



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Barbora Meliūkšytė

**GELŽBETONINIŲ BALKONŲ DEFEKTŲ ANALIZĖ IR ATNAUJINIMO
GALIMYBĖS**

**ANALYSIS OF DEFECTS AND UPGRADING POSSIBILITIES OF
REINFORCED CONCRETE BALCONIES**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymas, valstybinis kodas 621J80003

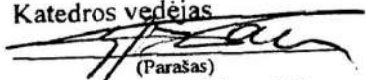
Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybų technologijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)
Edmundas Kazimieras Zavadskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Barbora Meliūkšytė

**GELŽBETONINIŲ BALKONŲ DEFEKTŲ ANALIZĖ IR ATNAUJINIMO
GALIMYBĖS**

**ANALYSIS OF DEFECTS AND UPGRADING POSSIBILITIES OF
REINFORCED CONCRETE BALCONIES**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymas, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybų technologijos studijų kryptis

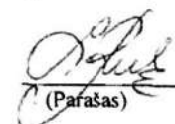
Vadovas

doc. dr. Jurgita Antuchevičienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas) 2015-05-20
(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

Lektorė Lina Rutkienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)


(Parašas) 2015-05-19
(Data)

Vilnius, 2015

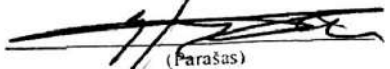
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Statybų technologijos studijų kryptis

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa. valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas


(Parašas)
Edmundas K. Zavadskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr. 2014-10-01

Vilnius

Studentui (ei)Barborai Meliūkšytei
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: GELŽBETONINIŲ BALKONŲ DEFEKTŲ ANALIZĖ IR.....
.....ATNAUJINIMO.GALIMYBĖS.....
.....

patvirtinta 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 503

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. Gegužės 20 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti mokslinę literatūrą gelžbetoninių elementų defektų, jų atsiradimo priežasčių bei defektų šalinimo būdų tema. Išnagrinėti Vilniaus miesto gyvenamųjų namų balkonų būklės tyrimo dokumentaciją. Suformuoti galimus balkonų atnaujinimo variantus ir variantų efektyvumo vertinimo rodiklius. Atnaujinimo variantus palyginti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodais. Pateikti pasiūlymus Vilniaus miesto balkonų avarinės būklės šalinimui.....
.....

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

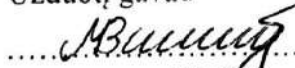
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas


(Paraša)

.....dr. doc. Jurgita Antuchevičienė.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau


(Parašas)
Barbora Meliūkšyte
(Vardas, pavardė)
2014-10-01
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos technologijos ir vadybos katedra

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

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas
Pavadinimas **Gelžbetoninių balkonų defektų analizė ir atnaujinimo galimybės**
Autorius **Barbora Meliūkšytė**
Vadovas **doc. dr. Jurgita Antuchevičienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe analizuojamos gelžbetoninių balkonų konstrukcijų defektų atsiradimo priežastys bei konstrukcijų atnaujinimo galimybės. Darbą sudaro įvadas, trys skyriai, išvados ir pasiūlymai. Pirmame baigiamojo darbo skyriuje, remiantis mokslinių šaltinių analize, nagrinėjami gelžbetoninių konstrukcijų defektai, jų atsiradimo priežastys ir šalinimo galimybės. Antrame skyriuje analizuojama gelžbetoninių balkonų konstrukcijų istorija, jų tipai. Remiantis Vilniaus balkonų ekspertizėmis pagrindžiama problema, kad Vilniaus miesto balkonų būklė avarinė. Analizuojami trukdžiai, stabdantys balkonų atnaujinimo procesą. Siūlomas kompleksinis požiūris į balkonų atnaujinimo procesą, ieškant efektyviausio sprendimo. Trečiame skyriuje pateikiama informacija apie daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų naudojimą statybos srityje. Parengtos galimos balkonų atnaujinimo alternatyvos bei alternatyvų efektyvumo vertinimo rodikliai. Atliekama ekspertinė apklausa, skaičiavimai taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus, rezultatų analizė. Nustatyta geriausia Vilniaus miesto balkonų atnaujinimo alternatyva bei pateikti pasiūlymai spartinti atnaujinimo procesą. Darbo apimtis – 75 p. teksto be priedų, 45 iliustracijos, 23 lentelės, 54 literatūros šaltiniai, 5 priedai.

Prasminiai žodžiai: Gelžbetoninės konstrukcijos, defektai, atnaujinimas, monitoringas, gelžbetoniniai balkonai, balkonų atnaujinimas, daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Technology and Management

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

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master
Graduation Thesis

Title **Analysis of defects and upgrading possibilities of reinforced concrete balconies**
Author **Barbora Meliūkšytė**
Academic supervisor **Assoc Prof Dr Jurgita Antuchevičienė**

**Thesis
language:** Lithuanian

Annotation

The thesis analyzes causes of the concrete balconies structural defects and their renewal options. The work consists of an introduction, three chapters, conclusions and recommendations. The first chapter analyzes defects of concrete structures, their causes and disposal options on the basis of survey of scientific literature. The second chapter analyzes building history of concrete balconies and their types. Based on inspection of Vilnius balconies, the problem that Vilnius balconies are in a state of emergency is justified. The obstacles, restricting upgrading process of balconies, are analyzed. The integrated approach is proposed to find the most efficient balconies upgrading solution. The third section contains information on multiple criteria decision-making methods used in the construction field. Possible alternatives for renovation of balconies and a list of performance assessment indicators are prepared. Expert survey is carried out. Calculations are made using multiple criteria decision making methods and analysis of the results is performed. The best alternative for upgrading Vilnius balconies is selected and proposals to speed up the upgrading process are presented. The volume of the work is 75 p. text without appendixes, 45 illustrations, 23 tables, 54 references and 5 appendixes.

Keywords: Reinforced concrete structures, defects, updating, monitoring, concrete balconies, balconies renovation, Multiple Criteria Decision Making, MCDM.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Barbora Meliūkštytė, 20094474

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. gegužės 20 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Gelžbetoninių balkonų defektų analizė ir atnaujinimo galimybės“ patvirtintas 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 503st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Lina Rutkienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Jurgita Antuchevičienė.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Barbora Meliūkštytė

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	10
ĮVADAS	11
1. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ: DEFEKTŲ ATSIKADIMO PRIEŽASTYS IR ŠALINIMO BŪDAI.....	13
1.1.Korozijos poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms	13
1.2.Aukštų bei žemų temperatūrų poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms	14
1.3.Gelžbetoninių konstrukcijų veikiant įvairioms apkrovoms analizė	16
1.4.Gelžbetoninių konstrukcijų defektų monitoringas ir defektų šalinimas	18
1.5.Gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimo būdai	20
1.6.Skyriaus apibendrinimas.....	24
2. GELŽBETONINIŲ BALKONŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ.....	25
2.1.Istorinė apžvalga.....	25
2.2.Balkonams naudojamos konstrukcijos	27
2.3.Vilniaus miesto balkonų būklės analizė	30
2.3.1.Naujamiesčio rajono balkonų būklės analizė.....	30
2.3.2.Balkonų avarinės būklės šalinimo trukdžiai	43
2.3.3.Kompleksinis požiūris į balkonų atnaujinimo procesą	44
2.4.Skyriaus apibendrinimas.....	44
3. BALKONŲ ATNAUJINIMO ALTERNATYVŲ EFEKTYVUMO NUSTATYMAS	47
3.1.Daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų taikymas statyboje.....	47
3.2.Balkonų atnaujinimo alternatyvų efektyvumo nustatymo uždavinys	51
3.2.1.Nagrinėjamos alternatyvos	51
3.2.2.Vertinti alternatyvoms naudojamų rodiklių aprašymas	54
3.2.3.Alternatyvų vertinimas taikant daugiakriterius metodus	56
3.3.Skyriaus apibendrinimas.....	66
IŠVADOS IR SIŪLYMAI	69
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	70
PRIEDAI	76

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Šalčio sukelta pastato fasado deformacija (Lahdensivu 2012)	16
1.2 pav. Plyšių atsiradimas bei betono ir armatūros sąveikos modelis: a- tempiamo elemento pleišėjimo charakteris; b- šlyties įtempiai (Diskrečių plyšių...2011)	17
1.3 pav. Netiesinio ultragarso metodo schema (Shahidan <i>et al.</i> 2013)	19
1.4 pav. Monitoringo naudojant jutiklius schema (Barroca <i>et al.</i> 2013)	20
1.5 pav. Gelžbetoninės kolonos sustiprinimas (Rai 2010)	21
1.6 pav. Gelžbetoninės kolonos sustiprinimas (Rai 2010)	21
1.7 pav. Lipnūs cinko lakštai, pritvirtinti prie betono paviršiaus (Christodoulou <i>et al.</i> 2014).....	22
1.8 pav. Diskretiškieji anodai, įterpti į išgręžtas betono ertmes (Christodoulou <i>et al.</i> 2014).....	22
1.9 pav. Ištisinių gijų stiklo pluošto kilimėlis (Sandeep <i>et al.</i> 2013)	23
1.10 pav. Aramido sluoksnio kilimėlis (Sandeep <i>et al.</i> 2013).....	23
2.1 pav. Siklos pilies uždaras balkonas, Vengrija (Horn 2011)	25
2.2 pav. Peterfy rūmų balkonas, Budapeštas (Horn 2011)	26
2.3 pav. Vieno iš VGTU pastatų įėjimas, Trakų g. Vilnius.....	26
2.4 pav. Balkono plokštės įrengimas pratęsiant perdangos plokštę (Jonaitis <i>et al.</i> 2007).....	27
2.5 pav. Iš apačios paremto balkono schema (Horn 2011).....	28
2.6 pav. Konsole paremtas balkonas, J. Basanavičiaus g. 23, Vilnius	28
2.7 pav. Kolonomis paremtų balkonų tipai (Horn 2011).....	29
2.8 pav. Klaipėdos viešosios I. Simonaitytės bibliotekos, esančios H. Manto g. 25, kolonomis paremtas balkonas.....	29
2.9 pav. Ant sienoje inkaruotų sijų įrengta betoninė plokštė, A. Vivulskio g. 6, Vilnius	30
2.10 pav. Ant sienoje inkaruotų sijų įrengta betoninė plokštė, Šaltinių g. 8, Vilnius	30
2.11 pav. Birželio 23-iosios g. 2 namo gatvės fasadas	31
2.12 pav. Birželio 23-iosios g. 2 namo kiemo fasadas	31
2.13 pav. Balkono plokštės planas iš viršaus M1:50 (Elenbergas 2014)	32
2.14 pav. Mazge A tvirtinamos detalės detalizacija M1:2 (Elenbergas 2014).....	32
2.15 pav. Mazge A tvirtinamos detalės fotofiksacija (Elenbergas 2014).....	33
2.16 pav. Balkono Nr. 46 kairiojo kampo tvirtinimo atotampos mazgo vaizdas prieš pradėdant ekspertizę (Geltona rodyklė žymi storą rudžių sluoksnį, raudona- išilginės armatūros nesujungimą su briaunos armatūra.) (Elenbergas 2014).....	33
2.17 pav. Inkaro strypo vaizdas pašalinu rūdis bei suirusio betono dalis. (Raudona rodyklė žymi atotampos kilpos dalį) (Elenbergas 2014)	34

2.18 pav. Balkono Nr. 46 išilginės briaunos vaizdas su suirusiu armatūros apsauginiu sluoksniu (Elenbergas 2014).....	34
2.19 pav. Balkono Nr. 46 dešiniojo mazgo vaizdas prieš tyrimą. (Geltona rodyklė žymi skersinę briauną, kuri yra atsilenkusi nuo plokštės ir sutrūkusi, raudona – išilginės ir skersinės armatūros nesusikirtimą.) (Elenbergas 2014).....	35
2.20 pav. Balkono Nr. 46 dešiniojo mazgo vaizdas pašalinus suirusias betono dalis (Geltona rodyklė žymi pašalintą rudžių kiekį nuo kaklelio, raudona – laikančiojo inkaro laisvąjį galą.) (Elenbergas 2014).....	35
2.21 pav. Iš balkono Nr. 47 perdangos plokštės išimta suirusios briaunos dalis, kartu su armatūros likučiu (Raudona rodyklė žymi surūdijusį armatūros likutį) (Elenbergas 2014)	36
2.22 pav. Daugiabučio namo Naugarduko g. 53 kiemo fasadas su balkonų žymėjimu	38
2.23 pav. Daugiabučio namo Naugarduko g. 53 gatvės fasadas su balkonų žymėjimu.....	38
2.24 pav. Balkono perdangos plokštės planas (Elenbergas 2014).....	39
2.25 pav. Pjūvio B-B detalizacija (Elenbergas 2014).....	39
2.26 pav. Savanorių pr. 11 namo gatvės fasadas	40
2.27 pav. Savanorių pr. 11 namo kiemo fasadas	40
2.28 pav. Balkono plokštės ir armavimo konstrukcinis brėžinys (Kalibatas 2013)	41
2.29 pav. Balkono pjūvis 1-1 (Kalibatas 2013).....	41
2.30 pav. Balkono pjūvis 2-2 (Kalibatas 2013).....	42
3.1 pav. Bendras MCDM modelis (Singh <i>et. al</i> 2014).....	48
3.2 pav. Birželio 23-iosio g. 2 namo balkonų fotofiksacija.....	51
3.3 pav. Prancūziško balkono pavyzdys (turėklų sprendimai... 2013)	54
3.4 pav. Alternatyvų reitingavimas, kai $\lambda=0,...,1$	66

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Korozijos tipai (Types of corrosion... 2002).....	13
2 lentelė. Vilniaus miesto balkonų defektų sąrašas	42
3 lentelė. Daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų panaudojimas (Tamošaitienė <i>et al.</i> 2013) ..	50
4 lentelė. Kultūrinės vertės vertinimas balais	55
5 lentelė. Estetinio vaizdo vertinimas balais	55
6 lentelė. Alternatyvų rodikliai	55
7 Lentelė. Ekspertų rodikliams suteikti svarbos balai	56
8 lentelė. Ekspertų balai perskaičiuoti į rangus	57
9 lentelė. Rodiklių svorių nustatymo algoritmas (Turskis <i>et al.</i> 2006)	58
10 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica	59
11 lentelė. Normalizuota sprendimų priėmimo matrica	60
12 lentelė. Svorinė normalizuota matrica	60
13 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir prioritetiškumas	61
14 lentelė. Pradinė sprendimo priėmimo matrica.....	61
15 lentelė. Transformuota sprendimo priėmimo matrica	62
16 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica	62
17 lentelė. Svertinė sprendimo priėmimo matrica.....	63
18 lentelė. Naudingumo efektyvumo indeksas ir naudingumo laipsnis	63
19 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica	64
20 lentelė. Normalizuota sprendimų priėmimo matrica	64
21 lentelė. Alternatyvų prioritetiškumas	65
22 lentelė. Patikslintas optimalumo kriterijus	66
23 lentelė. Kriterijų svoriai	67

IVADAS

Temos aktualumas. Didžioji Lietuvos gyvenamųjų daugiabučių namų dalis yra sovietinio palikimo gyvenamasis fondas. Didelė dalis pastatų (apie 70 %) yra senesni nei 30 metų ir net 30 % iš jų – senesni nei 50 metų. Bėgant laikui pastatus veikia tiek išoriniai, tiek vidiniai veiksniai. Prie išorinių veiksnių galime priskirti kritulius, oro masių srautus, temperatūrą, agresyvią aplinką, radiaciją bei tam tikrus biologinius veiksnius (bakterijas, vabzdžius kenkėjus ir pan.), taip pat grunto slėgį bei elektros iškrovas. Vidiniai veiksniai - tai statinės ir dinaminės statinio naudojimo apkrovos, temperatūra ir drėgmė bei jų pokyčiai, agresyvioji aplinka, biologiniai veiksniai. Ilgą laiką pastatas, veikiamas šių veiksnių nusidėvi tiek fiziškai, tiek moraliai.

Šio darbo aktualumas yra tas, kad senstant pastatams nusidėvi įvairios laikančiosios konstrukcijos, tarp jų ir tos, kurios yra skirtos balkonams laikyti. Neprižiūrimos šios konstrukcijos tampa avarinės būklės. Nesiimant jokių veiksmų gali įvykti įvairių nelaimių. Šiuo metu pastatų modernizavimas, kartu ir avarinės būklės balkonų atnaujinimas vyksta vangiai. Tačiau šios srities negalima apleisti, ji reikalauja valstybės dėmesio bei atitinkamų mokslinių tyrimų.

Tyrimų objektas. Šiame darbe pagrindinis tyrimų objektas yra avarinės būklės Vilniaus miesto balkonai. Šiuo metu vyksta atskirų pastatų atnaujinimo darbai, yra rengiami projektai, tačiau balkonų atnaujinimo svarba ir galimybės nėra plačiai išnagrinėtos.

Darbo tikslas – išanalizavus gelžbetoninių konstrukcijų defektus, atlikti gelžbetoninių balkonų būklės analizę, suformuoti atnaujinimo galimybių alternatyvas bei pasiūlyti būdą efektyviausiems balkonų atnaujinimo sprendimams išrinkti.

Darbo uždaviniai. Kad pasiektume baigiamajame magistro darbe suformuluotus tikslus, turime išspręsti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti mokslinę literatūrą gelžbetoninių elementų defektų, jų atsiradimo priežasčių bei defektų šalinimo būdų tema;
2. Atlikti Vilniaus miesto 3 gyvenamųjų namų balkonų būklės analizę bei pagrįsti egzistuojančią problemą;
3. Pateikti galimus balkonų atnaujinimo variantus ir efektyvumo vertinimo rodiklius.
4. Atnaujinimo variantus palyginti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodais;
5. Pateikti pasiūlymus Vilniaus miesto balkonų avarinės būklės šalinimui.

Darbe taikyti metodai: literatūros analizė, empirinių tyrimų duomenų analizė, ekspertų apklausa, matematiniai – statistiniai skaičiavimai, daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų taikymas, išvadų formulavimas.

Pirmoje baigiamojo magistro darbo dalyje analizuojama gelžbetoninių konstrukcijų defektai, jų atsiradimo priežastys, šalinimo galimybės. Tai atliekama remiantis mokslinių šaltinių analize.

Antrojoje baigiamojo magistro darbo dalyje analizuojama gelžbetoninių balkonų konstrukcijų istorija, jų tipai. Remiantis Vilniaus miesto 3 namų balkonų ekspertizėmis pagrindžiama problema, kad Vilniaus miesto balkonų būklė avarinė. Analizuojami trukdžiai, stabdantys balkonų atnaujinimo procesą. Siūlomas kompleksinis požiūris į balkonų atnaujinimo procesą, ieškant efektyviausio sprendimo.

Trečiojoje baigiamojo darbo dalyje pateikiama informacija apie daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų naudojamą statybos srityje. Pateikiamos galimos balkonų atnaujinimo alternatyvos bei alternatyvų efektyvumo vertinimo rodikliai, remiantis antrosios dalies analizę. Atliekama ekspertinė apklausa, skaičiavimai taikant daugiatislius sprendimų priėmimo metodus, rezultatų analizė. Nustatyta geriausia Vilniaus miesto balkonų atnaujinimo alternatyva bei pateikti pasiūlymai spartinti atnaujinimo procesą.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados bei pasiūlymai užtikrinti spartesnę balkonų atnaujinimo procesą Vilniaus mieste.

Galutinis baigiamojo magistro darbo rezultatas - išnagrinėta ir pagrįsta problema, susijusi su avarinės būklės balkonais Vilniuje, suformuluota technologiškai ir ekonomiškai tinkamiausia alternatyva, skirta balkonams atnaujinti, pateikti pasiūlymai pagreitinti atnaujinimo procesą.

Baigiamojo darbo tema paruoštas ir perskaitytas pranešimas „Gelžbetoninių balkonų defektų analizė ir atnaujinimo galimybės“ 18-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje – „Mokslas – Lietuvos ateitis“ įvykusioje 2015 kovo 4 dieną, Vilniuje.

1. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ: DEFEKTŲ ATSIKADIMO PRIEŽASTYS IR ŠALINIMO BŪDAI

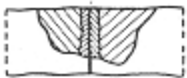
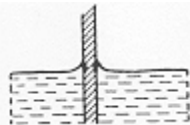
1.1. Korozijos poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms

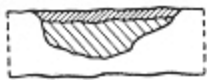
Viena iš pagrindinių gelžbetoninių konstrukcijų žalos priežasčių yra konstrukcijoje esančios armatūros korozija. Korozija – tai betono ir jame esančios armatūros savaiminis irimas, vykstantis dėl aplinkos cheminės bei elektrocheminės sąveikos. Paprastai betonas armatūrai suteikia aukštą apsaugos nuo korozijos lygį, tačiau agresyvioje aplinkoje pageidaujamas betono patvarumas dažnai yra sunaikinamas ir gelžbetonio korozija tampa pagrindine problema. Galima išskirti dvi pagrindines korozijos priežastis: karbonatų arba chloridų sukelta korozija (Metalų korozija...2003).

Taip pat koroziją sukelia ir įvairių rūšių kerpės ar grybeliai, kurie gali gyvuoti ir daugintis betono paviršiuje. Sausieji puviniai grybeliai, kaip ir kerpės, turi galias šaknis ir labai ardo ne tik betono paviršių, bet ir jo vidinius sluoksnius. Šie veiksniai labai pavojingi nekokybiškam, turinčiam atvirų porų ir tuštumų betonui. Paprastai nuo jų nukenčia hidrotechnikos statiniai, tiltų konstrukcijos, taip pat pramonės ir kitų pastatų konstrukcijos, kai jas veikia nepastovi drėgmė ir jų neapšviečia dienos šviesa (Pastarnokas 2007).

Korozijos metu nuo susidariusio rūdžių produkto atsiranda tūrio padidėjimas, kuris yra 2–6 kartus didesnis nei surūdijusio plieno. Dėl tūrio padidėjimo betone ima veikti papildomos mechaninės jėgos, dėl kurių atsiranda įtrūkiai, nuo armatūros atšoka apsauginis betono sluoksnis, dėl to konstrukcija gali prarasti savo laikomąją galią, o dažniausiai suyra. Be to, rūdžių produktai neturi rišamųjų savybių, todėl betono stipris mažėja (Lu *et al.* 2011). Koroziją galima suskirstyti į keletą tipų, pateiktą 1 lentelėje (Types of corrosion... 2002).

1 lentelė. Korozijos tipai (Types of corrosion... 2002)

 Tarpgranulinė korozija Nepastebima arba vos juntama išorėje esanti korozija, kuri vyksta granulių ribose.	 Galvaninė korozija Korozija atsiranda įtrūkių, plyšių arba dviejų metalinių paviršių sandūros vietoje.	 Rinktinė korozija Korozija veikia struktūrinės dalis.	 Tarpfazinė korozija Dažniausiai pastebima oro ir vandens sąlytyje.	 Tarpgranulinė korozija Nepastebima arba vos juntama išorėje esanti korozija, kuri vyksta granulių ribose.
---	--	---	--	---

 Vienoda korozija Reakcija prasideda paviršiuje ir plinta vienodai.	 Lokaluota korozija Pagrindinis metalas yra nuėdamas ir perforavimo būdu plinta toliau. Likęs paviršius pažeidžiamas nedaug arba lieka nepažeistas.	 Plati korozija Korozija sukelia lokalizuotus randus.
--	--	--

Korozijos metu atsiradę plyšiai kelia rimtas problemas gelžbetoninėms konstrukcijoms, todėl buvo pasiūlyta daug metodų, padedančių spręsti problemas, susijusias su plyšiais, atsiradusiais dėl korozijos. Šiuos metodus galima suskirstyti į tris pagrindines grupes (Chernin *et al.* 2010):

1. empiriniai modeliai;
2. analitiniai modeliai;
3. skaitmeniniai modeliai.

Šie metodai buvo naudojami apskaičiuoti korozijos produktų kiekiui, kuris paskleidžiamas į armatūrą supantį betoną. Taip pat įrodyta, kad šis kiekis gali būti didesnis nei buvo numatyta anksčiau ir buvo pateikta prielaida, kad korozijos produktai plinta į betoną tol, kol visiškai užpildo jo poras (Chernin *et al.* 2010).

1.2. Aukštų bei žemų temperatūrų poveikis gelžbetoninėms konstrukcijoms

Paprastai gelžbetoninės konstrukcijos yra projektuojamos atlaikyti normalioms temperatūroms, tokioms kaip kambario temperatūra ar specifinė vietovės temperatūra. Tokiu atveju yra užtikrinamas tinkamas ir ilgaamžis gelžbetoninių konstrukcijų eksploatavimo laikas. Tačiau kartais aplinkos temperatūra pakyla, daugiau nei buvo planuota. Tai gali būti gaisro atveju ar kai gelžbetoninės konstrukcijos yra įrengiamos arti krosnių ar reaktorių. Tokiu atveju, temperatūrai viršijus planuotą ribą, gelžbetonio tiek fizinės, tiek mechaninės savybės ima kisti. Aukšta temperatūra yra viena iš svarbiausių fizinės gelžbetoninių elementų nusidėvėjimo priežasčių. Pasiekus tam tikrą temperatūrą betono porose esantis vanduo pradeda garuoti, prasideda betono dehidratacija. Galiausiai gelžbetoniniuose elementuose ima plisti įtrūkiai bei plyšiai, tai sumažina konstrukcijų laikomąją galią. Per daugelį metų atlikta įvairiausių gelžbetonio, esančio aukštoje temperatūroje, elgsenos tyrimų, tokių kaip (Demirel 2010):

1. didelio stiprumo betono elgsena aukštose temperatūrose;

2. aukštos temperatūros poveikis betono sutvirtinto plienų ir polipropileno pluoštų;
3. aukštos temperatūros poveikis betonui, kurio sudėtyje yra lengvas ir normalus užpildas;
4. aukštos temperatūros poveikis betono mechaninėms savybėms.

Konstrukcijų inžinerijoje problemas, priklausančias nuo temperatūros pokyčio, galima suskirstyti į keletą kategorijų (Gou 2011):

1. temperatūra kinta periodiškai arba atsitiktinai. Tai galėtų būti dėl Saulės šilumos. Temperatūra stipriai pakyla, kai saulė būna aukščiausiam taške vasaros metu. Žiemos metu temperatūra stipriai nukrinta palyginus su normalia projektine temperatūra. Taip pat temperatūrų skirtumas yra pastato viduje ir pastato išorėje.
2. pastovi aušta temperatūra dėl pastato paskirties. Pavyzdžiui, metalurgijos ir chemijos pramonės pastatų konstrukcijos yra nuolat veikiamos aukštų temperatūrų, gali pasiekti net iki 200 °C.
3. staigus temperatūros šuolis dėl tam tikro įvykio — gaisras ar sprogimas.

Temperatūra, apibūdinama šiomis trimis kategorijomis, turi skirtingus diapazonus, kurie ir nulemia medžiagoms bei elementams padarytą žalą. Tačiau apie tai galima spėti taikant teorinę analizę, tam tikrus projektavimo metodus bei atitinkamus struktūrinius sprendinius (Gou 2011).

Kadangi dažniausiai gelžbetoninės konstrukcijos yra projektuojamos ir įrengiamos lauko sąlygomis, jos nuolat veikiamos drėgmės, kritulių bei kitų atmosferos veiksnių. Žiemos metu gelžbetoniniai elementai džiūsta lėtai dėl žemos temperatūros, prastos ventiliacijos ar saulės poveikio. Temperatūrai nukritus žemiau nulio, vanduo, esantis konstrukcijų porose, užšąla. Užšalusios vandens porose tūris padidėja apie 9 % taip sukeldamas hidraulinį spaudimą (Lahdensivu 2012).

Pagrindinės šalčio sukeltos problemos — tai vidinis gelžbetonio trūkinėjimas arba paviršinio sluoksnio lupimasis ar deformacija (1.1 pav.). Tai įvyksta tuomet, kai sušalusio vandens sukeltas slėgis viršija betono tempiamąjį stiprį. Šalčio sukelta degradaciją yra sunku nustatyti vizualiniais metodais ar barbenimu, tenka taikyti tikslesnius tyrimų metodus, tokius kaip plono pjūvio analizė (Lahdensivu 2012).

Apibendrinant šalčio keliamą žalą galima paminėti, kad šalčio sukelti įtempiai neigiamai veikia ir kitus struktūrinius veiksnius, tokius kaip (Lahdensivu 2012):

1. konstrukcijų elementų sąveika (mazgai, hidroizoliacija);
2. vandens nuvedimo sistemų veikimas (latakai, lietvamzdžiai);
3. šilumos srauto cirkuliacija konstrukcijose;

4. vandens absorbcija ir jo judėjimas konstrukcijų paviršiumi, vandens garavimas nuo konstrukcijų paviršiaus;
5. atsparumas vandeniui.



1.1 pav. Šalčio sukelta pastato fasado deformacija (Lahdensivu 2012)

1.3. Gelžbetoninių konstrukcijų veikiant įvairioms apkrovoms analizė

Gelžbetoninės konstrukcijos paprastai yra projektuojamos gniuždymo apkrovoms atlaikyti. Todėl galima teigti, kad gniuždomasis betono stipris yra pagrindinis gelžbetoninių konstrukcijų kokybės rodiklis. Betono stiprumas priklauso nuo daugybės faktorių:

1. cemento ir užpildų rūšies;
2. mišinio sudėties;
3. klojimo ir tankinimo būdo;
4. elementų formos ir matmenų;

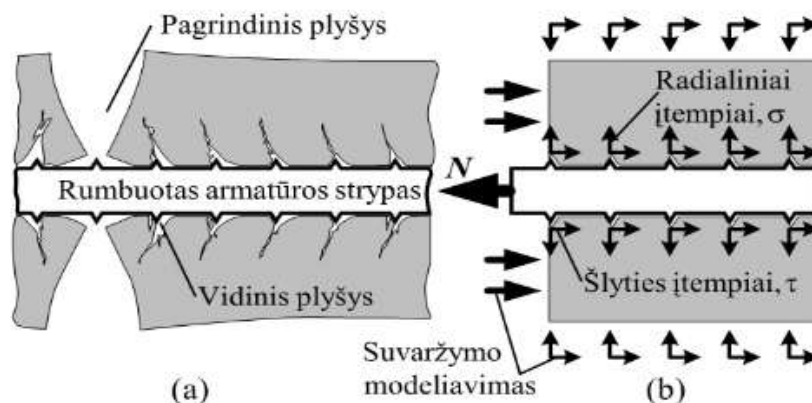
Kai gelžbetoninis elementas dar nėra apkrautas, betone jau atsiranda vidiniai įtempiai dėl betono susitraukimo deformacijų. Pradžioje gniuždomi gelžbetoniniai elementai stiprėja, nes tankėja pati betono struktūra, vėliau gniuždymo deformacijos pasiekia ribines betono deformacijas, todėl gelžbetoniniuose elementuose ima plisti mikroplyšiai (Jokūbaitis *et al.* 1992).

Tačiau neretai gelžbetoninės konstrukcijos yra tempiamos. Centriškai tempiamų elementų stiprumas priklauso nuo cementinio akmens stiprumo, jo sukibimo su užpildais, betono stiprumo bei išankstinių mikroplyšių (Jokūbaitis *et al.* 1992). Tempiamuose elementuose pleišėjimas yra neišvengiamas, tačiau plyšiai gali atsirasti ir iki apkraunant gelžbetoninius elementus eksploatacine

apkrova. Tai gali atsitikti dėl betono susitraukimo arba temperatūros pokyčių. Taip pat plyšiai gali atsirasti naudojant didelio stiprumo plieną, dėl didelių armatūros įtempių (Ančerys 2009).

Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas yra tiriamas jau daugybę dešimtmečių. Tačiau pasaulyje iki šiol nėra bendros nuomonės dėl tinkamiausių deformacijų ir plyšių plokčių skaičiavimo teorijų. Tempiamame gelžbetoniniame elemente pirmiausia atsiranda pagrindiniai normaliniai plyšiai, dėl šių plyšių elementų deformacija gali padidėti keletą kartų. Plyšiuose ir gretimuose pjūviuose armatūra praslysta betone, o ties armatūros rumbeliais atsiranda lokalūs plyšiai. Gelžbetoninių elementų pleišėjimo modeliavimą (1.2 pav.) apsunkina, kad didieji plyšiai yra diskretūs, t.y. nutolę tam tikru atstumu, kintančiu priklausomai nuo įvairių veiksnių (Diskrečiųjų plyšių...2011):

1. elemento skerspjūvio;
2. tempiamos armatūros kiekio;
3. strypų skersmens bei jų paviršiaus.



1.2 pav. Plyšių atsiradimas bei betono ir armatūros sąveikos modelis: a- tempiamo elemento pleišėjimo charakteris; b- šlyties įtempiai (Diskrečiųjų plyšių...2011)

Skaičiavimo algoritmuose išskiriamos pagrindinės keturios modeliavimo koncepcijos (Diskrečiųjų plyšių...2011):

1. diskrečiųjų plyšių modeliai;
2. vidutinių plyšių modeliai;
3. modeliai, kuriuose tempimo sustandėjimo efektas įvertinamas armatūros įtempių ir deformacijų priklausomybėmis;
4. irimo mechanikos principais pagrįsti modeliai.

Gelžbetoninėse konstrukcijose pleišėjimas yra nepageidaujamas dėl keleto priežasčių: pirmiausia - tai gadina estetinį konstrukcijų vaizdą, antra - plyšiai sukelia koroziją, trečia- tai yra viena iš pagrindinių konstrukcijų irimo priežasčių. Dėl išvardintų priežasčių, metodai skirti įvertinti

konstrukcijų pleišėjimui, šiomis dienomis turi didelę paklausą. Siekiant įvertinti gelžbetoninių konstrukcijų saugumą bei efektyvumą, jų neardant, yra naudojamas akustinės emisijos metodas. Signalai, atsiradę dėl mikroplyšių, yra fiksuojami naudojant jutiklius, pritvirtintus prie tiriamojo paviršiaus (Ohno *et al.* 2010).

1.4. Gelžbetoninių konstrukcijų defektų monitoringas ir defektų šalinimas

Bėgant laikui eksploatuojamos pastatų konstrukcijos dėvisi dėl aplinkos sąlygų bei žmogaus veiklos. Dėl blogėjančios pastatų būklės kyla poreikis juos atnaujinti, kas būtų pagerinta esama būklė ir pailgintas jų eksploatacijos laikas. Gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimas (defektų šalinimas) gali būti dvejopas (Iskhakov *et al.* 2013):

- originalios struktūrinės formos atkūrimas;
- pažeistų vietų, kurios netenkina laikomosios galios sąlygų, stiprinimas.

Gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimo metodų ir būdų yra įvairių. Visi metodai buvo sukurti dėl keleto pagrindinių priežasčių: nepakankama ir netinkama konstrukcijų priežiūra, per didelės apkrovos, plieno korozija ir kita. Taip pat konstrukcijų atnaujinimas gali būti naudojamas net tik dėl defektų šalinimo, bet ir tuomet, kai reikia sustiprinti esamų konstrukcijų laikomąją galią (Sandeep *et al.* 2013):

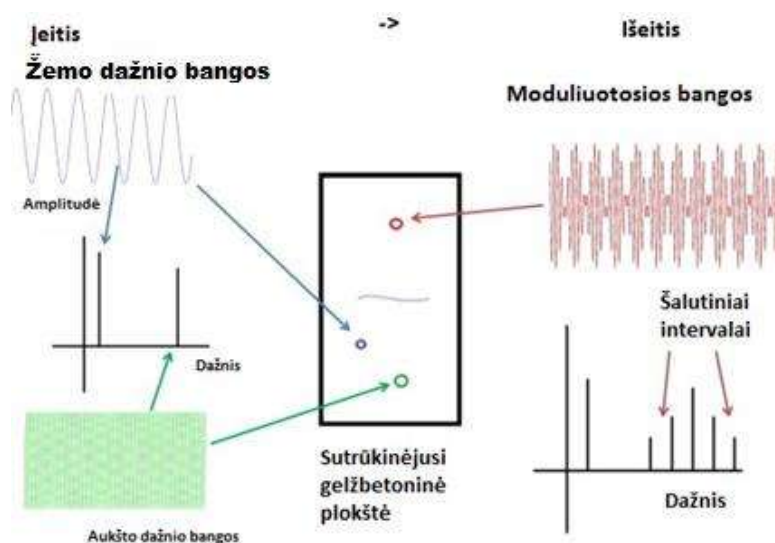
1. kai reikalinga didesnė laikomoji galia dėl papildomų mechanizmų įrengimo;
2. dėl pasikeitusios teisinės aplinkos;
3. dėl didesnės krovinių apkrovos;
4. dėl sprogimų, žemės drebėjimų.

Pastatų konstrukcijų atnaujinimas reikalauja ypač daug dėmesio, todėl prieš parenkant tinkamiausią atnaujinimo metodą būtina atsižvelgti į (Sandeep *et al.* 2013):

1. stiprumo laipsnio padidėjimą;
2. sustiprėjimo laipsnio pakitimo įtaką konstrukcijai;
3. projekto dydį (metodai, susiję su specifinėmis medžiagomis, gali būti mažiau ekonomiškėsni mažiems projektams);
4. aplinkos sąlygas (metodai, tinkantys vienos aplinkos sąlygose, gali netikti kitose, pvz.: klijai gali netikti aukštose temperatūrose, plieno metodai gali netikti agresyvioje aplinkoje);
5. konstrukcijos betono stiprumą ir pagrindo vientisumą (metodo veiksmingumas gali būti ribojamas mažos betono stiprumo klasės);

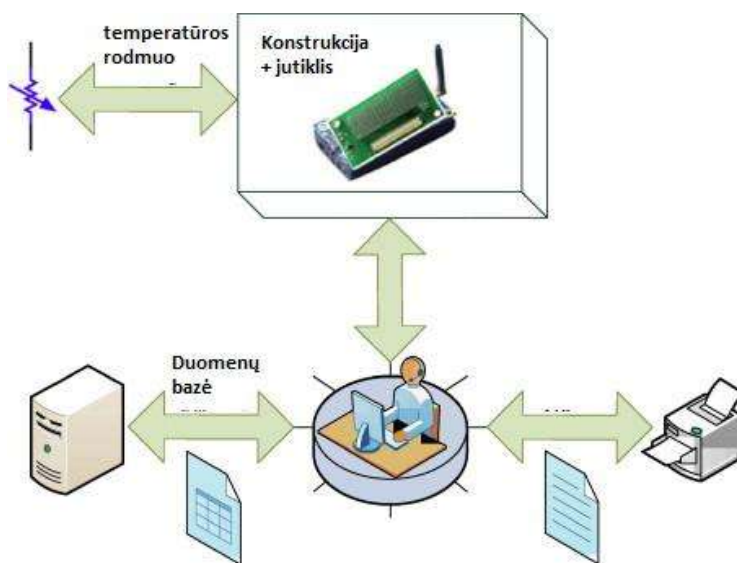
6. konstrukcijos matmenis;
7. medžiagas, įrangą, rangovų kvalifikaciją;
8. laiko sąnaudas (vieni metodai gali atimti daugiau laiko nei kiti);
9. statybos sąnaudas, techninės priežiūros, gyvavimo ciklo sąnaudas.

Taip pat svarbu paminėti, kad būtina užkirsti kelią gelžbetoninių konstrukcijų defektų atsiradimui. Tam tikslui yra naudojamas konstrukcijų monitoringas. Svarbu, kad monitoringo metodai būtų neardomojo pobūdžio, teiktų kiek galima tikslesnę ir patikimesnę informaciją apie statinio ir jo konstrukcijų būklę. Vienas iš patikimiausių šių dienų metodų yra akustinė emisija (Shahidan *et al.* 2013). Šis būdas – tai labai patikima priemonė įvertinant bet kokios gelžbetoninės konstrukcijos būklę, nesunaikinant jos materialinės būklės. Šio metodo privalumas yra tas, kad taikant akustinę emisiją aptinkami plika akimi nematomi plyšiai medžiagoje. Naudojant šią technologiją, per konstrukciją yra praleidžiamos garso bangos, kurios fiksuojamos jutikliu, pritvirtintu prie konstrukcijos paviršiaus. Akustinė emisija yra paremta garso signalo amplitudės trukmės kitimu, vidutiniu dažniu bei signalo stiprumu. Visi šie parametrai yra analizuojami nustatant konstrukcijų žalos lygį. Taip pat gelžbetoninių konstrukcijų monitoringui naudojamas ultragarsas. Ši sistema pagrįsta integruotų jutiklių sistema, kuri perduoda duomenis tiesiai į kompiuterines sistemas, kur visi duomenys yra apdorojami. Dauguma ultragarso metodų remiasi šių bangų sklidimu medžiaga, atspindžiais bei išsisklaidymu. Labai retu atveju metodai remiasi netiesiniu ultragarsu (1.3 pav.), tačiau tokius metodus galima taikyti tik tuomet, kai ultragarso bangos yra pakankamai didelės amplitudės arba jos nukeliauja labai didelius atstumus (Shahidan *et al.* 2013).



1.3 pav. Netiesinio ultragarso metodo schema (Shahidan *et al.* 2013)

Gelžbetoninių konstrukcijų monitoringui labai pravartu naudoti belaidžius jutiklius. Toks monitoringo metodas (1.4 pav.) leidžia nuolat stebėti tiek oro temperatūros, tiek drėgmės įtaką konstrukcijoms. Taip pat vertinant ekonominę pusę belaidžių jutiklių naudojimas monitoringui pakankamai nebrangus ir gana efektyvus būdas. Praktikoje yra naudojama daugiau nei penkiasdešimt rūšių jutiklių, kurie padeda stebėti armatūros koroziją, betono cheminės sudėties pokyčius, konstrukcijos temperatūros ir drėgmės būseną. Tokio monitoringo būdas leidžia racionaliau paskirstyti išlaidas, kurios susijusios su gelžbetoninių konstrukcijų priežiūra bei taisymu (Barroca *et al.* 2013).



1.4 pav. Monitoringo naudojant jutiklius schema (Barroca *et al.* 2013)

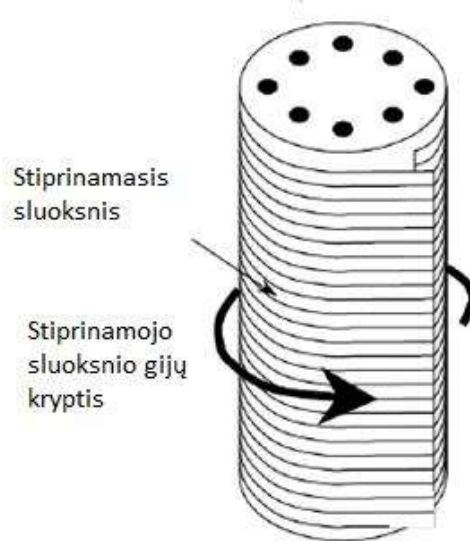
1.5. Gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimo būdai

Nors ir prižiūrimos, gelžbetoninės konstrukcijos laikui bėgant dėvisi. Atsiranda poreikis jas atnaujinti, tam gali būti naudojami įvairūs metodai, tokie kaip metalinės plokštelės klijavimas ant konstrukcijos paviršiaus, atvirkštinis įtempimas naudojant plieno tinklus (1.5 pav.), atskirų dalių sustiprinimas, supleišėjusių konstrukcijos vietų padengimas stiprinamuoju sluoksniu, konstrukcijos apvilkimas stiprinančiomis medžiagomis (1.6 pav.) ir kt. Nors visi šie metodai gali labai padidinti gelžbetoninės konstrukcijos stiprumą, tačiau jie yra neatsparūs korozijai, kurią sukelia netinkamas konstrukcijos sukibimas su stiprinančiuoju sluoksniu. Stiprinant konstrukcijas papildomu betono sluoksniu, labai svarbu užtikrinti tinkamą sukibimą tarp konstrukcijos ir naujojo sluoksnio. Buvo atlikta keletas eksperimentų, siekiant išsiaiškinti skirtingų stiprinimo metodų efektyvumą. Vienas iš jų – sutrūkinėjusio paviršiaus padengimas cementine medžiaga (angl. strain hardening cement-based composites (SHCC)). Šio metodo esmė yra apriboti struktūros plyšių atsivėrimo poslinkius, naudojant tempimo deformacijoms atsparią medžiagą. Atlikti eksperimentai parodė, kad cemento

pagrindu pagaminta stiprinamoji medžiaga padidina konstrukcijos tempimo laikomąją galią iki 2,5 % ir gali atlaikyti plyšio atsivėrimo poslinkius iki 0,6 mm (Iskhakov *et al.* 2013).



1.5 pav. Gelžbetoninės kolonos sustiprinimas (Rai 2010)



1.6 pav. Gelžbetoninės kolonos sustiprinimas (Rai 2010)

Dar vienas gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimo metodas – katodinė apsauga. Tai yra elektrocheminė remonto technika, vis dažniau naudojama pasaulyje. Šio metodo esmė yra atnaujinti gelžbetoninių konstrukcijų armatūrą, veikiant ją mažos įtampos elektros srove. Tokiu būdu korozijos vietoje yra didinamas hidroksilų jonų kiekis ir armatūra yra apsaugoma nuo tolesnio blogėjimo (Wilson *et al.* 2013). Katodinė apsauga iš esmės apima pablogėjusių transporto statinių būklės gerinimą, nežiūrint į tai, kokio lygio yra korozija, tačiau šis metodas puikiai pritaikomas ir tokių konstrukcijų atnaujinimui kaip tuneliai, uostų infrastruktūra, gyvenamųjų pastatų konstrukcijos ir kt. Konstrukcijoms dažniausiai yra naudojamos dviejų rūšių katodinės apsaugos: sužadintosios srovės katodinė apsauga (angl. impressed current cathodic protection (ICCP)) ir anodų katodinė apsauga (angl. sacrificial anode cathodic protection (SACP)) (The basics of ... 2014). Taip pat konstrukcijų atnaujinimui yra naudojami galvaniniai anodai. Atnaujinant gelžbetoninius elementus pakeičiant chloridu užterštą betoną yra pakankamai sudėtinga ir brangu, todėl galvaninių anodų naudojimas gali sumažinti konkretaus pakeitimo mastą ir pailginti konstrukcijų eksploatacijos laikotarpį. Šiuolaikinių galvaninių anodų sistemas galima skirstyti taip (Christodoulou *et al.* 2014):

1. metalinė danga, pritvirtinta tiesiogiai prie betono paviršiaus;
2. lakštiniai anodai, pritvirtinti prie betono paviršiaus (1.7 pav);

3. atskiri anodai, įterpti į cemento paviršių;
4. diskretiškieji anodai, įterpti į betono ertmes (1.8 pav.).



1.7 pav. Lipnūs cinko lakštai, pritvirtinti prie betono paviršiaus (Christodoulou *et al.* 2014)



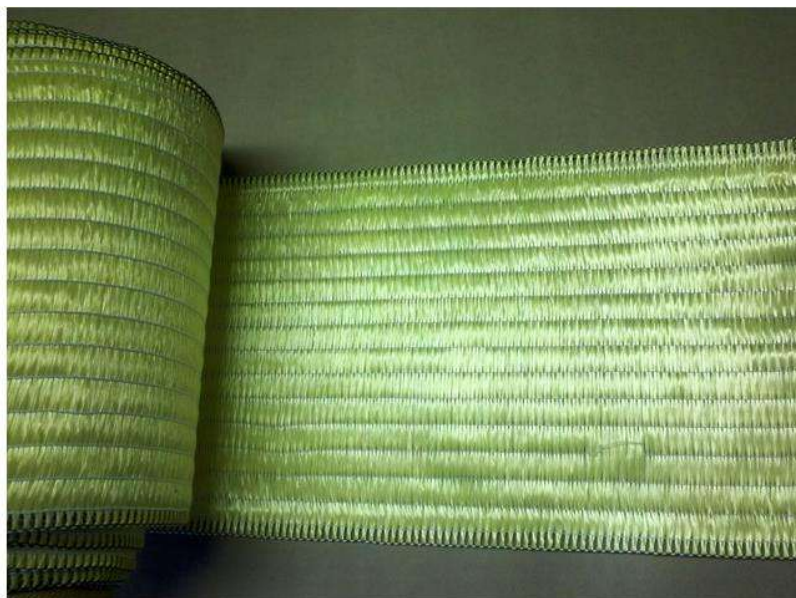
1.8 pav. Diskretiškieji anodai, įterpti į išgręžtas betono ertmes (Christodoulou *et al.* 2014)

Visai neseniai statybų rinkai buvo pristatytas naujas gelžbetoninių konstrukcijų atnaujinimo (sustiprinimo) būdas — tai konstrukcijų apvilkimas armuojančio pluošto polimerine medžiaga (angl. Fiber-reinforced polymer (FRP)). Šis būdas yra pakankamai ekonomiškasis dėl savo svorio ir

stiprumo santykio, lankstaus dizaino, didelio patvarumo. Metodas tinkamas įvairių tipų gelžbetoninėms konstrukcijoms, tokioms kaip kolonos, sijos, plokštės, atnaujinti. Tyrimais buvo įrodyta, kad anglies pluošto medžiagas galima naudoti siekiant sustiprinti lenkiamas, tempiamas ir šlyties veikiamas konstrukcijas. Taip pat naudojamos polimerinės medžiagos gali būti sudarytos ir stiklo (1.9 pav.), aramido pluošto (1.10 pav.). Suformuoti lankstūs lakštai, kurie yra tvirtinami prie konstrukcijų, gali būti sausi arba iš anksto impregnuoti derva (Sandeep *et al.* 2013).



1.9 pav. Ištisinių gijų stiklo pluošto kilimėlis (Sandeep *et al.* 2013)



1.10 pav. Aramido sluoksnio kilimėlis (Sandeep *et al.* 2013)

Dar vienas konstrukcijų inžinerijos tikslas yra sukurti veiksmingą konstrukcijų atnaujinimo būdą, kuris leidžia atkurti gelžbetonines plokštes po gaisro. Dauguma šių metodų yra susiję su pažeisto betono sluoksnio pašalinimu ir naujo sluoksnio įrengimu. Daugybės eksperimentų rezultatai parodė, kad dauguma tokiu būdu suremontuotų gelžbetoninių konstrukcijų įgavo savo

pirminį stiprumą ir standumą. Pažeistų vietų atnaujinimui dažniausiai naudojamas betonas armuotas pluoštinėmis medžiagomis (anglies pluošto, stiklo pluošto) (Haddad *et al.* 2013).

1.6. Skyriaus apibendrinimas

Apibendrinant pirmąjį skyrių galima daryti išvadą, kad gelžbetoninės konstrukcijos kasdien yra veikiamos daugybės faktorių. Kiekvienas veiksnys sukelia skirtingus konstrukcijų defektus, kurie vienaip ar kitaip veikia elementų stiprį, ilgaamžiškumą bei estetiškumą. Pagrindinius veiksnius galiam suskirstyti į keletą grupių:

- Konstrukcijose esančios armatūros korozija, kuri gali būti sukelta karbonatų, chloridų ar įvairių biologinių veiksnių.
- Tiek aukštų, tiek žemų temperatūrų sukeltas poveikis. Aukštos temperatūros sukelia betono dehidrataciją, dėl kurios betonas ima trūkinėti. Šalčio veikiamose gelžbetoninėse konstrukcijose esantis vanduo užšąla, taip sukeldamas papildomus įtempius. Dėl to betonas ima trūkinėti ar deformuotis.
- Apkrovų poveikis. Jis gali būti įvairus. Konstrukcijos gali būti veikiamos tempimo ar gniuždymo apkrovų, taip pat apkrovos gali būti tiek statinės, tiek dinaminės. Kai veikiančių apkrovų poveikis viršija gelžbetoninių elementų atlaikomąjį poveikį, tuomet konstrukcijos ima pleišėti, išlinksta, tampa nebetinkamos eksploatuoti.

Visos poveikių grupės yra susijusios, nes kiekvienas veiksnys gali būti kito veiksnio rezultatas arba priežastis. Jeigu elementas dėl temperatūrinio poveikio ar deformacijų supleišėję, tuomet gali prasidėti armatūros korozija.

Gelžbetoninių konstrukcijų tinkamai būklei užtikrinti bei ilgaamžiškumui išsaugoti yra naudojamas konstrukcijų monitoringas. Tai apima nuolatinę techninę priežiūrą, tam tikslui yra skirta akustinė emisija bei ultragarsas.

Jeigu gelžbetoninėse konstrukcijose dėl tam tikrų priežasčių atsiranda defektai, labai svarbu juos laiku pašalinti. Defektų šalinimui, konstrukcijų atnaujinimui naudojami tokie būdai:

- metalinės plokštelės klijavimas ant konstrukcijos paviršiaus;
- atvirkštinis įtempimas naudojant plieno tinklus;
- atskirų dalių sustiprinimas;
- supleišėjusių konstrukcijos vietų padengimas sustiprinamuoju sluoksniu;
- konstrukcijos apvilkimas sustiprinančiomis medžiagomis;
- katodinė apsauga.

2. GELŽBETONINIŲ BALKONŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

2.1. Istorinė apžvalga

Balkonus jau galima aptikti prieš du tūkstančius metų senovės Graikijoje. Jie buvo naudojami padidinti oro cirkuliacijai, taip pat buvo reikalingi, kad į patalpas patektų daugiau natūralios šviesos. Viduramžių epochoje balkonų funkcija taip pat labai skyrėsi nuo šių laikų. Tuo metu balkonus naudojo kaip gynybinę konstrukciją, iš kurios buvo stebimos apylinkės. Taip pat balkonai buvo naudojami bažnyčiose apeigų tikslams, iš balkonų dvasininkai suteikdavo palaiminimą, skaitydavo pamokslus. Bažnyčių viduje balkonuose buvo giedamos giesmės, pokylių salėse balkonuose pasirodydavo dainininkai ir kiti muzikantai.

Gotikos laikotarpiu balkonais buvo siekiama padidinti pastato erdvę. Tuo pačiu laikotarpiu balkonus imta naudoti visuomeniniuose pastatuose, miesto savivaldybėse. Tačiau balkono konstrukcija tuo metu buvo uždara, su langais ir stogo danga (2.1 pav.) (Horn 2011).



2.1 pav. Siklos pilies uždaras balkonas, Vengrija (Horn 2011)

Renesanso epochos metu balkonai buvo įrengiami virš įėjimų į gyvenamuosius pastatus (2.2 pav.)



2.2 pav. Peterfy rūmų balkonas, Budapeštas (Horn 2011)

Baroko laikotarpiu balkonai dažniausiai būdavo atviri, pagrindinė jų funkcija – estetinė, jais buvo puošiami pastatų fasadai. Baroko balkonai dažniausiai buvo gembiniai arba remiami ramsčiais (2.3 pav.). Ramsčių funkciją atliekančios statulos dažniausiai vaizdavo graikų dievybes, tokias kaip Atlantas, Hermis (2.3 pav.). Tokia balkono atrama buvo panaudota virš Lietuvos sostinėje Trakų gatvėje esančio vieno Vilniaus Gedimino technikos universiteto pastatų įėjimo balkono (2.3 pav.).



2.3 pav. Vieno iš VGTU pastatų įėjimas, Trakų g. Vilnius

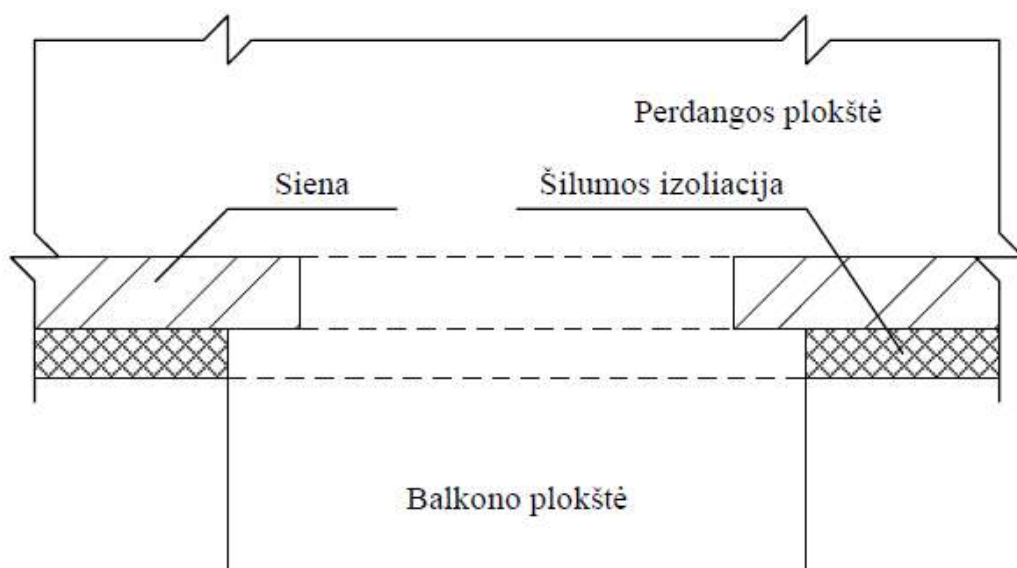
Bėgant laikui keitėsi tiek balkonų konstrukcijos, tiek jiems naudojamos medžiagos. Jau XIX amžiaus pabaigoje balkonų įrengimui buvo imta kelti tam tikrus reikalavimus. Balkonas neturėjo trikdyti vaizdo pro langus, turėjo užtikrinti tinkamą šviesos srauto patekimą į patalpas. Kadangi

balkonai įrengiami išoriniame fasade, jie neturėjo trukdyti pėsčiųjų eismui. Taip pat nuostatuose buvo apibrėžiamas ir minimalus balkonų dydis, jo turėjo užtekti laisvai tilpti dviem asmenims. Dar vienas balkonams keliamas reikalavimas buvo tas, kad jie turėjo būti įrengiami šiaurinėje arba pietinėje pastato dalyje ir būtinai sujungti su virtuvės patalpa (skalbinių džiovinimui, malkų saugojimui ir pan.). Po kurio laiko balkonams keliami reikalavimai dar labiau keitėsi, jie tapo labiau visuotiniai, tinkami visiems, balkonai turėjo padidinti butų vertę (Horn 2011).

2.2. Balkonams naudojamos konstrukcijos

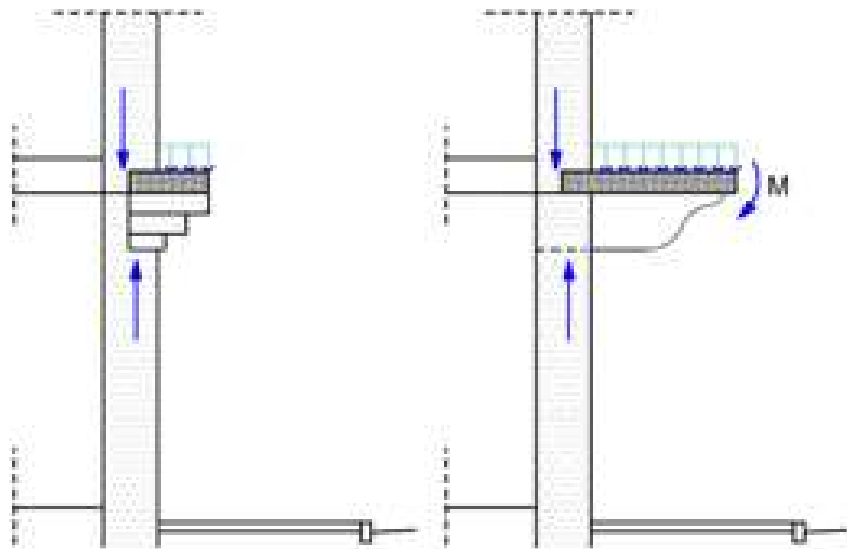
Balkonams įrengti yra naudojamos įvairaus tipo konstrukcijos, tačiau tai yra tik patobulintos bazinės įrengimo technologijos, todėl balkonų konstrukcijas galima suskirstyti į keletą pagrindinių tipų:

1. Dažniausiai balkonas įrengiamas pratęsiant perdangos plokštę į pastato išorę (2.4 pav.). Tokiu būdu įrengiamas gembinis balkonas. Naudojant tokį įrengimą perdangos plokštės ir pastato sienos sujungimo vietoje šiluminės izoliacijos sluoksni yra nutraukiamas. Tokiu atveju sandūroje susidaro taip vadinamas šalčio tiltas, kuris padidina šilumos nuostolius, grybelių ant sienos susidarymą (Jonaitis *et al.* 2007).



2.4 pav. Balkono plokštės įrengimas pratęsiant perdangos plokštę (Jonaitis *et al.* 2007)

2. Antrasis įrengimo tipas – tai balkonas paremtas iš apačios. Parėmimui dažniausiai naudojama siaura betoninė konsolė (2.5 pav., 2.6 pav.) (Horn 2011).



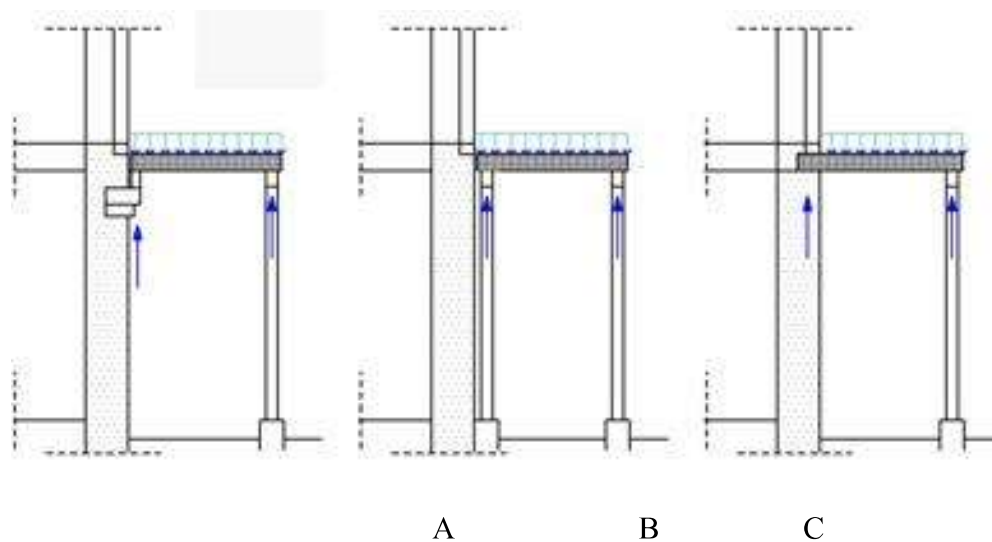
2.5 pav. Iš apačios paremto balkono schema (Horn 2011)



2.6 pav. Konsole paremtas balkonas, J. Basanavičiaus g. 23, Vilnius

3. Trečiasis parėmimo tipas – balkonai paremti kolonomis (2.7 pav.). Priklausomai nuo balkono ir fasado sienos sujungimo tokio tipo parėmimas gali būti skirstomas į keletą tipų:

- Vienas balkono plokštės galas paremtas konsle, kitas kolona (2.7 A pav.);
- Balkono plokštė visiškai paremta kolonomis (2.7 B pav.);
- Balkono plokštės vienas galas įmontuota sienoje, o kitas paremtas kolona (2.7 C pav.);



2.7 pav. Kolonomis paremtų balkonų tipai (Horn 2011)



2.8 pav. Klaipėdos viešosios I. Simonaitytės bibliotekos, esančios H. Manto g. 25, kolonomis paremtas balkonas

4. Ketvirtasis įrengimo būdas — ant sienoje ar perdangoje inkaruotų gembinių sijų įrengti betoninę plokštę (2.9 pav., 2.10 pav.).



2.9 pav. Ant sienoje inkaruotų sijų įrengta betoninė plokštė, A. Vivulskio g. 6, Vilnius



2.10 pav. Ant sienoje inkaruotų sijų įrengta betoninė plokštė, Šaltinių g. 8, Vilnius

2.3. Vilniaus miesto balkonų būklės analizė

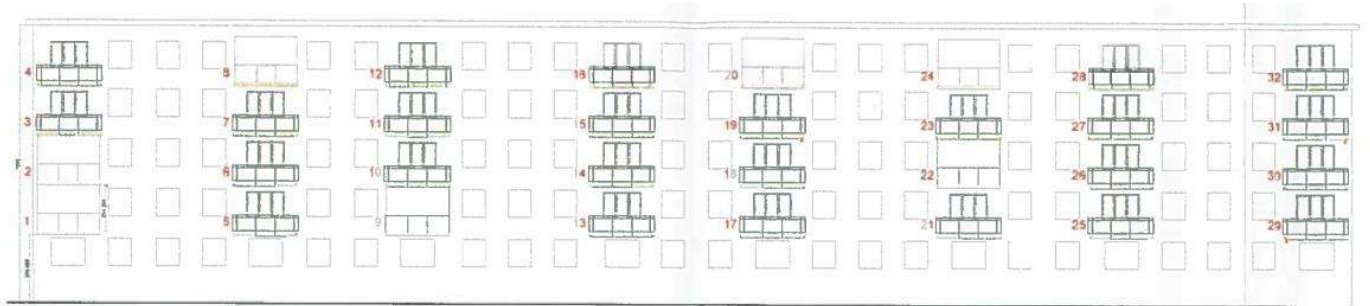
2.3.1. Naujamiesčio rajono balkonų būklės analizė

Didžioji dalis Vilniaus miesto senamiesčio balkonų yra sovietinio laikotarpio pastatų elementai. Didelė dalis šių pastatų apie 70 % yra senesni nei 30 metų ir net 30% iš jų - senesni nei 50 metų. Bėgant metams balkonų konstrukcijos nebuvo tinkamai eksploatuojamos, todėl šiandien didelė dalis balkonų konstrukcijų yra labai prastos būklės. Avarinės būklės balkonai kelia pavojų gyventojams, taip pat balkonų sijos praradusios savo laukiančiąsias savybes, yra kritimo galimybė, tai kelia pavojų praeiviams (Dėl kritinės balkonų...2013).

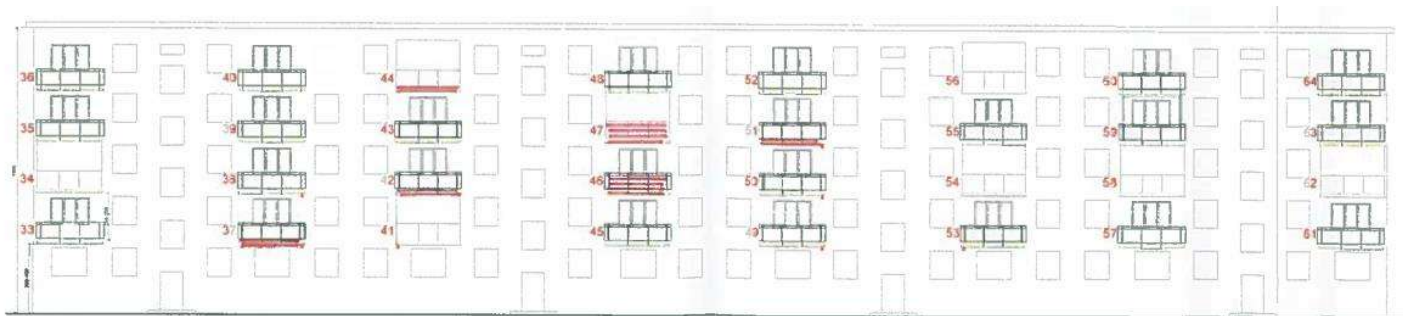
Vertinant Vilniaus miesto balkonus svarbu paminėti tai, kad kiekvieno pastato balkonų konstrukcijas yra skirtingos ir jų būklės analizė reikalauja specialių tyrinėjimų, kuriais remiantis nustatoma avarinė situacija. Darbe nagrinėjama keleto Vilniaus miesto balkonų konstrukcijų būklė. Šios konstrukcijos atspindi pagrindinius balkonų tipus esančius Vilniaus mieste.

Pirmasis nagrinėjamas namas yra Birželio 23-iosios g. 2, Naujamiesčio rajone. Pastatas penkių aukštu, 4340,81 m² ploto, 80 butų, pastatytas 1956 metais (2.11 ir 2.12 pav.). Namas pastatytas pagal tipinį projektą pagal Leningrado tipinių projektų seriją Nr. 1.090 „Stankoprojektas“. Namo

sienos įrengtos iš vienasluoksnio keramzitbetonio, apdailinto cementinio skiedinio sluoksniu. Name iš viso yra 64 balkonai, kurių perdangos įrengtos iš tam tikslui suprojektuotų ir pagamintų surenkamų briaunuotų gelžbetoninių plokščių. Dėl plonų 25 cm storio išorinių sienų, projektuojant ir statant daugiabutį namą, nebuvo galimybės įrengti gembinės konstrukcijos balkonų, todėl jie įrengti naudojant šarnyrinį parėmimą bei įstrižines metalines pakabas, tvirtinamas sienoje. Ant šių įstrižinių pakabų yra pakabintos balkonų perdangos plokštės laisvaisiais galais.



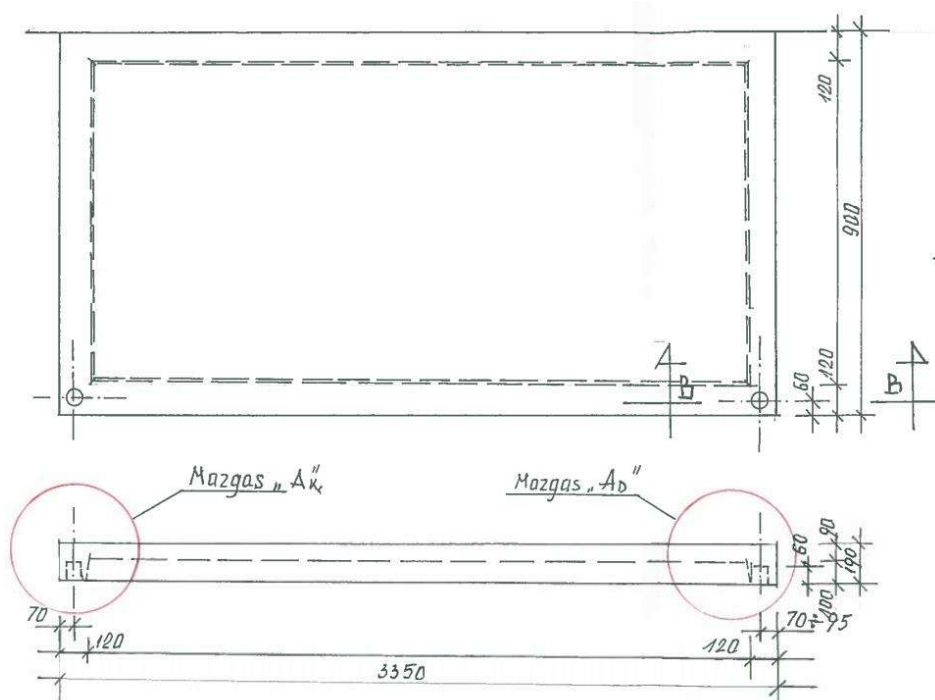
2.11 pav. Birželio 23-iosios g. 2 namo gatvės fasadas



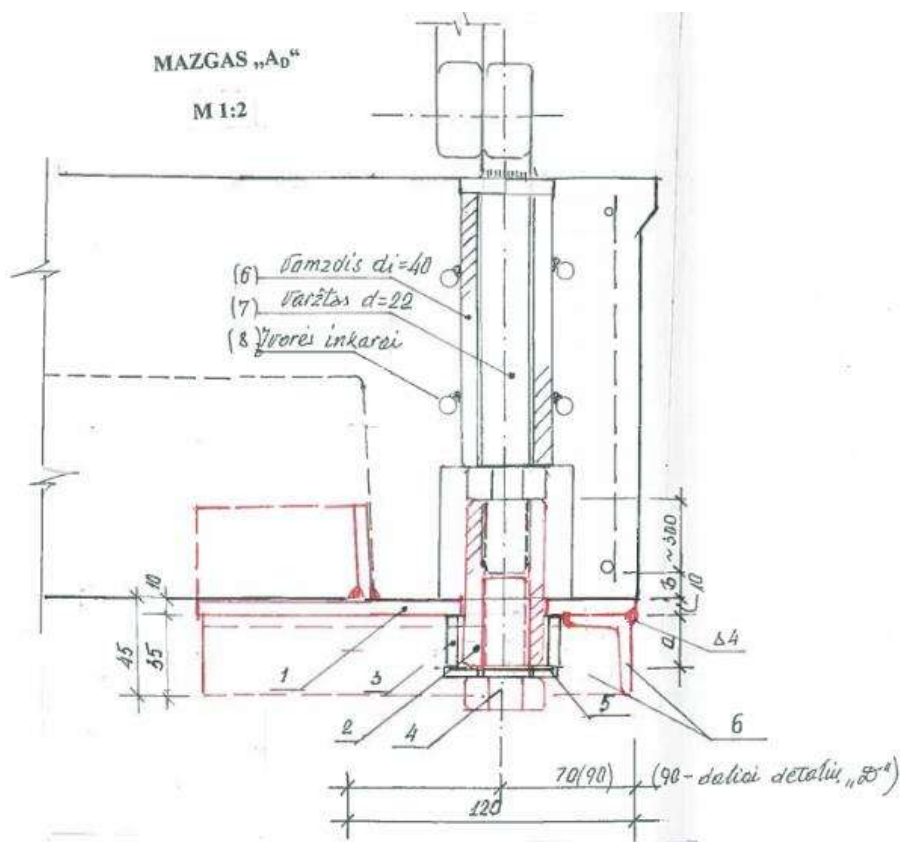
2.12 pav. Birželio 23-iosios g. 2 namo kiemo fasadas

Nagrinėjant šio namo balkonų būklę, 2014 m. rugsėjo 25 dieną buvo užsakyti statybiniai tyrinėjimai, kuriuos atliko projektų ir statinių ekspertai. Statybiniai tyrinėjimai buvo atliekami dviem etapais (Elenbergas 2014):

1. Pirmuoju etapu detaliam apžiūrai ir tyrimui buvo parenkama keletas balkonų. Balkonai buvo parenkami vizualiai apžiūrint ir įvertinant, kurie yra prasčiausios būklės. Pagal vizualinę apžiūrą buvo parinkti balkonai Nr. 46 ir 47 (2.12 pav.). Visi kiemo fasade esantys balkonai yra identiškos būklės.
2. Antruoju etapu buvo bandoma sumontuoti specialiai balkonams suprojektuotą tvirtinamąją detalę (2.13 pav., 2.14 pav., 2.15 pav.)



2.13 pav. Balkono plokštės planas iš viršaus M1:50 (Elenbergas 2014)

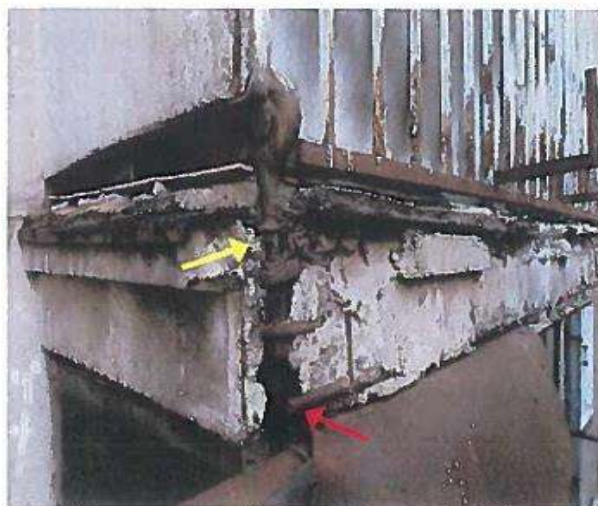


2.14 pav. Mazge A tvirtinamos detalės detalizacija M1:2 (Elenbergas 2014)



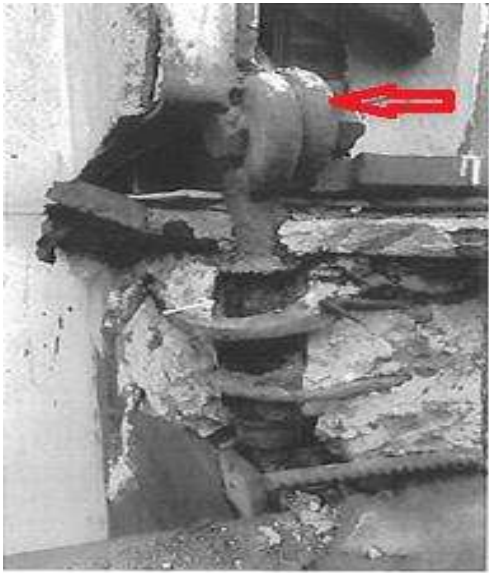
2.15 pav. Mazge A tvirtinamos detalės fotofiksacija (Elenbergas 2014)

Atliekant balkono Nr. 46 tyrimą buvo pastebėta, kad kairiajame perdangos plokštės kampe yra matomas pusiau atviras inkaras su kilpa, kuris skirtas perdangos plokštę sujungti su laikančiąja įstriža pakaba (2.16 pav.) (Elenbergas 2014).



2.16 pav. Balkono Nr. 46 kairiojo kampo tvirtinimo atotampos mazgo vaizdas prieš pradedant ekspertizę (geltona rodyklė žymi storą rudžių sluoksnį, raudona- išilginės armatūros nesujungimą su briaunos armatūra.) (Elenbergas 2014)

Atliekant detalesnę apžiūrą pastebėta, kad mazgo betonas yra visiškai suiręs, todėl rankiniu būdu pašalinus betono trupinius, pakabos inkaras visiškai atsivėrė. Inkarinio vamzdžio, pro kurį yra pravertas laikantysis inkaruojantis varžtas (2.14 pav. poz. (6)), daugiau nei 50 % yra sunykę, todėl pakabą laikantis varžtas pro jį gali būti ištrauktas. Dėl to padidėja balkono perdangos plokštės kritimo galimybė. Prie inkaruojančio vamzdžio (2.14 pav. poz. (6)), privirintos armatūros kilpų dalys, taip pat yra atviros (2.17 pav.) (Elenbergas 2014).



2.17 pav. Inkaro strypo vaizdas pašalinu rūdis bei suirusio betono dalis. (raudona rodyklė žymi atotampos kilpos dalį) (Elenbergas 2014)

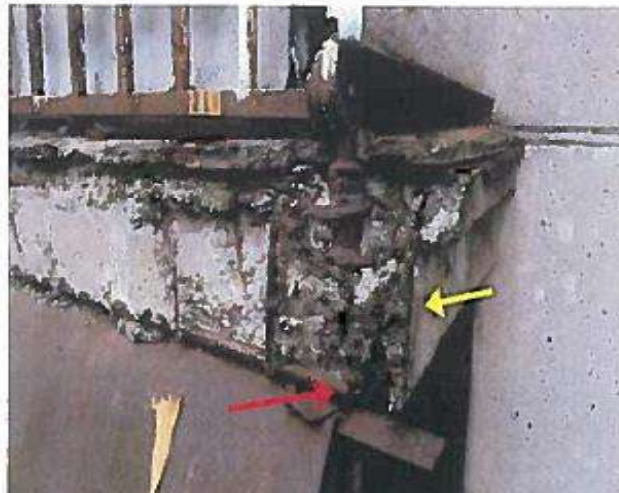
Toliau atliekant balkono Nr. 46 ekspertizę, pastebėta, kad išorinės briaunos apsauginis betono sluoksnis suiręs, o darbo armatūra vietomis stipriai pažeista korozijos (2.18 pav.). Tiriamame balkone tai atsitiko dėl grindų hidroizoliacijos nebuvimo bei visiškai sunykus skardiniams laštakiams. Balkono perdangos plokštės irimą dar labiau paskatino grindų danga iš naudoto linoleumo atliekų, kurios neleidžia pasišalinti drėgmės pertekliui (Elenbergas 2014).



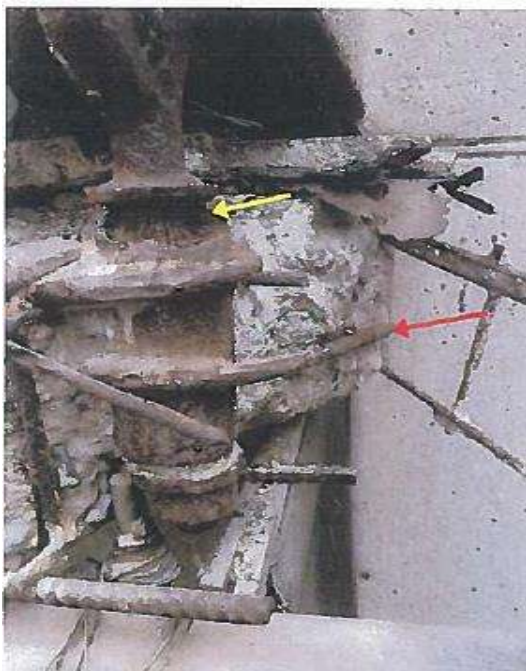
2.18 pav. Balkono Nr. 46 išilginės briaunos vaizdas su suirusiu armatūros apsauginiu sluoksniu (Elenbergas 2014)

Tiriamąjį balkono dešiniojo kraštinio mazgo tyrimas parodė analogiškus rezultatus, betonas ties metaliniu inkaru taip pat yra kritiškai suiręs (2.19 pav.). Pašalinus suirusio betono gabalus, inkaras atsivėrė visiškai (2.20 pav.). Vienas prie inkaruojančios įvorės vamzdelio privirintas

armatūros strypas, galinėje balkono plokštės briaunoje (2.20 pav.), yra laisvas, tai reiškia, kad balkoną su kritiškai suirusiu inkaru laiko tik viena šio inkaruojančio strypo atšaka, įeinanti į išilginę balkono plokštės briauną, kuri taip pat kritiškai suirusi. Ypač didelį pavojų kelia tai, kad išilginės ir skersinės briaunų laikančioji armatūra tarpusavyje nesujungta, atskiri plokštieji armatūros karkasai, vienas kito atžvilgiu, išdėstyti statmenai ir plokštės briaunų sankirtos mazge tarpusavyje nesusisiekia (2.20 pav.). Apibendrinant tyrimą priimta išvada, kad balkonas Nr. 46 yra avarinės būklės (Elenbergas 2014).



2.19 pav. Balkono Nr. 46 dešiniojo mazgo vaizdas prieš tyrimą. (geltona rodyklė žymi skersinę briauną, kuri yra atsilenkusi nuo plokštės ir sutrūkusi, raudona – išilginės ir skersinės armatūros nesusikirtimą.) (Elenbergas 2014)



2.20 pav. Balkono Nr. 46 dešiniojo mazgo vaizdas pašalinus suirusias betono dalis (Geltona rodyklė žymi pašalintą rudžių kiekį nuo kaklelio, raudona – laikančiojo inkaro laisvąjį galą.) (Elenbergas 2014)

Atliekant balkono Nr. 47 tyrimą, buvo nustatyta tokia pat situacija kaip ir balkono Nr. 46 atveju. Išilginė ir skersinė perdangos plokštės briaunos armatūra viena nuo kitos atsiskyrusios. Nuo išilginės briaunos apatinės dalies nuėmus laisvai kabančią betono nuolaužą, kartu nusiėmė ir joje esanti, pilnu skerspjūviu perrūdijusi, armatūros dalis (2.21 pav.). Ekspertizės metu taip pat nustatyta, kad išilginėje briaunoje esantys apatiniai laikantieji armatūros strypai yra be apsauginio sluoksnio, armatūra vietomis stipriai suirusi. Balkono perdangos suirimo priežastis yra neprižiūrima ir neremontuojama grindų hidroizoliacija, suirę skardos laštakiai. Balkono perdangos irimą taip pat skatina grindų danga iš linoleumo atliekų, po kuria betonas neturi galimybės išdžiūti, sudarydamas palankias sąlygas perdangos plokštės įrimui (Elenbergas 2014).



2.21 pav. Iš balkono Nr. 47 perdangos plokštės išimta suirusios briaunos dalis, kartu su armatūros likučiu (raudona rodyklė žymi surūdijusį armatūros likutį) (Elenbergas 2014)

Apžiūrint balkoną Nr. 37, esantį antrame aukšte, pastebėta, kad išilginės briaunos betonas yra suiręs, dėl to kampuose esančių tvirtinimo mazgų darbo armatūra yra atvira bei stipriai paveikta metalų korozijos. Dėl šios priežasties balkonas yra avarinės būklės. Esant kritiškai suirusiai briaunai, reikalingas atskiras techninis sprendimas jos sustiprinimui papildoma metaline sija visu ilgiu (Elenbergas 2014).

Apžiūrint balkonus Nr. 42 ir Nr. 44 buvo nustatyta ta pati situacija, abiejų balkonų plokščių mazgų suirimo pobūdis yra charakteringas, besikartojantis, kaip ir anksčiau ištirtų balkonų plokščių. Apžiūrint likusius balkonus nustatyta, kad be didesnių ar mažesnių skirtumų visi balkonai yra suirę panašiai, kaip ir tirtieji balkonai, nepriklausomai nuo orientacijos pasaulio šalių atžvilgiu, t.y. ar tiriamieji balkonai yra kiemo fasado pusėje, ar gatvės fasado. Visi namo balkonai praktiškai yra vienodos avarinės būklės, dėl jų įrengimo konstrukcinių trūkumų bei netinkamos apsaugos nuo ardančiojo atmosferinių kritulių poveikio. Apžiūros ir tyrimo metu dar nustatyta, kad iš bendro 64 balkonų skaičiaus 15 balkonų (23,4 %) yra įstiklinti, todėl balkonai yra apkrauti papildoma,

projekte nenumatyta apkrova. Svarbu paminėti tai, kad nepaisant balkonų avarinės būklės, dalis balkonų paversti įvairių daiktų sandėliavimo vietomis (Elenbergas 2014).

Atlikus tyrimą, projektų ir pastatų ekspertas suformulavo išvadą :„<...> Namo balkonai yra avarinės būklės, todėl privalu nedelsiant atlikti I-jį pagrindinių pakabinimo mazgų stiprinimo etapą, pagal šio tyrimo rezultatų pagrindu parengtą techninį sprendimą (A priedas). Įvertinant besiartinantį 2014-2015 m. žiemos sezoną, II-jį visų balkonų stiprinimo etapą, kurio metu privalu sustiprinti perdangų gelžbetoninių plokščių briaunas, įrengti grindų hidroizoliaciją bei pakeičiant naujais susidėvėjusius, hidroizoliacijai bei laštakiams įrengti trukdančius, balkonų aptvarus, būtina atlikti iki 2015 m pavasario sezono. <...>“(Elenbergas 2014).

Taip pat ekspertas suformulavo rekomendacijas bei priemones balkonų avarinei būklei pašalinti: „<...> Pirmoje eilėje būtina pranešti butų savininkams apie būtinumą iš balkonų nedelsiant pašalinti juose laikomus daiktus. Įvertinant aplinkybę, jog balkonai butų savininkams nuosavybės teise nepriklauso, primygtinai pareikalauti butų savininkus nuo namo bendrosios konstrukcijos – balkonų, nedelsiant pašalinti neprojektinius, savavališkai įrengtus balkonų aptvarus - įstiklinimus, galinčius trukdyti jų stiprinimo darbams atlikti. Patarti butų savininkams balkonais nesinaudoti, ir juose nebūti. <...>“(Elenbergas 2014).

2014 metų spalio mėnesio 4 d. ir lapkričio mėnesio 6 d. buvo atlikta daugiabučio gyvenamojo namo Naugarduko g. 53 balkonų apžiūra (2.22 pav. ir 2.23 pav.). Daugiabutis gyvenamasis namas Naugarduko g. 53 yra 5 aukštų, 3519,89 kv. m. ploto, 60 butų, stambiaplokštės konstrukcijos pastatas, statytas 1961 metais. Namas pastatytas pagal analogišką tipinį projektą kaip ir daugiabutis esantis Birželio 23-iosios g. 2. Namo sienos vienasluoksniu keramzitbetonio, apdailintų cementinio skiedinio sluoksniu. Name įrengti 48 balkonai, kurių perdangos įrengtos iš tam tikslui suprojektuotų ir pagamintų surenkamų briaunuotų gelžbetoninių plokščių. Balkonai įrengti šarnyrinio parėmimo ant sienos ir įstrižinių metaliniu pakabų principu, įtvirtinus sienoje bei ant jų, inkarinių varžtų pagalba, pakabinius balkono plokštės laisvuosius galus.

Daugiabučio namo Naugarduko g. 53 apžiūra ir statybiniai tyrinėjimai buvo atliekami taip pat kaip ir Birželio 23-iosios g. 2 namo. Iš name esančių 48 balkonų, 18 balkonų (37,5%) yra įstiklininti įvairiomis konstrukcijomis ir medžiagomis, tikėtina neturint tam reikalingų suderinimų su atitinkamomis Vilniaus miesto tarnybomis. Balkonų įstiklinimai trukdo įvertinti kai kurių balkonų būklę bei suirimo laipsnį. Įstiklinimai didina balkonų griūties tikimybę, nes pradiniam projekte nebuvo numatytos papildomo apkrovos.



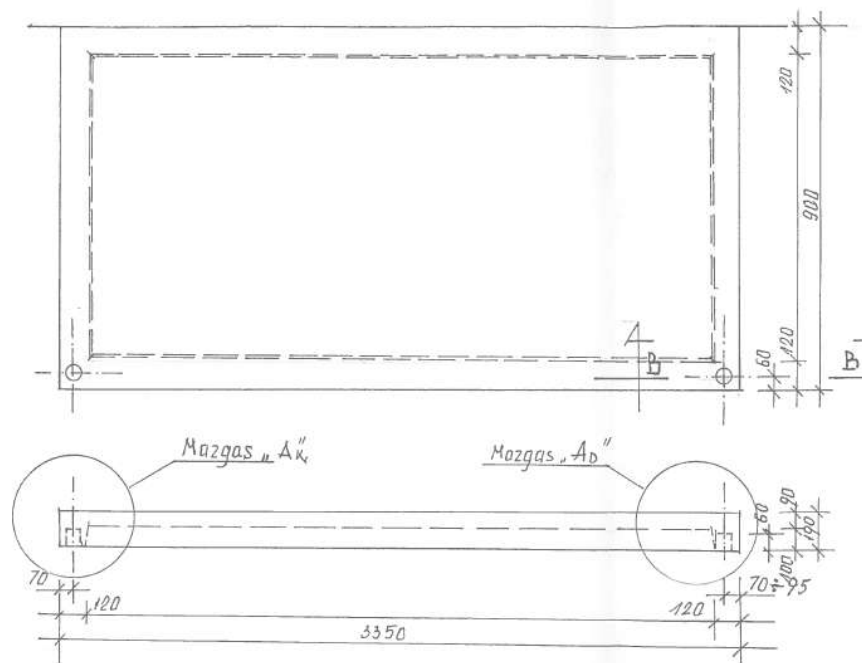
2.22 pav. Daugiabučio namo Naugarduko g. 53 kiemo fasadas su balkonų žymėjimu



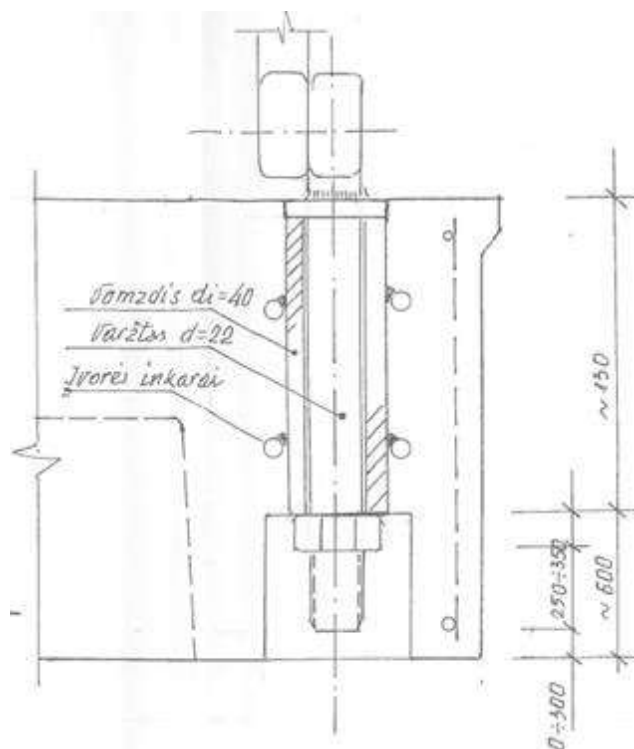
2.23 pav. Daugiabučio namo Naugarduko g. 53 gatvės fasadas su balkonų žymėjimu

Balkonų konstrukcijos silpniausioji vieta, kaip ir anksčiau atliktame tyrime, yra išoriniai perdangų plokščių mazgai. Šiose vietose, išilginės ir galinės plokštės briaunų sankirtos mazge, yra įrengta cilindrinė anga, kuri skirta inkaruojančio varžto veržlei paslėpti (2.24 pav.). Pro inkarinį vamzdį yra pravertas laikantysis inkaruojantis varžtas, tai yra pagrindinis mazgo laikantysis elementas (2.25 pav.). Tyrimo metu buvo pastebėta, kad kai kur armatūros inkarams panaudota atsitiktinės metalo atraižos, neįrengta tinkama apsauga nuo kritulių, tai paskatino mazgų suirimą. Kitas svarbus projektavimo trūkumas tas, kad plokščių išilginių ir skersinių briaunų armatūros plokštieji karkasai tarpusavyje nesujungti (Elenbergas 2014).

Ekspertizės metu nustatytas, kad išilginėje briaunoje esantys apatiniai laikantieji armatūros strypai yra be apsauginio betono sluoksnio, armatūra kritiškai suirusi. Balkono suirimo priežastis taip pat yra ir netinkama perdangos plokštės eksploatacija. Po apžiūros ekspertas suformulavo analogiškas išvadas kaip ir Birželio 23-iosios g. 2 namo atveju – balkonai yra avarinės būklės (Elenbergas 2014).



2.24 pav. Balkono perdangos plokštės planas (Elenbergas 2014)



2.25 pav. Pjūvio B-B detalizacija (Elenbergas 2014)

Trečiasis nagrinėjamas variantas - daugiabučio gyvenamojo namo esančio Savanorių pr. 11 (2.26 pav., 2.27 pav.) balkonai. Daugiabutis gyvenamasis namas buvo apžiūrimas 2013 m. spalio 10 ir 21 dienomis. Apžiūros metu buvo fiksuojama esama situacija. Visų balkonų laikančiosios konstrukcijos yra monolitinės gelžbetoninės perdangos įrengtos ant gembinių metalinių sijų, kurios įtvirtintos sienoje. Metalinių sijų profilis yra dvitėjinio skerspjūvio, kuris yra įleistas į sieną.

Daugumos balkonų metalinės sijos yra pažeistos korozijos ir jas būtina stiprinti, nes balkonai turi avarinės būklės požymių. Taip pat balkonai neturi apskardinimo bei hidroizoliacijos (Kalibatas 2013).



2.26 pav. Savanorių pr. 11 namo gatvės fasadas

2.27 pav. Savanorių pr. 11 namo kiemo fasadas

Po apžiūros buvo suformuluotos išvados (Kalibatas 2013):

„<...> Atsižvelgiant į nustatytą balkonų, esančių Savanorių pr. 11, Vilniuje, konstrukcinę būklę, juos būtina remontuoti.

Rekomenduojame:

Balkono remonto eiliškumas:

1. Nudaužyti pilnai pažeisto erozijos arba supleišėjusio betono sluoksnį apatinėje ir viršutinėje balkono dalyje.
2. Pažeistus korozijos metalinius balkono konstrukcijos elementus ir sijas nuvalyti nuo rūdžių metaliniu šepetiu ir patepti rūdžių surišėju.
3. Šalia senų sijų sumontuoti naujas sijas IPE 160, įleidžiant į sienos konstrukciją 450 mm.
4. Užankuruoti IPE 160 siją į injektavimo masę ankeriu (srieginis strypas) M12 užveržiant veržlę per plokštelę įstrižai sieną.
5. Nuvalyti betono ar sienos paviršių nuo dulkių.
6. IPE 160 sijas apjuosti armatūros karkasu 4Ø100/100.
7. Prieš betonavimą senojo betono paviršių suvilgyti vandeniu.
8. Padėti armatūrinės vielos tinklą 6Ø150/150 ir užbetonuoti, naudoti C30/37 XF3 markės betoną.
9. Balkone įrengti hidroizoliaciją, apskardinimą ir atstatyti balkono dekoratyvinį sluoksnį.
10. Analogiškai remontuojami visi balkonai, esantys Savanorių pr. 11 iš Savanorių gatvės ir kiemo pusėje.<...>“

5.	A. Vivulskio g. 6	2012-03-22	NB-AA-12-058	Yra nukritusios dekoratyvinės architektūros detalės. Balkonų betoniniai statramsčiai visiškai suirę arba jų visai nėra. Balkono pado apačioje betonas nubyrėjęs, visos nešančios metalinės konstrukcijos atviros.
----	-------------------	------------	--------------	---

2.3.2. Balkonų avarinės būklės šalinimo trukdžiai

Analizuojant šia problemą, išaiškėja keletas teisinės sistemos spragų. Kad būtų galima sėkmingai užtikrinti balkonų remontą, atnaujinimą ir gyventojų įsitraukimą į modernizavimo procesą, svarbu sudaryti palankias sąlygas naudotis atnaujinimo programoms. Dar svarbu tobulinti esamą teisinę bazę, t.y. apibrėžti balkonų savininkų atsakomybes, palengvinti savininkų ketinimus atnaujinti balkonus asmeninėmis lėšomis ar pasinaudojant valstybės teikiama parama, kuri skirta daugiabučiams namams atnaujinti. Svarbu raginti visuomenę aktyviai reaguoti į šį klausimą, tuomet bus skatinamos tiek užsienio, tiek nacionalinės investicijos, bus kuriamas patrauklesnis miesto vaizdas ir svarbiausia bus užkirstas kelias nelaimėms (Dėl kritinės balkonų...2013).

Remiantis Lietuvos respublikos įstatymais, bendro naudojimo objektai tai – bendroji dalinė daugiabučio namo savininkų nuosavybė (Administravimo tarifų...2006):

1. bendrosios konstrukcijos – pagrindinės daugiabučio namo laikančiosios (pamatai, sienos, perdengimai, stogas) ir kitos konstrukcijos (bendrųjų balkonų bei laiptinių konstrukcijos, fasadų apdailos elementai, įėjimo į namą laiptai ir durys);
2. bendroji inžinerinė įranga – daugiabučio namo vandentiekio, kanalizacijos, dujų, šilumos, elektros, telekomunikacijų ir rodmenų tinklai, ventiliacijos kameros, vamzdynai ir angos, šildymo radiatoriai, elektros skydinės, liftai, televizijos kolektyvinės antenos ir kabeliai, šilumos mazgai, karšto vandens ruošimo įrenginiai, katilinės ir kita bendro naudojimo inžinerinė techninė įranga bendro naudojimo patalpose ar konstrukcijose (išskyrus buto), taip pat šie objektai, įrengti atskiriems gyvenamųjų ir negyvenamųjų patalpų savininkams nuosavybės teise priklausančiose patalpose, jeigu jie susiję su viso namo inžinerinės techninės įrangos funkcionavimu ir jeigu jie nėra trečiųjų asmenų nuosavybė;
3. bendrojo naudojimo patalpos – daugiabučio namo laiptinės holai, koridoriai, galerijos, palėpės, sandėliai, rūšiai, pusrūšiai ir kitos patalpos, jei jos nuosavybės teise nepriklauso atskiriems patalpų savininkams ar tretiesiems asmenims.

Vadovaujantis Lietuvos respublikos civilinio kodekso 4.82 straipsniu, butų ir kitų patalpų savininkams bendrosios dalinės nuosavybės teise priklauso namo bendro naudojimo patalpos,

pagrindinės namo konstrukcijos, bendrojo naudojimo mechaninė, elektros, sanitarinė – techninė ir kitokia įranga (Lietuvos Respublikos...). Kol kas teisiškai nėra reglamentuota kas konkrečiai yra atsakingas už pastato fasado elementų priežiūrą – ar pats savininkas, ar daugiabučio namo savininkų bendrija, ar pastatą administruojanti įmonė, todėl laiku pašalinti balkonų avarinę būklę trukdo neaiškios atsakomybės ribos.

Dar viena problema, stabdanti balkonų avarinės būklės likvidavimą, tai paveldosauginiai reikalavimai. Didelė dalis Vilniaus miesto pastatų, pagal kultūros vertybių registro duomenis, patenka į Vilniaus miesto istorinę dalį. Kad būtų galima gauti leidimui atnaujinti (modernizuoti) pastatą, reikalinga pateikti daug dokumentų, tokių kaip (STR 1.07.01:2010):

1. Prašymas leidimą gauti;
2. Pastato atnaujinimo (modernizavimo) projektas ir kompiuterinė laikmena su šio projekto įrašu arba tik kompiuterinė laikmena su statybos projekto įrašu, jeigu šį projektą privalantys pasirašyti asmenys jį pasirašė elektroniniais parašais;
3. Pastato kadastro duomenų byla;
4. Pastato bendraturčių sutikimas dėl pastato atnaujinimo (modernizavimo), priimamas Civilinio kodekso 4.75 ar 4.85 straipsnio nustatyta sprendimų priėmimo tvarka;
5. Žemės sklypo bendraturčių sutikimas, jeigu žemės sklypas jiems priklauso bendrosios nuosavybės teise;
6. Jeigu inžinerinius tinklus ar susisiekimo komunikacijas numatoma tiesti kitame žemės sklype (teritorijoje), taip pat jeigu kitą žemės sklypą (teritoriją) numatoma laikinai naudoti statybos metu – sutartis su šio žemės sklypo (teritorijos) savininku, valdytoju ar naudotoju.

Apibendrinant anksčiau paminėtas priežastis, avarinės balkonų būklės šalinimas, yra stipriai užtęsiamas, tuo pačiu yra mažinamas daugiabučių butų ir kitų patalpų savininkų iniciatyvumas bei aktyvumas sprendžiant balkonų avarinės būklės klausimus. Kuo daugiau laiko delsiama, tuo labiau didinama balkonų, ar jų dalių, kritimo tikimybė bei stipriai gadinamas miesto įvaizdis.

2.3.3. Kompleksinis požiūris į balkonų atnaujinimo procesą

Kaip matyti iš anksčiau aprašytųjų dviejų poskyrių, Vilniaus mieste egzistuoja tikra problema susijusi su balkonų konstrukcijų būkle. Avariniai balkonai kelia rimtą grėsmę daugiabučių namų gyventojams, gatvėmis vaikstantiems praeiviams bei gyventojų turtui. Svarbu imtis neatidėliotinų veiksmų, kurie paspartintų atnaujinimo procesą.

Balkonų atnaujinimas negali būti vertinamas vienareikšmiškai, turi būti pritaikytas kompleksinis požiūris. Geriausiai atnaujinimo variantus apibūdina ne tik ekonominis aspektas, kuris susijęs su darbų kaina, bet ir daugelis kitų:

- Technologinis aspektas- parinkta remonto darbų technologija nulemia darbų sudėtingumą, kuris savo ruožtu turi įtakos remonto darbų laikui, reikalingoms medžiagų ar mechanizmų sąnaudoms;
- Architektūrinis aspektas – parinktas atnaujinimo variantas turi tikti prie pradinio daugiabučio namo projekto. Tai reiškia, kad naudojamos medžiagos, spalviniai sprendiniai neturi išsiskirti iš bendro namo fasado vaizdo. Atnaujinti balkonai neturi daryti pradinio projekto sprendinių, nes didelė dalis Vilniaus miesto pastatų yra įtraukti į paveldo saugomų statinių registrą.
- Paveldosauginis aspektas – kaip jau minėta anksčiau, paveldosauginiai reikalavimai daro didelę įtaką atnaujinimo varianto parinkimui. Šie reikalavimai nubrėžia gaires, kuriomis vadovaujantis tenka projektuoti atnaujinimo variantus, nes kiekvienas netikslumas ir nukrypimas nuo pradinio projekto užkertą kelią atnaujinimo proceso tolesniam vystymuisi.
- Teisinis aspektas – tai apima visą teisinę bazę pradedant statybos leidimo gavimu, baigiant gyventojų parašų rinkimu dėl pritarimo atnaujinti balkonų konstrukcijas.
- Gyventojų požiūris – tai labai svarbus aspektas visame atnaujinimo procese. Daugiabučių namų patalpų savininkai yra pagrindiniai atnaujinimo proceso finansuotojai bei pirminiai sprendimų priėmėjai, kurių sutikimas nulemia tolesnę proceso eigą.

Apibendrinant visus išvardintus aspektus galima daryti išvadą, kad kiekvienas aspektas veikia atnaujinimo procesą ne atskirai, o kaip bendra visuma. Netinkamas technologijos bei architektūrinių sprendinių parinkimas turi įtakos visai remonto darbų kainai. Jei parinkti sprendiniai netenkina paveldosauginių reikalavimų, negaunami leidimai atlikti atnaujinimo darbų. Jei pasiūlyta darbų kaina viršija daugiabučio gyvenamojo namo gyventojų lūkesčius, tai patalpų savininkai nepritars atnaujinimo darbams, dėl ko visas atnaujinimo procesas sustos dar net neprasidėjęs. Visus šiuos aspektus svarbu nagrinėti kompleksiskai, taikant daugiakriterius sprendimų priėmimo metodus. Šie metodai į vieną visumą apima visus atnaujinimo variantus apibūdinančius aspektus, kartu įvertindami ekspertų, susijusių su atnaujinimo sritimi, nuomones. Trečiame skyriuje pateikta siūloma vertinimo metodika bei pritaikyta vertinant vieno Vilniaus miesto daugiabučio balkonų atnaujinimo galimybes.

2.4. Skyriaus apibendrinimas

Apibendrinant skyrių galima padaryti keletą išvadų:

1. Balkonai, kaip pastato konstrukcija, jau buvo naudojama nuo senų laikų. Tačiau bėgant metams balkonų paskirtis keitėsi, pradžioje buvo naudojami gynybai, vėliau įgavo rekreacinę paskirtį. Keičiantis laikotarpiams, keitėsi ir pačių balkonų architektūra bei jiems keliami reikalavimai.
2. Balkonams įrengti gali būti naudojamos įvairios konstrukcijos:

- gembinis balkonas;
 - paremtas konsole balkonas;
 - paremtas kolonomis;
 - ant gembinių sijų atremta balkono plokštė.
3. didžioji dalis Vilniaus miesto senamiesčio balkonų yra sovietinio laikotarpio palikimas. Didelė dalis šių pastatų apie 70 % yra senesni nei 30 metų ir net 30% iš jų - senesni nei 50 metų. Dėl netinkamos priežiūros bei eksploatacijos, bėgant metams, balkonų būklė blogėjo.
4. Analizuojant atliktus Naujamiesčio rajone esančių namų (Birželio 23-iosios g. 2., Naugarduko g. 53 bei Savanorių pr. 11) statybinius tyrinėjimus, buvo nustatyta, kad šių namų balkonai yra avarinės būklės.
5. Išnagrinėti pagrindiniai trukdžiai balkonų atnaujinimui:
- teisinė bazė konkrečiai neapibrėžia kas yra atsakingas už daugiabučio namo balkonų priežiūrą — ar pats buto savininkas, ar daugiabučio namo savininkų bendrija, ar pastatą administruojanti įmonė, todėl laiku pašalinti balkonų avarinę būklę trukdo neaiškios atsakomybės ribos;
 - paveldosauginiai reikalavimai. Didelė dalis pastatų patenka į Vilniaus miesto istorinę dalį, todėl reikia daug laiko gauti leidimus modernizuoti paveldo saugomų pastatų balkonus;
 - daugiabučių namo butų savininkų pasyvumas.
6. Kad būtų galima parinkti tinkamiausią atnaujinimo alternatyvą, siūloma suformuluoti ne vieną variantą. Kiekvienas iš jų turi būti vertinamas pagal įvairius aspektus, tokius kaip ekonomiškumo, technologinis, paveldosauginis, architektūrinis ir pan.

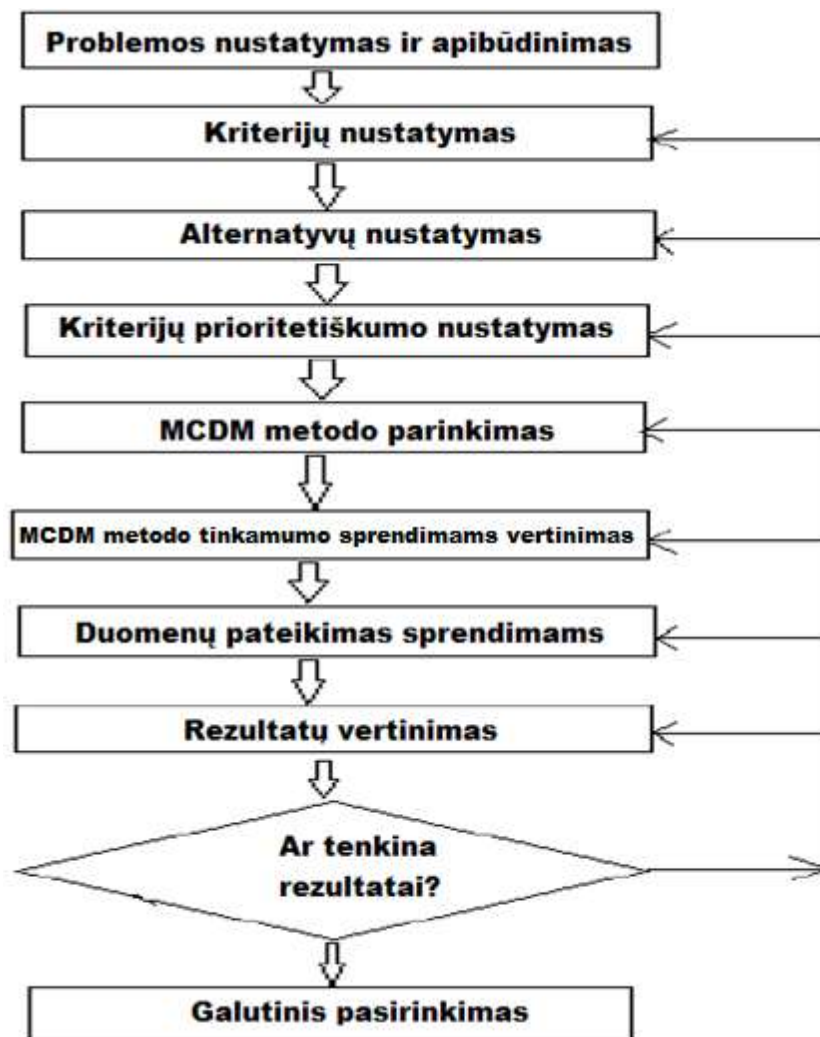
3. BALKONŲ ATNAUJINIMO ALTERNATYVŲ EFEKTYVUMO NUSTATYMAS

3.1. Daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų taikymas statyboje

Visose srityse, norint pasiekti optimalų uždavinių sprendimą, tenka apžvelgti keletą galimų sprendimo variantų. Būtina paminėti, kad galimos alternatyvos visuomet viena nuo kitos skiriasi nežymiai, todėl jų vertinimas yra sudėtingas ir reikalaujantis įgūdžių procesas. Siekiant optimizuoti pasirinkimo procesą, atsirado poreikis sukurti pagrindus, kurie padėtų labiau atskirti alternatyvas vieną nuo kitos ir sureitinguoti gautus atsakymus. Norint tą atlikti, tenka parinkti tam tikrus kiekybinius bei kokybinius rodiklius, kurie apibūdintų ir padėtų tiksliau įvertinti alternatyvas. Norint pasirinkti optimalų variantą, alternatyvos yra lyginamos viena su kita, remiantis kiekybiniais ir kokybiniais kriterijais. Todėl daugakriteriai sprendimų priėmimo (angl. Multiple Criteria Decision Making, MCDM) metodai yra kelias, kuris leidžia nustatyti alternatyvas, priskirti joms tinkamus rodiklius ir parinkti patį tinkamiausią rezultatą naudojant tam tikrus algoritmus (Singh *et. al* 2014). MCDM jau gyvuoja daugiau nei 40 metų ir šiai dienai yra sukurta apie 70 būdų, tinkamiausiam sprendimui priimti. MCDM galima skirstyti į kelias dalis (Simanavičienė 2011):

1. sprendimų priėmimas pagal daugelį rodiklių – daugiakriterių sprendimų priėmimas (angl. Multi-Attribute Decision Making (MADM));
2. daugiaobjektis sprendimų priėmimas (angl. Multi-Objective Decision Making (MODM)).

MADM yra naudojama tuomet, kai turimas baigtinis alternatyvų ir rodiklių skaičius, o MODM naudojama, kai pasirinkimas yra begalinis ir geriausias variantas bus tas, kuris labiausiai tenkina sprendimo priėmėjo apribojimus bei prioritetus. Kiekvienas iš daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų turi savo pagrindines prielaidas, tam tikros informacijos reikalavimą, analizės modelius bei sprendimo būdus. Todėl pabrėžtina tai, kad labai svarbu pasirinkti tinkamą metodą, nes netinkamo metodo panaudojimas gali nuvesti į klaidingus sprendimus. MCDM susideda iš įvairių tarpusavyje susijusių etapų, kurie seka vienas po kito, todėl pateikiamas bendras MCDM etapų modelis, kuris iš esmės yra įtrauktas į visus daugiakriterio sprendimų priėmimo metodų algoritmus (3.1 pav.) (Singh *et. al* 2014).



3.1 pav. Bendras MCDM modelis (Singh *et. al* 2014)

Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai yra naudojami įvairiose: inžinerijoje, statyboje, gyvavimo ciklui optimizuoti, energijos planavimui, gamtinių išteklių valdymui (vandens, miškų, žemės panaudojimas), finansų valdymo sprendimams priimti ir kt. (Kabir *et al.* 2014).

Daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų yra daug ir įvairių. Pateikiami keli pagrindiniai (Kabir *et al.* 2014): Svertinis sumos modelis (angl. Weighted sum model (WSM)); Svertinis produkto modelis (angl. Weighted product model (WPM)); Analitinis hierarchijos procesas (angl. Analytical hierarchy process (AHP)); Panaikinimu ir pasirinkimu išreikšta realybė (angl. ELimination and Choice Expressing REality (ELECTRE)); Metodas artumui idealiam taškui nustatyti (angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)); Prioritetų vertinimo metodas skirtas aiškiam pasirinkimui (angl. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)); Daugiakriterė aptimizacija ir kompromisiniai sprendiniai (serb. serb. Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)) (Baležentis *et al.*); Daugiatiksliis kompleksinio proporcingo įvertinimo (angl. Method of Multiple Criteria Complex Proportional Assessment (COPRAS)) (Bagočius 2014).

Statybos laikas, pastatų eksploatavimas ir galutinis nugriovimas yra pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos tiek žmonėms, tiek supančiai aplinkai. Šie veiksniai gali veikti tiesiogiai: per medžiagų ir energijos suvartojimą, per taršą, per atliekų kiekį ir t.t., taip pat gali veikti ir netiesiogiai, per neefektyvią infrastruktūrą. Vis dažniau įvairios organizacijos ima reaguoti į aplinkai padarytus veiksmus ir svarsto aplinkosauginius aspektus, kurie padarytų šių dienų statybą tvaresne. Rengiant statybos projektus, svarbu atlikti tinkamus naudojamų medžiagų ir technologijų parinkimo uždavinius. Idealiu atveju statybos tvarumas turėtų būti vertinamas apjungiant socialinį, techninį, aplinkosauginį ir ekonominį aspektus (Akadiri *et al.* 2013). Daugiakriteris sprendimu priėmimas suteikia sisteminių požiūrį derinant gaunamą naudą, informaciją apie sąnaudas bei suinteresuotųjų šalių nuomones (Kabir *et al.* 2014).

1990 metais Jungtinėje Karalystėje, vertinant statybines medžiagas įvairiais subalansuotumo aspektais, buvo sukurtas metodas – statybos subalansuotumo vertinimo metodas (angl. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)). Tai buvo pirmasis, komercinis ir plačiai naudojamas vertinimo metodas. Nuo to laiko buvo parengta daugybė priemonių visame pasaulyje, tokių kaip – aplinkos ir ekonomikos subalansuotumas (angl. Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)), energetikos ir aplinkos dizainas (angl. Energy and Environmental Design (LEED)), pastatų aplinkosauginio veiksmingumo vertinimo kriterijus (angl. Building environmental performance assessment criteria (BEPAC)) ir t.t. (Akadiri *et al.* 2013)

Apskritai optimizavimas dažnai turi daugiau nei vieną atsakymą, kurie neretai prieštarauja vienas kitam. Norint optimizuoti statybą, svarbu parinkti pačias tinkamiausias medžiagas, technologijas, valdymo ir organizavimo priemones bei būdus, kurie atneštų didžiausią naudą už mažiausias sąnaudas. Pavyzdžiui, siekiant nustatyti optimalias savarankiškai sutankėjančio betono mišinio proporcijas, buvo panaudotas TOPSIS metodas. Pagrindiniai kriterijai, pagal kuriuos buvo vertinamos alternatyvos, buvo šilumos perdavimo koeficientas, procentinis oro kiekis, sutankėjimo procentas, vandens absorbcija, gniuždomasis stipris, tempiamasis stipris ir gamybos sąnaudos (Simsek *et al.* 2013).

Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai, su statyba susijusiose srityse, yra labai populiarius įrankis, sprendžiant įvairias iškilusias problemas (3 lentelė). Šie metodai mokslininkų yra naudojami nuo 1987 metų (Tamošaitienė *et al.* 2013).

3 lentelė. Daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų panaudojimas (Tamošaitienė *et al.* 2013)

Sritis	Metodas, straipsnis, autorius
Pastatų dizainas	AHP Multi-criteria optimization system for decision-making in construction design and management (Turskis <i>et al.</i> 2009)
	COPRAS Passive house model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system (Kaklauskas <i>et al.</i> 2012)
	COPRAS-G Assessment of the indoor environment of dwelling houses by applying the COPRAS-G method: Lithuania case study (Zavadskas <i>et al.</i> 2011)
Pastatų konstrukcijos	SAW Safety of technological projects using multi-criteria decision-making methods (Dėjus 2011)
	TOPSIS Complex estimation and choice of resource saving decisions in construction (Zavadskas 1987)
	PROMETHEE Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry (Gupta <i>et al.</i> 2012)
	COPRAS COPRAS based comparative analysis of the European country management capabilities within the construction sector in the time of crisis (Kildienė <i>et al.</i> 2011)
Pastatų modernizavimas	SAW Multi-criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation (Tupenaitė <i>et al.</i> 2010)
Pastatų gyvavimo ciklas	AHP Life-Cycle Analysis of A Sustainable Building, Applying MultiCriteria Decision-making Method (Medineckienė <i>et al.</i> 2011)

3.2. Balkonų atnaujinimo alternatyvų efektyvumo nustatymo uždavinys

3.2.1. Nagrinėjamos alternatyvos

Alternatyvos yra sudaromos daugiabučio, esančio Birželio 23-iosios g. 2, Vilniuje, balkonų remontui. Nagrinėjamas pastatas pastatytas 1960 metais. Pastatas ištęsto stačiakampio formos, penkių aukštų su rūsiu. Gatvės ir kiemo fasaduose ritmiškai išdėstytos langų angos, dekoruotos nėra, matomos betoninės plokštės, fasadų būklė patenkinama. Lietvamzdžiai parūdiję, siūloma juos pakeisti į analogiškus cinkuotus. Gatvės fasade 32 balkonai, kieme taip pat 32 balkonai, viso – 64. Gatvės ir kiemo pusės balkonai yra avarinės būklės – pažeisti balkonų ir tempių sujungimo mazgai (tempių įvorės stipriai surūdiję, galima griūti), daugelyje balkonų plokštės kraštai permirkę, matosi apibyrėjęs betonas, neįrengta grindų hidroizoliacija, betoniniai turėklai vietomis jau irsta, nesurišta šoninių briaunų armatūra. Balkonų konstrukcija skiriasi nuo įprastų balkonų tuo, jog balkonų plokštės nėra įleistos sienose. Jos viena briauna prikabinota prie sienų, kita briauna pakabinota ant atotampų. Atotampų ir briaunuotos plokštės sujungimo mazgas yra labai pažeistas ir nepatikimas, būklė avarinė (jos beveik neatlieka laikančiosios funkcijos), todėl ir balkonų būklė yra avarinė. Nutrūkus atotampos ir plokštės sujungimo mazgui, balkonas galimai nulinktų šonu link sienos, taip būtų pažeistas plokštės sujungimo mazgas su siena, ir galiausiai balkonas nutrūkęs kristų ant žemesnio balkono, kuris, pasikeitus apkrovai, lygiai taip pat kristų žemyn – tikėtina, jog visi vienos eilės balkonai nukristų vienu metu.



3.2 pav. Birželio 23-iosio g. 2 namo balkonų fotofiksacija

Pirmoji alternatyva, kuri siūloma balkonų remontui, apima patikimesnį balkonų ir templių sujungimo būdą, remiantis tokia technologija:

1. Pastolių statymas ir statyb vietės aptvėrimas (2 m aukščio aptvarais) aplink balkonų. Įspėjamųjų ženklų įrengimas.
2. Balkonai paremiami medinėmis ar metalinėmis kolonomis per visus aukštus, kad remonto metu nenukristų.
3. Išardomi balkonų įstiklinimai, seni skardininiai ir išnešami daiktai iš balkonų.
4. Silpno betono gabalų numušimas, grindų ir esamų turėklų išardymas, betoninių aptvarų demontavimas ir statybinių šiukšlių išvežimas.
5. Remontuojami templių sujungimo mazgai – nudaužius betoną, nušveičiamos templės, ir aplink esanti armatūra. Balkonas paremiamas spyriais įrengiami metaliniai kampuočiai, kartu su apatinėmis temple laikančiomis atraminėmis detalėmis. Templės šveičiamos, dažomos antikoroziniais dažais. Atraminės detalės sudarytos iš plokštelių, prie kurių privirinamos briaunos ir L formos kampuočiai, tada pragrežiama skylė. Šie paruošti atrėmimo elementai cinkuojami. Paviršius po balkonu išlyginamas su remontiniu mišiniu. Nušveičiami esami templių varžtų galai, prie jų sukama prailginta veržlė, kurios $D=22\text{mm}$. Tada užmaunama atraminė detalė ir priglaudžiama prie balkono plokštės. Dedamas tarpinis žiedas, tada poveržlė (plokštelė) ir įsukamas varžtas į prailgintą poveržlę. Tarpinis žiedas turi įspausti atraminę detalę prie plokštės. Varžtas apvirinamas.
6. Tvarkoma balkono plokštė: rūdys nuo atsivėrusios armatūros nuvalomos, padengiama koroziją stabdančiu skysčiu. Nudaužomi suskilinėję ir aptrupėję betono paviršiai ir atstatomi cementiniu remontiniu mišiniu, jei sluoksnis $>20\text{ mm}$ storio, tada dėdamas $\emptyset 4/50/50$ armavimo tinkliukas. Geresniam remontinio mišinio sukibimui su esama konstrukcija, seni paviršiai turi būti gruntuojami.
7. Įrengiamos grindys: esami sluoksniai numušami, injektuojami galimi plokštės įtrūkimai. Suformuojami nuolydžiai, naudojant cementinį skiedinį. Kraštai apskardinami skarda, tepama hidroizoliacinė membrana, patartina naudoti poliuretaninę hidroizoliaciją. Hidroizoliacija turi užlipti ant sienos, prieš tai suformavus nuožulną. Ant šios hidroizoliacijos klijuojamos plytelės. Plytelės turi būti neglazūruotos, skirtos laukui, su faktūra, laikyti apkrovas, klijai privalo būti be plastifikuojančių kalkių priemaišų.
8. Turėklai prieš gamybą permatuojami vietoje – galimi plokščių skirtingi matmenys. Templės turi būti vidiniame turėklų perimetre. Turėklai sudaryti iš vamzdžių 3×3 ir $4\times 6\text{cm}$, kurie suvirinami tarpusavyje. Prie turėklų privirinamos auselės. Pastačius turėklus į projekcinę padėtį, jie inkaruojami sienoje su varžtais.
7. Apskardinama balkono ir sienos jungtis virš hidroizoliacijos.

8. Statybiniai likučiai surenkami ir išvežami, pastoliai išrenkami.

Konstrukciniai sprendiniai pateikti B priede (Priedas parengtas pagal UAB „2L Architektai Techninio projekto 2014 m. Gruodžio mėn. medžiagą).

Antroji nagrinėjama alternatyva yra tokia, kad gatvės ir kiemo pusės balkonai paremiami metalinėmis kolonomis iki pat žemės, metaliniais kampuočiais tvirtinama prie sienos, sutvarkomos atotampos (templės). Remonto darbai atliekami vadovaujantis tokia technologija:

1. Teritorijos aplink pastatą toponuotaukos užsakymas.
2. Pastolių statymas, statyb vietės aptvėrimas (2 m aukščio aptvarais) aplink balkonus. Įspėjamųjų ženklų įrengimas.
3. Duobių kasimas, grunto tankinimas, betoninių pamatų įrengimas. Metalinių elementų paruošimas dažymas.
4. Metalinių kolonų montavimas. Pradedama nuo apačios, montuojama atremiant į betoninį pamatą. Per balkono plokštę išgręžiamos skylės, tada montuojamos aukščiau esančios kolonos. Per išgręžtas skylės kolonų apačios (viršaus) plokštelės suveržiamos varžtais. Kolonos montuojamos visiems balkonams.
5. Montuojami L formos kampuočiai po balkonais ir virš balkonų plokščių, ties sienos kraštu. Į sieną tvirtinama su chemine ankermase. Per balkoną prakišami srieginiai strypai, iš abiejų plokštės pusių suveržiama, prieš tai užpildžius tarpus chemine ankermase.
6. Tvarkoma balkono plokštė: rūdys nuo atsivėrusios armatūros nuvalomos, padengiama korozija stabdančiu skysčiu ir gruntuojama. Nudaužomi suskilinėję ir aptrupėję betono paviršiai ir atstatomi remontiniu skiediniu.
7. Kai visos balkonų plokštės paremiamos metaliniais elementais tada tvarkomos esamos templės ir betono pažeidimo vietos ties templėmis. Numušamas betonas, dedama papildoma armatūra Ø10, kuri inkaruojama į plokštę su chemine tvirtinimo derva. Esamas nudaužytas paviršius gruntuojamas, betonuojama C30/37 betonu. Templės šveičiamos, dažomos antikoroziniais dažais.
8. Montuojami nauji turėklai, visi tvirtinami į sieną, virinami prie kolonų, tvirtinami į plokštę naudojant metalinius elementus ir cheminę ankermasę.
9. Balkonai iš šonų apskardinami skarda.
10. Balkonuose įrengiamos grindys, suformuojamas nuolydis, klijuojamos plytelės.
11. Balkonų plokštės gruntuojamos ir dažomos silikoninių dervų dažais.
12. Statybiniai likučiai surenkami ir išvežami, pastoliai išrenkami.

Visi konstrukciniai sprendiniai pateikti C priede (Priedas parengtas pagal UAB „2L Architektai Techninio projekto 2014 m. Gegužės mėn. medžiagą).

Trečioji siūloma alternatyva gerokai skiriasi nuo pirmųjų dviejų alternatyvų. Remiantis anksčiau aprašytais skyriais, kad išvengtume defektų dėl balkonų eksploatacijos bei atmosferos poveikio, gyventojams siūloma įsirengti prancūziško tipo balkonus (3.3 pav.)



3.3 pav. Prancūziško balkono pavyzdys (Turėklų sprendimai... 2013)

Balkonų remontas būtų atliekamas remiantis tokia technologija:

1. Pastolių statymas, statyb vietės aptvėrimas (2 m aukščio aptvarais) aplink balkonus. Įspėjamųjų ženklų įrengimas.
2. Metalinių turėklų, balkonų stiklinimų išardymas.
3. Monolitinių gelžbetoninių perdangų išardymas.
4. Metalinių naujų turėklų dažymas bei gruntavimas.
5. Metalinių turėklų tvirtinimas prie sienos.
6. Pastolių nuardymas ir statybinių likučių surinkimas ir išvežimas

3.2.2. Vertinti alternatyvoms naudojamų rodiklių aprašymas

Balkonų atnaujinimo alternatyvas geriausiai apibūdina šie rodikliai:

- **Kaina X_1** – Tai kiekybinis rodiklis, kuris skaičiavimuose yra minimizuojamas. Rodiklis skaičiuojamas piniginiiais vienetais - vieno balkono remonto kaina (€);
- **Įrengimo laikas X_2** – rodiklis kiekybinis, minimizuojamas, skaičiuojamas vieno balkono sutvarkymo trukme (dienomis);
- **Technologinis konstrukcijos įrengimo sudėtingumas X_3** – kiekybinis, minimizuojamas, skaičiuojamas remonto etapų skaičiumi vienam balkonui įrengti;

- **Kultūrinė vertė X₄** – kokybinis, maksimizuojamas. Įvertina pasirinktos alternatyvos atitikimą kultūrinei vertei, skaičiuojamas balais, kur 1 neturi jokios kultūrinės vertės, 2 - kultūriškai vertingas, nedarko senojo projekto sprendinių;

4 lentelė. Kultūrinės vertės vertinimas balais

Kultūrinė vertė	Kultūriškai nevertinga	Kultūriškai vertinga
Balai	1	2

- **Estetinis vaizdas X₅**– kokybinis, maksimizuojamas. Tai rodiklis atspindintis gyventojų požiūrį į pasirinkta alternatyvą, vertinamas balais, kur 1 - neestetiška, 3 – estetiška;

5 lentelė. Estetinio vaizdo vertinimas balais

Estetinis vaizdas	Neestetiška	Vidutiniškai estetiška	Estetiška
Balai	1	2	3

Skaičiavimuose naudojamos alternatyvos:

A1- balkonų remontas stiprinant esamas templeles;

A2- balkonų remontas įrengiant kolonas;

A3- prancūziškų balkonų įrengimas.

6 lentelė. Alternatyvų rodikliai

Eil. Nr.	Alternatyva	Kaina X ₁ (vienam balkonui, €)	Įrengimo laikas X ₂ (vienam balkonui, dienomis)	Technologinis konstrukcijos įrengimo sudėtingumas X ₃ (etapų sk. vienam balkonui)	Kultūrinė vertė X ₄ (balai)	Estetinis vaizdas X ₅ (balai)
1.	A1	1245,62	2	8	5	5
2.	A2	1604,04	2	12	3	3
3.	A3	490,95	1,5	6	1	1

3.2.3. Alternatyvų vertinimas taikant daugiakriterius metodus

Kad skaičiavimai būtų tikslūs, pirmiausia atliekama daugiakriterė analizė, skirta nustatyti rodiklių reikšmingumams (svoriams). Ši analizė plačiai naudojama išrinkti geriausioms alternatyvoms, kai turimas baigtinis rodiklių, turinčių skirtingas savybes, sąrašas (Turskis *et al.* 2006). Skaičiavimams naudojamas ekspertinis vertinimas. Šio metodo esmė ta, kad jis leidžia racionaliai suderinti problemą su ekspertų nuomonėmis dėl problemos sprendimo. Naudojant ekspertinio vertinimo metodą, svarbu įvertinti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį (Bytaitytė 2013).

Ekspertų vertinimų patikimumas priklauso ne tik nuo vertintojų žinių lygio, bet ir nuo narių skaičiaus. Jeigu imama prielaida, kad ekspertai yra pakankamai kvalifikuoti išspręsti problemą, galima teigti, kad kuo didesnis jų skaičius tuo patikimumas didesnis (Bytaitytė 2013).

Prieš atliekant skaičiavimus pirmiausia buvo apklausta 15 ekspertų, susijusių su balkonų remontu. Ekspertams buvo pateikta apklausos anketa (D priedas), kurioje konkrečiai paaiškintas ekspertizės tikslas ir uždaviniai, suruošiama būtina informacija bei anketos pildymo instrukcija. Gauti apklausos rezultatai pateikti 7 lentelėje:

7 Lentelė. Ekspertų rodikliams suteikti svarbos balai

Ekspertai $k=1, \dots, 15.$	Rodikliai $t_{kj}, j=1, \dots, n; n=5$				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	1	2	3	4	5
2	3	4	2	1	5
3	2	1	4	5	3
4	4	1	3	2	5
5	4	1	2	5	3
6	1	5	2	3	4
7	2	4	3	2	1
8	3	2	4	1	5
9	2	1	4	3	5
10	5	1	2	3	2
11	1	4	2	3	5
12	3	1	2	4	5
13	2	3	5	1	4
14	5	3	4	1	2
15	2	1	3	4	5

Turint ekspertų įvertinimus (7 lentelė), reikia kiekvienam kriterijui suteiktus balus B_{ij} pakeisti į rangus R_{ij} (8 lentelė) (Bytaitytė 2013):

$$R_{ij} = (n+1) - B_{ij}; \quad (1)$$

čia: B_{ij} - j -ojo eksperto ($j = 1, 2, \dots, m$) i -jam kriterijui suteiktas svarbos balas ($i = 1, 2, \dots, n$);
 m – ekspertų skaičius; n – kriterijų (kokybės rodiklių) skaičius.

8 lentelė. Ekspertų balai ,perskaičiuoti į rangus

Ekspertai $k=1, \dots, 15.$	Rodikliai $t_{kj}, j=1, \dots, n; n=5$				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	5	4	3	2	1
2	3	2	4	5	1
3	4	5	2	1	3
4	2	5	3	4	1
5	2	5	4	1	3
6	5	1	4	3	2
7	4	2	3	4	5
8	3	4	2	5	1
9	4	5	2	3	1
10	1	5	4	3	4
11	5	2	4	3	1
12	3	5	4	2	1
13	4	3	1	5	2
14	1	3	2	5	4
15	4	5	3	2	1

Turint rangus, toliau atliekami skaičiavimai rodiklių svoriams nustatyti bei išsiaiškinti ekspertų nuomonių suderinamumą, remiantis algoritmu, pateiktu 9 lentelėje (Turskis *et al.* 2006).

9 lentelė. Rodiklių svorių nustatymo algoritmas (Turskis *et al.* 2006)

Skaiciavimo procesas	Rodikliai t_{jk} ; $j=1,...,n$; $n=5$				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Svarbumo suma $t_j = \sum_{k=1}^{r=15} t_{jk}$	50	56	45	48	31
Vidutinis svarbumas $t_j = \frac{\sum_{k=1}^{r=15} t_{jk}}{r}$	3,330	3,733	3,000	3,200	2,067
Rangas	1	2	3	4	5
Rodiklių reikšmingumai (svoriai) $\bar{q}_j = \frac{t_j}{\sum_{j=1}^{n=6} t_j}$	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
Ekspertų įverčių dispersija $\sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^{r=9} (t_{jk} - \bar{t}_j)^2$	1,810	2,211	1,111	2,023	3,335
Variacija $\beta_j = \frac{\sigma}{\bar{t}_j}$	0,404	0,398	0,351	0,445	0,884
Svarbumo sumos vidurkis	$V = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^{n=5} \sum_{k=1}^{r=15} t_{jk} = \frac{1}{15} (50 + 56 + 45 + 48 + 31 +) = 15,333$				
Vidutinio rango kvadratinio nuokrypio suma	$S = \sum_{j=1}^{n=5} \left(\sum_{k=1}^{r=15} t_{jk} - V \right)^2 = (50 - 15,333)^2 + (56 - 15,333)^2 + (45 - 15,333)^2 + (48 - 15,333)^2 + (31 - 15,333)^2 = 1496,576$				
Konkordancijos koeficientas	$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 1496,576}{15^2(5^3 - 5)} = 0,67$				
Konkordancijos koeficiento reikšmingumas(nėra susietų rangų)	$\chi_{\alpha,v}^2 = \frac{12S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k} = \frac{12 \cdot 1496,576}{15 \cdot 5 \cdot (5+1)} = 39,91,$ kai $\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k = 0$				

Lentelinis konkordancijos koeficientas kai svarbumas lygus 1%	Kai laisvumo laipsnis $v=n-1=5-1=4$, tai $\chi_{tbl}^2 = 13,23$
Nuomonių suderinamumas	$\chi_{a.v}^2 = 39,91 > \chi_{tbl}^2 = 13,23$ – ekspertų nuomonės suderintos

Kaip matome iš 9 lentelės, konkordancijos koeficientas W , kuris parodo nuomonių artumo laipsnį, yra lygus 0,67. Konkordancijos koeficiento reikšmė yra tarp $0 \leq W \leq 1$, kuo didesnis W , tuo nuomonės labiau suderintos (Bytaitytė 2013). Taip pat konkordancijos koeficiento reikšmingumas $\chi_{a.v}^2$ yra didesnis negu lentelėje pateikta reikšmė χ_{tbl}^2 su parinktu svarbumo laipsniu $\alpha = 0,01$. Tai reiškia, kad sąlyga $\chi_{a.v}^2 > \chi_{tbl}^2$ yra tenkinama, ir ekspertų nuomonės suderintos, todėl apskaičiuotus rodiklių reikšmingumas galima naudoti tolesniems skaičiavimams (Turskis *et al.* 2006).

Pirmuoju etapu alternatyvos vertinamos naudojant metodą SAW (angl. Simple Additive Weighting). Šis metodas yra vienas iš seniausių ir plačiausiai naudojamų metodų. SAW metodu skaičiuojama remiantis algoritmu (Podvezko 2011):

1. Sudaroma sprendimo priėmimo matrica (10 lentelė):

10 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	1245,62	2	8	5	5
A2	1604,04	2	12	3	3
A3	490,95	1,5	6	1	1
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

2. Sprendimų matrica yra normalizuojama pagal (2) ir (3) formules (11 lentelė):

Sprendimo priėmimo matricos X nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}; \quad (2)$$

Sprendimo priėmimo matricos X nariai, kuriuos reikia minimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}; \quad (3)$$

11 lentelė. Normalizuota sprendimų priėmimo matrica

Alternatyva	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
A1	0,394	0,750	0,750	1,000	1,000
A2	0,306	0,750	0,500	0,600	0,600
A3	1,000	1,000	1,000	0,200	0,200
q_i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

3. Normalizuotos matricos kiekvienas narys dauginamas iš reikšmingumo (svorio) (12 lentelė):

4.

$$a_i = \bar{x}_{ij} q_j; \quad (4)$$

12 lentelė. Svorinė normalizuota matrica

Alternatyva	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
A1	0,086	0,182	0,147	0,209	0,135
A2	0,066	0,182	0,098	0,125	0,081
A3	0,217	0,243	0,196	0,042	0,027
q_i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

5. Apskaičiuojama alternatyvų prioritetų eilutė (13 lentelė):

$$A_i = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j; \quad (5)$$

13 lentelė. Alternatyvų santykinis reikšmingumas ir prioritetiškumas

Alternatyva	A_i	Prioritetas
A1	0,759	1
A2	0,553	3
A3	0,725	2

Sudaroma prioritetų eilutė:

$$A1 > A3 > A2 \quad (6)$$

Kaip matyti iš skaičiavimų SAW metodu, pirmosios ir antrosios prioritetų eilutės vietų reikšmės yra gana artimos ($A1 - 0,759$ ir $A3 - 0,725$). Dėl rezultatų tikslumo bei patikimumo pritaikome dar du metodus.

Antrasis naudojamas skaičiavimo metodas, tai modifikuotas COPRAS daugiakriterio vertinimo metodas ARAS (angl. Additional ratio assessment). Šis metodas paremtas santykių sumavimu, kurio tikslas iš daugelio alternatyvų išrinkti geriausią. Prieš pradedant formuoti sprendimo priėmimo matricą, pirmiausia reikia nustatyti optimalios alternatyvos kriterijų reikšmes – tai dirbtinai sukurta alternatyva, kuri labiausiai tenkintų sprendimų priėmėjo poreikius (Zavadskas *et al.* 2010). Priimame prielaidą, kad $A0$ yra optimali alternatyva kurios:

- Kaina $X_1 - 300$ €;
- Įrengimo laikas $X_2 - 0,5$ dienos;
- Technologinis konstrukcijos įrengimo sudėtingumas $X_3 - 4$;
- Kultūrinė vertė $X_4 - 5$ balai;
- Estetinis vaizdas $X_5 - 5$ balai.

Skaičiavimai atliekami remiantis algoritmu (Zavadskas *et al.* 2010):

1. Sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica (14 lentelė):

14 lentelė. Pradinė sprendimo priėmimo matrica

Alternatyva	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
A1	0,086	0,182	0,147	0,209	0,135
A2	0,066	0,182	0,098	0,125	0,081
A3	0,217	0,243	0,196	0,042	0,027
$A0$	300	0,5	4	5	5
q_i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

2. Sprendimų priėmimo matrica transformuojama, kad visi kriterijai taptų maksimizuojami (15 lentelė):

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \quad (7)$$

Kur: x_{ij}^* - minimizuojama reikšmė;

15 lentelė. Transformuota sprendimo priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	0,00080	0,50	0,125	5	5
A2	0,00062	0,50	0,083	3	3
A3	0,00204	0,67	0,167	1	2
A0	0,00333	2,00	0,250	5	5
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

3. Sprendimų priėmimo matrica normalizuojama (16 lentelė):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad (8)$$

16 lentelė. Normalizuota sprendimo priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	0,118	0,136	0,200	0,357	0,333
A2	0,092	0,136	0,133	0,214	0,200
A3	0,300	0,182	0,267	0,071	0,133
A0	0,490	0,545	0,400	0,357	0,333
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

4. Sudaroma svertinė matrica (17 lentelė):

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_i \quad (9)$$

17 lentelė. Svertinė sprendimo priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	0,026	0,033	0,039	0,075	0,045
A2	0,020	0,033	0,026	0,045	0,027
A3	0,065	0,044	0,052	0,015	0,018
A0	0,106	0,133	0,078	0,075	0,045
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

6. Nustatomas efektyvumo indeksas R_j (10) ir naudingumo laipsnis N_j^* (11), kuris parodo kiek alternatyva nutolusi nuo optimalios alternatyvos (18 lentelė):

$$R_j = \sum_{i=1}^m \hat{x}_{ij} \quad (10)$$

$$N_j^* = \frac{R_j}{R_o} \cdot 100\% \quad (11)$$

18 lentelė. Naudingumo efektyvumo indeksas ir naudingumo laipsnis

Alternatyva	R _j	N_j^*
A1	0,218	49,79 %
A2	0,151	34,54 %
A3	0,194	44,49 %
A0	0,437	100 %

Sudaroma prioritetų eilutė:

$$A0 > A1 > A3 > A2 \quad (12)$$

Kaip matome iš ARAS metodo skaičiavimų, geriausia alternatyva taip yra **A1**- balkonų remontas stiprinant esamas temple. Alternatyvos A1 bei alternatyvos A3 reikšmės, kaip ir SAW metodo atveju, yra nutolusios viena nuo kitos nežymiai. Tokiu atveju pritaikomas trečiasis skaičiavimo metodas WASPAS.

WASPAS metodas yra svorinės agreguotos sumos metodas (angl. weighted aggregated sum product assessment (WASPAS)). Jis yra sukurtas iš dviejų MCDM metodų, tai WSM (angl. weighted sum model) ir WPM (angl. weighted product model). Yra įrodyta, kad apibendrintų šių dviejų metodų tikslumas yra didesnis nei kiekvieno atskirai (Zavadskas *et al.* 2012).

WASPAS metodo skaičiavimas paremtas tokiu algoritmu (Zavadskas *et al.* 2012) :

7. Sudaroma sprendimų priėmimo matrica (19 lentelė):

19 lentelė. Sprendimų priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	1245,62	2	8	5	5
A2	1604,04	2	12	3	3
A3	490,95	1,5	6	1	1
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

8. Sprendimų priėmimo matrica normalizuojama pagal (2) ir (3) formules (20 lentelė):

20 lentelė. Normalizuota sprendimų priėmimo matrica

Alternatyva	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
A1	0,394	0,750	0,750	1	1
A2	0,306	0,750	0,500	0,6	0,6
A3	1,000	1,000	1,000	0,2	0,2
q _i	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135
min/max	min	min	min	max	max

9. Skaičiuojamas pirmasis optimalumo kriterijus pagal formulę (21 lentelė):

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j; \quad (13)$$

Kur: q_j - rodiklių reikšmingumai (svoriai);

10. Skaičiuojama antrasis optimalumo kriterijus pagal formulę (21 lentelė):

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{q_j}; \quad (14)$$

11. Skaičiuojamas bendras kriterijus, suteikiant vienodą svorį abiem optimalumo kriterijams, pagal formulę (10 lentelė):

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)}; \quad (15)$$

12. Sudaromas alternatyvų prioritetiškumas pagal Q reikšmę, kuo didesnis Q , tuo didesnis alternatyvos efektyvumas.

21 lentelė. Alternatyvų prioritetiškumas

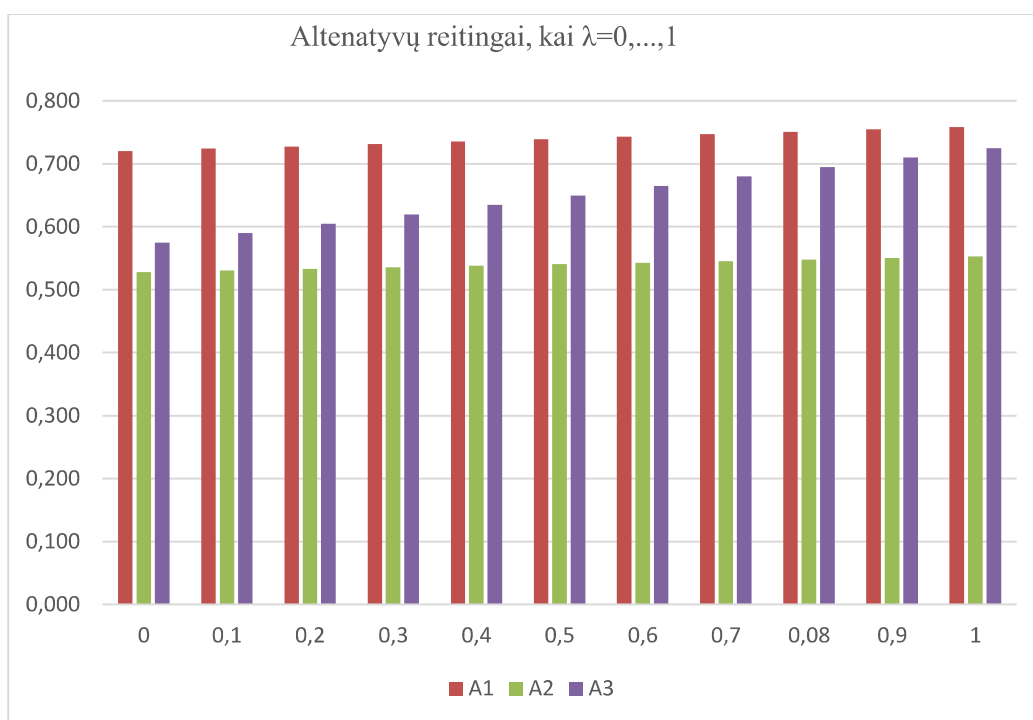
Alternatyvos	Pirmasis optimalumo kriterijus $Q_i^{(1)}$	Antrasis optimalumo kriterijus $Q_i^{(2)}$	Bendras optimalumo kriterijus Q_i
A1	0,759	0,720	0,739
A2	0,553	0,528	0,541
A3	0,725	0,575	0,650

13. Norint padidinti WASPAS metodo efektyvumą bei skaičiavimų tikslumą atliekamas eksperimentas, įvedamas papildomas λ koeficientas bei keičiamos jo reikšmės ($\lambda = 0, \dots, 1$). Tokiu būdu stebima, kaip koeficientas λ turi įtakos skaičiavimo rezultatams (22 lentelė):

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} q_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{q_j}; \quad (16)$$

22 lentelė. Patikslintas optimalumo kriterijus

Alternatyva	Patikslintas optimalumo kriterijus Q_i										
	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
A1	0,720	0,724	0,728	0,732	0,736	0,739	0,743	0,747	0,751	0,755	0,759
A2	0,528	0,531	0,533	0,536	0,538	0,541	0,543	0,546	0,548	0,551	0,553
A3	0,575	0,590	0,605	0,620	0,635	0,650	0,665	0,680	0,695	0,710	0,725



3.4 pav. Alternatyvų reitingavimas, kai $\lambda=0, \dots, 1$

Prioritetų eilutė:

$$A1 > A3 > A2 \quad (17)$$

Kaip matome keičiant koeficiento λ reikšmes, prioritetų eilutė nekinta. Tai puikiai iliustruoja 3.4 paveikslas. Priklausomai nuo λ koeficiento dydžio alternatyvos tai priartėja, tai nutolsta viena nuo kitos, todėl optimalios λ reikšmės skaičiuoti nereikia. Tokiu atveju prieiname išvada, kad geriausia alternatyva balkonų atnaujinimui yra **A1**- balkonų remontas stiprinant esamas templeles.

3.3. Skyriaus apibendrinimas

Apibendrinant skyrių galima daryti tokias išvadas:

1. Visose gyvenimo srityse, norint gauti optimalų sprendimą, tenka įvertinti daugybę alternatyvų. Tačiau kiekviena alternatyva dažniausiai būna viena kitai prieštaraujanti, todėl tenka apibūdinti alternatyvas tiek kokybiniais, tiek kiekybiniais kriterijais. Kad palengvėtų pasirinkimo procesas, buvo sukurtos daugiakriterių sprendimų priėmimo sistemos, kurios leidžia įvertinti galimus variantus, sujungiant į vieną visumą visą reikalingą informaciją. Sprendimų paramos sistemos leidžia įvertinti alternatyvas sisteminiu požiūriu, kuris sujungia ekonominį, socialinį, aplinkosauginį ir kitus aspektus.
2. Daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai susideda iš įvairių tarpusavyje susijusių etapų, kurie seka vienas po kito eilės tvarka: nustatoma problema, kriterijai, alternatyvos, sudėliojami kriterijai pagal prioritetus, parenkamas daugiakriterio sprendimo priėmimo metodas, pateikiami reikalingi duomenys sprendimui, vertinami rezultatai, svarstoma ar rezultatas patenkina lūkesčius, jei ne keičiami kriterijai, etapai kartojami ir galiausiai gaunama galutinis rezultatas.
3. Daugiakriterės paramos sistemos labai populiarios statybos srityje, jos suteikia sisteminių požiūrį derinant gaunamą naudą, informaciją apie sąnaudas bei suinteresuotųjų šalių nuomones.
4. Darbe išnagrinėta balkonų atnaujinimo galimybės, remiantis Birželio 23-iosios g. 2 namo pavyzdžiu. Nagrinėtos trys pagrindinės remonto alternatyvos: balkonų ir tempių sujungimas, balkonų plokščių parėmimas metalinėmis kolonomis, prancūziškų balkonų įrengimas.
5. Vertinant alternatyvas išskirti pagrindiniai penki kriterijai geriausiai apibūdinantys parinktų alternatyvų ekonomiškumą: kaina, įrengimo laikas, technologinis konstrukcijos įrengimo sudėtingumas, kultūrinė vertė, estetiškumas.
6. Kriterijų reikšmingumams nustatyti buvo panaudotas ekspertų apklausos metodas. Gauti tokie rezultatai:

23 lentelė. Kriterijų santykiniai reikšmingumai

Kriterijus	Kaina X_1	Įrengimo laikas X_2	Technologinis konstrukcijos įrengimo sudėtingumas X_3	Kultūrinė vertė X_4	Estetinis vaizdas X_5
Svoris	0,217	0,243	0,196	0,209	0,135

7. Skaičiavimams naudoti trys MCDM metodai: WASPAS, SAW, ARAS.
8. Atlikus skaičiavimus trimis metodais, gauti tokie rezultatai:
 - WASPAS $A1 > A3 > A2$
 - SAW $A1 > A3 > A2$
 - ARAS $A0 > A1 > A3 > A2$

9. Tinkamiausia ir ekonomiškiausia balkonų atnaujinimo alternatyva skirta Birželio 23-
iosios g. 2 namo balkonams remontuoti yra senųjų balkonų ir templių sujungimo mazgų remontas.
Ši alternatyva yra tinkamiausia dėl keleto priežasčių: nedarko fasado, atrodo estetiškai bei yra
priimtinausios kainos.

IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Atlikus literatūros analinę, nustatyti pagrindiniai veiksniai, sukeliantys gelžbetoninių elementų defektus: armatūros korozija, temperatūrinis poveikis, apkrovų poveikis. Kad būtų galima išvengti gelžbetoninių elementų defektų atsiradimo, nuolatos reikia atlikti konstrukcijų monitoringą, kuriam tinkamiausias būdas yra akustinė emisija bei ultragarsas. Tačiau, jei defektų išvengti nepavyko, patartina juos kuo greičiau pašalinti, naudojant keletą atnaujinimo metodų: metalinės plokštelės klijavimą ant konstrukcijos paviršiaus, atvirkštinį įtempimą plieno tinklais, atskirų dalių stiprinimą, supleišėjusių konstrukcijos vietų padengimą stiprinamuoju sluoksniu, konstrukcijos apvilkimą stiprinančiomis medžiagomis, katodinę apsaugą.
2. Atliekant tyrimą pastebėta, kad gelžbetoninės konstrukcijos buvo populiarios įrengiant balkonus daugiabučiuose gyvenamuosiuose namuose. Nustatyti pagrindiniai galimi įrengimo tipai: gembinis balkonas, paremtas konsole balkonas, paremtas kolonomis, ant gembinių sijų įrengta balkono perdangos plokštė.
3. Analizuojant Vilniaus miesto balkonus pastebėta tendencija, kad daugelis jų – senų namų konstrukcijos, kurios nebuvo tinkamai prižiūrimos. Bėgant laikui, dėl netinkamos eksploatacijos, būklė vis labiau blogėjo ir šiuo metu didelė dalis balkonų yra avarinės būklės.
4. Nagrinėjant balkonų atnaujinimo galimybes Vilniuje nustatyta, kad yra nemažai trukdžių, kurie neleidžia tinkamai pašalinti avarinės būklės. Pagrindiniai yra: teisinės bazės spragos, paveldosauginiai reikalavimai, statybos leidimų gavimas bei daugiabučių namų gyventojų pasyvumas. Pasiūlymas, kuris padėtų pagreitinti balkonų atnaujinimo projektus – tai teisinės bazės koregavimas. Taip pat svarbu reglamentuoti, kieno lėšomis turi būti atnaujinti balkonai ir pašalinta jų avarinė būklė.
5. Tinkamiausiai balkonų atnaujinimo alternatyvai parinkti pasiūlyta taikyti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodus. Pasiūlyta kriterijų sistema, apimanti atnaujinimo projektų vertinimo technologinius, ekonominius ir socialinius aspektus.
6. Atliekant tyrimą dėl optimalios balkonų atnaujinimo alternatyvos parinkimo, gauta išvada, kad atnaujinant balkonus geriau nenukrypti nuo pradinio projekto. Išnagrinėtas Birželio 23-iosios g. 2 namo balkonų atnaujinimas parodė, kad ekonomiškiausia alternatyva yra esamų, balkonų laikančių mazgų, stiprinimas. Taip pat buvo pasiūlyta nauja atnaujinimo galimybė, tai yra įrengti prancūziško tipo balkonus. Tokia alternatyva yra pigesnė, paprastesnė ir leidžia išvengti gelžbetoninių balkonų defektų sukeltų problemų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Akadiri, P. O.; Olomolaiye, P. O.; Chinyio, E. A. 2013. Multi-criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. *Automation in Constructions*. Vol. 30, p. 113-125.

Alumig. Turėklų sprendimai. 2013. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-06]. Prieiga per internetą: <http://www.tureklai.net/tag/vidaus/>.

Ančerys, E. 2009. *Tempiamojo betono įtempių ir deformacijų priklausomybės tyrimas ilgalaikio apkrovimo atveju*, baigiamasis magistro darbas. Vilnius: VGTU, 95 p.

Anušausko A. raštas Vilniaus merui Zuokui. A *Dėl kritinės balkonų būklės Vilniaus mieste* 2013-01-08 Nr. S-13/3. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 01 23]. Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter/w5_show?p_r=5545&p_d=131563&p_k=1.

Bagočius, V. 2014. *Kompleksinis statinių jūros aplinkoje racionalumo pagrindimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU, 156 p.

Baleženis, A.,; Baleženis, T. 2001. Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas Lietuvos ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas. *Management theory and studies for rural business and infrastructures developement*. Vol. 25, 11 p.

Barroca, N.; Borges, M., L.; Velez, F., J.; Monteiro, F.; Gorski, M.; Castro-Gomos, J. 2013. Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures. *Construction and Building Materials*. Vol. 40, p. 1156-1166.

Bytaitytė, R. 2013. *Skandinavijos krypties patrauklumo Lietuvos vežėjams kelių transportu tyrimas*, baigiamasis magistro darbas, Vilnius: VGTU, 110 p.

Chernin, L.; Val, D., V.; Volokh, K., Y. 2010. Analytical modelling of concrete cover cracking caused by corrosion of reinforcement. *Materials and Structures*. Vol. 43, DOI 10.1617/s11527-009-9510-2, p. 543-556.

Christodoulou, C.; Goodier, C., I.; Austin, S., A.; Glass, G., K.; Webb, J. 2014. A new arrangement of galvanic anodes for the repair of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*. Vol. 50, p. 300-307.

Daugiabučių namų bendrosios nuostatos *Administravimo tarifų apskaičiavimo metodika*. 2006 [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-23]. Prieiga per internetą:
<http://www.vilnius.lt/vaktai/Default.aspx?Id=3&DocId=30133936>.

Dėjus, T. 2011. Safety of technological projects using multicriteria decision making methods. *Journal of Civil Engineering and Management*. VOL. 17, Nr. 2, p. 177–183.

Demirel, B.; Kelestemur, O. 2010. Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume. *Fire Safety Journal*. Vol. 45, Issues 6-8, p. 358-391.

Diskrečių plyšių modelis, taikomas tempiamųjų gelžbetoninių elementų analizei. *Intelektinė praktinio mokymo sistema*. 2011. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-12-29]. Prieiga per internetą:
<http://iti.vgtu.lt/imitacijosmain/wuc1.aspx>.

Elenbergas, B., V. 2014. Statybiniai tyrinėjimai. *Specialioji išvada*. 14 p.

Gou, Z.; Shi, X. 2011. Experiment and Calculation of reinforced concrete at elevated temperatures. Tsinghua University press, 336 p.

Gupta, R.; Sachdeva, A.; Bhardwaj, A. 2012. Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*. VOL. 23, Nr. 7, p. 899–921.

Haddad, R.; H.; AL-Mekhlafy, N.; Ashteyat, A., M. 2013. Repair of heat-damaged reinforced concrete slabs using fibrous composite materials. *Construction and Building Materials*. Vol. 39, p. 19-25.

Horn, V. 2011. Balcony structures. *An International journal for engeneering and information sciences*. Vol. 6, No. 2, p. 115-130.

- Iskhakov, I.; Ribakov, Y.; Holschemacher, K.; Mueller, T. 2013. High performance repairing of reinforced concrete structures. *Materials & Design*. Vol. 44, p. 216-222.
- Jokūbaitis, V.; Jurkša, A.; Kamaitis Z. ir kt. 1992. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos. Vilnius, Mokslas, 391 p.
- Jonaitis, B.; Šneideris, A. 2007. Monolitinio gelžbetoninio balkono plokščių armavimas elementais su izoliuojančiu intarpu. *Mokomoji knyga*. Vilnius, Technika, 48 p.
- Kabir, G.; Sadiq, R.; Tesfamariam, S. 2014. A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*. Vol. 10, p. 1176-1210.
- Kaklauskas, A.; Rute, J.; Zavadskas, E. K.; Daniunas, A.; Pruskus, V.; Bivainis, J.; Gudauskas, R.; Plakys, V. 2012. Passive house model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system. *Energy and Buildings*, VOL. 50, p. 7–18
- Kalibatas, D. 2013. Apžiūros aktas. *Savanorių per. 11*. Vilnius, 49 p.
- Kildienė, S.; Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K. 2011. COPRAS based comparative analysis of the European country management capabilities within the construction sector in the time of crisis. *Journal of Business Economics and Management*. VOL. 12, NR. 2, p. 417-434.
- Lahdensivu, J. 2012. Durability, Properties and Actual Deterioration of Finnish Concrete Facades and Balconies. Tempere university of technology, Tempere, 156 p.
- Lietuvos Respublikos civilinis kodeksas. *Pirmoji knyga. Bendrosios nuostatos*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-29]. Prieiga per internetą: <http://www.civiliniskodeksas.lt/#>.
- Lu, Ch.; Jin, W.; Liu, R. 2011. Reinforcement corrosion-induced cover cracking and its time prediction for reinforced concrete structures. *Corrosion Science*. Vol. 53, Issue 4, p. 1337–1347.
- Medineckienė, M.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2011. LifeCycle analysis of a sustainable building, applying Multi-Criteria Decision Making method, in Čygas, D.; Froehner, K. D. (Eds.). *The 8th*

International Conference ‘‘Environmental Engineering’’. Selected papers. 19-20 May, 2011, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, p. 957–961.

Metalu korozija. 2003. [interaktyvus]. [žiūrėta 2013-12-29]. Prieiga per internetą : http://eei13.net63.net/chemija/10_Korozija.pdf.

Ohno, K.; Ohtsu, M. 2010. Crack classification in concrete based on acoustic emission. *Construction and Building Materials*. Vol. 24, Issues 12, p. 2339-2346.

Pastarnokas, Ž. 2007. *Naudojamų hidrotechnikos statinių gelžbetoninių konstrukcijų defektų ir pažeidimų įvertinimas*, baigiamasis magistro darbas, Vilnius: VGTU, 70 p.

Podvezko, V. 2011. The comparative analysis of MCDA methods SAW and COPRAS. *Inžinerinė-Ekonomika-Engineering Economics*. VOL. 22 No. 2, p. 134-146.

Rai, G., L. 2010. *Different Strengthening Techniques for RC Columns*. [Interaktyvus]. [žiūrėta 2014 06 18]. Prieiga per internetą: http://www.academia.edu/6702273/Different_Strengthening_Techniques_for_RC_Columns_Different_Strengthening_Techniques_for_RC_Columns_other_than_FRP_Wrapping.

Sandeep, G., S.; Sawant, A., B.; Kumthekar, M., B. 2010. Strengthening of R.C.C. Beam- Using Different Glass Fiber. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*. Vol. 1, Issue 2, p. 1-8.

Shahidan, S.; Pulin, R.; Bunnori, N., M.; Holford, K., M. 2013. Damage classification in reinforced concrete beam by acoustic emission signal analysis. *Construction and Building Materials*. Vol. 45, p. 78-86.

Simanavičienė, R. 2011. *Kiekybinių daugiatislių srendimo priėmimo metodų jautrumo analizė*, daktaro disertacija, Vilnius: VGTU, 148 p.

Simsek, B.; Tansel, Y.; Simsek, E., H. 2013. A TOPSIS-based Taguchi optimization to determine optimal mixture proportions of the high strength self-compacting concrete. *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*. Vol. 125, p. 18-32.

Singh, A.; Malik, S., K. 2014. Major MCDM Techniques and their application-A Review. *IOSR Journal of Engineering*. Vol. 4, p. 15-25.

Statybos techninis reglamentas. STR 1.07.01:2010 „Statybą leidžiantys dokumentai“

Tamošaitienė, J.; Gaudutis, E. 2013. Complex assessment of structural systems used for high-rise buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol 19, p. 305-317.

Types of corrosion. *Transpost Information Service*. 2002. [interaktyvus]. [žiūrėta 20013-12-29].
Prieiga per internetą: http://www.tis-gdv.de/tis_e/misc/korro.htm.

Tupenaitė, L.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Seniut, M. 2010. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation. *Journal of Civil Engineering and Management*. VOL. 16, Nr. 2, p. 257–266.

Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldshus, F. 2009. Multicriteria optimization system for decision making in construction design and management, *Inzinerine Ekonomika - Engineering Economics* VOL.1, p. 7–17.

Turskis, Z.; Zavadskas, E., K.; Zagorskas, J. 2006. Sustainable city compactness evaluation on the basis of GIS and bayes rules. *International Journal of Strategic Property Management*. VOL.10, Nr. 3, p. 185-207.

UAB „2L Architektai“. 2014 m. Gegužė. Techninis projektas. *Daugiabučio gyvenamojo namo Birželio 23-iosios g. 2, Vilnius, kapitalinio remonto projektas*. Nr. 2L-2014-04-TP.

UAB „2L Architektai“. 2014 m. Gruodis. Techninis projektas. *Daugiabučio gyvenamojo namo Birželio 23-iosios g. 2, Vilnius, kapitalinio remonto projektas*. Nr. 2L-2013-39-TP.

Wilson, K.; Jawed, M.; Ngala, V. 2013. The selection and use of cathodic protection systems for the repair of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*. Vol. 39, p. 19-25.

Zavadskas, E. K. 1987. Complex estimation and choice of resource saving decisions in construction. Vilnius: Mokslas (in Russian).

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamosaitiene, J.; Kalibatas, D. 2011. Assessment of the indoor environment of dwelling houses by applying the COPRAS-G method: Lithuania case study. *Environmental Engineering and Management Journal*. VOL. 10, Nr. 5, p. 637–647.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Antuchevičienė, J. 2012. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronics and Electrical Engenering*. Vol. 6, No. 122, p. 3-6.

Zavadskas, E., K.; Turskis, Z. 2010. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria desision.making. *Technological and Economic Development of Economy*. Vol. 16, No. 2, p. 159-127.

PRIEDAI