} \cdot a = 0.65 \cdot (-0.7) \cdot 5.96 = -2.71 \text{ kN/m} .$$

G ruožui:

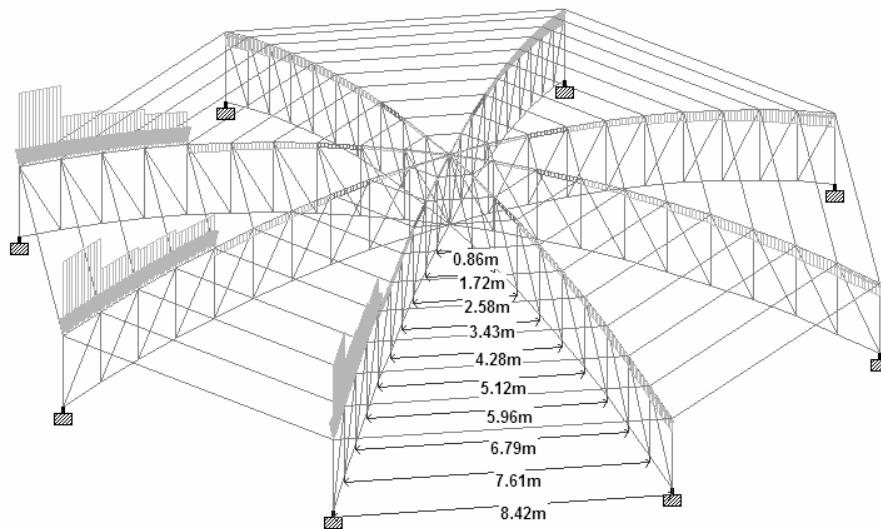
kai $a = 8.42 \text{ m}$:

$$w_{v,G} = q_p \cdot c_{ep,G} \cdot a = 0.65 \cdot (-1.1) \cdot 8.42 = -6.02 \text{ kN/m} .$$

Pastaba: a atstumas tarp santvarių.



5.12 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas Staad programa I var.



5.13 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas Staad programa II var.

5.5 lentelė. Skaičiuojamos apkrovos

Nr.	Apkrova
1.	Savasis svoris
2.	Stogo charakteristinė apkrova
3.	Stogo skaičiuotinė apkrova
4.	Sniego charakteristinė apkrova
5.	Sniego skaičiuotinė apkrova
6.	Vėjo charakteristinė apkrova I
7.	Vėjo skaičiuotinė apkrova I
8.	Vėjo charakteristinė apkrova II
9.	Vėjo skaičiuotinė apkrova II

5.6 lentelė. Apkrovų deriniai

Derinio nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	+	+		+					
2.	+		+		+				
3.	+	+				+			
4.	+		+				+		
5.	+	+						+	
6.	+		+						+
7.	+	+		+		+			
8.	+		+		+		+		
9.	+	+		+				+	
10.	+		+		+				+

Pastaba: detalūs erdvinės santvaros skaičiavimo rezultatai STAAD. Pro programa pateikti B priede.

22m erdvinė santvara – sąmatos skaičiavimas

Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės stogas (22 m erdvinė santvara)

5.7 lentelė. 22 m erdvinės santvaros kiekių žiniaraštis

Eil. nr.	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
1.	<u>Metalinė santvara</u>		
	• TUB 180 x180 x8 (176 m)	t	7.304
	• TUB 120 x120 x5 (644.59 m)	t	11.28
2.	<u>Stogo danga</u>		
	• Profiliuota plieninis skardos lakštas	m ²	379.94
		m ³	60.79
	• Akmens vata ROB 80	m ²	379.94
	• Garo izoliacija	m ³	15.198
	• Akmens vata ROS 30	m ²	379.94
	• Akmens vata ROB 80	m ²	379.94
	• Difuzinė plėvelė	m ²	379.94
	• Skarda	vnt	2279,6
	• Tvirtinimo detalės (6vnt – 1m ²)		

Pastaba: lokalinė sąmata pateikta C priede.

Įvertinus aktų salės denginio konstrukciją architektūriniu ir konstrukciniu požiūriu, daroma prielaida, kad kupolo konstrukcija būtų racionalesnė, ekonomiškesnė, o architektūriniu požiūriu suteiktų mokyklai monumentalumo.

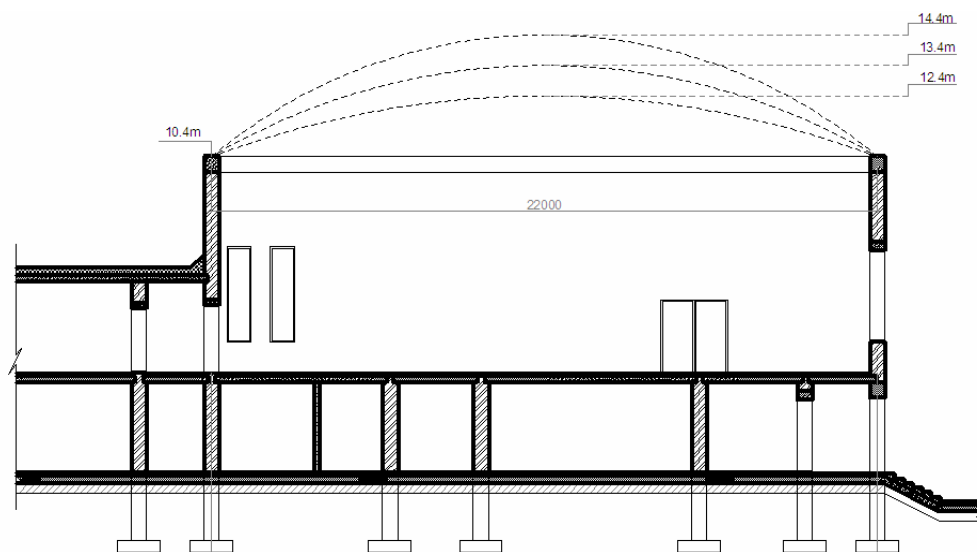
5.2. KUPOLO KONSTRUKCIJOS PRITAIKYMAS

Šiame skyriuje pateikiamas projektinis pasiūlymas vietoje esamos aktų salės denginio konstrukcijos įrengti kupolą. Analizuojami du kupolo tipai: gelžbetoninis bei metalinis žiedinis. Skaičiavimams atlikti naudojamos programos:

STAAD. Pro programa – inžineriniams skaičiavimams;

SISTELA - sąmatos skaičiavimams.

Atsižvelgiant į aktų salės aukščio ir pločio santyki projektuojamas kupolas bus 3m aukščio (žr.5.4 pav.).



5.14 pav. Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės pjūvis

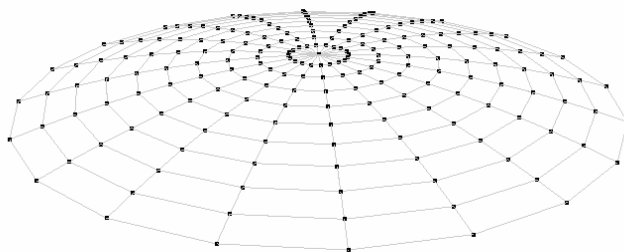
Gelžbetoninis kupolas – inžineriniai skaičiavimai

Projektuojamo kupolo skersmuo 22 m, aukštis 3 m. Kupolo storis kintamas nuo 20 cm prie kupolo atramos iki 4cm ties viršūne.

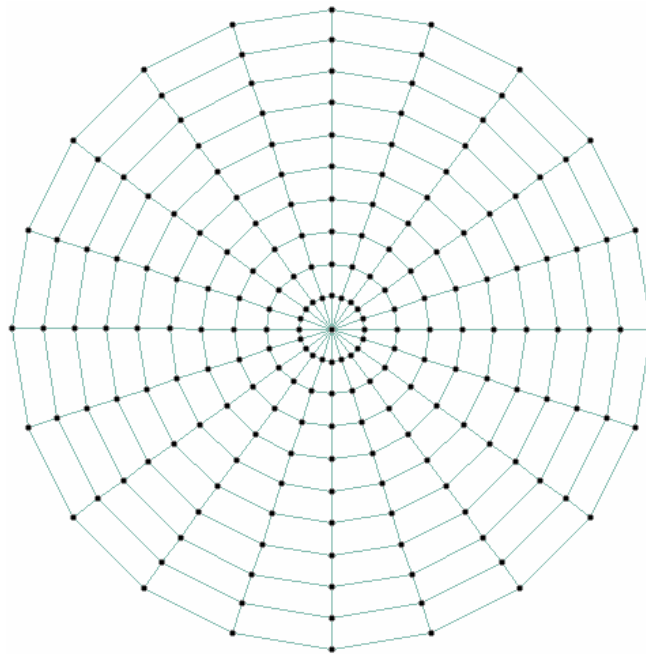
Inžineriniai skaičiavimai

Skaičiuojamoji schema:

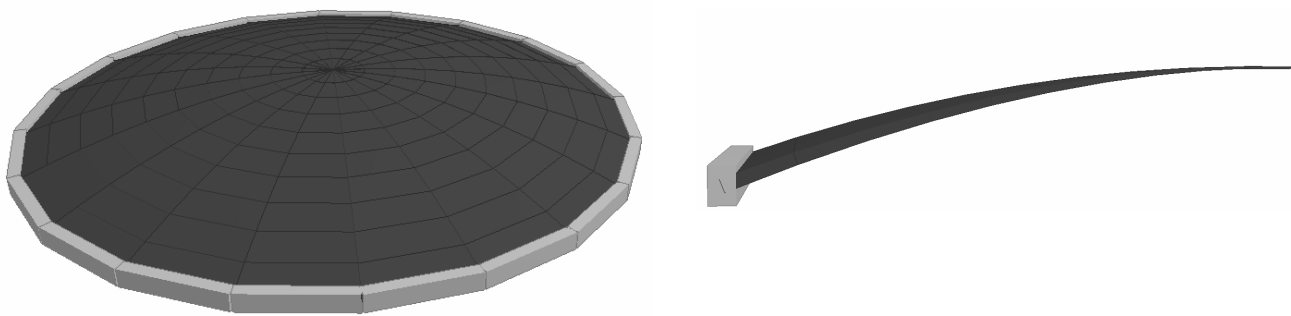
Pasekmių klasė CC2, patikimumo klasė RC2. Panaudojimo kategorija C1 (mokykla). **Klasės ir kategorijos parenkamos priklausomai nuo pastato paskirties.** (Gelžbetoninio kupolo bendras vaizdas 5.15 pav., vaizdas plane 5.16 pav.)



5.15 pav. Gelžbetoninio kupolo bendras vaizdas



5.16 pav. Gelžbetoninio kupolo vaizdas plane



5.17 pav. Gelžbetoninio kupolo schema (kiauto storis kintamas 20cm -4cm)

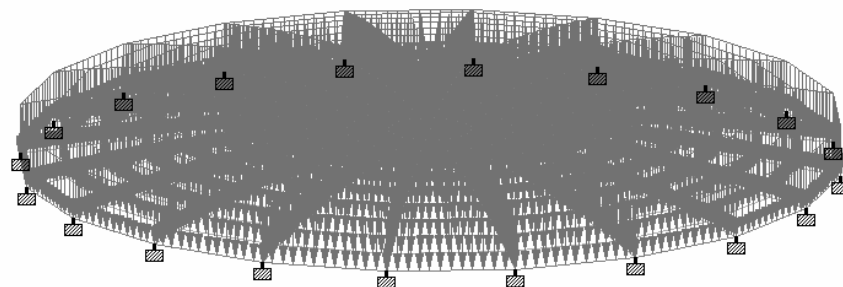
Apkrovų skaičiavimai

Savasis svoris:

Skaičiavimuose savojo svorio poveikio dalinis koeficientas priimamas lygus 1.35.

Ilgalaikė apkrova:

Gelžbetoninis kupolas, apkrova į kvadratinį metrą (5kN/m^2) (žr. 5.18 pav.)



5.18 pav. Kupolo savasis svoris

Sniego apkrova:

Sniego apkrova skaičiuojama pagal *Eurokodą 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-3 dalis*.

Bendrieji poveikiai. Sniego poveikiai.

Pagal EN 1991-1-3 sniego apkrova nuolatinėms ir trumpalaikėms skaičiuotinoms situacijoms nustatoma taikant tokią formulę:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (4.1)$$

čia:

s_k – charakteristinė sniego apkrovos reikšmė nustatoma pagal 8 lentelę priklausomai nuo sniego apkrovos rajono;

μ – stogo sniego apkrovos formos koeficientas;

C_e – atodangos koeficientas, priklausomai nuo vietovės topografinės charakteristikos, reikšmė pateikta 9 lentelėje;

C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos. Terminis koeficientas turi būti panaudojamas, kai atsižvelgiama į dėl tirpimo sumažėjusią sniego apkrovą ant stogo, turinčio didelį šiluminį laidumą ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Visais kitais atvejais, $C_t = 1,0$.

Sniego antžeminės apkrovos s_k charakteristinės reikšmės:

Sniego apkrovos rajonas	s_k , kN/m ²
I	1,2
II	1,6



5.19 pav. Lietuvos sniego apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-3 dalis)

Žymenys:

I, II – sniego apkrovos rajonas.

5.8 lentelė. Rekomenduojamos c_e reikšmės (Eurokodas 1 1-3 dalis)

Vietovės topografinė charakteristika	c_e
Neapsaugota nuo vėjo ^a	0,8
Normali ^b	1,0
Apsaugota ^c	1,2

^a Plokščios, lygios vietovės, iš visų pusių neapsaugotos arba truputį apsaugotos aukštesnių statinių arba medžių.
^b Vietos, kuriose vėjas sniegą ant statinių perneša nereikšmingai dėl vietovės savybių, kitų statinių arba medžių.
^c Vietos, kuriose nagrinėjami statiniai yra aiškiai žemesni už supančią vietovę arba supančius medžius ir (arba) supančius aukštesnius statinius.

Pastaba:

$S_k = 1,6 \text{ kN/m}^2$ – Pastatas pastatytas Šalčininkuose, t.y II sniego apkrovos rajonas.

$C_e = 1,0$; Mokykla yra sklype, greta kitų statinių bei medžių, todėl priimama jog vėjas sniegą ant statinių perneša nereikšmingai.

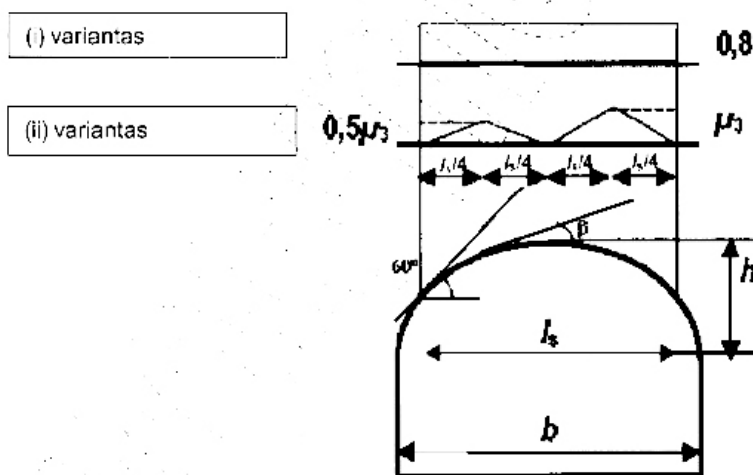
$C_t = 1,0$; Šiluminė stogo izoliacija atitinka reikalavimus.

Skaičiuojama sniego apkrova:

$$s = \mu_1 C_e C_t S_k$$

Stogo formos įvertinimas:

Pagal EN 1991-1-3 yra priimami stogo formos koeficientai μ_i , kurie leidžia įvertinti sniego susikaupimo veiksnius ir antžemines sniego apkrovų reikšmes. (5.20 pav.)



5.20 pav. Sniego apkrovos formos koeficiento nustatymas (Eurokodas 1 1-3 dalis)

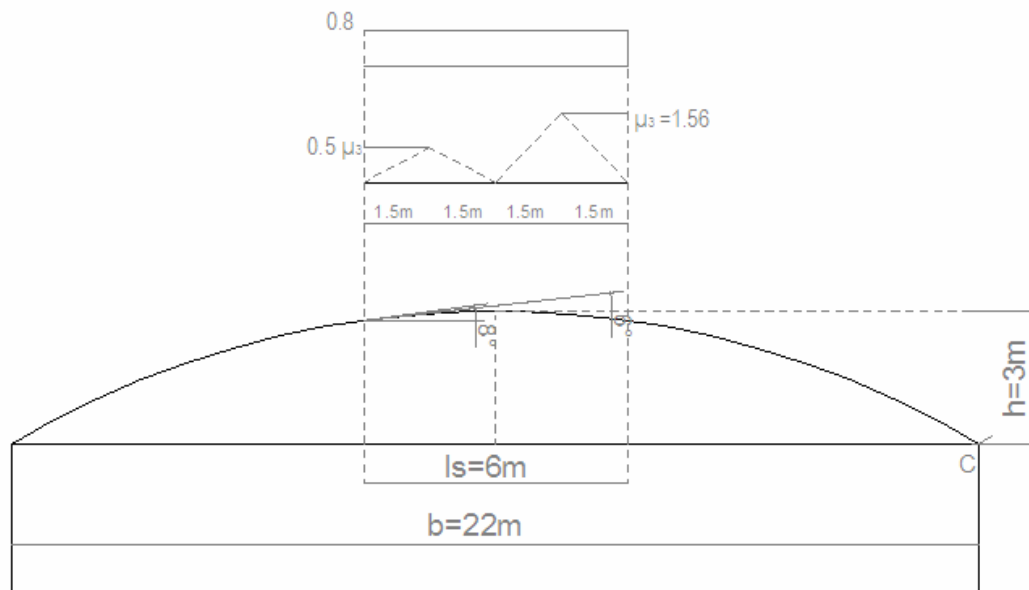
Sniego apkrovos formos koeficiento nustatymas:

$$\mu_1 = 0.8.$$

$$\mu_3 = 0.2 + 10 \frac{h}{b} = 0.2 + 10 \frac{3}{22} = 1.56; \quad \beta \leq 60^\circ.$$

Pernešto sniego sąnašos ilgio nustatymas:

$$l_s = 2h = 2 \cdot 3 = 6m.$$



5.21 pav. Kupolo sniego apkrovos formos koeficiento nustatymas

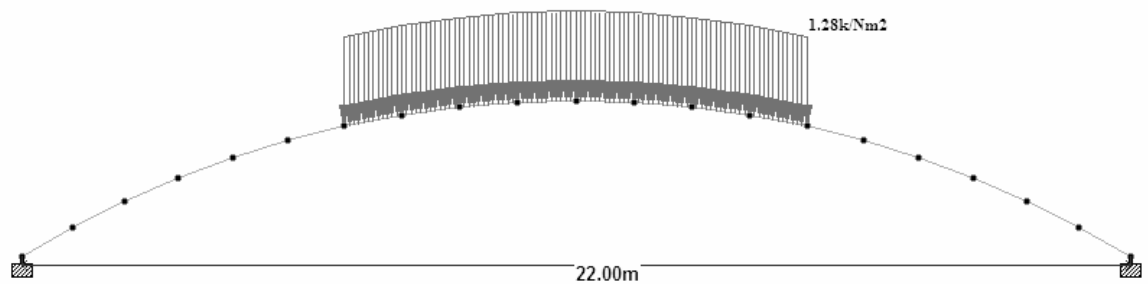
Sniego apkrova I variantas:

$$s_1 = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 1,28 kN / m^2.$$

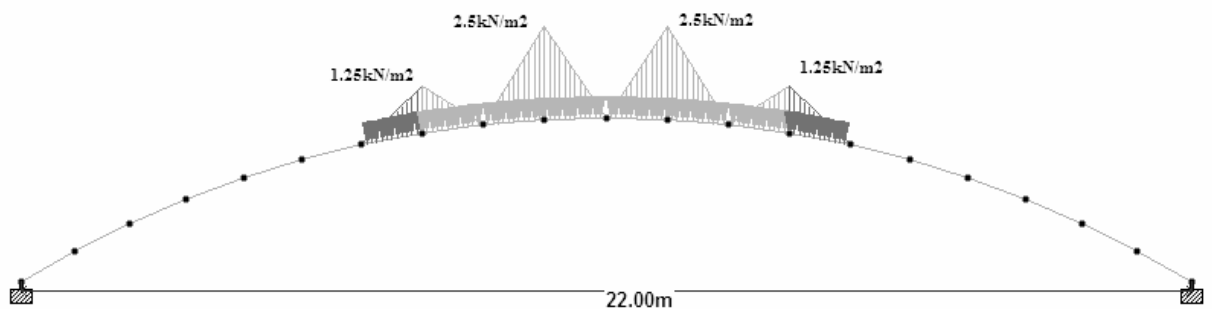
Sniego apkrova II variantas:

$$s_2 = 0,5 \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 1,25 kN / m^2;$$

$$s_2 = \mu_3 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 1,56 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 2,5 kN / m^2.$$



5.22 pav. Sniego apkrova kupolo konstrukcijai I variantas.



5.23 pav. Sniego apkrova kupolo konstrukcijai II variantas.

Vėjo apkrova:

Vėjo apkrova skaičiuojama pagal *Eurokodą 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis. Bendrieji poveikiai. Vėjo poveikiai.*

LIST EN 1994 – 1 – 4, skirta nustatyti vėjo poveikiams.

Mokykla pastatyta Šalčininkuose, kuris priklauso I Lietuvos vėjo greičio rajonui.

Pagrindinio vėjo greičio reikšmė:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 24.0 = 24 \text{ m/s}.$$

čia:

$v_{b,0}$ – pagrindinė vėjo greičio reikšmė (žr. 5.9 lent);

c_{dir} – vėjo krypties koeficientas;

c_{season} – metų laiko koeficientas.

5.9 lentelė. Svarbiausios pagrindinio vėjo greičio reikšmės $v_{b,0}$ (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Vėjo greičio rajonas	$v_{b,0}$, m/s
I	24
II	28
III	32



5.24 pav. Lietuvos vėjo apkrovos rajonai (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Žymenys:

I, II, III – vėjo apkrovos rajonai

Pastaba: vėjo apkrovos rajonų ribos nustatomos pagal administracinio rajono ribas.

Pagrindinio vėjo greičio slėgio reikšmė:

$$q_p = \frac{\rho}{2v_b^2}; \quad (5.2)$$

$$q_p = \frac{1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} \cdot 24^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 360 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0.36 \text{ kPa}.$$

čia:

ρ – oro tankis (gali būti priimtas 1.25kg/m^3);

v_b – pagrindinė vėjo greičio reikšmė.

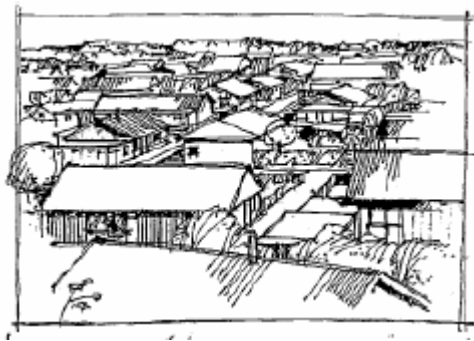
Mokyklos aplinka atitinka III vietovės kategoriją.

5.10 lentelė. Vietovės kategorijos ir vietovės parametrai (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Vietovės kategorija	Vietovės charakteristika	z_0 , m	$z_{\min}$, m
0	Atviri jūros ar jūros pakrančių ruožai	0,003	1,0
I	Ežerai ir plokšti horizontalūs ruožai su nežymia augalija ir be kliūčių	0,01	1,0
II	Mažai augmenijos; izoliuotos kliūtys atstumais bent 20 kartų didesniais už kliūčių aukštį	0,05	2,0
III	Reguliari augmenija; miškai; priemiesčiai; kaimai	0,3	5,0
IV	Bent 15% paviršiaus užstatyta pastatais, kurių vidutinis aukštis bent 15 m	1,0	10,0

III vietovės kategorija

Įprastinė augalija apaugę arba pastatais užstatyti, arba atskirų kliūčių, nutolusių viena nuo kitos ne daugiau nei 20 kliūčių aukščių, plotai (pvz., kaimai, priemiesčių vietovės, ištisas miškas)



Nustatomas vietovės koeficientas k_r , pasirinktiems atskaitos aukščiams $z_{e1}=10.4\text{m}$, $z_{e2}=11.0\text{m}$, $z_{e3}=11.5\text{m}$, $z_{e4}=12.0\text{m}$, $z_{e5}=12.4\text{m}$, $z_{e6}=12.7\text{m}$, $z_{e7}=13.0\text{m}$, $z_{e8}=13.3\text{m}$, $z_{e9}=13.4\text{m}$. Šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai (žr. 5.10 lent.), $z_0=0.3$, $z_{0,II}=0.05$, mažiausias aukštis $z_{\min}=0.5\text{m}$.

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} = 0.19 \left(\frac{0.3}{0.05} \right)^{0.07} = 0.22. \quad (5.5)$$

Šiurkštumo koeficientų nustatymas:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), \text{ bet } z \geq z_{\min}. \quad (5.4)$$

- $c_{r1}(z_{e1}) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{10.4}{0.3}\right) = 0.78, \quad 10.4 \geq 5.0m;$
- $c_{r1}(z_{e2}) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{11.0}{0.3}\right) = 0.79, \quad 11.0 \geq 5.0m;$
- $c_{r2}(z_{e3}) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{11.5}{0.3}\right) = 0.8, \quad 11.5 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_4) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{12.0}{0.3}\right) = 0.81, \quad 12.0 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_5) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{12.4}{0.3}\right) = 0.82, \quad 12.4 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_6) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{12.7}{0.3}\right) = 0.825, \quad 12.7 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_7) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{13.0}{0.3}\right) = 0.83, \quad 13.0 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_8) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{13.3}{0.3}\right) = 0.835, \quad 13.3 \geq 5.0m;$
- $c_{r3}(z_9) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{13.4}{0.3}\right) = 0.84, \quad 13.4 \geq 5.0m.$

čia:

k_r – vietovės koeficientas;

z – kolonos aukštis;

z_0 – šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai.

Ekspozicijos koeficientų nustatymas:

$$c_e(z) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)};$$

- $c_{e1}(z_{e1}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{10.4}{0.3}\right)} = 3.0;$
- $c_{e1}(z_{e2}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{11.0}{0.3}\right)} = 2.95;$
- $c_{e1}(z_{e3}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{11.5}{0.3}\right)} = 2.92;$
- $c_{e1}(z_{e4}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{12.0}{0.3}\right)} = 2.89;$
- $c_{e1}(z_5) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{12.4}{0.3}\right)} = 2.88;$

- $c_{e1}(z_{e6}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{12.7}{0.3}\right)} = 2.86;$
- $c_{e1}(z_{e7}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{13.0}{0.3}\right)} = 2.85;$
- $c_{e1}(z_{e8}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{13.3}{0.3}\right)} = 2.84;$
- $c_{e1}(z_{e9}) = 1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{13.4}{0.3}\right)} = 2.84.$

čia:

z – paviršiaus aukštis;

z_0 – šiurkščiojo ruožo ilgis III – ai vietovės kategorijai.

Viršutinio vėjo slėgio nustatymas:

$$q_p(z) = q_b \cdot [c_r(z)]^2 \cdot \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right]; \quad (5.9)$$

- $q_{p1}(z_{e1}) = 0.36 \cdot 0.78^2 \cdot 3.0 = 0.65 kN / m^2;$
- $q_{p2}(z_{e2}) = 0.36 \cdot 0.79^2 \cdot 2.95 = 0.66 kN / m^2;$
- $q_{p3}(z_{e3}) = 0.36 \cdot 0.8^2 \cdot 2.92 = 0.67 kN / m^2;$
- $q_{p4}(z_{e4}) = 0.36 \cdot 0.81^2 \cdot 2.89 = 0.68 kN / m^2;$
- $q_{p5}(z_{e5}) = 0.36 \cdot 0.82^2 \cdot 2.88 = 0.69 kN / m^2;$
- $q_{p6}(z_{e6}) = 0.36 \cdot 0.825^2 \cdot 2.86 = 0.7 kN / m^2;$
- $q_{p7}(z_{e7}) = 0.36 \cdot 0.83^2 \cdot 2.85 = 0.71 kN / m^2;$
- $q_{p8}(z_{e8}) = 0.36 \cdot 0.835^2 \cdot 2.84 = 0.72 kN / m^2;$
- $q_{p9}(z_{e9}) = 0.36 \cdot 0.84^2 \cdot 2.84 = 0.72 kN / m^2.$

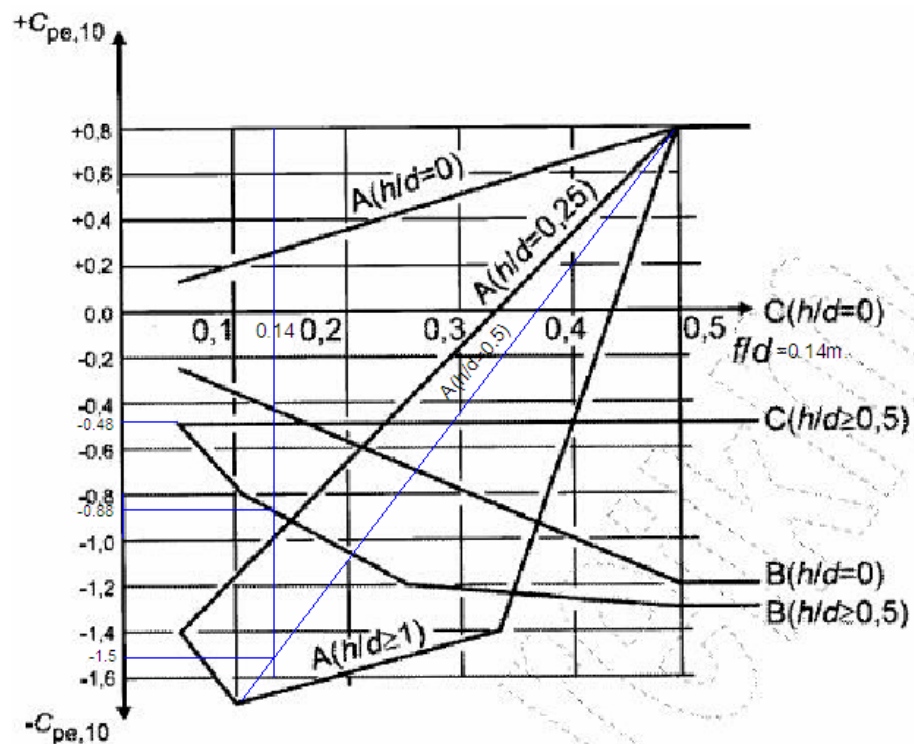
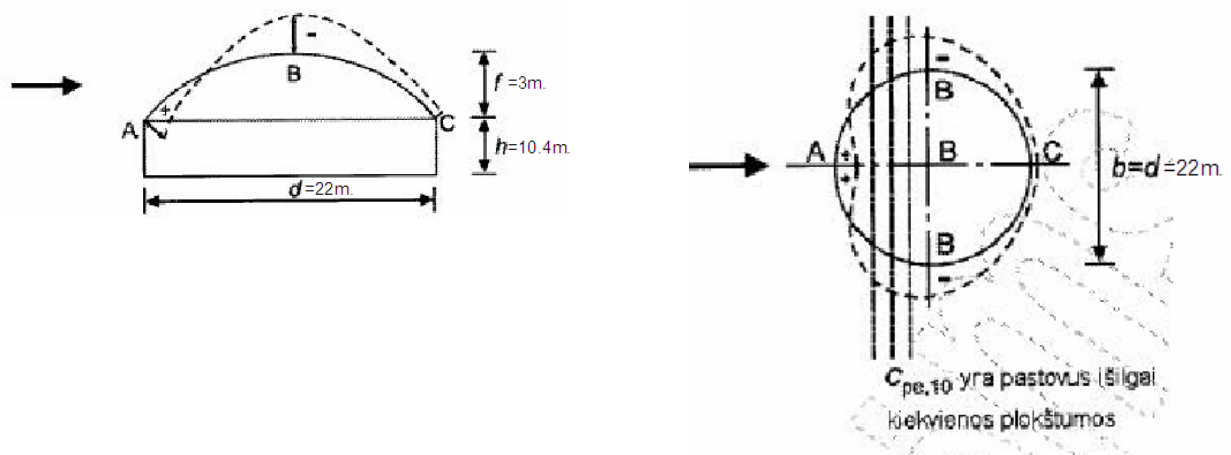
čia:

$c_r(z)$ – šiurkštumo koeficientas;

q_p - pagrindinio vėjo greičio slėgio reikšmė.

Skaičiuojamas vėjo slėgis mokyklos gb. kupolo konstrukcijai:

Pastaba: Priimama, kad vidutinio slėgio c_{pi} pastate nėra.



5.25 pav. Apskritųjų kupolų rekomenduojamos $c_{pe,10}$ išorinio slėgio koeficientų reikšmės (Eurokodas 1 1-4 dalis)

Vėjo apkrovų skaičiavimas:

A ruožui:

kai $a = 10.4 \text{ m}$:

$$w_{v,A} = q_p \cdot c_{ep,A} \cdot a = 0.65 \cdot (-1.5) \cdot 10.4 = 10.14 \text{ kN/m}.$$

B ruožui:

kai $a = 13.4 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.72 \cdot (-0.88) \cdot 13.4 = -8.5 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 13.3 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.72 \cdot (-0.88) \cdot 13.3 = -8.5 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 13.0 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.71 \cdot (-0.88) \cdot 13.0 = -8.1 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 12.7 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.7 \cdot (-0.88) \cdot 12.7 = -7.8 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 12.4 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.69 \cdot (-0.88) \cdot 12.4 = -7.5 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 12.0 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.68 \cdot (-0.88) \cdot 12.0 = -7.2 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 11.5 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.67 \cdot (-0.88) \cdot 11.5 = -6.8 \text{ kN/m} ;$$

kai $a = 11.0 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.66 \cdot (-0.88) \cdot 11.0 = -6.4 \text{ kN/m} ;$$

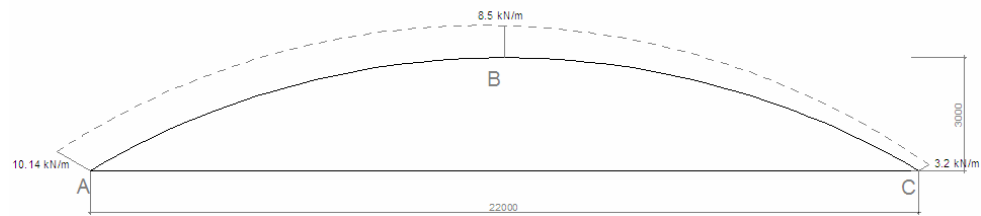
kai $a = 10.4 \text{ m}$:

$$w_{v,B} = q_p \cdot c_{ep,B} \cdot a = 0.66 \cdot (-0.88) \cdot 10.4 = -6.0 \text{ kN/m} .$$

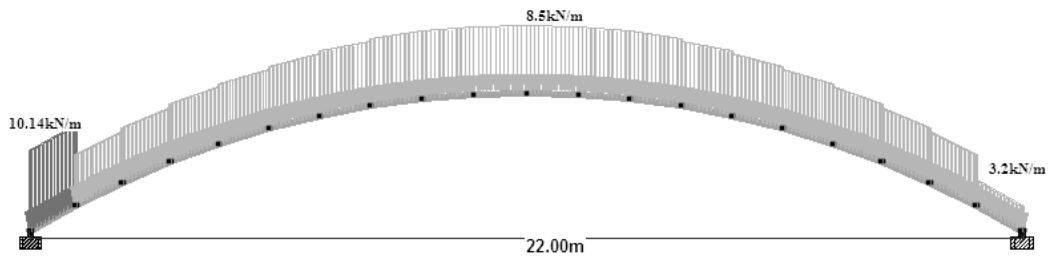
C ruožui:

kai $a = 10.4 \text{ m}$:

$$w_{v,C} = q_p \cdot c_{ep,C} \cdot a = 0.65 \cdot (-0.48) \cdot 10.4 = -3.2 \text{ kN/m} .$$



5.26 pav. Vėjo apkrovų išdėstymas kupolo arkoms.



5.27 pav. Vėjo apkrovų išdėstymo schema.

5.11 lentelė. Skaičiuojamos apkrovos

Nr.	Apkrova
1.	Savasis svoris
2.	Stogo charakteristinė apkrova
3.	Stogo skaičiuotinė apkrova
4.	Sniego charakteristinė apkrova I
5.	Sniego skaičiuotinė apkrova I
6.	Sniego charakteristinė apkrova II
7.	Sniego skaičiuotinė apkrova II
8.	Vėjo charakteristinė apkrova
9.	Vėjo skaičiuotinė apkrova

5.12 lentelė. Apkrovų deriniai

Derinio nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	+	+		+					
2.	+		+		+				
3.	+	+				+			
4.	+		+				+		
5.	+	+						+	
6.	+		+						+
7.	+	+		+		+			
8.	+	+		+				+	
9.	+		+		+				+
10.	+	+				+		+	
11.	+		+				+		+

Pastaba: detalūs gelžbetoninio kupolo skaičiavimo rezultatai STAAD. Pro programa pateikti D priede.

Gelžbetoninis kupolas – sąmatos skaičiavimas

Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės stogas

5.13 lentelė. Gelžbetoninio kupolo kiekių žiniaraštis

Eil. nr.	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
1.	Betonas	m ³	81.01
2.	Armatūra	t	130.9728

Pastaba: lokalinė sąmata pateikta E priede.

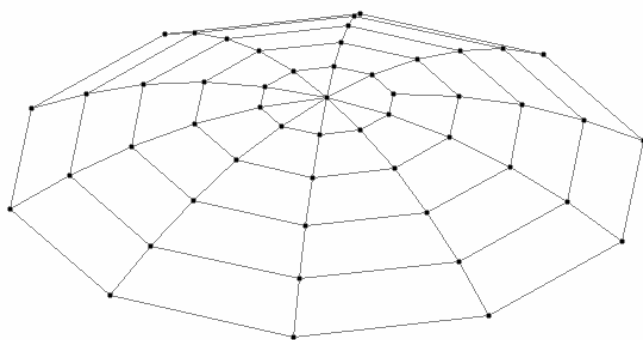
Metalinis žiedinis kupolas – inžineriniai skaičiavimai

Projektuojamo kupolo skersmuo 22 m, aukštis 3 m.

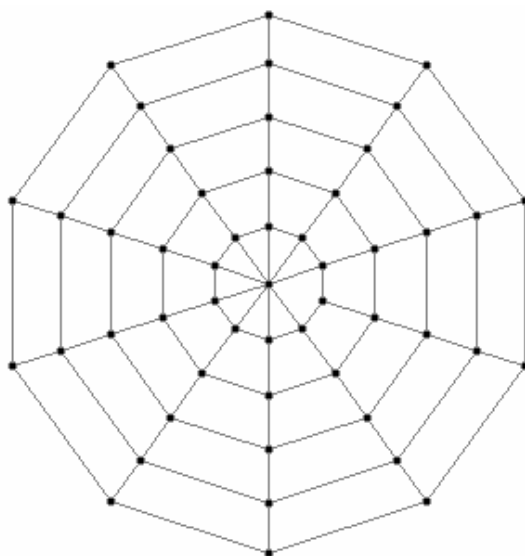
Inžineriniai skaičiavimai

Skaičiuojamoji schema:

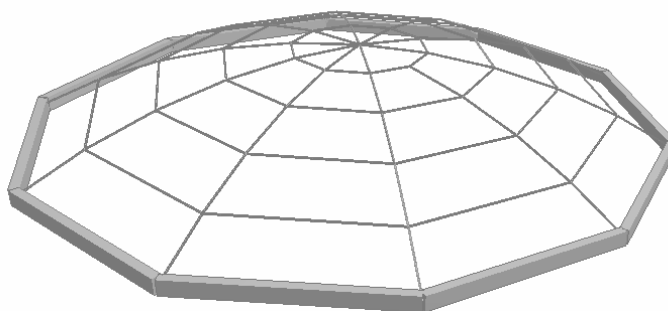
Pasekmių klasė CC2, patikimumo klasė RC2. Panaudojimo kategorija C1 (mokykla). **Klasės ir kategorijos parenkamos priklausomai nuo pastato paskirties.** (Metalinio žiedinio kupolo bendras vaizdas 5.28 pav., vaizdas plane 5.29pav.)



5.28pav. Metalinio žiedinio kupolo bendras vaizdas



5.29 pav. Metalinio žiedinio kupolo vaizdas plane



5.30 pav. Metalinio žiedinio kupolo schema.

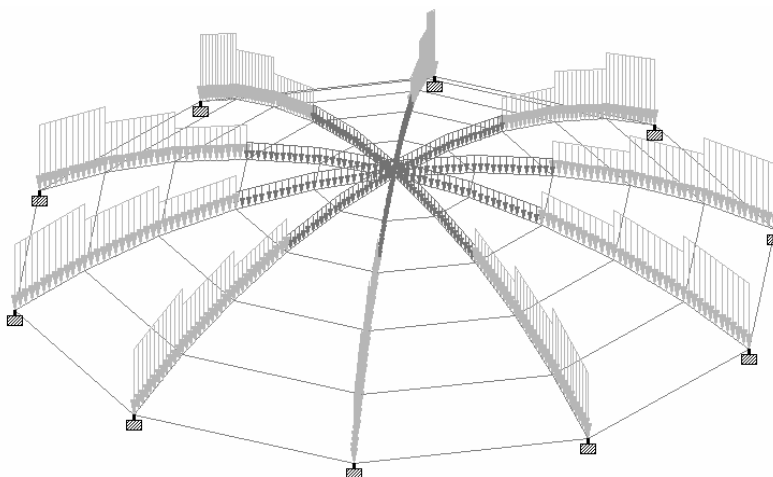
Apkrovų skaičiavimai

Savasis svoris:

Skaičiavimuose savojo svorio poveikio dalinis koeficientas priimamas lygus 1.35.

Ilgalaikė apkrova:

Gelžbetoninio kupolo žiedo apkrova 5 kN/m^2 , 6 mm storio stiklo svoris 0.17 kN/m^2 .



5.31 pav. Kupolo savasis svoris

Pastaba:

Sniego ir vėjo apkrova skaičiuojama taip pat kaip gelžbetoniniam kupolui (žr. 78- 86 psl.)

Pastaba: detalūs metalinio žiedinio kupolo skaičiavimo rezultatai STAAD. Pro programa pateikti F priede.

Metalinis žiedinis kupolas – sąmatos skaičiavimas

Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės stogas (Metalinis žiedinis kupolas)

5.14 lentelė. Metalinio žiedinio kupolo kiekių žiniaraštis

Eil. nr.	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
1.	<u>Metalinis žiedinis kupolas</u> • TUB 300 x 200 x 8 (323.5 m)	t	19.12
2.	Stiklas	m ²	339.9

Pastaba: lokalinė sąmata pateikta G priede.

5.3. LYGINAMOJI DENGINIO KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

22 m erdvinės santvaros skaičiavimo rezultatai

Atlikus erdvinės santvaros inžinerinius skaičiavimus su STAAD. Pro programa gauti rezultatai:

5.15 lentelė. Maksimali atraminė reakcija ir maksimalus mazgo poslinkis

Maksimali atraminė reakcija (FX kN)	703.302
Maksimalus mazgo poslinkis (X mm)	1.401

Pastaba: detalūs erdvinės santvaros skaičiavimo rezultatai STAAD. Pro programa pateikti B priede.

Su programa SISTELA atliktas sąmatos skaičiavimas. Aktų salės stogo konstrukcijos kaina pateikta 5.16 lentelėje.

5.16 lentelė. Aktų salės stogo konstrukcijos sąmata

2011.05.13					Suma žiniaraščiui 239722.78 Litų			
Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt	Kiekis	Kaina (Lt)			
					D. užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 STOGO ĮRENGIMAS								
1	N9-70	Gegninės ir pogeiginės santvaros iki 25m aukštyje, anga iki 24m, santvaros masė iki 5t k8=1.04	t	18,5843	3407,9	88048,19	1880,73	93336,82
2	N12P-0503	Plokščių stogų dengimas plieniniais profiliuotais lakštais	100m2	3,7994	1163,11	13242,8	403,12	14809,03
3	N12-44-1	Denginių izoliacija 1 sluoksnio polietilenine plėvele	100m2	3,7994	284,01	582,45		866,46
4	N9P-0406	Plėvelinės izoliacijos įrengimas, naudojant difuzinę plėvelę	100m2	3,7994	259,71	1101,07	7,1	1367,88
5	N12-49	Denginių šilumos izoliacija mineralinės vatos plokštėmis, neklijuojant k8=1.14	m3	75,99	3887,65			3887,65
6	756-141	Sutapdintų stogų plokštės Paroc ROS 30, 160mm	m2	379,94		18314,63		18314,63
7	759-1	Plonos sutapdintų stogų plokštės Paroc ROB 80, 20mm k8=1.14	m2	759,88		9478,21		9478,21
8	N12-30-5	Sudėtingų stogų be sieninių latakų dengimas lygia skarda ant įrengtų grebėstų (100m2 stogo dangos)	100m2	3,7994	4214,14	13422,44		17636,58
Skyriuje 1					13217	144190	2291	159698
Viso žiniaraštyje 1					13217	144190	2291	159698
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						4326		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							69	
Sezoniniai darbai 15.00% (0)								
Specifiniai darbai 17.00%						680		
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(13217+680)						1112		
						15009	148516	2360
Soc.draudimo išlaidos 31.00%(13217+680+1112)						4653		
								165885

Statinio statybos išlaidos	19662	148516	2360	170538
Statybvietsės išlaidos 8.00%				13643
Iš viso tiesioginės išlaidos				184181
Pridėtinės išlaidos 30.00%(13217+680+1112)				4503
Pelnas 5.00%(184181+4503)				9434
Iš viso netiesioginės išlaidos				13937
			Bendra vertė be PVM	198118
Pridėtinės vertės mokestis 21.00%				41604,78
			Bendra vertė su PVM	239722,78

Pastaba: lokalinė sąmata pateikta C priede.

Gelžbetoninio. kupolo skaičiavimo rezultatai

Atlikus gelžbetoninio. kupolo inžinerinius skaičiavimus su STAAD. Pro programa gauti rezultatai:

5.17 lentelė Maksimali atraminė reakcija ir maksimalus mazgo poslinkis

Maksimali atraminė reakcija (FX kN)	640.500
Maksimalus mazgo poslinkis (X mm)	0.370

Pastaba: detalūs gelžbetoninio kupolo skaičiavimo rezultatai STAAD. Pro programa pateikti D priede.

Su programa SISTELA atliktas sąmatos skaičiavimas. Gb. kupolo konstrukcijos kaina pateikta 5.18 lentelėje.

5.18 lentelė. Gelžbetoninio. kupolo konstrukcijos sąmata

2011.05.19					Suma žiniaraščiui 137286.60 Litų			
Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt	Kiekis	Kaina (Lt)			
					D.užm.	Medžiagos	Mechanizm.	Iš viso
1 STOGAS (GB KUPOLAS)								
1 F6-2-4		Monolitiniai gelžbetonio perdenginiai (briaunoti) k8=1.04, k9=1.15	m3	81,01	24665,92	44812,32	3458,73	72936,97
Skyriuje 1					24666	44812	3459	72937
Viso žiniaraštyje 3					24666	44812	3459	72937
Papildomų medžiagų vertė 3.00%						1344		
Papildomų mechanizmų vertė 3.00%							104	
Sezoniniai darbai 15.00% (24666)					3700			
Specifiniai darbai 17.00%					987			
Papildomas darbo užmokestis 8.00%(24666+3700+987)					2348			
					31701	46156	3563	81420
Soc.draudimo išlaidos 31.00%(24666+3700+987+2348)					9827			
Statinio statybos išlaidos					41528	46156	3563	91247
Statybvietsės išlaidos 8.00%								7300
Iš viso tiesioginės išlaidos								98547
Pridėtinės išlaidos 30.00%(24666+3700+987+2348)								9510
Pelnas 5.00%(98547+9510)								5403
Iš viso netiesioginės išlaidos								14913

Pastaba: lokalinė sąmata pateikta E priede.

- Atraminės reakcijos dydis parodo kokia skėtimo jėga veikia konstrukciją, kuo ši jėga mažesnė tuo konstrukcija stabilesnė (žr. 5.21 lentelė).

5.21 lentelė. *Maksimalios atraminės reakcijos.*

	Erdvinė santvara	Gelžbetoninis kupolas	Metalinis žiedinis kupolas
<i>Maksimali atraminė reakcija (FX kN)</i>	703.302	640.500	752.675

Iš pateiktų skaičiavimo rezultatų matyti, kad erdvinę santvarą veikia pakankamai maža skėtimo jėga, tačiau stabiliausia yra gb. kupolo konstrukcija.

- Mazgų poslinkiai nusako konstrukcijos standumą, kuo poslinkis mažesnis tuo konstrukcija standesnė (žr. 5.22 lentelė).

5.22 lentelė. *Maksimalios atraminės reakcijos.*

	Erdvinė santvara	Gelžbetoninis kupolas	Metalinis žiedinis kupolas
<i>Maksimalus mazgo poslinkis (X mm)</i>	1.401	0.370	1.985

Visų nagrinėjamų konstrukcijų poslinkiai yra nedideli, neviršija 2 mm, tačiau gb. kupolo konstrukcija yra 5 kartus standesnė už metalinį žiedinį kupolą bei beveik 4 kartus standesnė už erdvinę santvarą.

- Didelę įtaką konstrukcijos tipo pasirinkimui daro kaina, kuo kaina mažesnė tuo laikoma, kad konstrukcija ekonomiškesnė, reikia mažiau sąnaudų (žr. 5.23 lentelė).

5.23 lentelė. *Stogo konstrukcijų sąmatos*

	Erdvinė santvara	Gelžbetoninis kupolas	Metalinis žiedinis kupolas
<i>Bendra konstrukcijos vertė su PVM (LT)</i>	239722.78	137286.60	209570.79

Gelžbetoninis kupolas dėl pigesnių medžiagų įkainių beveik du kartus pigesnė konstrukcija nei erdvinė santvara ar metalinis žiedinis kupolas.

5.4. IŠVADOS

Šiame skyriuje išnagrinėta 1997 m. pastatytos Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės denginio konstrukcija bei pateiktas projektinis pasiūlymas vietoje esamos erdvinės santvaros įrengti kupolą.

Nagrinėti du kupolo tipai: gelžbetoninis ir metalinis žiedinis. Atlikus inžinerinius skaičiavimus STAAD. Pro programa gauti rezultatai parodė, kad gelžbetoninis kupolas yra 1,1 karto stabilesnė ir beveik 4 kartus standesnė konstrukcija nei erdvinė santvara, tačiau erdvinė santvara yra 1,1 karto stabilesnė ir 1,4 kartus standesnė konstrukcija už metalinį žiedinį kupolą. Taigi palyginus gautus inžinerinių skaičiavimų rezultatus galime teigti, kad gelžbetoninio kupolo mechaninės savybės patikimiausios. Gelžbetoninis kupolas mažiausiai deformuosis nuo jį veikiančių išorinių apkrovų ir geriausiai išlaikys pradinę pusiausvyros formą.

Naudojant sąmatų skaičiavimo programą SISTELA suskaičiuotos nagrinėtų konstrukcijų medžiagų ir atliekamų statybos darbų išlaidos. Gelžbetoninio kupolo kaina mažiausia – tai ekonomiškiausia konstrukcija. Metalinio žiedinio kupolo montavimo darbų bei medžiagų sąnaudų kiekis mažesnis nei erdvinės santvaros, ši konstrukcija beveik 30 tūkst. Lt pigesnė nei esamas denginys.

Kitas svarbus konstrukcijos vertinimo aspektas – tai bendras pastato architektūrinis vaizdas. Gelžbetoninis kupolas suteiktų pastatui monumentalumo, tačiau kartu apsunkintų ir taip jau pakankamai masyvų mokyklos fasadą. Metalinis žiedinis kupolas – tai lengva šiuolaikinė konstrukcija, kuri architektūriniu požiūriu suteiktų pastatui skirtingų faktūrų žaismo, pagyvintų monotoniškus mokyklos tūrius bei mokyklos komplekso mikroerdvę, vertikalčiai pailgintų pastato išorinį siluetą. Nors atlikus inžinerinius skaičiavimus gauti rezultatai parodė, kad geriausiomis mechaninėmis savybėmis pasižymi gb. kupolas, tačiau ir metalinio žiedinio kupolo konstrukciją veikianti skėtimo jėga bei mazgų poslinkiai nėra dideli.

Atsižvelgiant į gautus skaičiavimo rezultatus ir įvertinus estetinę pastato išraišką siūloma vietoje esamos Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės stogo konstrukcijos įrengti metalinį žiedinį kupolą (žr. H,I,J priedus).

IŠVADOS

Kupolas – pirmoji perdangos konstrukcija civilizacijos vystymosi raidoje, sudariusi galimybę perdengti didelių tarpatramių erdves. Šios konstrukcijos panaudojimas darė ryškų poveikį pastatų architektūrai.

- Tradicinės kupolo konstrukcijos raidoje ženklys šie etapai:
 - a) Vakarų Romos imperijos laikotarpis – vėlyvoji antika.
 - b) Rytų Romos imperijos – Bizantijos laikotarpis.
 - c) Renesansas.
 - d) Barokas.
 - e) Klasicizmas.
 - f) Naujieji amžiai XIX – XX a.
- Kupolo konstrukcijos kaita pagal etapus:
 - a) Nearmuoto betono kupolai, kesoniniai kupolai, atremti visu kontūru į sieną; planas apskritimo formos.
 - b) Kupolas remiasi į bures, kurios remiasi į keturis stulpus – pereinama nuo apskrito skerspjūvio kupolo prie kvadratinio plano patalpos erdvės.
 - c) Kupolas pakeliamas ant būgno (paaukštinimas), kuriame įrengiami švieslangiai. Būgno viduje įrengiama dviguba konstrukcija, du kupolo kiautai – vidinis laikantysis, išorinis atlieka stogo funkciją.
 - d) Trijų apvalkalų kupolo konstrukcija – įvedamas papildomas plytų mūro kūgis kupolo paaukštinimo apkrovoms atlaikyti.
 - e) Kupolo konstrukcija vystosi svorio mažinimo kryptimi.
 - f) Intensyvus naujų technologijų ir medžiagų pritaikymas kupolo konstrukcijoms: plonasieniai gelžbetonio, metalo konstrukcijos, medžio konstrukcijos, erdvinės metalo konstrukcijos – geodeziniai kupolai.

Kupolo konstrukcijos vystymosi vektorius – konstrukcijos lengvinimas ir perdengiamos erdvės didinimas.

Kupolo konstrukcijos vystymasis darė ir daro tiesioginę įtaką architektūros raidai: visi išnagrinėti atvejai rodo, kad atradus naują konstrukcinį elementą ir pritaikius jį kupolui, akivaizdi įtaka padaroma ir pastato estetiniai išraiškai bei architektūrinėms formoms.

Išanalizavus kupolo konstrukcijos veikimo principus, architektūrines pritaikymo galimybes ir konstrukcinius sprendinius pateiktas projektinis pasiūlymas vietoje esamos Šalčininkų Lietuvos Tūkstantmečio gimnazijos aktų salės denginio konstrukcijos įrengti kupolą. Nagrinėti du kupolo tipai: gelžbetoninis ir metalinis žiedinis, atlikti inžineriniai skaičiavimai su programa STAAD. Pro

bei sąmatos skaičiavimai su programa SISTELA. Lyginamosios denginių analizės būdu nustatyta, kad geriausiai visus: standumo, stabilumo, ekonomiškumo bei estetiškumo parametrus tenkina metalinis žiedinis kupolas.

LITERATŪRA

- Andriušytė A. 2007. *Architektūra – statybos menas*
- Archiforma 1998/4. *Požiūrių į architektūros mokymą kaita.*
- Capodiferro A. 2007. *Pasaulio architektūros šedevrai.*
- Eurokodas 1. *Poveikiai konstrukcijoms. 1-3 dalis. Bendrieji poveikiai. Sniego poveikiai.*
- Eurokodas 1. *Poveikiai konstrukcijoms. 1-4 dalis. Bendrieji poveikiai. Vėjo poveikiai.*
- Field D.M. 2001. *The World's Greatest Architecture: Past and Present.*
- Francis D.K Ching. 1996. *A visual dictionary of architecture*
- Kudzys A. 1992. *Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos.*
- Kvedaras A. 1977. *Metalinės konstrukcijos.*
- Lukošytė - Tolvaišienė N. 2008. *Architektūrologijos pagrindai.*
- Lietuvos architektūros istorija 1994. *Nuo XVIIa. pradžios iki XIXa. vidurio III.*
- Morimer W. 1999. *Romos menas ir architektūra.*
- Parkyn N. 2005. *Pasaulio architektūros stebuklai.*
- Ražaitis V. 2004. *Pastatų konstravimo pagrindai.*
- Рюле Г. 1973. *Пространственные покрытия.*
- Vadlūga R. 2001. *Gelžbetoninės plon sienės erdvinės konstrukcijos.*
- Valentinavičius A. 2000. *Medinės konstrukcijos.*

Internetinės prieigos:

- *Chartre Cathedral* [online]. 2011 [cited 11 February 2011] Available from internet: < www.greatbuildings.com >.
- *Cathedral of Santa Maria del Fiore, Florence* [online]. 2011 [cited 18 March 2011] Available from internet: < www.planetware.com >.
- *Circus in Kiev* [online]. 2011 [cited 28 March 2011] Available from internet: < www.ukrainehotelsonline.co.uk >.
- *Fukuoka Dome* [online]. 2011 [cited 03 May 2011] Available from internet: < www.largedomes.com >.
- *Griffith's Observatory* [online]. 2011 [cited 11 January 2011] Available from internet: < www.en.wikipedia.org.com >.
- *Hagia sophia* [online]. 2011 [cited 27 January 2011] Available from internet: < www.hagiasophia.com >.
- *Kultūros paveldo registro sąrašai* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2011-02-03]. Prieiga per internetą: <<http://kvr.kpd.lt/>>

- *Nagoya Dome* [online]. 2011 [cited 03 May 2011] Available from internet: < www.largedomes.com >.
- *Romos Panteonas* [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2011-03-23]. Prieiga per internetą: < <http://lt.wikipedia.org> >
- *St Paul's Cathedral* [online]. 2011 [cited 28 March 2011] Available from internet: < www.stpauls.co.uk >.
- *Superior Dome* [online]. 2011 [cited 03 May 2011] Available from internet: < www.largedomes.com >.
- *Tacoma Dome* [online]. 2011 [cited 03 May 2011] Available from internet: < www.largedomes.com >.
- *Ummayad pajace* [online]. 2011 [cited 03 May 2011] Available from internet: < www.ronnieborr.com >.
- *West Baden Springs* [online]. 2011 [cited 11 February 2011] Available from internet: < www.frenchlick.com >.