



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Andrius Virbickas

**REKONSTRUOJAMŲ PASTATŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ
EFEKTYVAUS VARIANTO PARINKIMAS**

**RECONSTRUCTED BUILDINGS OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES MOST EFFECTIVE OPTION**

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybos technologijų studijų kryptis

Vilnius, 2014

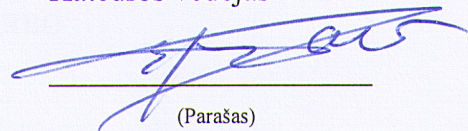
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas



(Parašas)

Edmundas Kazimieras Zavadskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Andrius Virbickas

**REKONSTRUOJAMŲ PASTATŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ
EFEKTYVAUS VARIANTO PARINKIMAS**

**RECONSTRUCTED BUILDINGS OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES MOST EFFECTIVE OPTION**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

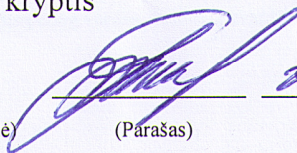
Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybos technologijų studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Gintautas Ambrasas

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



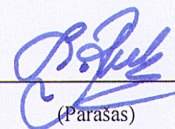
(Parašas)

(Data)

2014 06 12

Lietuvių kalbos konsultantas lekt. Lina Rutkienė

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



(Parašas)

(Data)

2014-06-10

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Statybos technologijos studijų kryptis

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Edmundas Kazimieras Zavadskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2013-10-07 Nr. 16

Vilnius

Studentui Andriui Virbickui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Rekonstruojamų pastatų gelžbetoninių konstrukcijų efektyvaus varianto parinkimas

patvirtinta 2013 m. lapkričio mėn. 07 d. dekanų potvarkiu Nr. 572st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2014 m. 06 05 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

kanalizacijos uždavimas, kuris yra Lietuvos mokyklų ir
gamybinių įmonių, sprendiantis glib konstrukcijų ir, vado-
saujantis galimais ir glaudesniais bei naujais ir kitiems
sprendimams (sprendimai ir atskaita kitiems sprendimams) parengti atskaitas
rekonstrukcijos variantų palyginimui ir efektyvaus varianto
parinkimui.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

Lina Rutkienė

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

Vadovas

(Paraša)

dr. Doc. Gintautas Ambrasas

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

Užduotį gavau

(Parašas)

Andrius Virbickas

(Vardas, pavardė)

2013-10-07

(Data)

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

Andrius Virbickas, 20083463

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. birželio 2 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Rekonstruojamų pastatų gelžbetoninių konstrukcijų efektyvaus varianto parinkimas“ patvirtintas 2013 m. lapkričio 7 d. dekanų potvarkiu Nr. 572st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Lina Rutkienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Gintautas Ambrasas.

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

(Parašas)

Andrius Virbickas

(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos technologijos ir vadybos katedra

ISBN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas
Pavadinimas **Rekonstruojamų pastatų gelžbetoninių konstrukcijų efektyvaus varianto parinkimas**
Autorius **Andrius Virbickas**
Vadovas **doc. dr. Gintautas Ambrasas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Pastato rekonstrukcijos metu dalis laikančiųjų konstrukcijų gali būti pakeistos naujomis. Tačiau dažnai pastate yra laikančiųjų konstrukcijų, kurioms pakeisti reikėtų gana nemažai investicijų norint pastatą išardyti. Atsižvelgiant į tai, dėl ekonominių priežasčių esamas konstrukci- jas tenka stiprinti. Dažniausiai gelžbetonio stiprinimas analizuojamas atskirais metodais, kurie neįvertina kitų metodų privalumų.

Baigiamojo magistrinio darbo tikslas yra sukurti tokį algoritmą, kuris padėtų pasirinkti optimalų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdą. Šiam tikslui pasiekti darbe: išanalizuoti gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodai ir technologijos; atliktas vartotojų poreikio tyrimas, aktualių kriterijų reikšmingumams įvertinti.

Darbo dalys: įvadas; 3 pagrindiniai skyriai; išvados; literatūra ir priedai. Pirmame skyriuje analizuojama užsienio šalių patirtis stiprinant gelžbetonines konstrukcijas. Antrame skyriuje aprašoma metodika, kuri bus naudojama stiprinamos konstrukcijos metodo parinkimui. Trečioje dalyje sukurtas gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodo parinkimo algoritmas ir atlikti skaičiavimai nagrinėjamai konstrukcijai.

Darbo apimtis–73 psl. teksto be priedų. Darbe yra 34 paveikslai, 10 lentelių, 44 bibliografiniai šaltiniai, 3 priedai.

Prasminiai žodžiai: Gelžbetonis, rekonstrukcija, stiprinimas, anglies pluoštas, algoritmas, daugiakriteris vertinimas, kriterijus.

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 **Reconstructed buildings of reinforced concrete structures most effective option**

Author **Andrius Virbickas**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Gintautas Ambrasas**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

During the part reconstruction of the building, supporting structures may be replaced with new ones. Often, however, the building is a supporting structure, which would involve quite a lot of investment in order to dismantle it. Given the fact of economic reasons, we should to strengthen existing structures. In most cases the strengthening of reinforced concrete analysis of individual methods, which sometimes underestimate the advantages of the other methods.

The master thesis is to develop an algorithm for help to choose the optimal method of strengthening concrete structures. To achieve this in work: analyze the strengthening of reinforced concrete structures, methods and technologies; consumer demand study, evaluated the significance of relevant criteria.

Work parts: introduction; three main sections; findings; literature and annexes. The first section analyzes the experience of foreign countries in strengthening reinforced concrete structures. The second section describes the methodology of method selection that will be used to strengthen the construction. The third part describe selection algorithm of concrete structures and calculations to the present structure.

Final thesis consists of: 73 pages without annexes. In work are 34 pictures, 10 tables, 44 references, 3 annexes.

Keywords: Reinforced concrete, reconstruction, strengthening, carbon fiber, algorithm, multi-criteria assessment, criterion.

TURINYS

IVADAS	11
1. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ REKONSTRUKCIJOS SVARBA IR METODAI.....	13
1.1. Užsienio šalių patirtis stiprinant gelžbetonines konstrukcijas	13
1.1.1. Procesai, vykstantys betonavimo metu gelžbetoninėse monolitinėse konstrukcijose	13
1.1.2. Iš anksto įtemptas gelžbetonis	14
1.1.3. Šlako panaudojimas betoniniuose gaminiuose	16
1.1.4. Gelžbetonio korozija.....	17
1.1.5. Gelžbetoninių sijų stiprinimas armuotu polimeriniu pluoštu	20
1.1.6. Apvalkalo naudojimo technologija.....	20
1.1.7. Stiprinimas anglies pluoštu.....	22
1.1.8. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas anglies pluošto sistemomis.....	23
1.1.9. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas stiklo pluošto sistemomis	27
1.1.10. Lengvojo betono panaudojimas.....	29
1.1.11. Gelžbetoninių kolonų restauravimas ir stiprinimas, naudojant armuotą apvalkalą	30
1.1.12. Betoninės kolonos, padengtos armuotu cementiniu skiedinio pluoštu.....	31
1.1.13. Gelžbetonio injektavimas rekonstruojant konstrukcijas.....	32
1.2. Užsienio šalių gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo patentinė apžvalga	33
1.2.1. Surenkamojo gelžbetonio gaminiai su anglies pluošto armavimo tinklu	33
1.2.2. Anglies kompozito medžiaga, naudojama gelžbetoninėms konstrukcijoms sustiprinti .	33
1.2.3. Surenkamojo betono konstrukcijos, kuriose yra anglies pluoštu stiprinto plastiko.....	34
1.2.4. Gelžbetoninių kolonų ir sijų siūlių taisymo ir stiprinimo metodas.....	35
1.2.5. Gelžbetoninių kolonų stiprinimas, naudojant plienines juostas	35
1.2.6. Gelžbetoninių kolonų stiprinimas, naudojant anglies pluoštą	36
1.3. Nenaudojamų pastatų rekonstrukcijos svarba darnios plėtros požiūriu.....	36
1.3.1. Apleisti pastatai Europos valstybėse	38
1.3.2. Rekonstrukcijos pranašumas prieš naują statybą.....	38
1.3.3. Rekonstrukcijos kliūtys	39
1.3.4. Netinkamų naudoti pastatų išmontavimas	40
1.3.5. Medžiagų rūšiavimas ir perdirbimas	42
1.4. Daugiakriterių metodų ir modelių klasifikacija	43
2. ANALIZUOJAMŲ KONSTRUKCIJŲ VERTINIMO METODIKOS PARINKIMAS. ALTERNATYVŲ IR KRITERIJŲ REIKŠMINGUMŲ FORMAVIMAS	50
2.1. Tyrimo tikslas ir uždaviniai	50

2.2. Alternatyvų stiprinamoms gelžbetoninėms konstrukcijoms formavimas.....	50
2.3. Alternatyvų vertinimo kriterijų formavimas.....	50
2.4. Tyrimo metodikos pasirinkimas	52
3. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ REKONSTRUKCIJOS PARINKIMO ALGORITMO KŪRIMAS.....	57
3.1. Nagrinėjimo objekto aprašymas	57
3.2. Konstrukcijų įvertinimas pagal problematiką.....	59
3.3. Pasirinktų alternatyvų formavimas	59
3.4. Parinktų rodiklių sąrašas	60
3.5. Kriterijų reikšmingumų nustatymas AHP metodu	61
3.6. Geriausios alternatyvos nustatymas TOPSIS metodu	64
IŠVADOS	68
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	70
PRIEDAI	74

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Strypo rumbų geometrija	14
1.2 pav. Deformuoto strypo sukibimo elgsena.....	15
1.3 pav. Chloridų jonų koncentracija	18
1.4 pav. Įbetonuotų cinkuotų plieno plokščių pavyzdžiai	19
1.5 pav. Gelžbetoninė sija sustiprinta armuotu apvalkalu.....	21
1.6 pav. Sustiprintų sijų poslinkių priklausomybės nuo apkrovos grafikai	21
1.7 pav. Plyšių pasiskirstymas suirus	22
1.8 pav. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas anglies pluošto sistemomis.....	22
1.9 pav. Epoksidine derva impregnuota anglies pluošto juosta	23
1.10 pav. Dviejų komponentų, epoksidinių dervų pagrindo, tiksotropiniai klėjai konstrukciniam klėjavimui.....	24
1.11 pav. Didelio stiprumo vienkryptis bazalto pluošto audinys	25
1.12 pav. Didelio stiprumo vienkryptis anglies pluošto audinys, pasižymintis labai aukštu tamprumo moduliu	26
1.13 pav. Didelio stiprumo dvikryptis anglies pluošto audinys	26
1.14 pav. Didelio stiprumo daugiakryptis anglies pluošto audinys.....	27
1.15 pav. Vienkryptis stiklo pluošto audinys	28
1.16 pav. Daugiakryptis stiklo pluošto audinys.....	29
1.17 pav. Lengvasis betonas su plieninėmis fibromis	29
1.18 pav. Armuoto cemento apvalkalų paruošimas.....	30
1.19 pav. Fenilen benzobis oksazolo tinkle impregnuoto cemento uždėjimas	31
1.20 pav. Monolitinių ruožų injektavimas.....	32
1.21 pav. Kvadratinis tuščiaviduris plieno vamzdis, sujungtas su CFRP apvaliu vamzdžiu).....	33
1.22 pav. Kvadratinės ir apvalios kolonos, sustiprintos anglies pluošto kompozitine medžiaga.....	34
1.23 pav. Sija, sustiprinta anglies pluošto ir plastiko mišiniu	34
1.24 pav. Gelžbetoninių elementų siūlių taisymas	35
1.25 pav. Plieninėmis juostomis sustiprinta kolona	35
1.26 pav. Anglies pluošto juostomis sustiprinta kolona.....	36
1.27 pav. Anglies pluošto juostos struktūra.....	36
1.28 pav. Pastatų griovimo ir išmontavimo procesai	41
1.29 pav. Daugiakriterių įvertinimo metodai	46
3.1 pav. Skaičiuojamoji statinio schema	57
3.2 pav. Rūsio kolonas suprojektuotos veikiančios įrašos	57
3.3 pav. Gelžbetonio konstrukcijų stiprinimo parinkimo modelis	58
3.4 pav. Pasirinktos alternatyvos gelžbetoninėms kolonomis stiprinti.....	60
3.5 pav. Alternatyvų rezultatai gelžbetoninėms kolonomis stiprinti.....	66

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Strypo išpjovų matmenys.....	15
1.2 lentelė. Perdirbamų statybinių medžiagų sudėtis	43
2.1 lentelė. Kriterijų vertinimo balų reikšmės	52
2.2 lentelė. Atsitiktinio suderinamumo indekso reikšmės	54
3.1 lentelė. Kriterijų vertinimo balų reikšmės	61
3.2 lentelė. Vertinimų vidurkių lentelė	61
3.3 lentelė. Skaičiavimo rezultatai	63
3.4 lentelė. Pradinė sprendimų matrica	65
3.5 lentelė. Normalizuota sprendimų matrica.....	65
3.6 lentelė. Normalizuota svertinė matrica.....	65

IVADAS

Eksploatuojami pastatai laikui bėgant nusidėvi, atsiranda įvairaus pobūdžio pažeidimų, kurios gerokai sumažina laikančiųjų konstrukcijų stiprumą. Dažnai keičiama pastatų paskirtis, dėl to labai padidėja laikančiųjų konstrukcijų veikiančiosios apkrovos.

Dėl šių priežasčių esamus pastatus tenka rekonstruoti. Pastato rekonstrukcijos metu dalis laikančiųjų konstrukcijų gali būti pakeistos naujomis. Tačiau dažnai pastate yra laikančiųjų konstrukcijų, kurioms pakeisti reikėtų gana nemažai investicijų norint pastatą išardyti. Atsižvelgiant į tai, dėl ekonominių priežasčių rekonstruojamame pastate esamas konstrukcijas tenka stiprinti.

Konstrukcijos stiprinamos įvairiais būdais ir medžiagomis. Iki paskutinių metų gelžbetoninės konstrukcijos buvo stiprinamos dviem pagrindiniais būdais: naujų sluoksnių pribetonavimu arba naudojant metalinius elementus. Tačiau šie dar plačiai taikomi stiprinimo būdai turi daug trūkumų. Taikant apibetonavimo būdą, padidėja konstrukcijų skerspjūvio matmenys, jų sunkis, įrengimo technologija daugeliu atvejų yra sunkiai pritaikoma. Naudojant plieninius profiliuočius, lakštus, strypus ir pan., kyla klausimų, kaip juos įtraukti į bendrą darbą ir prižiūrėti, norint išvengti korozijos poveikių. Todėl paskutiniu metu vis plačiau naudojamos įvairios kompozitinės medžiagos ir jų dirbiniai, kurie prikljuojami prie stiprinamų konstrukcijų atitinkamo, dažniausiai tempiamojo, sluoksnio (Valivonis *et al.* 2006).

Tačiau stiprinant konstrukcijas klijuojamais medžiagos sluoksniais, taip pat kyla daug technologinių ir konstrukcinių problemų. Tai susiję su stiprinamos konstrukcijos ir prikljuoto sluoksnio bendro darbo užtikrinimu. Kita vertus, kompozitinės medžiagos turi fizinių ir mechaninių savybių, gerokai besiskiriančių nuo klasikinių statybinių medžiagų betono ir plieno savybių. Todėl jas įtraukti į bendrą darbą ir išnaudoti jų savybes yra svarbu, tobulinant ne tik technologinius stiprinimo metodus, bet ir užtikrinant sustiprintų konstrukcijų patikimumą ir ekonominį naudingumą. Tam būtina tobulinti skaičiavimo ir projektavimo metodus bei kurti naujus.

XXI a. ekonomika ir apskritai pažanga bus grindžiama viena iš pagrindinių prioritetinių kryptų - kompozitinių medžiagų ir informacinių technologijų kūrimu ir naudojimu. Tai siejasi su energijos ir laiko taupymu, vis naujais proto laimėjimais ir jų taikymo tempais. Statybos poreikiams kompozitinės medžiagos pradėtos naudoti apie XX a. vidurį, kilus būtinybei plačiau naudoti lengvesnes ir stipresnes medžiagas, leidžiančias statyti didelio aukštingumo ir didelių angų statinius (Valivonis *et al.* 2006).

Iš esamų ir kuriamų kompozitinių medžiagų įvairovės galima išsirinkti pagal norimus įvykdyti visai konstrukcijai keliamus reikalavimus. Gelžbetoninėms konstrukcijoms gaminti ir stiprinti turi būti panaudotos medžiagos ir gaminiai, kurie būtų nesunkiai sujungiami su betonu, būtų stiprūs, lengvi, turėtų kuo didesnį tamprumo modulį.

Dideliu šuoliu, kuriant efektyvias kompozitines medžiagas ir konstrukcijas praėjusio amžiaus viduryje, buvo boro ir jo junginių su kitais mineralais pluoštai ir gauti nauji boro kompozito plastikai, kurie 10-15 kartų stipresni nei statybinis plienas ir 3-4 kartus lengvesni. Vėliau buvo sukurti ir pradėti naudoti labai didelio tamprumo modulio ir stiprumo anglies pluoštai, suteikę galimybę gauti dar geresnių savybių kompozitus (Valivonis *et al.* 2006).

Analizuojant šiuo metu esančius gelžbetonio stiprinimo būdus sunku pasirinkti optimalų variantą, nes nėra bendros sistemos, kuri numatytų visus stiprinimo metodus, jų aspektus, problemas ir efektyvumą.

Temos aktualumas pagrįstas tuo, kad dažniausiai gelžbetonio stiprinimas analizuojamas atskirais metodais, kurie kartais neįvertina kitų metodų privalumų. Reikėtų įvertinti visus galimus variantus, tam tikra darbų seka padėtų nustatyti efektyviausią ir racionaliausią metodą.

Darbo **tikslas** yra sukurti algoritmą, kurį panaudojant galima būtų parinkti efektyvų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdą.

Taikant jį galima nustatyti efektyviausią gelžbetonio stiprinimo būdą remiantis statinio fizikinių savybių, estetikos, darbo imlumo, ekonominiais, specialios technikos poreikio ir kitais aspektais.

Tikslui pasiekti keliami šie **uždaviniai**:

- apžvelgti įvairius gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodus bei technologijas;
- pasiūlyti gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo sprendinių alternatyvas;
- sukurti gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo variantų analizės ir palyginimo principus;
- pateikti modelio praktinio pritaikymo pavyzdį: parinkti gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo alternatyvas, sudaryti rodiklių sistemą variantams palyginti, apskaičiuoti variantų rodiklius ir, taikant pasirinktą daugiakriterės analizės metodą, nustatyti racionalų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo variantą.

1. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ REKONSTRUKCIJOS SVARBA IR METODAI

Kiekviename pastate ilgainiui atsiranda pokyčių, bloginančių jų eksploatacines savybes. Dėl vienų pablogėja komfortas, buities, darbo ir gamybos sąlygos, o kiti gali sukelti viso statinio arba jo pavienių konstrukcijų ar elementų irimą. (Simonavičiūtė 2003)

Statinio konstrukcijoms turi neigiamą įtaką šie veiksniai: klimatiniai poveikiai (vėjo, saulės radiacijos, lietaus, temperatūros pokyčiai), vidaus poveikiai (dujos, garai, temperatūros, skysčiai), mechaniniai poveikiai (apkrovos, smūgiai, vibracijos, trintis, technologiniai procesai). Dėl šių priežasčių statinio konstrukcijas tenka remontuoti, rekonstruoti arba net pakeisti naujomis.

Fizinis statinio nusidėvėjimas gali būti pašalinamas arba nepašalinamas. Nepašalinamas nusidėvėjimas yra tada, kai sąnaudos defektui ištaisyti viršija vertę, kuri būtų pridėta, bandant ištaisyti defektą. Pašalinamas nusidėvėjimas reiškia, kad sąnaudos bus mažesnės nei pridėta vertė (Matulis *et al.* 2012). Kartais būna tokių situacijų, kai reikia išsaugoti konstrukcijos autentiškumą ir tenka remtis naujausiomis konstrukcijų stiprinimo alternatyvomis.

1.1. Užsienio šalių patirtis stiprinant gelžbetonines konstrukcijas

1.1.1. Procesai, vykstantys betonavimo metu gelžbetoninėse monolitinėse konstrukcijose

Monolitinių gelžbetoninių statinių įvairių konstrukcijų eksploatacijos trukmė ir patikimumas daugiausia priklauso nuo betonavimo technologijos ir vidinių bei išorinių apkrovų poveikio betonavimo ir pradinio kietėjimo metu. Apkrovos klojiniais suvaržytoje konstrukcijoje atsiranda betonuojant ir kietėjant betonui. Nuėmus klojinius, monolitinės konstrukcijos betone atsiranda įtempiai dėl temperatūrų pokyčių, drėgmės migracijos ir vykstančių susitraukimo deformacijų. Dėl vidinių ir išorinių poveikių monolitinėse gelžbetoninėse konstrukcijose atsiranda įvairių tipų plyšių. Jų atsiranda pažeidus konstrukcijos betonavimo technologiją, nuėmus klojinius tolesnio kietėjimo ir konstrukcijos apkrovimo metu. Pastaraisiais metais užsienio šalyse ir Lietuvoje vis dažniau naudojami aukštybinių statinių monolitinių gelžbetoninių konstrukcijų statybos sprendimai. Aukštybinių pastatų ir inžinerinių statinių statyboje tobulinamos ir kuriamos šiuolaikinės pažangios statybos technologijos, naudojant specialius perstatomuosius ir slankiuosius klojinius. Naudojant slankiųjų klojinių technologiją, statomi aukštybiniai gyvenamieji, administraciniai, pramonės ir kiti inžineriniai statiniai (Žiogas *et al.* 2012).

Siekiant išvengti mikro. ir makropleišėjimo (ištisinio) monolitinėse konstrukcijose, svarbu nustatyti, kuriame betono kietėjimo etape ir kokio technologinio proceso metu atsiranda įtempiai betone, viršijantys tuo metu leistinus dydžius. Reikia tinkamai įvertinti procesus, vykstančius betonuojant konstrukciją ir užbetonavus skirtingas betono kietėjimo sąlygas. Betonuojant

konstrukcijas būtina įvertinti šiuos parametrus ir laikytis darbų atlikimo eiliškumo ir trukmių. Konstrukcija turi būti baigta betonuoti, kol dar neprasideda sutankinto betono struktūros intensyvus formavimasis *tst.* (Žiogas *et al.* 2012)

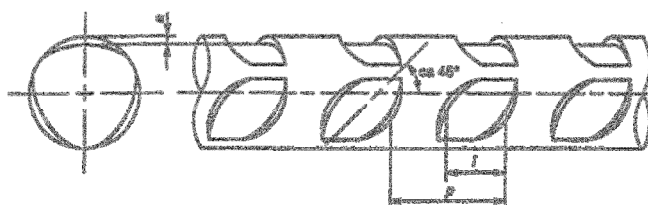
1.1.2 Iš anksto įtemptas gelžbetonis

Iš anksto įtemptas gelžbetonis yra vienas iš efektyviausių gelžbetoninių konstrukcijų tipų. Šios konstrukcijos vis plačiau naudojamos pramoninių, visuomeninių, žemės ūkio ir kitos paskirties pastatų statyboje. Labai efektyvu iš anksto įtemptą gelžbetonį naudoti įvairių pastatų ir statinių didelių tarpatramių konstrukcijoms: tiltų, garažų, daugiaaukščių pastatų, bokštų, reaktorių ir kt. Jų gamybai naudojama didelio stiprio armatūra ir betonas, dėl kurių išankstinis armatūros tempimas sukelia jėgas, kurios yra priešingos krypties veikiančioms išorės apkrovoms.

Surenkamieji įtemptojo gelžbetonio elementai yra plačiai naudojami statybos Europoje. Šiandien kiauřymėtos perdengimo plokštės ir įtemptosios sijos plačiai naudojamos betoninių konstrukcijų pastatų statyboje. Abiem atvejais įtempimo jėga yra paremta ryšiu tarp plieno (vielų ar vijų) ir betono.

Surenkamieji įtemptojo gelžbetonio konstrukciniai elementai paprastai yra pagaminti taip. Plienas (vijos ar atskiros vielos) yra įtempiamos ant didelės surenkamos įtempimo platformos naudojant inkarines galvas. Tokia platforma dažniausiai didesnė nei 100 m ar net 200 m. Tada išliejamas betonas ir kietinamas pagreitinio kietinimo būdu. Įtempimo jėga paleidžiama atleidus inkaravimo galvas. Galiausiai, plienas tarp atskirų struktūros elementų yra nukerpamas ir įtempimo jėga yra perduodama į kiekvieną iš jų.

Mechanizmas, kuris sukuria sąryšį tarp įtemptojo plieno ir aplinkinio betono, yra cheminiai klijai, trintis ir mechaninė sukibtis tarp vielos paviršiaus rumbų ir betono. Strypo paviršiaus geometrija yra ypač svarbi sukibimui 1.1 pav. parodyta strypo išpjovų geometrija, o 1.1 lentelėje – išpjovų matmenys (Galvez *et al.* 2009).



1.1 pav. Strypo rumbų geometrija (Galvez *et al.* 2009)

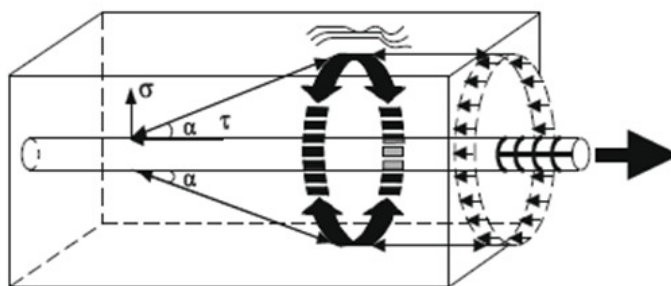
Sukibimo mechanizmas gali būti paaiškinamas per analogiškus mechanizmus, tokius kaip pasiūlytas Tepferso strypams gelžbetonyje (žr. 1.2 pav.). Kai išlaisvinama iš įtempimo jėga, nukerpant vielą, ji linkusi pradurti betoną ir sukelti tangentinius įtempius (sukibimo įtempiai) ir

radialinius įtempius plieno ir betono sąlyčio vietoje. Šie įtempiai gali būti susiję su kampu (žr. 1.2 pav.).

1.1 lentelė. Strypo išpjovų matmenys (Galvez et al. 2009)

Nominalus strypo diametras	Išpjovų matmenys		Ilgis l (mm)	Tarpai q (mm)
	Gylis a (mm x 10 ⁻²)			
	Tipas 1	Tipas 2		
3	2-6	2-6	3,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5
4	3-7	5-9	3,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5
5	4-8	6-10	3,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5
6	5-10	8-13	5,0 ± 0,5	8,0 ± 0,5
≥7	6-12	10-20	5,0 ± 0,5	8,0 ± 0,5

Be to, Hoyerio efektas, aprašomas pabaigoje, yra tiesiogiai susijęs su Puassono efektu. Esant rumbuotai vielai, Puassono efekto sukeltas pleišto veiksmas yra sustiprinamas rumbų, esančių ant vielos paviršiaus, padidėja žiediniai įtempiai šiose zonose. Šie aspektai gali būti naudingi sukibimui, tačiau jie gali būti žalingi betono plėtimuisi, t.y. gali pažeisti ryšį.



1.2 pav. Deformuoto strypo sukibimo elgsena (Galvez et al. 2009)

Įtemptojo gelžbetonio pranašumai ir naudojimo sritys. Iš anksto įtempto gelžbetonio savybės iš esmės skiriasi nuo įprastojo gelžbetonio (be išankstinio įtempimo). Žinoma, pastarąjį galima laikyti kaip dalinį įtemptojo gelžbetonio, kuriame pradiniai įtempiai yra lygūs nuliui, atvejį. Pagrindinis skirtumas tarp šių gelžbetoninių konstrukcijų – medžiagų gebėjimas eksploatacijos metu perimti išorines apkrovas. Įprastojo gelžbetonio konstrukcijoje visą apkrovą iki plyšių atsiradimo tempiamojoje zonoje perima betonas ir nedidelę dalį – armatūra. Dažnai plyšių atsiranda ir neveikiant apkrovai – dėl to, kad armatūra neleidžia betonui laisvai trauktis. Iš anksto įtemptoje konstrukcijoje visą apkrovą tempiamojoje zonoje perima armatūra. Tempiamojoje zonoje plyšių dėl betono traukumo neatsiranda, nes ji yra iš anksto apspausta. Iš pirmo žvilgsnio didelių skirtumų tarp šių rūšių gelžbetonių nėra, bet iš anksto įtemptas turi tokių pranašumų, lyginant su įprastuoju:

- tempimo įtempių nuo išorinių apkrovų betone panaikinimas, t. y. konstrukcijų atsparumo supleišėjimui padidėjimas;
- betono taupymas dėl mažesnių konstrukcijos skerspjūvių matmenų;

- dėl tos pačios priežasties sumažėjęs konstrukcijų savasis svoris ir kartu naudingumas dėl mažesnio svorio, perduodamo kitoms konstrukcijoms;
- plieno gali būti sutaupoma daugiau kaip 20 %, nes naudojamas didelio stiprio plienas, kurio negalima veiksmingai naudoti įprastajam gelžbetoniui;
- mažesnė betono ir armatūros išeiga, leidžianti sumažinti konstrukcijų kainą;
- konstrukcijų standumo padidėjimas, t. y. įlinkių sumažėjimas, leidžiantis perdengti didesnius tarpatramius, perimti didesnes apkrovas;
- padidėjęs atsparumas nuovargiui, veikiant daugkartinėms apkrovoms;
- laikomosios galios ribos padidėjimas, nes konstrukcijos, esant didesnėms apkrovoms, dirba esant tamprumo stadijai;
- padidėjęs lanksčių centriškai ir necentriškai (su mažu ekscentricitetu) gniuždomų konstrukcijų pastovumas, nes dėl išankstinio apspaudimo padidėja kritinė jėga ir laikomoji galia;
- galimybė naudoti surenkamuosius iš anksto pagamintus elementus, juos sujungiant įtempiamąją armatūrą (Galvez *et al.* 2009).

Iš anksto įtemptų gelžbetoninių plokščių nuovargio tyrimas. Siekiant nustatyti gelžbetoninių plokščių nuovargio poveikį yra atliekami eksperimentiniai tyrimai. Naudojamos didelio tarpatramio gelžbetoninėse plokštėse siekiama užtikrinti kuo mažesnį sijų skaičių. Reliai atlikto bandymo metu buvo tiriamos 1:3 masteliu pagamintos plokštės, vieną iš jų tiriama laikomoji galia, o kitos nuovargis, naudojant judančią ratų apkrovą ir siekiant patikrinti esamų formulių galiojimą. Atlikus tyrimus buvo nustatyta, jog naudojamos Eurokodo 2 formulės yra konservatyvios praktinio panaudojimo atžvilgiu. Tačiau tiriant plokščių nuovargį buvo nustatyta jog laikomoji galia yra mažesnė negu buvo tikėtasi pagal formulių parodymus.

Siekiant didinti tarpatramį neišvengiamai didėja plokščių aukštis bei svoris, taip pat didėja ir sijų matmenys, kol pasiekiamas taškas, kai visa konstrukcija tampa neekonomiška. Yra gerai žinoma, jog iš anksto įtempiant plokštes padidėja atsparumas nuovargiui, nekeičiant plokštės matmenų (Hoonhee *et al.* 2010).

1.1.3. Šlako panaudojimas betoniniuose gaminiuose

Gaminant plieno produkciją aukštakrosnėse lieka šlakas, kuris gali būti panaudojamas kaip cementuojanti medžiaga betone. Tačiau maltas granuliuotas aukštakrosnių šlakas (angl. GGBFS, ground granulated blast furnace slag) pavirsta žemos kokybės produktu, kadangi jis panaudojamas kaip mažai šilumos išskirianti cementuojanti medžiaga žemos kokybės betone, bei cementiniame skiedinyje. Tikslas yra prisidėti prie GGBFS platesnio panaudojimo betonuojant didelio tarpatramio konstrukcijas Kinijoje, sumažinant daug brangesnių medžiagų, tokių kaip tankesnis armavimas,

panaudojimo siekiant sumažinti įtrūkių atsiradimo galimybę. Specialus dėmesys yra skiriamas ankstyvųjų betono stadijų šiluminio susitraukimo tyrimui.

Tyrimo studijos metu modeliuojant komercinio pastato Šanchajuje kainos pokytį naudojant tradicinį įtrūkius mažinanti armavimą. Taip pat buvo siekiama sumažinti vien tik dėl šiluminio poveikio atsirandančius įtrūkius panaudojant GGBFS kaip iš dalies cementą pakeičiančią medžiagą. Tyrimų studija paremta baigtinių elementų modeliavimu, siekiant ištirti šilumos plitimą ankstyvose betono džiūvimo stadijose bei šiluminių įtempių atsiradimo poveikį.

Betono ankstyvojo amžiaus susitraukimas vyksta dėl šilumos plitimo, atsirandančio cementui įgeriant vandenį. Šilumos plitimas betono mišiniuose, į kurių sudėtį įeina GGBFS, yra lėtesnis negu tradiciniuose cemento mišiniuose. Taigi aukščiausias pasiekta temperatūra GGBFS betono mišiniuose yra mažesnė. Tokie rezultatai sumažina terminį susitraukimą (Hoonhee *et al.* 2010).

GGBFS panaudojimas efektyviai sumažina terminius įtempius, kaip ir papildomas įtrūkius mažinantis armavimas. Pakeitus daugiau negu 30 % tradicinio cemento į GGBFS galima sumažinti apytiksliai 25 % papildomo armavimo. Pakeitus 70 % tradicinio cemento, galima sumažinti papildomą armavimą 40 % (Tang *et al.* 2012).

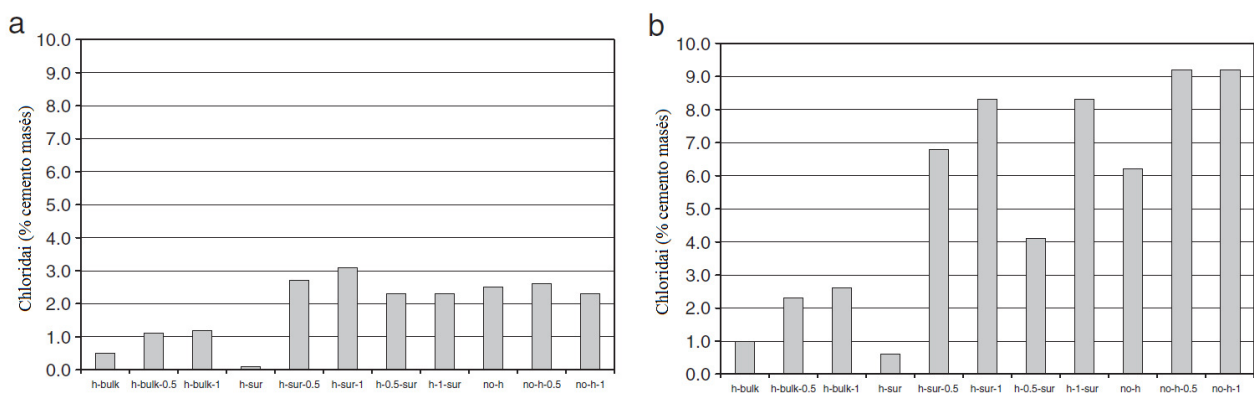
1.1.4. Gelžbetonio korozija

Atmosferos sąlygos yra pats žalingiausias veiksnys statybinėms medžiagoms. Galima pamatyti eksfoliaciją (lupimąsi sluoksniais), atpleišėjimą, suirimą ir armatūros koroziją. Atmosferos sąlygos yra susijusios su vandens įsigėrimu į poringas medžiagas, vanduo veikia kaip pagrindinis agresyvių medžiagų, tokių kaip chloridai, sukeliantys armatūros koroziją, nešiklis. Taip pat vanduo labai svarbus daugeliui nusidėvėjimo procesų (Tittarelli *et al.* 2008).

Vandens lašeliai, kontaktuodami su betonu, kuris yra porėta hidrofilinė medžiaga, sudrėkina kietą paviršių pasklisdamas ir įsiskverbdamas į cemento rišamąsias medžiagas dėl kapiliarinių jėgų, kurios veikia pagal Washburno lygtį, $p = (2 \gamma / r_c) \cos \sigma$, kur γ yra skysčio paviršiaus įtempis, r_c yra kapiliarinio poringumo spindulys, o σ yra kontakto kampas. Kontakto kampas yra mažesnis už 90° , p yra teigiamas ir vanduo užpildo poras spontaniškai. Kadangi molekulinė trauka tarp vandens ir betono porų sienelių gali būti sumažinama naudojant hidrofobines medžiagas, tokias kaip silanai ir siloksanai, paviršiaus paruošimas naudojant hidrofobinėmis medžiagas, įmaišant jas tiesiai į mišinį, turėtų padidinti betono ilgaamžiškumą. Hidrofobiniai priedai apsaugo plieninę armatūrą nuo korozijos tik tinkamai paruoštame betone, o sutrūkinėjusiame betone jie gali sukelti katastrofinę koroziją. Ši netikėtą rezultatą lemia geresnė deguonies difuzija per neprisotintas hidrofobines cemento medžiagas. Tačiau, jeigu armatūra yra cinkuota, jau buvo išbandyta ir nustatytas jos didžiausias pasyvumas deguonies poveikiui, hidrofobinių mišinių naudojimas visais atvejais pagerina cinkuotos plieninės armatūros betone atsparumą korozijai, net esant betono įtrūkiams,

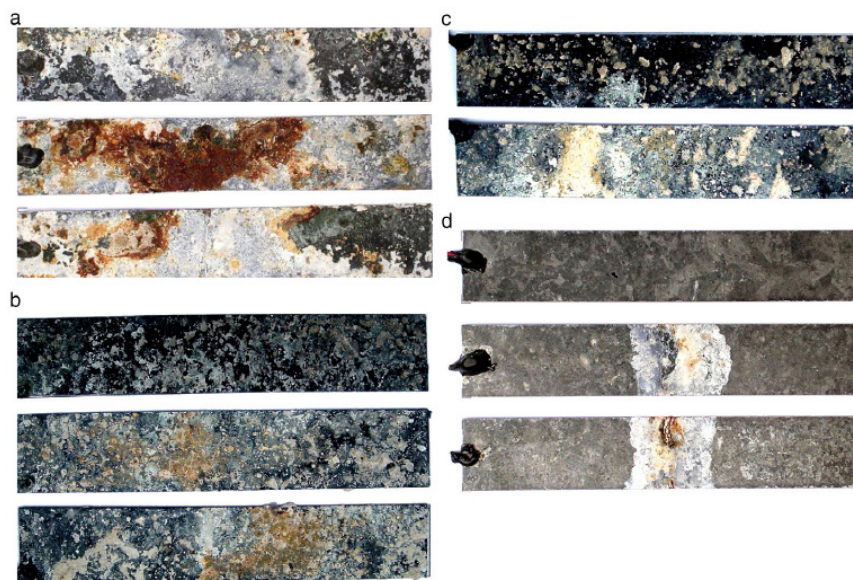
ypač naudojant betoną su aukštu vandens ir cemento santykiui. Šiame darbe, birių hidrofofinių medžiagų naudojimos efektyvumas prieš cinkuotos plieno armatūros koroziją gelžbetonyje, kurio vandens ir cemento santykis yra 0,45 ir kai vandens ir cemento santykis yra 0,75 buvo lyginamas su paviršiaus dengimu, net jeigu yra atsivėrę 0,5 ir 1,0 mm plyšiai. Šiuo atveju paviršių hidrofofinis apdorojimas buvo naudojamas abiem atvejais, prieš ir po įtrūkimo ir kaip restauravimo būdas prieš gelžbetonio irimą (Tittarelli *et al.* 2011).

Chlorido kiekis ir vizualinis vertinimas. Nurodytas chlorido kiekis grafikuose yra vidutinių verčių, gautų pagal atliktą trijų, kiekvieno konkretaus tipo pavyzdžių analizę. Betonuose su vandens ir cemento santykis yra 0,45 (žr. 1.3 pav.a) chlorido vertės svyravo nuo 0,2 % nuo cemento svorio lygaus hidrofofinio betono (nepriklausomai nuo apdorojimo būdo) iki 3 % nuo cemento svorio nehidrafofiniame betone arba sutrūkinėjusiame betone, kurio paviršius dengtas hidrofofinėmis medžiagomis. Betonuose, kai vandens ir cemento santykis yra 0,75 (žr. 1.3 pav.b), chlorido vertės paprastai svyravo nuo 0,7 % lygaus hidrofofinio betono (nepriklausomai nuo apdorojimo būdo) iki 9,0 % nuo cemento svorio nehidrafofiniame betone arba sutrūkinėjusiame betone, kurio paviršius dengtas hidrofofinėmis medžiagomis. Visų pirma, tik akivaizdžių įtrūkių tvarkymas biriomis hidrofofinėmis medžiagomis visada gali sumažinti chlorido skverbimą. (žr. 1.3 pav.a ir b) žymiai bent apie 50 % ir 70 %, kai betono bandinių vandens ir cemento santykis yra 0,45 (žr. 1.3 pav.a) ir betono bandinių su vandens ir cemento santykis yra 0,75 (žr. 1.3 pav.b) naudojami atitinkamai. Tačiau, kai naudojamas betonai su aukštu vandens ir cemento santykiu (betono bandinių vandens ir cemento santykis yra 0,75), paviršiaus apdorojimas taip pat yra efektyvus, mažinant chlorido skverbimąsi naudojant jį kaip atkuriamąjį metodą 0,5 mm pločio betono plyšiams padengti (žr. 1.3 pav.b) (Tittarelli *et al.* 2011).



1.3 pav. Chloridų jonų koncentracija (% cemento masės): a) kai betono bandinių su vandens ir cemento santykis yra 0,45 b) kai betono bandinių su vandens ir cemento santykis yra 0,75 (Tittarelli *et al.* 2011)

Cinkuoto plieno plokštelės ištrauktos iš nehidrofobinio betono (žr. 1.4 pav.a), buvo stipriai paveiktos korozijos, ant paviršiaus pastebimos raudonos rūdys, kurios rodo, kad apsauginis cinko sluoksnis buvo visiškai suiręs. Dėl hidrofobinio paviršiaus apdorojimo, kuris taikomas kaip atkuriamasis metodas (žr. 1.4 pav.b ir c), atsirado tamsios Fe–Zn primaišos ant plokštelių, daugiau nematomomis cinko granulėmis ant paviršiaus. Tai rodė visišką cinko sluoksnio sunykimą tiek lygiame, tiek turinčiame 0,5 mm pločio plyšius betone. Kitais atvejais, šviesiai raudonos rūdys atsirado ant paviršiaus tikriausiai dėl korozijos Fe lydinio sluoksniuose dėl Fe–Zn lydinių nestabilumo dalyvaujant chloridams. 1,4 pav. pateikiamos nuotraukos tiek cinkuoto plieno plokštelių įtvirtintų į betoną, kurio vandens ir cemento santykis yra 0,75. Tačiau labai panaši tendencija pastebėta vizualiai įvertinant cinkuoto plieno armatūrą, pašalintą iš bandinių pavyzdžių, kai vandens ir cemento santykis yra 0,45.



1.4 pav. [betonuotų cinkuotų plieno plokščių pavyzdžiai: a) bandinai, kurių vandens ir cemento santykis 0,75, kai nėra hidrofobinės priemaišos; b) bandinai, kurių vandens ir cemento santykis 0,75 prieš suyrant hidrofobinio betono paviršiui; c) bandinai, kurių vandens ir cemento santykis 0,75 prieš suyrant hidrofobinio betono paviršiui iki 0,5 mm; d) bandinai, kurių vandens ir cemento santykis 0,75 prieš suyrant hidrofobinio betono paviršiui iki 1,0 mm (Tittarelli *et al.* 2011)]

Apibendrinimas. Birių hidrofobinių medžiagų naudojimo efektyvumas prieš chlorido sukeltą cinkuoto plieno armatūros koroziją betone (kai vandens ir cemento santykis yra 0,45 ir 0,75) buvo palyginti su bandiniais, kurių paviršius buvo dengtas hidrofobinėmis medžiagomis, net su 0,5 ir 1,0 mm pločio plyšiais. Paviršiaus hidrofobinis padengimas buvo naudojamas tiek prieš plyšių atsiradimą, tiek po to, atitinkamai kaip prevencinis ir kaip atkuriamasis metodas prieš gelžbetonio irimą. Gauti rezultatai parodė, kad birios hidrofobinės medžiagos yra efektyviausias gelžbetonio apdorojimas, norint pagerinti jo atsparumą korozijai, naudojant cinkuoto plieno armatūrą betone, taip pat mažina plyšių atsiradimą. Ypač kai priimamas aukštas vandens ir cemento santykis, paviršiaus hidrofobinis apdorojimas yra veiksmingas, siekiant užkirsti kelią vandens įsiskverbimui

per trumpą laiką (kelias dienas) kontakto su vandeniu metu. Be to, hidrofobinis paviršiaus apdorojimas gali žymiai pagerinti cinkuoto plieno armatūros atsparumą korozijai betone tik pirmuosius kelis ciklus ir kai naudojamas kaip atkuriamasis metodas 0,5 mm pločio plyšiams (Tittarelli *et al.* 2011).

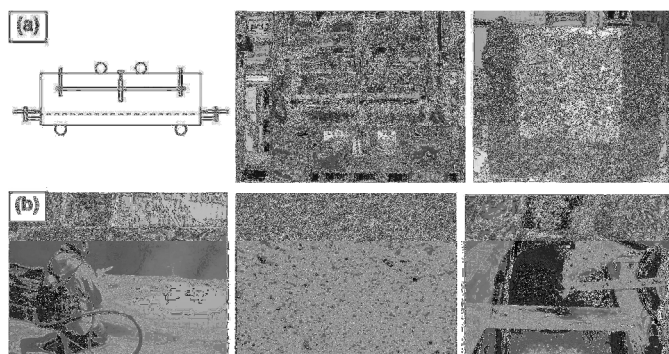
1.1.5. Gelžbetoninių sijų stiprinimas armuotu polimeriniu pluoštu

Pastaraisiais metais išaugo susidomėjimas gelžbetonio stiprinimu ir remontu. Be gerai žinomos seisminio poveikio atsparumo nepakankamumo problemos, konstrukcijų stiprinimas gali būti reikalingas ir dėl konstrukcinių medžiagų nusidėvėjimo (sukelto patvarumo problemų) arba dėl projektinės apkrovos padidėjimo. Be to, yra svarbių infrastruktūrų, tokių kaip tiltai ar tuneliai, kurie turi būti tvarkomi norint išvengti socialinių išlaidų, susijusių su griovimu ir naujų statinių rekonstrukcija.

Architektai daržniausiai siūlė tradicines stiprinimo technikas, kurios buvo grindžiamos išoriniu surišimu ar gelžbetonio apvilkimu. Pastaruoju metu naujas sprendimas įgijo didelį palankumą, jis susijęs su armuoto polimerinio pluošto naudojimu konstrukcijų stiprinimui. Visi šie metodai gali būti sėkmingai naudojami, tačiau jie turi tam tikrų apribojimų. Visų pirma, gelžbetonio apvarkalo naudojimas galimas dedant 60 – 70 mm sluoksnį tai yra reikalaujamas minimalus betono apsauginis sluoksnis. Išorėje naudojamas armuotas polimerinio pluoštas gali turėti problemų dėl atsparumo ugniai. Be to, naudojant šią techniką gali būti netenkinami minimalūs reikalavimai ribiniam būviui (Martinola *et al.* 2010).

1.1.6. Apvarkalo naudojimo technologija

Buvo atliekami pirminiai bandymai, siekiant apibrėžti aukštos kokybės pluoštu armuoto sluoksnio naudojimą. Ypatingas dėmesys buvo skiriamas sukibimo tarp bazinio betono ir naujos medžiagos kontrolei. Siekiant šio tikslo, pirmoji bandymų serija buvo atlikta su 150 _ 150 _ 600 mm bandiniais, pagamintais iš vienodo betono, naudojamo natūralaus dydžio sijoms. Po paviršiaus nuvalymo smėlio srove, buvo dedamas 40 mm storio aukštos kokybės pluoštu armuoto betono sluoksnis. Toliau buvo apibrėžta aukštos kokybės pluoštu armuoto betono sluoksnio naudojimo technologija. Normalaus dydžio sijos buvo nuvalomos aukšto slėgio smėlio srove, kuri sušiurkština paviršių iki 1–2 mm, tai laikoma pakankamu šiurkštumu, norint išvengti klijų naudojimo (1.5 b pav.). Aukštos kokybės pluoštu armuotas betonas buvo dedamas tiesiai ant sijų, nenaudojant vibracijos (1.5 b pav.). Kadangi kietėjimas vyko esant normaliai aplinkos temperatūrojai ir drėgmei, sijos buvo apdengiamos plastikine plėvele, norint apriboti vandens garavimą (Martinola *et al.* 2010).

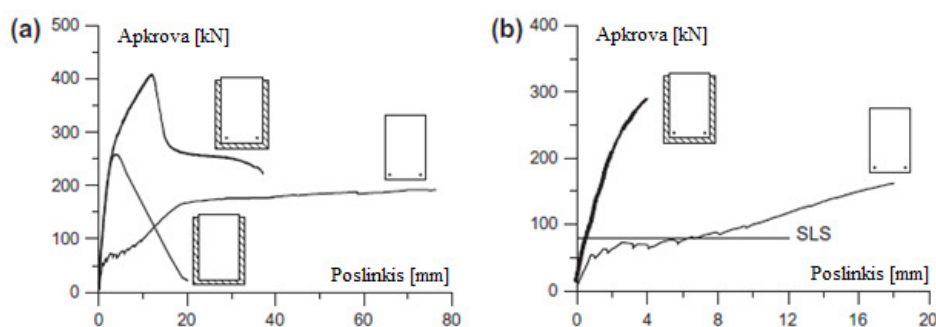


1.5 pav. Gelžbetoninė sija sustiprinta armuotu apvalkalu: a) sijos sluoksnio vertinimas bandymais; b) paviršiaus paruošimas aukšto slėgio smėlio srove (Martinola *et al.* 2010)

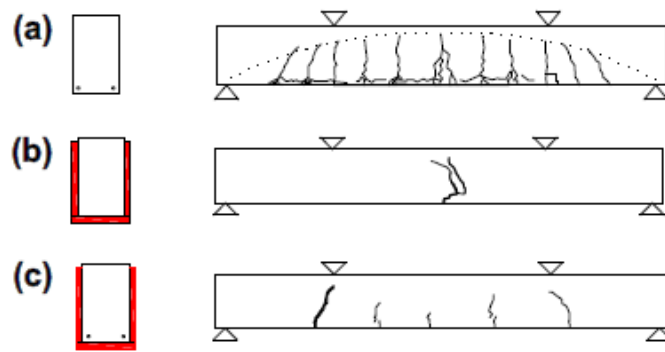
Pirma testuojamos įprastos sijos (gelžbetoninės, be aukštos kokybės pluoštu armuoto betono apvalkalo). 1.6 a pav. parodyta visiškai uždėtos apkrovos kreivė (įskaitant apkrovimo rėmo savąjį svorį), lyginant su vidurinio ruožo poslinkiu.

Normalių gelžbetoninių sijų elgsena yra gerai žinoma, tačiau reikia pabrėžti keletą pastebėjimų. Pagrindiniai eksperimentiniai pastebėjimai:

- esant 50 kN apkrovai, dėl lenkimo momentų susidarė įtrūkiai tarp dviejų taškinių apkrovų. Tarpai tarp plyšių svyravo tarp 300 ir 400 mm (plyšių gylis buvo apie 430 mm, kai gniuždoma juosta buvo apie 70 mm);
- po to kiekviename įtrūkyje, armatūros lygyje atsivėrė plyšiai, dėl kurių išilginė armatūra ir betonas pradėjo dirbti atskirai (1.6 pav.), tai nėra įprastas efektas. Jį sukėlė mažas armatūros kiekis ir prasta betono kokybė;
- su mažesniu standumu apkrova toliau didėjo, kol armatūra pasidavė (1.6 pav.), apkrova 190 kN;
- dėl nepakankamo sukibimo sijos standumas nepaprastai sumažėjo ir atsirado didelės deformacijos;
- atsiradę plyšiai nuo viršutinio gniuždymo sudaro arkos mechanizmo geometriją (1.7 pav.a).



1.6 pav. Sustiprintų sijų poslinkių priklausomybės nuo apkrovos grafikai: a) visos kreivės; b) ir pradinė kreivės dalis (naudojimo būvis) (Martinola *et al.* 2010)

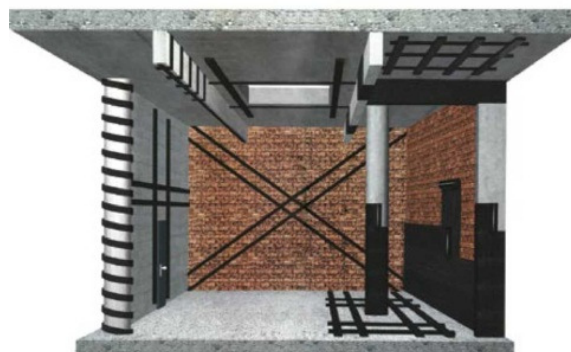


1.7 pav. Plyšių pasiskirstymas suirus: a) gelžbetoninės sijos be apvalkalo; b) betoninės sijos, sustiprintos aukštos kokybės pluoštu armuotu gelžbetonio apvalkalu; c) gelžbetoninės sijos su aukštos kokybės pluoštu armuotu gelžbetonio apvalkalu (Martinola *et al.* 2010)

Pateikta informacija apie konstrukcinių sijų, kurios buvo stiprinamos arba remontuojamos naudojant aukštos kokybės pluoštu armuotą betoną, savybės. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad tai daug žadanti technologija.

1.1.7. Stiprinimas anglies pluoštu

Konstrukcijoms stiprinti pastaruoju metu naudojamas anglies pluoštas, kuris yra kur kas stipresnis už plieną ir turi geresnių deformacinių savybių (žr. 1.8 pav). Klįjuojant pluoštą klįjai įsigeria į paviršinius betono sluoksnius. Tai pakeičia fizines ir mechanines betono savybes, kurios priklauso nuo jo struktūros. Eksperimentiniai gelžbetoninių sijų tyrimai patvirtino klįjų įsigerimo į betoną ir betono sustiprėjimo prielaidą. Nustatyta, kad supleišėjus gelžbetoninių konstrukcijų tempiamajai zonai, betono ir anglies pluošto jungties standumas sumažėja. Jungtyje išryškėjusios šlyties deformacijos sumažina sustiprinto elemento standumą ir stiprumą. Buvo nagrinėti ir papildomi anglies pluošto tvirtinimo būdai. Nustatyta jų įtaka stiprinimo efektyvumui. Pateikta sustiprintų elementų stiprumo skaičiavimo metodika, leidžianti įvertinti anglies pluošto ir betono jungties standumą (Valivonis *et al.* 2006).



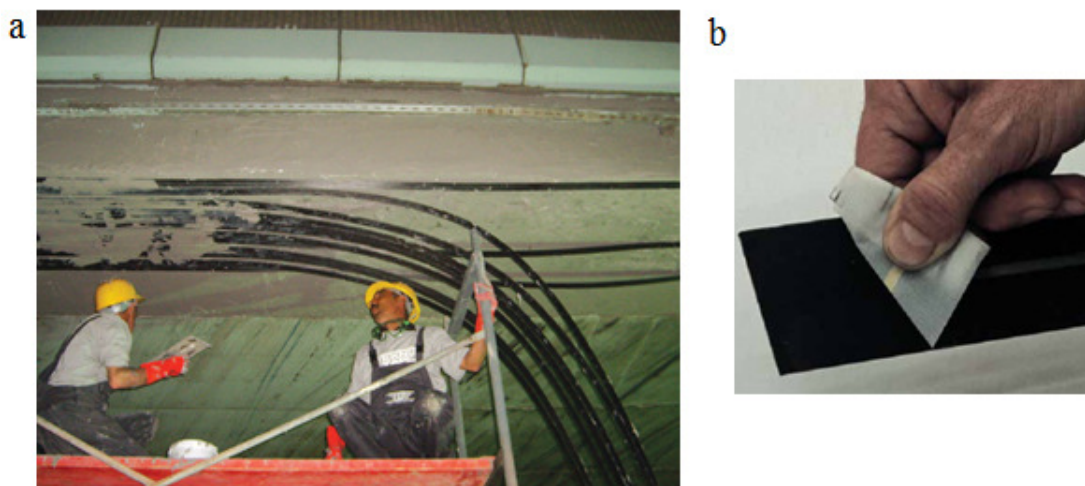
1.8 pav. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas anglies pluošto sistemomis (Patobulintos „Sika“...2007)

1.1.8. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas anglies pluošto sistemomis

Epoksidine derva impregnuota anglies pluošto juosta. Ši impregnuota anglies pluošto juosta naudojama pažeistų konstrukcijų remontui ir laikomosios galios didinimui, taip pat konstrukcijų, esančių seisminėse zonose stiprinimui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Lenkimo momento veikiamų sijų laikomosios galios didinimui ir remontui;
- Gaisro pažeistų konstrukcijų remontui;
- Konstrukcijų, pažeistų žemės drebėjimų metu, remontui;
- Konstrukcijų su dideliu lenkimo spinduliu (tokių kaip perdangos, rezervuarai, cisternos) laikomosios galios atstatymui ir didinimui;
- Viadukų ir tiltų perdangų laikomosios galios didinimui padidėjus statinėms bei dinaminėms apkrovoms;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms (dėl papildomos įrangos, padidėjusio žmonių srauto, papildomų konstrukcijų ir pan.);
- Stovėjimo aikštelių perdangų stiprinimui;
- Vibracijos ir dinaminių apkrovų veikiamų konstrukcijų stiprinimui;
- Skliautinių konstrukcijų anti-seisminiam stiprinimui;
- Esamų konstrukcinių elementų laikomosios galios didinimui nekeičiant konstrukcijos geometrijos. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)

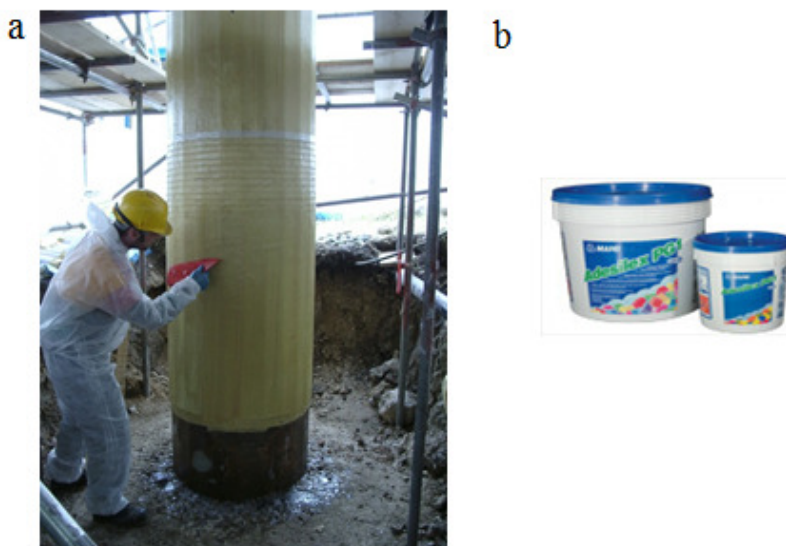


1.9 pav. Epoksidine derva impregnuota anglies pluošto juosta: a) impregnuotos anglies pluošto juostos įrengimas; b) juostos pavyzdys (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Construction reinforcement...2010)

Dviejų komponentų, epoksidinių dervų pagrindo, tiksotropiniai klijai konstrukciniam klijavimui. Šie klijai naudojami konstrukcinių gelžbetoninių elementų, natūralaus akmens, tinko ir plytų mūro remontui, stiprinimui ir klijavimui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Konstrukcinis sijų ir kolonų armavimas ir stiprinimas priklijuojant plieno lakštus (béton plaqué metodas) arba kompozitines medžiagas (pvz., anglies pluošto Carboplate) prie betono.
- Injektavimo įrenginių ir paviršiaus pažeidimų sandarinimas prieš injektuojant Epojet žemo slėgio siurbliu.
- Didelių įtrūkių sandarinimui ir mazgų kampų/briaunų remontui pramoninėse grindyse, veikiamose eismo.
- Anglies pluoštu armuotų betoninių perdangų ir vamzdžių klijavimui.
- Didelių matmenų mazgų hidroizoliavimas klijuojant TPE juostas (pvz., Mapeband TPE) prie betono. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)



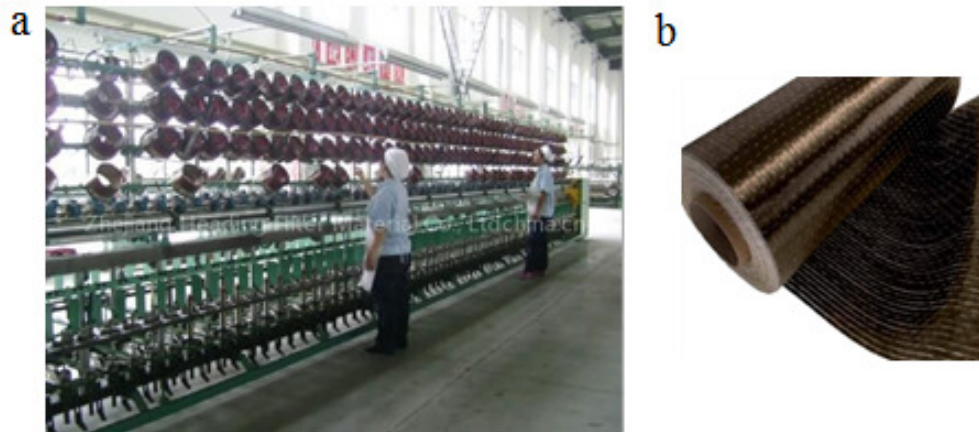
1.10 pav. Dviejų komponentų, epoksidinių dervų pagrindo, tiksotropiniai klijai konstrukciniam klijavimui: a) klijų panaudojimas stiprinant koloną; b) klijų pakuotė (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Structural strengthening...2012)

Didelio stiprumo vienkryptis bazalto pluošto audinys. Ši vienkryptčio bazalto pluošto audinio sistema yra tinkama gelžbetoninių konstrukcijų, pažeistų fizinių-mechaninių veiksnių, remontui. Taip pat tinkama mažinti gniuždomuosius ir lenkiamuosius įtempius betoniniuose ir gelžbetoniniuose elementuose ir konstrukcijų stiprinimui seisminėse zonose.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Konstrukcijų skersinės zonos remontui ir laikomosios galios didinimui;

- Ašine jėga apkrautų konstrukcinių elementų (kolonų, tiltų ir viadukų atramų, kaminų, dūmtraukių ir pan.) suvaržymui ir laikomosios galios didinimui;
- Skliautinių konstrukcijų antiseisminiam stiprinimui;
- Gaisro pažeistų konstrukcijų remontui;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)



1.11 pav. Didelio stiprumo vienkryptis bazalto pluošto audinys: a) vienkrypčio bazalto pluošto gamybos procesas; b) bazalto pluošto audinio pavyzdys (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Basalt fiber...2014)

Didelio stiprumo vienkryptis anglies pluošto audinys, pasižymintis labai aukštu tamprumo moduliu. Šis anglies pluošto audinys, pasižymintis labai aukštu tamprumo moduliu jį galima naudoti pažeistų konstrukcijų remontui ir laikomosios galios didinimui, taip pat konstrukcijų, esančių seisminėse zonose stiprinimui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Konstrukcijų tempiamosios zonos laikomosios galios didinimui;
- Ašine jėga apkrautų konstrukcinių elementų (kolonų, tiltų ir viadukų atramų, kaminų, dūmtraukių ir pan.) suvaržymui ir laikomosios galios didinimui;
- Skliautinių konstrukcijų antiseisminiam stiprinimui;
- Gaisro pažeistų konstrukcijų remontui;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)

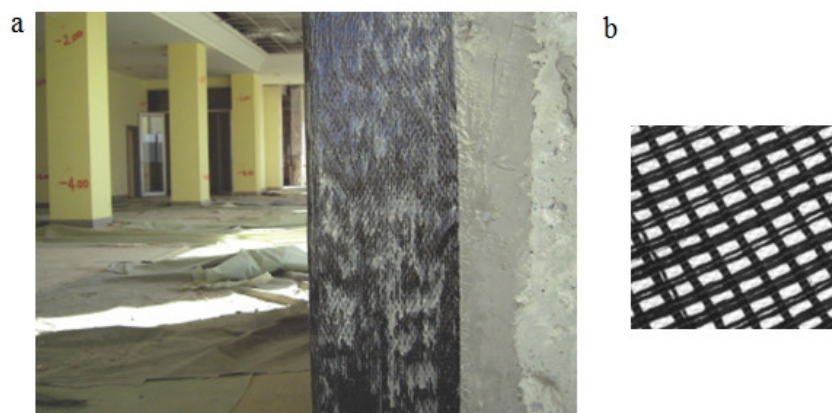


1.12 pav. Didelio stiprumo vienkryptis anglies pluošto audinys, pasižymintis labai aukštu tamprumo moduliu: a) anglies pluošto audinio įrengimas; b) vienkryptčio anglies pluošto audinio struktūra (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Unidirectional carbon...2013)

Didelio stiprumo dvikryptis anglies pluošto audinys. Šis didelio stiprumo dvikryptis anglies pluošto audinys naudojamas pažeistų konstrukcijų remontui ir gelžbetoninių elementų laikomosios galios skersinėje ir lenkimo zonoje didinimui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Konstrukcijų tempiamosios zonos laikomosios galios didinimui;
- Ašine jėga apkrautų konstrukcinių elementų (kolonų, tiltų ir viadukų atramų, kaminų, dūmtraukių ir pan.) suvaržymui ir laikomosios galios didinimui;
- Skliautinių konstrukcijų anti-seisminiam stiprinimui;
- Gaisro pažeistų konstrukcijų remontui;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)

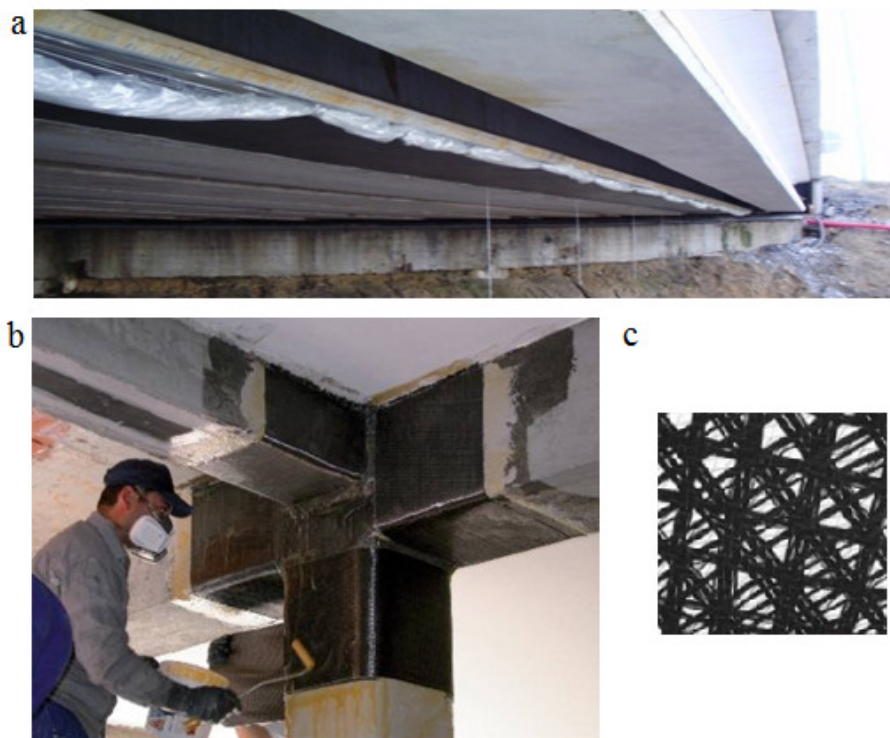


1.10 pav. Didelio stiprumo dvikryptis anglies pluošto audinys: a) anglies pluošto audinio panaudojimo pavyzdys; b) dvikryptčio anglies pluošto audinio struktūra (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Construction reinforcement...2010)

Didelio stiprumo daugiakryptis anglies pluošto audinys. Ši sistema yra tinkama gelžbetoninių konstrukcijų, pažeistų aplinkos ar kitų žalingų veiksnių ir kuriose nėra aiškus įtempų pasiskirstymo, remontui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Gelžbetoninių konstrukcijų, tokių kaip perdangos plokštės, nedideli skliautai ar talpyklos, remontui, kai nėra žinoma įtempų pasiskirstymo jų skerspjūvyje kryptis;
- Seisminis skliautinių konstrukcijų stiprinimas ir remontas nedidinant jų masės;
- Kolonos ir sijos sujungimo mazgų seisminis stiprinimas;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)



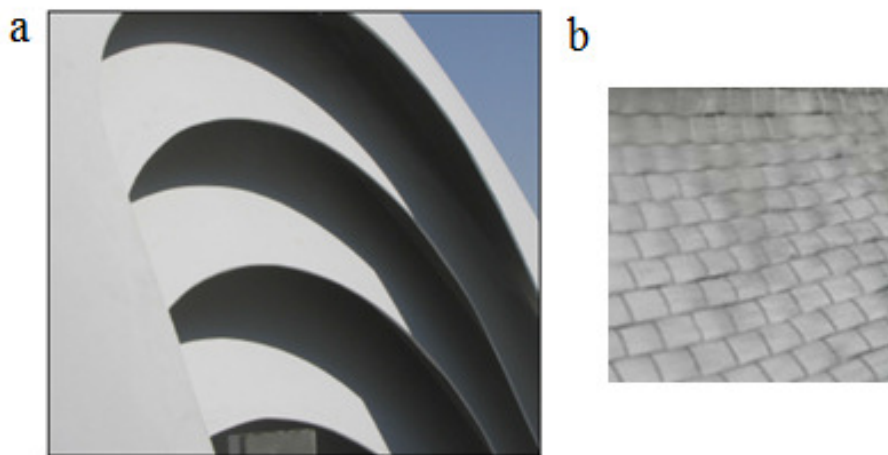
1.14 pav. Didelio stiprumo daugiakryptis anglies pluošto audinys: a) anglies pluošto audinio panaudojimo pavyzdys stiprinant tilto konstrukcijas; b) anglies pluošto audinio panaudojimo pavyzdys stiprinant kolonos ir sijų sandūrą; c) daugiakrypčio anglies pluošto audinio struktūra (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Carbon fibre...2014; Fiber reinforced...2014)

1.1.9. Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimas stiklo pluošto sistemomis

Vienkryptis stiklo pluošto audinys. Šis stiklo pluošto audinys naudojamas pažeistų konstrukcijų remontui ir laikomosios galios didinimui, taip pat konstrukcijų, esančių seisminėse zonose, stiprinimui.

Naudojimo pavyzdžiai:

- Konstrukcijų tempiamosios zonos laikomosios galios didinimui;
- Ašine jėga apkrautų konstrukcinių elementų (kolonų, tiltų ir viadukų atramų, kaminų, dūmtraukių ir pan.) suvaržymui ir laikomosios galios didinimui;
- Skliautinių konstrukcijų antiseisminiam stiprinimui;
- Gaisro pažeistų konstrukcijų remontui;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)

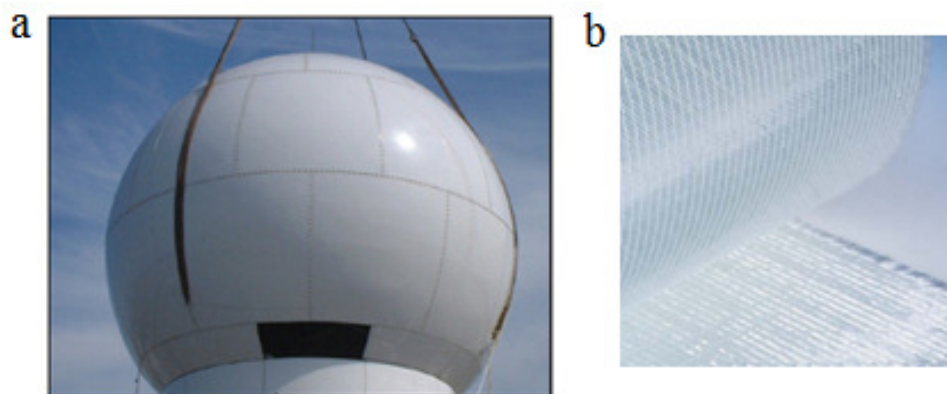


1.15 pav. Vienkryptis stiklo pluošto audinys: a) stiklo audinio pluošto panaudojimo pavyzdys stiprinant skliauto konstrukcijas; b) vienkrypčio stiklo pluošto audinio struktūra (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Technical design...2014)

Daugiakryptis stiklo pluošto audinys. Ši sistema yra tinkama gelžbetoninių konstrukcijų, pažeistų aplinkos ar kitų žalingų veiksnių ir kuriose nėra aiškų įtempių pasiskirstymo, remontui.

Naudojimo pavyzdžiai:

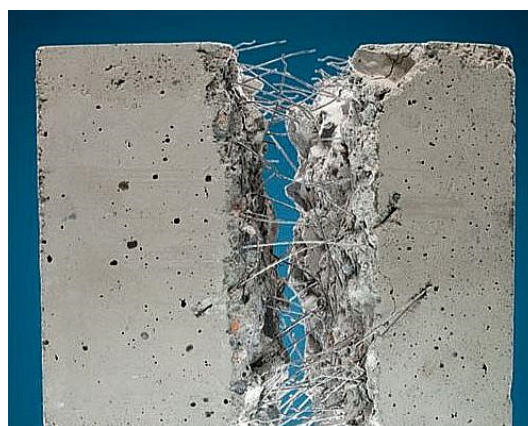
- Gelžbetoninių konstrukcijų, tokių kaip perdangos plokštės, nedideli skliautai ar talpyklos, remontui, kai nėra žinoma įtempių pasiskirstymo jų skerspjūvyje kryptis;
- Seisminis skliautinių konstrukcijų stiprinimas ir remontas nedidinant jų masės;
- Kolonos ir sijos sujungimo mazgų seisminis stiprinimas;
- Pramoninių ir gyvenamųjų pastatų konstrukcijų laikomosios galios didinimui padidėjus eksploatacinėms apkrovoms ar pasikeitus pastato paskirčiai. (Konstrukcijų stiprinimas...2013)



1.16 pav. Daugiakryptis stiklo pluošto audinys: a) audinio panaudojimo pavyzdys talpyklos įrengimui; b) daugiakrypčio stiklo pluošto audinio struktūra (Konstrukcijų stiprinimas...2013; Technical design...2014)

1.1.10. Lengvojo betono panaudojimas

Konstruktinis su lengvaisiais užpildais betonas (SLWAC) yra normalaus svorio statybinių medžiagų alternatyva, turinti mažesnę tankį ir gebėjimą pasiekti gana didelį gniuždomąjį stiprį. Nepaisant to, lengvieji užpildai, naudojami vietoj normalaus svorio užpildų, realiai gali pabloginti kai kurias kompozito savybes. Vienas iš lengvojo betono SLWAC savybių tobulinimo būdų yra plieninių fibrų įterpimas į betono sudėtį. Plieninių fibrų poveikis konstrukcinio lengvojo betono su lakiaisiais pelenais savybėms. Tikslui pasiekti buvo parinktos pagal tankį ir gniuždomąjį stiprį dvi skirtingos betono sudėtys su skirtingais (30, 45 ir 60 kg/m³) plieninių fibrų tankiais. Paruošti bandiniai buvo naudoti gniuždomajam stipriui ir kitoms savybėms nustatyti. Tyrimų rezultatai parodė, kad plieninių fibrų priedas nepablogino reologinių betono mišinio rodiklių. Nepaisant palyginti mažo fibrų kiekio, labai padidėjo bandinių lenkiamasis ir tempiamasis stipris. Fibros taip pat pagerino deformacines betono savybes. Gauta kompozito gniuždomasis stipris iš dalies priklausė nuo naudojamų plieninių fibrų charakteristikų. Tačiau plieninių fibrų priedas nepakeitė SLWAC tamprumo modulio. (Domagala *et al.* 2011)

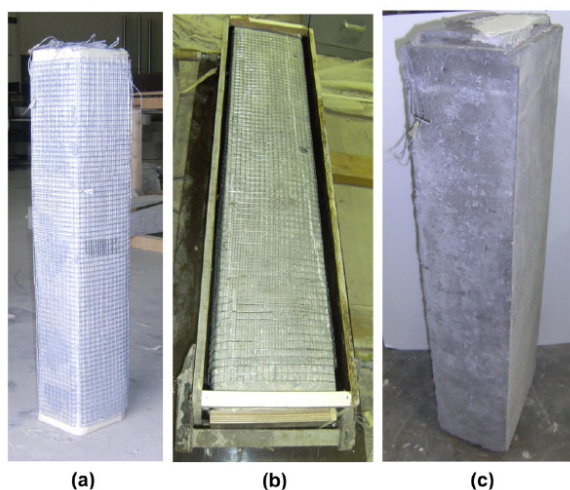


1.17 pav. Lengvasis betonas su plieninėmis fibromis (Steel fiber...2011)

1.1.11. Gelžbetoninių kolonų restauravimas ir stiprinimas, naudojant armuotą apvaskalą

Armuotas apvaskalas paruošiamas naudojant du suvirintos vielos tinklo sluoksnius, padengtus takiu, didelio stiprumo skiediniu. Viskas paruošiama specialiuose klojiniuose. Atliekant bandymus apvaskalai uždedami neapkrautoms kolonom, vėliau jos išbandomos, veikiant jas 60 %, 80 % ir 100 % jų laikomojo ašinio stiprio. Prieš uždedant armuotą apvaskalą, kolonų pavyzdžiai sušiurkštinami aukšto slėgio smėlio srove, taip pagerinant sukibimą tarp kolonų paviršiaus ir apvaskalo skiedinio. Suvirinto vielos tinklo vyniojimo procese tinklo akys priklijuojamos prie bandinių paviršiaus, naudojant didelio sukibimo klijuojamąją pastą (Sikadur-31), tuomet apie koloną apvyniojami du sluoksniai virintos vielos tinklo. Tinklai skirtingose vietose surišami kartu, naudojant vielą, kuri paprastai naudojama armatūros strypams rišti. Siekiant išlaikyti suvirinto vielos tinklo sluoksnių vientisumą ir jų sukibimą su lygiu paviršiumi, rišamoji pasta Sikadur- 31 uždedama keturiose vietose, išilgai aukščio ir tinklas prispaustas prie bandinio paviršiaus, kol sukietėja. 1.18 paveiksle parodyta galutinė bandinio forma po apvyniojimo tinklu. Galima pastebėti, kad tinklo galai yra atitraukti nuo kolonos galų per 20 mm. Taip nuspręsta, norint išvengti ašinio apvaskalo gniuždymo. Įvyniota kolona patalpinta į specialų, alyvuotą medinį klojinį, kuris užpilamas 20 mm storio skiedinio sluoksniu (žr. 1,18 b pav.).

Cementinis mišinys pilamas aplink kolonų bandinius, klojinių šonai vibruojami, norint užtikrinti gerą tinklo užpildymą. Bandinių paviršius uždengiamas drėgnu audiniu dviem dienoms, nuėmus klojinius, sudrėkintu audiniu uždengiamas dar 14 dienų. 1.18 c pav. parodyta galutinė kolonos bandinio forma po apvaskalo uždėjimo.



1.18 pav. Armuoto cemento apvaskalų paruošimas: a) kolona apvyniota vielos tinklu; b) kolona patalpinta specialiaame klojinyje; c) galutinė kolonos forma (Mourad *et al.* 2012)

Bandymo rezultatai parodo, kad toks kvadratinių kolonų betono stiprinimas su armuotu apvaskalu, numato apie 33 % ir 26 % ašinės jėgos atlaikomumo ir ašinio standumo padidėjimą,

lyginant su kontrolinėmis kolonomis. Rezultatai taip pat parodė, kad restauruojant panašias gelžbetonines kolonas (apkrovus jas iki suirimo), naudojant tokius pačius apvalkalus, buvo beveik atkurta pradinė kolonų laikomoji galia ir standis. Taip pat restauruotos kolonos atlaiko kalamąjį poveikį, o kontrolinės kolonos aptrupėja (Mourad *et al.* 2012).

1.1.12. Betoninės kolonos, padengtos armuotu cementiniu skiedinio pluoštu

Vidutinio dydžio apvalaus ir kvadratinio skerspjūvio bandiniai išliejami ir veikiami vienašio spaudimo, taip norint ištirti, kaip Fenilen Benzobis oksazolo ir pluoštu armuoto cementinio skiedinio sistema pagerina stiprumą ir plastiškumą.

Kiekvienas bandinys įmirkomas vandeniui, tuomet vandens perteklius pašalinamas. Skiedinys paruošiamas įpilant apie 90 % reikalingo vandens kiekio į plakiklį, tada plakiklis įjungiamas ir nepertraukiamai dedamas skiedinys, taip užkertant kelią susidaryti gumulams. Maišius dvi tris minutes, supilama likusi vandens dalis ir maišoma dar vieną dvi minutes. Kai mišinys palaikomas dvi – tris minutes, skiedinys vėl sumaišomas ir plokščia mentele užtepamas 3-4 mm storio sluoksnis. Po poros minučių, ištisas fenilenbenzobisoksazolo tekstilės sluoksnis įspaudžiamas į skiedinį (1.19 pav.). Apibūdinta procedūra kartojama įterpiant 3-4 mm skiedinio sluoksnius tarp tekstilės sluoksnių. Norint visiškai padengti tinklą, ant paviršiaus dar užtepamas naujas 3-4 mm skiedinio sluoksnis.



1.19 pav. Fenilen benzobis oksazolo tinkle impregnuoto cemento uždėjimas (Colajani *et al.* 2014)

Eksperimentų rezultatai rodo, kad tokia sistema labai pagerina stiprumą ir plastiškumą, nors mažas puošto mechaninis stipris ne visada gali užtikrinti sustiprinimo elgseną iki plyšimo. (Colajani *et al.* 2014)

1.1.13. Gelžbetonio injektavimas rekonstruojant konstrukcijas

Gelžbetonio konstrukcijoms sustiprinti yra naudojamos epoksidinės dervos, kurios pasižymi labai geromis skvarbumo, surišimo bei sandarinimo savybėmis. Gelžbetonio konstrukcijose tuštumos dažniausiai susidaro pastato gamybos metu. Taip pat jos gali atsirasti nuo nuolatinio pastato konstrukcijų įtempimo arba mechanškai sukeliama vibracijų. Norint išsaugoti pastato ilgaamžiškumą ir užtikrinti jo saugų eksplotavimą, būtina sustiprinti gelžbetoninių konstrukcijų pažeistas vietas naudojant epoksidines dervas. Epoksidinės dervos parinkimui pirmiausiai reikia atlikti pirminį pastato apžiūros ciklą. Po apžiūros yra parenkama epoksidinė derva bei injektavimo technologija. Dažniausiai naudojamos epoksidinės dervos yra šios: MC - DUR 1200 VK, neturinti savo sudėtyje tirpiklių, žemo klampumo, skaidri, iš dviejų komponentų sudaryta epoksidinė derva, MC-DUR 1264 KF iš dviejų komponentų epoksidinės dervos pagrindu sudaryta injekcinė derva, skirta tvirtumą padidinančiam įtrūkimų užpildymui. Pasirinkta medžiaga pro injektavimo antgalį patenka į gelžbetonį momentiniais pliūpsniais, tai leidžia medžiagai skleistis ne tik į gylį, bet ir į šonus bei kapiliarais, prieš tai užpildomos visos didesnės tuštumos ir surišamos smulkios esančios dalelės (Gelžbetonio injektavimas 2014).

Monolitiniai trūkiai – tai monolite atsiradę mikroplyšiai, per kuriuos gali skverbtis dregmė, taip kenkdama monolitinei konstrukcijai. Norint apsaugoti monolitą nuo grėsiančios korozijos, būtina jį užsandarinti nuo bet kokios dregmės. Siūlome monolitinių sienų bei lubų sandarinimą, nepriklausomai kokias funkcijas atlieka konstrukcija. Šiuo atveju dažniausiai naudojamos dideliu skvarbumu pasižyminčios poliuretaniniu pagrindu pagamintos medžiagos. MC – DUR 2300NV – tai iš dviejų komponentų poliuretaninės dervos pagrindu sudaryta injekcinė derva, skirta elastiniam plyšių ir tuštumų sandarinimui. Pasižymi labai geromis surišimo savybėmis, taip pat sandarinimo savybėmis. Dažniausiai, naudojant šią medžiagą, skylės reikia gręžti kas 15–20 cm dvejomis eilėmis ar šachmatine tvarka visą sieną, medžiagas įšvirkščiant injekciniu siurbliu. Taip užpildomos visos tuštumos ir surišamos smulkios esančios dalelės (Gelžbetonio injektavimas 2014).

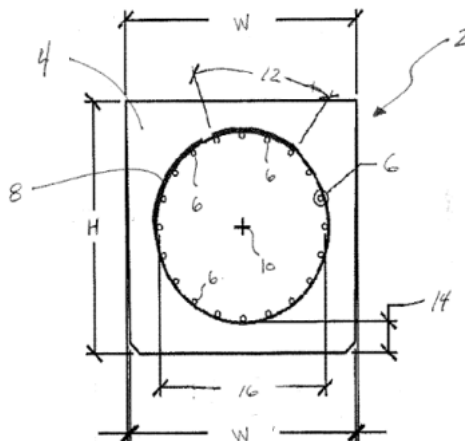


1.20 pav. Monolitinių ruožų injektavimas (Gelžbetonio injektavimas 2014)

1.2. Užsienio šalių gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo patentinė apžvalga

1.2.1. Surenkamojo gelžbetonio gaminiai su anglies pluošto armavimo tinkle

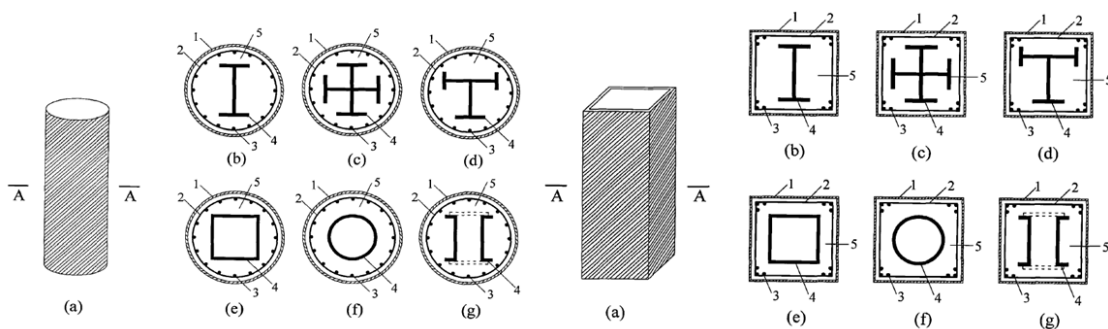
Išradimas atskleidžia kvadratinių, tuščiavidurių betono sijų/kolonų mazgų, įmontuotų į CFRP (anglies pluoštu armuoto plastiko) apvalius vamzdžius. Kvadratinis tuščiaviduris plieno vamzdis betoninėje sijoje/kolonoje mazge yra sujungiamas su CFRP apvaliu vamzdžiu, kvadratine plienine kolona ir H formos plienine sija. Dėl anglies pluošto apvalaus vamzdžio sumažinamas pastato savasis svoris, padidinamas atsparumas seisminiams poveikiams, sumažinamos plieno sąnaudos, padidinamas pastato naudojamas plotas. Išradimas naudingas tiek ekonominiu, tiek aplinkosauginiu požiūriais. (Carson *et al.* 2006).



1.21 pav. Kvadratinis tuščiaviduris plieno vamzdis, sujungtas su CFRP apvaliu vamzdžiu (Carson *et al.* 2006)

1.2.2. Anglies kompozito medžiaga, naudojama gelžbetoninėms konstrukcijoms sustiprinti

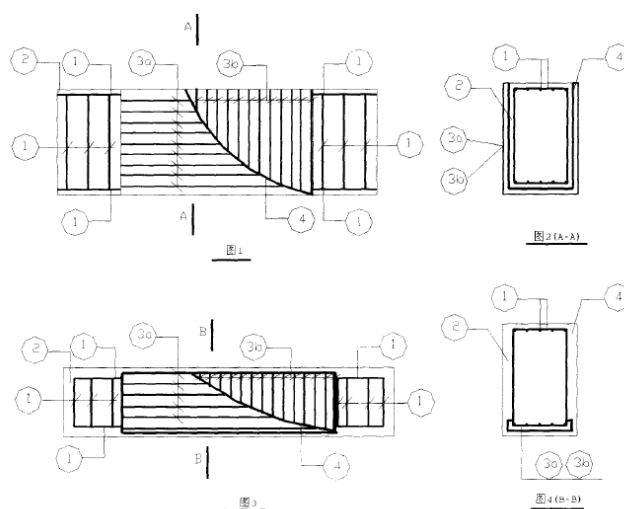
Gelžbetoninės konstrukcijos, sustiprintoms anglies pluošto armavimo apvaskalu, suformuotas taip, kad perimtų tempimo įtempius. Betoninė konstrukcija formuojama pilant betoną į armuotą apvaskalą, o išorinis armuoto betono sluoksnis mirkomas su audiniu, pagamintu iš kompozitinės anglies pluošto medžiagos. Pluoštas yra įmirkytas anglies rišiklyje, taip gaunamas konsoliduotas išorinis sluoksnis su anglies pluošto kompozitine medžiaga. Struktūra įgauna puikų atsparumą seisminiams poveikiams, gerą patvarumą ir atsparumą ugniai, agresyviai aplinkai, pasidaro standesnė, taip kontroliuojamos pastato deformacijos ir daugiau kaip 50 % sumažina statyboms reikalingo plieno sąnaudas. Konstrukcijoms suteiktas stiprumas leidžia pačias konstrukcijas daryti ne tokias masyvias, o tai gerina jų estetinį vaizdą. (Jingfeng *et al.* 2008).



1.22 pav. Kvadratinės ir apvalios kolonos, sustiprintos anglies pluošto kompozitine medžiaga (Jingfeng *et al.* 2008)

1.2.3. Surenkamojo betono konstrukcijos, kuriose yra anglies pluoštu stiprinto plastiko

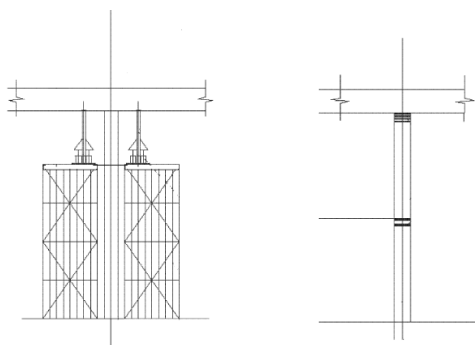
Šis modelis aprašo armuoto surenkamojo betono konstrukcijas, kuriose yra anglies pluoštu sustiprinto plastiko. Modelis susijęs su pastato konstrukciniais elementais, kurie susideda iš įvairovės armavimo strypų ir betono apsauginio sluoksnio. Apsauginis sluoksnis yra pakankamo storio, kuriam būdingas anglies pluoštu sustiprintas plastikas, jis sudaromas iš anglies audinio ir epoksidinių dervų. Anglies pluoštu sustiprintas plastikas, gali būti dedamas į apsauginį betono sluoksnį; taip pat anglies pluoštas gali būti tvirtinamas ant stiprinamos sijos, taip pat ant betono apsauginio sluoksnio paviršiaus. Lyginant su ankstesniais armuoto betono surenkamaisiais gaminiais, armuoti anglies pluoštu stiprintu plastiku yra priimtinesni, nes anglies pluoštas pasižymi didesniu ašinio tempimo stipriu, mažu stiprio ir svorio santykiu, geru patvarumu, atsparumu korozijai, ilgaamžiškumu, dideliu patvarumu. Pažeista vieta, plyšiai gali būti lengvai užtaisomi epoksidinėmis dervomis, taip pat ir betono apsauginis sluoksnis, taip padidinant surenkamo betoninio gaminio atsparumą kirpimui, tempimui ir pasipriešinimą nuovargiui. Taip pat, atsižvelgiant į elemento galimybes, akivaizdžiai pagerinamas plastiškumas (Zhou *et al.* 2003).



1.23 pav. Sija, sustiprinta anglies pluošto ir plastiko mišiniu (Zhou *et al.* 2003)

1.2.4. Gelžbetoninių kolonų ir sijų siūlių taisymo ir stiprinimo metodas

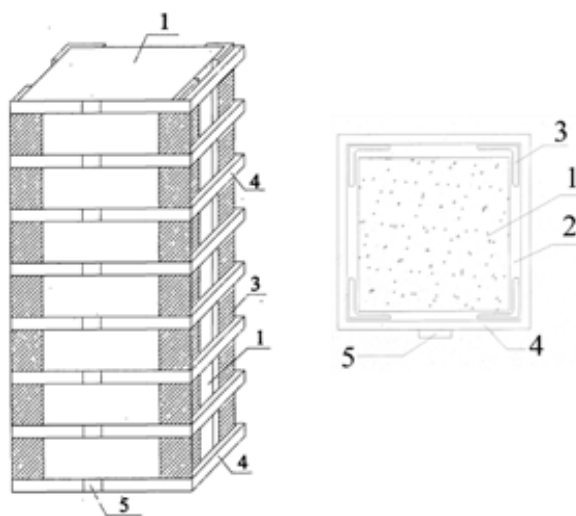
Išradimas atskleidžia esamų siūlių tarp gelžbetoninių sijų ir kolonų remontavimo ir sustiprinimo metodą. Metodas apima žingsnius nuo platformos statymo apie taisomą betoninę koloną. Reikia statyti plieninių vamzdžių pastolių platformą, taip leidžiant platformai suskaidyti įtempius sijos ir kolonos siūlėse. Atramos pakelti sijai virš betoninės kolonos ir naudojami keltuvai. Su jais sijos pakeliamos ir atkuriamos sijos apačia, kai sija pasiekia reikiamą aukštį, nugremžiamas deformuotas betoninės kolonos viršus (į priešingą pusę). Plyšių ir siūlių sutvarkymui yra naudojamas anglies pluoštas (Fankui *et al.* 2003).



1.24 pav. Gelžbetoninių elementų siūlių taisymas (Fankui *et al.* 2003)

1.2.5. Gelžbetoninių kolonų stiprinimas, naudojant plienines juostas

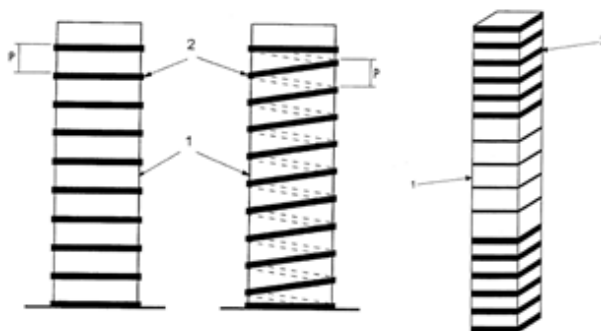
Vienas iš būdų stiprinti gelžbetonines kolonas yra prie jos kampo priklijuoti nuožulnaus kampo plieninę juostą. Vienas ar daugiau plieninių lankų (juostų) yra apjuosiami skersai gelžbetoninės kolonos per visą jos aukštį. Nuožulnus plieninės juostos kampas apsaugo ją nuo vėjo ir sustiprina gelžbetoninę koloną. Prietaiso struktūra paprasta, kaina nedidelė, yra labai naudingas, populiarus ir plačiai naudojamas (Yong *et al.* 2003).



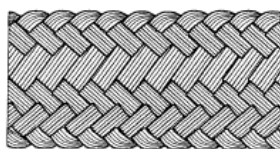
1.25 pav. Plieninėmis juostomis sustiprinta kolona (Yong *et al.* 2003)

1.2.6. Gelžbetoninių kolonų stiprinimas, naudojant anglies pluoštą

Gelžbetoninių kolonų sustiprintų anglies pluoštu pasiektas kietumas atitinka reikalavimams atsparumui žemės drebėjimui standartų lygį. Šis išradimas numato sustiprinimo metodą, kuris optimizuoja tarpus tarp armavimo medžiagos vijų. Naudojant anglies pluoštą sustiprinimo kokybė ir jai skirtos išlaidos, gali būti sumažintos, palyginus su tradiciniais metodais. Taip pat galima nesunkiai palyginti plyšių atsiradimą tarp sustiprintų ir nesustiprintų konstrukcijų po vidutinio žemės drebėjimo. Pagal šį sustiprinimo būdą anglies pluoštą turinti armavimo medžiaga 2 (žr. 1.26 pav) yra apvyniojama apie gelžbetoninę koloną 1 (žr. 1.26 pav), su sustiprinimo regionais, ne didesniais nei $2D$ (kur D yra kolonos plotis) nuo kolonos viršaus iki apačios, apvijas ant kolonos geriau dėti nuo apačios, numatant tarpus (P) ne mažesnius kaip 5 cm, tarp gretimų apvijų, o santykis P/D ne didesnis nei $1/3$ (Komaki *et al.* 2003).



1.26 pav. Anglies pluošto juostomis sustiprinta kolona (Komaki *et al.* 2003)



1.27 pav. Anglies pluošto juostos struktūra (Komaki *et al.* 2003)

1.3. Nenaudojamų pastatų rekonstrukcijos svarba darnios plėtros požiūriu

Kadangi miestų ir didmiesčių centrai yra intensyviai užstatyti, žalių zonų ir viešųjų erdvių vystymas yra varžomas, gamtos apsaugos idėjos vis plačiau apima visuomenę. Šiandien vis labiau vertinama gamtos teikiama nauda ir suprantama, kaip svarbu architektūroje naudoti ekologiškas medžiagas ir energijos taupymo technologijas. Energiją taupančiuose pastatuose įrengiamos moderniausios izoliacijos ir vėdinimo sistemos, patalpų šildymas vykdomas žmogaus šilumos ir elektros prietaisų sąskaita. Įdiegta nauja moderni sistema leidžia sutaupyti iki 70 proc. įprastai sunaudojamos energijos (Surdokienė 2011).

Ekologija ir darna ypatingai reikšminga naujai statomiems pastatams, tačiau nemažiau akcentuojamas ir esamų pastatų gerinimas, pritaikymas naujiems reikalavimams bei poreikiams. Daugelyje šalių pastatų rekonstrukcinė veikla itin skatinama, nes padeda sutaupyti 35-50% investicinių kaštų, lyginant su naujų objektų statyba. Išsivysčiusios ekonomikos šalyse siūloma pristabdyti naujų pastatų statybą, o daugiau dėmesio skirti esamų objektų būklės, funkcinės kokybės, ilgaamžiškumo gerinimui (Surdokienė 2011).

Senų pastatų rekonstrukcija atitinka visuomenės darnaus vystymosi nuostatas, skatinančias žaliavų taupymą ir antrinį naudojimą, pastatų gyvavimo laiko ilginimą (Surdokienė 2011).

Statybos procesų projektinių sprendinių optimizavimas lemia efektyvių inžinerinių planų rengimą ir įgyvendinimą. Optimizavimo teorijos pažinimas bei taikymas yra neatsiejama šiuolaikinio statybos proceso valdymo dalis (Surdokienė 2011).

Pastaruoju metu Lietuvoje bei kitose Europos ir pasaulio šalyse stebimas statybų veiklos aktyvumas, statoma daug naujos kokybės pastatų. Tačiau lieka senesnės statybos, šiuo metu nenaudojamų ir apleistų, netenkinančių šiandienos reikalavimų ir iškilusių poreikių pastatų perteklius. Didelę dalį tokių objektų sudaro gamybinės paskirties pastatai senuosiuose pramoniniuose Europos regionuose, taip pat pertekliniai kaimo pastatai, atsiradę kintant žemės ūkio gamybos pobūdžiui. Lietuvoje didžiausią rūpestį kelia sovietmečiu statyti, o šiuo metu apleisti ir nenaudojami žemės ūkio paskirties ir kaimo socialinės infrastruktūros pastatai (Surdokienė 2011).

Vertinant darnaus vystymo(-si) (angl. *sustainable development*) aspektu, naujų pastatų statyba yra ne tik teigiamas veiksnys, tenkinant naujus visuomenės poreikius, bet dažnai sukelia negatyvų poveikį gamtinei ir negamtinei aplinkai. Šį statybos procesų ir produktų poveikį galima sumažinti efektyviau naudojant esamus pastatus ir ribojant naujų objektų statybą (Surdokienė 2011).

Nenaudojamų pastatų problema keliama bei imamasi priemonių jai spręsti darnaus vystymosi požiūriu tik stiprios ekonomikos šalyse. Tačiau dažniausia įgyvendinamos pavienės bei vietinės reikšmės iniciatyvos. Darni statyba traktuojama gana siaurai, iškeliami techniniai klausimai, kai kada siejami su gamtine aplinka, tačiau beveik nevertinami socialiniai ir kiti žmoniškieji aspektai. Pasigendama kompleksinės, moksliskai pagrįstos strategijos, apimančios įvairius planavimo lygmenis bei darnaus vystymo(-si) komponentus (Surdokienė 2011).

Europos ir kitose pasaulio šalyse įgyvendinama daug naujos kokybės pastatų ir jų kompleksų projektų. Statomi prestižiniai nauji kvartalai greta senesnių gamybinių objektų. Lieka pramoninių erdvių perteklius tiek priemiesčio teritorijose, tiek miestų centruose. Lietuvoje toks reiškinys labiausiai pastebimas kaimo teritorijose, kur gausu sovietmečiu statytų, o šiuo metu apleistų ir nenaudojamų žemės ūkio paskirties ir kaimo socialinės infrastruktūros pastatų (Surdokienė 2011).

1.3.1. Apleisti pastatai Europos valstybėse

Bendros Europos Sąjungos rinkos ekonominių sąlygų nustatymas ir tam tikrų rinkos sektorių kontrolės įgyvendinimas sukėlė ekonomikos modernizavimą bei rimtus struktūrinius pokyčius. Dėl šių pokyčių nuo 1970 metų Europos šalyse atsirado nemažai nenaudojamų ir apleistų pastatų. Daugiausia problemų sukelia neeksploatuojami stambūs pramonės objektai: kalnakasybos, naftos ir metalo apdirbimo įmonės, tekstilės gaminių įmonės, laivų statyklos. Kitos paskirties apleistų pastatų grupės, labiau būdingos Rytų Europos šalims (iš jų ir Lietuvai) – buvę kariniai objektai, gyvenamieji pastatai ir žemės ūkio paskirties statiniai.

Atnaujinant šias teritorijas, bandoma spręsti urbanizacijos vystymo(-si), socialines bei ekologines problemas:

- panaudojant esamus pastatus, mažinamos naujos statybos apimtys, t.y. taupomi gamtiniai ištekliai bei apribojamas poveikis aplinkai;
- tvarkant apleistus objektus, gerinamas urbanistinių struktūrų funkcionalumas ir architektūrinė išvaizda;
- saugomas architektūrinis paveldas, istorinius pastatus pritaikant šiuolaikiniams poreikiams;
- sukuriamos naujos darbo vietos ir mažinamas nedarbas vietovėje, tiek objekto pertvarkymo metu, tiek plėtojant jame naują veiklą;
- pagerinama aplinkos kokybė, sumažinus taršą ir atkūrus buvusių pramoninių bei šiuo metu apleistų objektų sudarytą kraštovaizdį (Antuchevičienė 2005).

1.3.2. Rekonstrukcijos pranašumas prieš naują statybą

Apibendrinant firmų ir organizacijų, valdžios atstovų ir su statybos bei rekonstravimo veikla susijusių komercinių struktūrų patirtį, išskirta nemažai gamybinių pastatų rekonstravimo ir antrinio naudojimo pranašumų lyginant su nauja statyba. Kas lemia sprendimą rekonstruoti objektą:

- Esminį sprendimą dėl naudojimo lemia objekto tinkama dislokacija.
- Sekantis pagal reikšmingumą faktorius – statybos darbų kokybė ir patikimumas.
- Apsisprendimą lemia santykinai mažesni rekonstravimo kaštai, lyginant su naujo objekto statyba.
- Vieną iš svarbesnių pozicijų užima kultūrinio paveldo išsaugojimo aspektai.
- Mažiau lemia dizainas, apdaila, nes tai lengviausiai pakeičiami elementai rekonstravimo metu.
- Senų pastatų rekonstravimas atitinka darnaus vystymo(-si) nuostatas, skatinančias žaliavų taupymą ir antrinį naudojimą, pastatų gyvavimo laiko pratęsimą (Antuchevičienė 2005).

1.3.3. *Rekonstrukcijos kliūtys*

Tačiau, nepaisant objektų rekonstravimo privalumų lyginant su nauja statyba, iškyla tam tikrų kliūčių, norint panaudoti apleistus statinius.

- Svarbiausiais laikomi priėjimo prie nenaudojamų pastatų apribojimai ir planavimo apribojimai, dažnai neleidžiantys investuotojui įgyvendinti savo sumanymų.
- Nedaug mažiau svarbiu laikomas projekto nelankstumas, kuomet sudėtinga rekonstruojamą objektą pritaikyti savo poreikiams ir šiandieniniams techniniams, ekonominiams ir estetiniams reikalavimams.
- Rekonstravimo veiklai trukdo administraciniai barjerai, apsunkinantys tiek projektavimą, tiek projekto įgyvendinimą. Respondentai pasigenda reikiamų šios srities paslaugų.

Efektyviai veiklai reikalinga motyvacija. Jei nėra nenaudojamų pastatų poreikio, nėra prasmės analizuoti rekonstravimo privalumų ar trukdžių. Tačiau Anglijos patirtis parodė, kad atnaujintos, kitai veiklai pritaikytos patalpos turėjo paklausą.

Dažna situacija, ypač kalbant apie senesnius gamybinius pastatus, jog norima išsiversti su kuo mažesnėmis išlaidomis. Jei į rekonstravimą investuojama nedaug, tokie objektai susilaukia ir atitinkamo lygio naudotojų. Tiek objektas, tiek jame vykdoma veikla dažnai yra kenksmingi aplinkai ir žalingi vietos bendruomenei. Neužtikrinami darnaus vystymo reikalavimai.

Aptariant Anglijoje vykdytus rekonstrukcijos projektus, orientuojamasi į technines priemones, padedančias įgyvendinti kai kuriuos darnos reikalavimus pastato viduje.

Pasigendama platesnio darnaus vystymo(-si) interpretavimo. Projektuose dažniausiai nagrinėjami septyni darnos rodikliai: **energinis efektyvumas, galimybė darbo vietą pasiekti pėsčiomis ar dviračiu, aplinkai palankių ir ekologiškų medžiagų naudojimas, kultūros paveldo išlaikymas, vandens taupus naudojimas, perdirbtų statybinių medžiagų naudojimas, ryšiai su vietos bendruomene**. Buvo apklausti respondentai ir nustatyta jų nuomonė dėl šių rodiklių svarbos naujai statybai ir rekonstrukcijai. Apibendrinti rezultatai rodo, jog naujuose pastatuose didelis dėmesys skiriamas energijos taupymui, bet tai nėra svarbus įsipareigojimas rekonstruojant seną objektą. Taip pat yra mažesnis poreikis naudoti ekologiškas statybines medžiagas senuose pastatuose nei naujoje statyboje. Teigiamas bruožas, jog suprantama perdirbtų statybinių medžiagų naudojimo svarba atnaujinamuose objektuose bei kultūrinio paveldo išlaikymas. Abejais atvejais kreipiamas dėmesys ryšiams su vietine bendruomene, tačiau tam skiriamas ne aukštas prioritetas. Tačiau reikalingas labiau suderintas požiūris į egzistuojančio pastatų fondo valdymą, tame tarpe į efektyvų objektų atnaujinimą. Senų pastatų adaptavimo ir naudojimo procesą sunkiau reglamentuoti, nei naują statybą. Tačiau neabejotina, jog tokie procesai įneša reikšmingą indėlį į darnią urbanizuotų vietovių plėtrą. Todėl būtina sukurti tinkamą sistemą ir ją taikyti rekonstravimo veiklai. (Antuchevičienė 2005)

1.3.4. Netinkamų naudoti pastatų išmontavimas

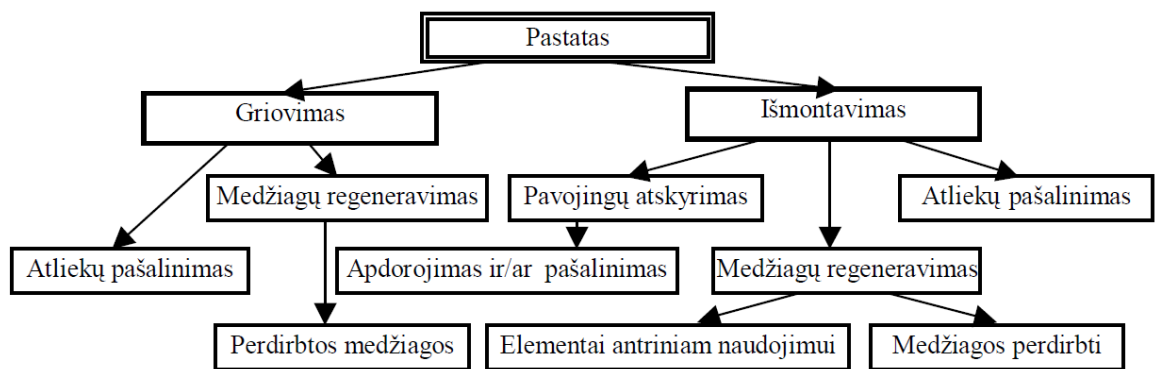
Pastatai, kurie negali būti efektyviai panaudoti dėl būklės ar dislokacijos ypatumų ir bus griaujami, turi būti tinkamai išmontuoti. Objektas analizuojamas sisteminiu požiūriu, techninius vertinimus derinant su ekologinėmis ir ekonominėmis pasekmėmis bei juridinėmis galimybėmis. Naujausioje mokslinėje literatūroje yra pastatų demontavimo ir statybinių medžiagų perdirbimo pavyzdžių, kurie įrodo teorijos praktinio taikymo galimybes bei visapusišką proceso naudą. Deja, kol kas dažniausiai taikomas paprastas pastatų nugriovimas, kuris gali būti palankiai vertinamas tik dėl sąnaudų ekonomijos, tačiau sunkiai pateisinamas iš kitų pozicijų. (Antuchevičienė 2005)

Pastatų išmontavimas Lietuvoje. Prieš keletą metų Lietuvoje statybos ir griovimo atliekos buvo vežamos į buitinius sąvartynus, o neretai suverčiamos karjeruose, jomis lyginamos duobės ir pan. Kai kurios savivaldybės (pvz. Rietavo) reikalauja, kad savininkai sutvarkytų arba nugriautų neprižiūrimus pastatus. Tačiau čia didžioji dalis griovimo atliekų užkasamos vietoje, t.y. tvarkomos pačiu blogiausiu būdu. Vilniaus rajono Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis vien Vilniaus rajone per metus neteisėtai buvo palaidota daugiau kaip 30 tūkst. tonų statybinio laužo. Nepaisant nemažų reikalavimų, Lietuvoje taip pat vykdoma statybos ir griovimo atliekų perdirbimo veikla. 2002 m. UAB „Lina“ Aukštuosiuose Paneriuose įsteigė atliekų priėmimo ir perdirbimo aikštelę. „Lina“ pirmoji Lietuvoje įmonė, kuri priima, rūšiuoja, perdirba statybos ir griovimo atliekas ir iš jų gamina bei realizuoja skaldą. Darbams naudojamas anglų gamybos statybinių atliekų smulkinimo ir skaldos gamybos įrenginys. Jo projektinis pajėgumas 40 t statybos laužo per valandą.

Klaipėdos jūrų krovinių kompanija „Bega“ užsiima papildoma veikla – karmo gelžbetoninį ir perdirba kitą statybinį laužą. Įmonė mobiliu autonomiška įranga karmo iki 1,1 m skersmens gelžbetonines konstrukcijas. Per valandą gali sutrupinti 100 – 300 tonų statybinio laužo. Gelžbetonio, betono ir mūro trupiniai išsijojami į pageidaujamas frakcijas, iš jų pašalinamas konstrukcinis plienas. Turintys atitikties deklaraciją betono trupiniai tinka keliams, pamatams įrengti ir betono užpildui.

Šie pavyzdžiai rodo, jog, griaunant netinkamus naudojimui statinius, yra galimybė juos tinkamai išmontuoti ir perdirbtas medžiagas pritaikyti antriam naudojimui. Išmontavus sugriuvusius objektus, būtų pagerintas kraštovaizdis ir sumažinta kylanti aplinkos taršos grėsmė. Perdirbus ir realizavus medžiagas galima būtų gauti ekonominę naudą, kuri padengtų nors dalį nuostolių, patirtų dėl gausaus šalies nekilnojamojo turto sunykimo (Antuchevičienė 2005).

Pastatų griovimas ir išmontavimas. Kad būtų antrinio medžiagų ir gaminių panaudojimo galimybė, pirmiausia būtina objektą tinkamai išmontuoti. Griovimo ir išmontavimo pagrindiniai etapai parodyti 1.28 pav.



1.28 pav. Pastatų griovimo ir išmontavimo procesai (Antuchevičienė 2005)

Dvi pagrindinės medžiagų grupės, sudarančios statybos ir griovimo atliekas, yra inertinės ir neinertinės medžiagos. Pastato griovimo metu inertinės medžiagos sudaro 82 proc., atliekant statybos aikštelės paruošimo bei valymo darbus ir rekonstravimo metu – atitinkamai 64 ir 62 procentus. Kitą dalį sudaro neinertinės medžiagos: metalai (3,4 proc.), mediena (7,15 proc.), plastikai (0,6 proc.), stiklas (0,2 proc.), kitos organinės medžiagos.

Pastatą galima nugriauti (išmontuoti) šiais pagrindiniais būdais:

- sprogdinant,
- smūgine įranga,
- hidrauliniiais smulkintuvais,
- metodu „iš viršaus į apačią“ (top-down), t.y. palaipsniui išmontuojant, pradedant nuo išorinės įrangos ir stogo dangos, išimant duris, langus, elektros instaliacijos ir sanitarinius įrengimus, lubų ir grindų dangą, toliau montuojant perdangas ir sienas nuo viršutinio pastato aukšto iki rūsio.

Griovimo (arba išmontavimo) būdo pasirinkimą lemia keletas veiksnių: (1) tikslas – ar siekiama antrinio medžiagų naudojimo, (2) pastato dislokacija (jei objektas yra tankiai užstatytoje vietovėje, ne visas technines priemones įmanoma naudoti), (3) ekonominis efektyvumas – darbo, laiko, finansinės sąnaudos.

Tačiau nagrinėjamą procesą būtina vertinti plačiau, ne tik griovimo etapą. Turėtų būti skiriami du procesai: griovimas (išmontavimas) ir tolimesnis statybinių medžiagų tvarkymas – transportavimas, perdirbimas. Galima išskirti du būdingus bruožus visais atvejais. Pirma, antrojo proceso (išmontuotų medžiagų tolimesnio tvarkymo) kaštai visuomet didesni nei pačių griovimo darbų. Antra, griovimo atveju pirmojo etapo išlaidos santykinai nedidelės, tačiau itin išauga išmontuotų medžiagų disponavimo sąnaudos; o tinkamai išmontuojant pastatą, montavimo darbams reikalingi didesni ištekliai, tačiau daug paprastesnis ir mažiau kainuojantis yra antrasis procesas.

1.3.5. Medžiagų rūšiavimas ir perdirbimas

Statinio negriaunant, o išmontuojant, galima nepažeistus elementus (pvz. perdangos plokštes, langus, duris ir kt.) panaudoti kitiems objektams statyti ar remontuoti. Likusias išmontavimo atliekas būtina išrūšiuoti pagal medžiagų tipus).

Medžiagas galima rūšiuoti statybos aikštelėje arba perdirbimo vietoje. Darnios statybos požiūriu prioritetas turi būti suteikiamas medžiagų rūšiavimui išmontavimo vietoje, nes tik tokiu būdu galima užtikrinti didžiausią perdirbti tinkamų medžiagų kiekį. Rūšiavimo būdą siūloma pasirinkti atsižvelgiant į keletą techninių ir netechninių rodiklių. Šiuo atveju ekonominė nauda nėra laikoma prioritetu. Siūlomi tokie rodikliai: reikalingas plotas, darbo organizavimo ir valdymo paprastumas, darbo sąnaudos, finansinės sąnaudos, suderinamumas su kitais darbais statybos aikštelėje, medžiagų išrūšiavimo galimybė, perdirbtų medžiagų rinka, poveikis gamtinei aplinkai.

Medžiagų perdirbimą taip pat galima organizuoti toje pačioje statybų aikštelėje arba specializuotose įmonėse. Skirtingoms medžiagoms perdirbti taikomos skirtingos technologijos ir įrengimai: transportavimo, trupinantys / smulkinantys, filtravimo / skirstymo. Skiriami trys pagrindiniai statybos ir griovimo atliekų perdirbimo įmonių tipai: betono ir/ar asfalto smulkinimo, medienos atliekų perdirbimo ir mišrių statybos ir griovimo atliekų tvarkymo įmonės.

Norint sėkmingai įgyvendinti statybos ir demontavimo atliekų perdirbimo sistemą, reikalinga ne tik techninė įranga, o svarbūs ir kiti faktoriai: tinkama aikštelė ir jos dislokacija, statybos ir griovimo atliekų perdirbimo patirtis, antrinių medžiagų rinkos žinios, verslo ir finansinis pajėgumas, aplinkosaugos ir darbų saugos reikalavimų žinios. Lietuvoje, vystant statybos ir griovimo medžiagų perdirbimo veiklą, reikia atsižvelgti į išvardintus reikalavimus. Efektyviam darbui reikėtų mažiausiai 0,8 ha teritorijos: 0,4 ha įrengimams ir 0,4 ha medžiagoms laikyti. Čia sumontavus tinkamą įrangą, galima būtų perdirbti 400 – 500 tonų medžiagų per dieną (UAB „Lina“ per pusę metų veiklos buvo perdirbta tik apie 1700 tonų). Darbas turi būti organizuojamas taip, kad būtų pasiekiamas kuo didesnis našumas, perdirbtų medžiagų išeiga. Atliekama kontrolė, užtikrinama standartus ir rinką atitinkanti medžiagų kokybė. Tiriama paklausa ir pasiūla, atliekų priėmimo ir perdirbtų medžiagų kainos. Įrengiant aikštelę bei darbo metu būtina laikytis aplinkosaugos reikalavimų, nes ši veiklos sritis susijusi su oro ir vandens tarša, skleidžiamu triukšmu. Ekonominis tokios įmonės naudingumas priklauso nuo rūšiavimo ir perdirbimo kaštų, perdirbtų medžiagų kainos bei medžiagų regeneravimo normos. Pagal statybinių medžiagų regeneravimo normą galėtų būti 55 proc. (1.2 lentelė) (Antuchevičienė 2005).

1.2 lentelė. Perdirbamų statybinių medžiagų sudėtis (Antuchevičienė 2005)

Medžiaga	Kiekis, %	Perdirbamos, %	Neperdirbamos, %
Konstrukcinė mediena	25,0	70,0	30,0
Rąstai	5,0	100,0	0,0
Kartonas	17,0	75,0	25,0
Popierius	0,8	0,0	100,0
Betonas / mūras	12,5	20,0	80,0
Plastikas	2,0	0,0	100,0
Metalas	7,0	95,0	5,0
Stogo danga	13,0	0,0	100,0
Gruntas	2,0	30,0	70,0
Stiklas	0,1	0,0	100,0
Izoliacinės medžiagos	4,0	0,0	100,0
Kitos medžiagos	11,6	0,0	100,0
Iš viso	100,0	55,0	45,0

1.4. Daugiakriterių metodų ir modelių klasifikacija

Prenkant vertinimo metodiką reikia konkrečiai žinoti, ką vertinti, bei suformuluoti esminius kriterijus, kuriais remiantis bus vertinama. Kitaip tariant, atrinkti kriterijus (ir jų reikšmingumus), kuriuos turėtų atitikti būsimas projektas. Iš esmės visa vertinimo metodika turėtų būti (Malinauskas *et al.* 2005):

- *Nuosekli.* Visi veiksniai ir procesai, veikiantys ar gali paveikti objektą, turi būti vertinami žingsnis po žingsnio.
- *Universali.* Vertinimo metodika turi apimti visą planavimo procesą. Ji neturi būti siaurai specializuota, turi gebėti išreikšti visus vertinimo kriterijus skaitinėmis reikšmėmis.
- *Kompleksiška.* Galimybė taip išspręsti visus kilusius sunkumus bet kuriuo projektavimo metu, kad nenukentėtų kitos suinteresuotos grupės, t. y. kompleksiskai išnagrinėti visą projektą.
- *Daloma.* Turi būti galimybė sunkiai išsprendžiamas uždutis suskaidyti mažesnius ir lengviau išsprendžiamus blokus.
- *Centralizuota.* Galimybė naudoti kitų projektų standartinius projektų problemų sprendimo variantus, tuo pat metu supaprastinant darbą.
- *Preciziška.* Kruopščiai kontroliuojanti visą projektavimo procesą.
- *Adaptyvi.* Turi pasižymėti greitu pritaikymu prie naujai iškeltų reikalavimų ar pasikeitusių projektavimo sąlygų. Turi būti galimybė tobulinti darbo metodiką, t. y. vertinimo kriterijus pakeisti kitais, pašalinti ar įterpti visiškai naujus.
- *Operatyvi.* Laiku gauti informaciją, kuri leidžia greitai priimti sprendimus.

- *Patikima*. Gaunama informacija turi būti objektyvi, be klaidų, turi tiksliai atspindėti reikiamus duomenis.
- *Tiksli*. Išvedami apdoroti duomenys turi būti aiškiai suprantami, kad jais remiantis būtų galima priimti sprendimą.
- *Lanksti*. Turi būti galimybė lyginti ne tik visą projektą, bet ir atskirus jo elementus, „ištrauktus“ iš visumos.
- *Vienoda*. Pageidautina, kad skirtingų charakteristikų projektų būtų taikoma vienoda vertinimo metodika, ir objektai būtų projektuojami vienodai. Negalima būtų lyginti skirtingos paskirties objektų (pvz., parduotuvės su vaikų darželiu).
- *Stabili*. Vieną ir tą patį užduotį išspręsti skirtingais būdais, o rezultatas turi būti vienodas.
- *Duomenų saugumas*. Stengiantis išvengti informacijos nutekėjimo, vertinimo metodika turi suteikti vienam vertintojui (ekspertui) tik jam reikalingą informacijos kiekį.
- *Jautri*. Keičiant vertinimo metodikos rodiklių reikšmes, turi keistis ir pats rezultatas, bet tai turi vykti nuosekliai ir tiksliai, be staigių šuolių viena ar kita linkme.
- *Koncentruota*. Siekiant, kad projektai palyginti už sąlygiškai mažą kainą, reikia apsiriboti tik tais vertinimo rodikliais, kurie yra būtini, o tuos, kurie neturi įtakos ar mažai veikia statinių statybą ar eksploatavimą, reikia visai atmesti, t. y. reikia sumažinti nagrinėjamų integralinės kokybės rodiklių kiekį. Tai gali būti atlikta dviem būdais: jungiant identiškus ir (arba) pašalinant ne tokius reikšmingus rodiklius:
 - vertinimo grupes įtraukiamos tos pačios savybės ir atitinkamai tie patys identiški (pasikartojantys) rodikliai. Taigi kiekvienoje savybių medžio grandinėje gali būti iki dešimties ar daugiau identiškų rodiklių. Taigi vietoj visiškai vienodų rodiklių naudojamas vienas – apibendrinantis rodiklis, kurio koeficientas lygus pakeistų rodiklių koeficientų sumai;
 - skaičiavimų rezultatai, susieti su kokybės rodiklių reikšmių nustatymu, gaunami su santykinę paklaida. Todėl visi tie kokybės savybių rodikliai, kurių suma neviršija santykinės paklaidos (nustatant kokybės rodiklių reikšmes), faktiškai neturi reikšmės šiai paklaidai. Tai reiškia, kad integralinės projekto kokybės nustatymo procese į juos galima neatsižvelgti, kitaip tariant, galima jų nenagrinėti nerizikuojant, kad nukentės vertinimo metodikos tikslumas. Nenagrinėjami tik tie rodikliai, kurių svarumo koeficientai turi santykinai mažiausias reikšmes.

Daugaikriteriui projektų įvertinimui taikomi daugiakriterio optimizavimo ir žaidimų teorijos metodai. Teigiama, kad daugiakriterio projektų įvertinimo variantai (alternatyvos) a – daugiakriteriai, t. y. apibūdina skirtingų matavimo vienetų kriterijų reikšmių kompleksas (vektorius) (Zavadskas *et al.* 2001).

Statybos srityje yra įvairių daugiakriterių uždavinių. Juos sprendžiant naudojama tam tikra skirtingos struktūros ir patikimumo lygio informacija. Dažniausiai uždaviniams spręsti naudojama kardinalinė (skaitmeninė) informacija. Tačiau pasitaiko, kad tenka naudotis ordinaline (sekos) arba ordinaline ir kardinaline informacija tuo pačiu metu.

Daugiakriterio projektų įvertinimo metodo parinkimas (žr. 1.28 pav.) priklauso nuo pradinės informacijos. Pagal jos turinį, sprendžiant daugiakriterius uždavinius, galimi šie daugiakriterio projektų įvertinimo metodai (Zavadskas *et al.* 2001):

- Nereikalaujantys papildomos informacijos apie kriterijų reikšmingumą.
- Reikalaujantys informacijos apie kriterijų reikšmingumą.
- Reikalaujantys informacijos apie lyginamų variantų reikšmingumą.

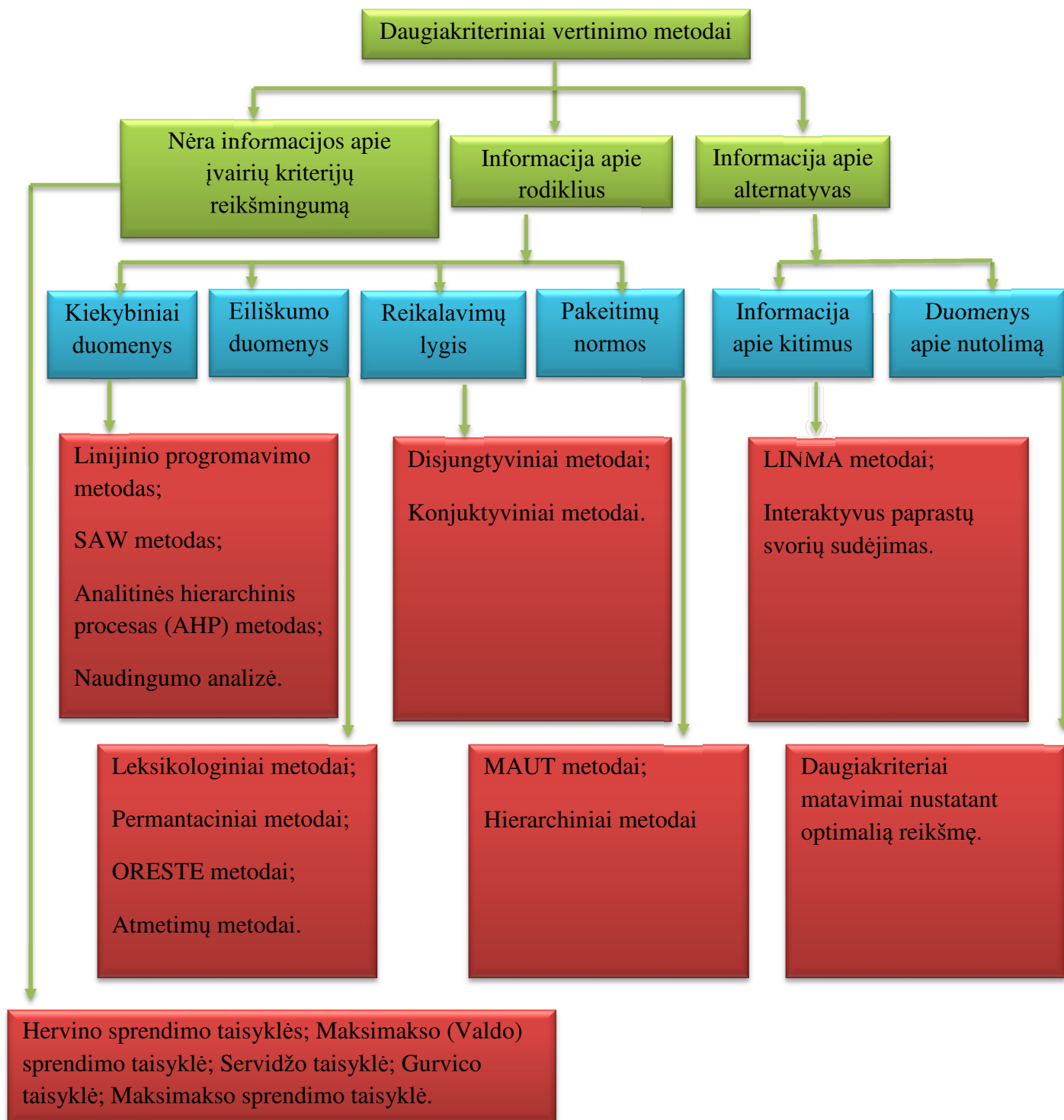
Išrinkti geriausią projektų variantą arba nustatyti variantų prioritetiškumą galima pagal modelį be pakeitimo ir su pakeitimu (atitinkamai be kompensacijos ir su kompensacija).

Bekompensaciniuose modeliuose, pablogėjus vienam kriterijui, sumažėjusio projekto efektyvumo negalima kompensuoti gerinant jį pagal kitą kriterijų. Kiekvienas rodiklis šiuo atveju laikomas visiškai atskiru. Bekompensaciniai daugiakriteriai projektų įvertinimo modeliai yra santykinai paprasti ir turi ribotas galimybes (Zavadskas *et al.* 2001).

Kompensaciniuose modeliuose, pablogėjus vienam kriterijui, projekto efektyvumo sumažėjimą galima kompensuoti gerinant jį pagal kitus kriterijus. Tokio pakeitimo galimybės yra plačios ir tiesiogiai priklauso nuo sprendžiamo uždavinio pobūdžio bei specialisto, priimančio sprendimą (Zavadskas *et al.* 2001).

Jei bekompensaciniuose modeliuose įvertinamus variantus tenka lyginti pagal kiekvieną rodiklį, tai kompensaciniuose modeliuose kiekvieną variantą apibūdinanti kriterijų sistema perskaičiuojama į vieną kriterijų, pagal kurį projektai lyginami ir išrenkamas geriausias. Atsižvelgiant į tai, kokiais principais remiantis nustatomas minėtas kriterijus, kompensaciniai modeliai gali patekti į vieną iš trijų grupių (Zavadskas *et al.* 2001):

- Modeliai, kuriuose išrenkamas naudingiausias variantas. Pagrindinė šių modelių problema tinkamiausios naudingumo funkcijos nustatymas.
- Modeliai, kuriuose išrenkamas daugiatis, artimiausias idealiam, variantas (kompromisiniai modeliai).
- Suderinamumo (konkordiškumo) modeliai, kuriuose pateikiami prioritetiškumo santykiai, turintys didžiausią konkordiškumo lygį.



1.29pav. Daugiakriterių įvertinimo metodai (Zavadskas *et al.* 2001; Triantaphyllou 2000)

Metodas SAW. Paprastasis adityvus svorių metodas (SAW – *Simple Additive Weighting*) yra vienas iš paprastesnių ir plačiausiai taikomų metodų. Metodo taisyklės apibendrina MacCrimmon. (Simanavičienė 2011).

Įvesties duomenys – sprendimų matrica ir rodiklių reikšmingumo reikšmės.

SAW metodo žingsniai:

1. Sprendimų matrica normalizuojama;
2. Normalizuotosios matricos to paties varianto kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos (eilutės) nariais.

Pradiniai duomenys, sprendžiant šiuo metodu, yra sprendimo matrica P

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1.1)$$

ir rodiklių reikšmingumo reikšmės, tarkim, integruoto reikšmingumo $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$, tenkinančios sąlygą:

$$\sum_{j=1}^n q_j^* = 1. \quad (1.2)$$

Visi sprendimo matricos P nariai, kuriuos reikia maksimizuoti, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}. \quad (1.3)$$

O tie, kuries reikia minimizuoti – pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}. \quad (1.4)$$

Nustatant varianto racionalumą, atitinkamai normalizuotosios matricos nariai dauginami iš efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmių ir gautos saudaugos susumuojamos. Racionalaus varianto sandaugų suma bus maksimali:

$$A = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_{j=1}^n q_j^* \bar{x}_{ij} \right. \right\}. \quad (1.5)$$

Metodas COPRAS. 1996 metais sukurtas metodas COPRAS (kompleksinio proporcingumo vertinimo metodas) (Zavadskas, Kaklauskas 1996). Pagrindinis COPRAS metodo principas – lyginamųjų alternatyvų santykinis reikšmingumas Q_i nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis S_{+i} ir neigiamomis S_{-i} savybėmis. Kuo Q_i reikšmė didesnė, tuo alternatyva labiau atitinka sprendimą priimančio asmens poreikius. Metodo algoritmą sudaro 6 etapai. (Simanavičienė 2011).

1 etapas. Sudaroma sprendimų matrica $P = [x_{ij}]_{[m \times n]}$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$, kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklis (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos. Apskaičiuojamos efektyvumo rodiklių reikšmingumo reikšmės.

2 etapas. Sprendimų matricos P elementai normalizuojami pagal formulę:

$$\hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (1.6)$$

čia x_{ij} – i – osios alternatyvos j – ojo rodiklio reikšmė. Gauta normalizuota sprendimų matrica

$$\hat{P} = [\hat{x}_{ij}]_{[m \times n]}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (1.7)$$

3 etapas. Normalizuotos sprendimų matricos elementus dauginant iš atitinkamų rodiklių reikšmingumo reikšmių, gaunama svertinė normalizuota sprendimų matrica $\tilde{P} = [\tilde{x}_{ij}]_{[m \times n]}$, $(i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$. Tarkim, turime efektyvumo rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmių vektorių $(q_1^*, q_2^*, \dots, q_n^*)$, tuomet svertinės normalizuotos sprendimų matricos elementai apskaičiuojami pagal formulę:

$$\tilde{x}_{ij} = \hat{x}_{ij} \cdot q_j^*, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (1.8)$$

4 etapas. Apskaičiuojamos i – osios alternatyvos, svertinėje normalizuotoje sprendimų matricoje, maksimizuojamų ir minimizuojamų rodiklių sumos, atitinkamai S_{+i} ir S_{-i} . Jos apskaičiuojamos pagal formules:

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (1.9)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1+k}^n \tilde{x}_{ij}, (i = \overline{1, m}), \quad (1.10)$$

čia k – maksimizuojamų rodiklių skaičius; $n-k$ – minimizuojamų rodiklių skaičius.

5 etapas. Alternatyvų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) Q_i nustatomas pagal formulę:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{S_{-\min}}{S_{-i}}}, (j = \overline{1, n}), \quad (1.11)$$

čia $S_{-\min} = \min_i S_{-i}, (i = \overline{1, m})$.

6 etapas. Sudaroma alternatyvų prioritentinė eilutė (alternatyvas suranguojame). Kuo didesnis Q_i , tuo alternatyvos racionalumas (efektyvumas) yra didesnis.

2. ANALIZUOJAMŲ KONSTRUKCIJŲ VERTINIMO METODIKOS PARINKIMAS. ALTERNATYVŲ IR KRITERIJŲ REIKŠMINGUMŲ FORMAVIMAS

2.1. Tyrimo tikslas ir uždaviniai

Tyrimo tikslas – sukurti algoritmą, kuris padėtų pasirinkti optimalų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdą.

Tiksliui pasiekti iškelti tokie tyrimo uždaviniai:

1. Nustatyti galimus gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodus;
2. Nustatyti vertinimo kriterijus darančius didžiausią įtaką stiprinant gelžbetonines konstrukcijas;
3. Pasirinkti rodiklių reikšmingumų nustatymo metodą;
4. Pasirinkti alternatyvų prioritetiškumo nustatymo metodą.

2.2. Alternatyvų stiprinamoms gelžbetoninėms konstrukcijoms formavimas

Gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdai:

1. Stiprinimas metalinėmis juostomis;
2. Stiprinimas apibetonavimo būdu;
3. Stiprinimas armuotu pluošto apibetonavimu;
4. Stiprinimas cementiniu armuotu apvalkalu;
5. Stiprinimas Fenilen Benzobio oksalio pluoštu su cementiniu skiediniu;
6. Stiprinimas anglies pluošto juostomis;
7. Stiprinimas anglies pluošto audiniu;
8. Stiprinimas stiklo pluošto audiniu;
9. Stiprinimas anglies pluošto ir plastiko mišiniu;
10. Stiprinimas kompozitine anglies pluošto medžiaga;
11. Stiprinimas injektavimo būdu.

2.3. Alternatyvų vertinimo kriterijų formavimas

Konstrukcijos vertinamos pagal šiuos kriterijus:

1. Kaina, Lt;
2. Laikomoji galia, kN/m; kN/m²;
3. Ilgaamžiškumas, m;
4. Patogumas montuoti, balas;
 - nėra kliūčių – 10;
 - yra kliūčių – 5;

- yra daug kliūčių – 0;
5. Technologiškumas, spec. technikos ir įrangos poreikis, susumuotas balas;
 - reikalingas kranas keliomosios galios iki 2,5 tonų – 1;
 - reikalingas kranas keliomosios galios iki 5 tonų – 3;
 - reikalingas kranas keliomosios galios iki 10 tonų – 7;
 - reikalingas domkratas – 5;
 - reikalingos klojinių sistemos – 3;
 - reikalinga įranga projektiniai padėčiai fiksuoti – 2;
 - Reikalingi pastoliai – 2;
 - Reikalinga kita spec. įranga – 4;
 6. Autentiškumas, senų konstrukcijų išsaugojimas, balas;
 - išsaugomos senos konstrukcijos – 10;
 - išsaugotos konstrukcijos bus remontuojamos – 5;
 - senos konstrukcijos pakeičiamos – 0.
 7. Konstrukcijos svoris, t;
 8. Eksploatavimo išlaidos, Lt/10 metų;
 9. Žmonių darbo sąnaudos, žm. val.;
 10. Mechanizmų darbo sąnaudos, maš. val.;
 11. Garso izoliacija, dB;
 12. Estetiškumas, balas;
 - pasiektas reikiamas paviršius – 10;
 - pasiektas iš dalies norimas paviršius – 5;
 - nepasiektas norimas paviršius – 0;
 13. Reikalingos papildomų medžiagų ir darbų sąnaudos tenkinant gaisrinės saugos reikalavimus, Lt;
 14. Reikalingos papildomų medžiagų ir darbų sąnaudos tenkinant: higienos, sveikatos ir aplinkos saugos reikalavimus, Lt;
 15. Reikalingos papildomų medžiagų ir darbų sąnaudos tenkinant: energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo reikalavimus, Lt;
 16. Reikalingos papildomų medžiagų ir darbų sąnaudos apsaugoti konstrukcijas nuo aplinkos poveikių, Lt;
 17. Atitikimas normatyviniams kokybės reikalavimus, balas;
 - nėra trūkumų – 10;
 - maži nuokrypiai, kurie yra leistini – 5;

- nuokryptai, kuriuos reikia papildomai taisyti – 0.

18. Sandėliavimo poreikis, 100m².

2.4. Tyrimo metodikos pasirinkimas

Tinkamo metodo parinkimas yra svarbus momentas priimant sprendimus, o ypač tada, kai reikia nagrinėti daug rodiklių. Analitinės hierarchijos procesas (*Analytic Hierarchy process*) yra daugiakriteris sprendimų priėmimo metodas, kurį pateikė amerikiečių mokslininkas T. Saaty.

AHP leidžia nagrinėti apibrėžtus ir neapibrėžtus veiksnius, kuriuos gali būti sunku įvertinti kitais būdais. Hierarchinė struktūra leidžia sprendžiamą problemą padalinti į sudedamąsias dalis, dėl to matoma kiekvieno elemento įtaka galutiniam sprendimui.

Analitinės hierarchijos procesas (AHP) yra galingas ir lankstus sprendimų priėmimo būdas, kuris apima daugelį klausimų, tokių kaip reikšmingumų nustatymas, geriausios alternatyvos suradimas, išteklių paskirstymas. Šis metodas tinkamas nestruktūrizuotoms problemoms spręsti įvairiais atvejais: pradedant paprastais asmeniniais sprendimais, baigiant kompleksinėmis, daug resursų reikalaujančiomis užduotimis.

Šiame darbe AHP metodas bus pritaikytas vartotojams, norintiems pasirinkti gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodą, nustatant didžiausią įtaką darančius rodiklius.

Metodo pagrindą sudaro porinio palyginimo matrica. Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius R_i ir R_j . Palyginimo rezultatas yra kvadratinė matrica $P = p_{ij}$ ($i, j = 1, \dots, m$).

Vertinimams T. Saaty pasiūlė taikyti dažnai praktikoje naudojamą penkių balų skalę (1–3–5–7–9) (Podvezko 2011).

2.1 lentelė. Kriterijų vertinimo balų reikšmės (Podvezko 2011)

Svarbumo lygis	Apibrėžimas
1	Rodikliai vienodai svarbūs
3	Vienas rodiklis truputi svarbesnis už kitą
5	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
7	Vienas rodiklis labai daug svarbesnis už kitą
9	Vienas rodiklis nepalyginamai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8	Tarpinės reikšmės

Matricos P elementus p_{ij} galima traktuoti kaip rodiklių R_i ir R_j reikšmių santykius, o po reikšmių normalizacijos – kaip rodiklių svorių santykius.

Ekspertų vertinimo rodikliu palyginimo matrica atrodo taip:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} \cdots & p_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_1}{\omega_m} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_2}{\omega_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_m}{\omega_1} & \frac{\omega_m}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_m}{\omega_n} \end{pmatrix}. \quad (2.1)$$

Toliau skaičiuojamos kiekvienos palyginamosios rodiklių matricos eilutės elementų p_{ij} sandaugos:

$$\prod_i = \prod_{j=1}^m p_{ij}. \quad (2.2)$$

Dydis w'_i apskaičiuojamas pagal (2.3) formulę:

$$w'_i = \sqrt[m]{\prod_i}. \quad (2.3)$$

Kriterijaus reikšmingumas nustatomas pagal (2.4) formulę:

$$w_i = \frac{\sqrt[m]{\prod_{j=1}^m p_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m p_{ij}}}. \quad (2.4)$$

Būna palyginimo matricos suderinamumo sąlyga – matricos elementų svarbumo tranzityvumas. Taip pat matricos suderinamumo sąlygą galima išreikšti ir matematiškai. Iš tikrųjų, įdealiu atveju, naudojant lygybę (2.1), padauginsime matricą P iš svorių stulpelio

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T:$$

$$P\omega = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} \cdots & p_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \cdots \\ \omega_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\omega_1}{\omega_1} & \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_1}{\omega_m} \\ \frac{\omega_2}{\omega_1} & \frac{\omega_2}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_2}{\omega_m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\omega_m}{\omega_1} & \frac{\omega_m}{\omega_2} \cdots & \frac{\omega_m}{\omega_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \cdots \\ \omega_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m\omega_1 \\ m\omega_2 \\ \cdots \\ m\omega_m \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \cdots \\ \omega_m \end{pmatrix} = m\omega \quad (2.5)$$

t.y., sprendžiamas žinomas matematikoje uždavinys apie matricos P tikrinių vektorių ω :

$$P\omega = \lambda\omega, \quad (2.6)$$

su tikrine reikšme $\lambda = m$, čia m yra palyginimo matricos P eilė, lyginamų rodiklių skaičius.

Žinoma, kad atvirkštinės simetrinės matricos m eilės didžiausia tikrinė reikšmė $\lambda_{\max} \geq m$.

Idealiu atveju, kai matrica yra suderinta ir stulpelių elementai yra proporcingi, $\lambda_{\max} = m$. Tokiu atveju matricos suderinamumą charakterizuoja skirtumas $\lambda_{\max} - m$ ir matricos P eilė. Suderinamumo indeksas apibrėžtas kaip santykis:

$$S_i = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1). \quad (2.7)$$

Matricos suderinamumas tuo geresnis, kuo mažesnė suderinamumo indekso reikšmė. Idealiu atveju $S_i = 0$. Idealiai suderinta matrica praktikoje būna labai retai, net jeigu ir patikrinta elementų tranzityvumo savybė. Kiekybiškai konkrečiai atvirkštinės simetrinės matricos suderinamumo laipsnį galima nustatyti, jei palyginti vertinimo matricos suskaičiuotą suderinamumo indeksą su tokios pat eilės atvirkštinės simetrinės matricos atsitiktinai sugeneruotos (pagal skalę 1–3–5–7–9) suderinamumo indeksu. Atsitiktinio suderinamumo indekso reikšmės S_A duotos lentelėje 2.2. Pirmoje lentelės eilutėje yra įrašyta palyginimo matricos eilė, antroje eilutėje – atsitiktinio suderinamumo indekso vidurkiai.

2.2 lentelė. Atsitiktinio suderinamumo indekso reikšmės (Podvezko 2011)

Matricos eilė	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S_A	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Matricos suderinamumo indekso S_I ir atsitiktinio indekso vidurkio S_A santykis vadinasi suderinamumo santykis ir vertina matricos suderinamumo laipsnį:

$$S = \frac{S_I}{S_A}. \quad (2.8)$$

Suderinamumo santykio S reikšmė mažesnė arba lygi 0,1 laikoma priimtina, t.y. matrica skaitosi suderinta.

Alternatyvų prioritetiškumo nustatymui šiame darbe bus naudojamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiam taškui metodu (TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) (Wang et al. 2014).

Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matrica P , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas (m – alternatyvu skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius (n – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos (Simanavičienė 2011).

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

čia x_{ij} – i – osios alternatyvos, j – ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Taikant metodą TOPSIS, sprendimų matrica P normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}. \quad (2.10)$$

Gauta normalizuotoji matrica $\bar{P}$, kurios visos efektyvumo reikšmės – bedimenciniai dydžiai:

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.11)$$

Sudaroma svertinė normalizuota matrica $\bar{P}^*$:

$$\bar{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \cdots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

„Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatoma pagal formulę:

$$a^+ = \left\{ \left[\left(\max_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J' \right) \right] / i = \overline{1,3} \right\}, \quad (2.13)$$

čia J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

Neigiamai idealus variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^- = \left\{ \left[\left(\min_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J' \right) \right] / i = \overline{1,3} \right\}. \quad (2.14)$$

Atstumas tarp lyginamojo i -tojo ir idealiai geriausio variant nustatomas pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; i = \overline{1,3}. \quad (2.15)$$

Atstumas tarp lyginamojo i -tojo ir neigiamai idealaus variant nustatomas pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; i = \overline{1,3}. \quad (2.16)$$

Galutinis TOPSIS metodo žingsnis kiekvieno i -tojo varianto santykinis atstumas iki idealiai geriausio nustatymas:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}; i = \overline{1, 3}, \quad (2.17)$$

čia

$$K_i \in [0, 1].$$

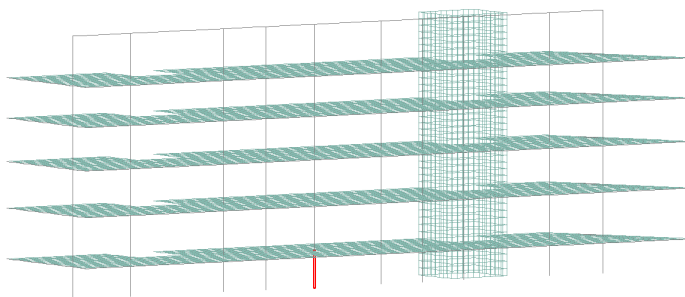
Kuo K_i reikšmė artimesnė vienetui, tuo i -asis variantas artimesnis A^+ t.y. racionalus variantas bus tas, kurio K_i reikšmė yra didžiausia.

3. GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ REKONSTRUKCIJOS PARINKIMO ALGORITMO KŪRIMAS

Kad būtų racionaliai suformuluotas ir išspręstas pastato gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo naudos klausimas, priimti geriausi sprendimai, turi būti taikomi tam tikri metodai ir sudaromas pagrindinis sprendimo modelis, kuris pavaizduotas 3.3 paveiksle.

3.1. Nagrinėjimo objekto aprašymas

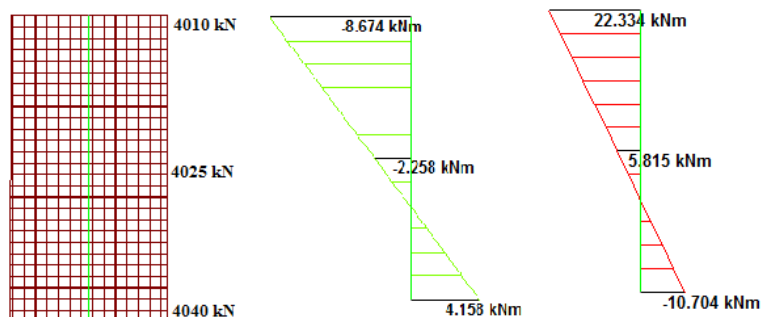
Pastato rekonstrukcijos vieta: Universiteto gatvė 14/2, Vilnius. Rekonstruojamas pastatas yra karkasinis, iš monolitinio gelžbetonio. Pastato pagrindines laikančias konstrukcijas sudaro gręžtiniai pamatai, kolonos, laiptinės sienos ir perdangos. Išorės sienos iš silikatinių plytų mūro ir padengtos fasadiniu apdailos tinku. Projektuojamo pastato matmenys tarp ašių plane yra 69,5 ir 14,4 m. Bendras pastato laikančių konstrukcijų aukštis 21,4 m nuo nulinės altitudės.



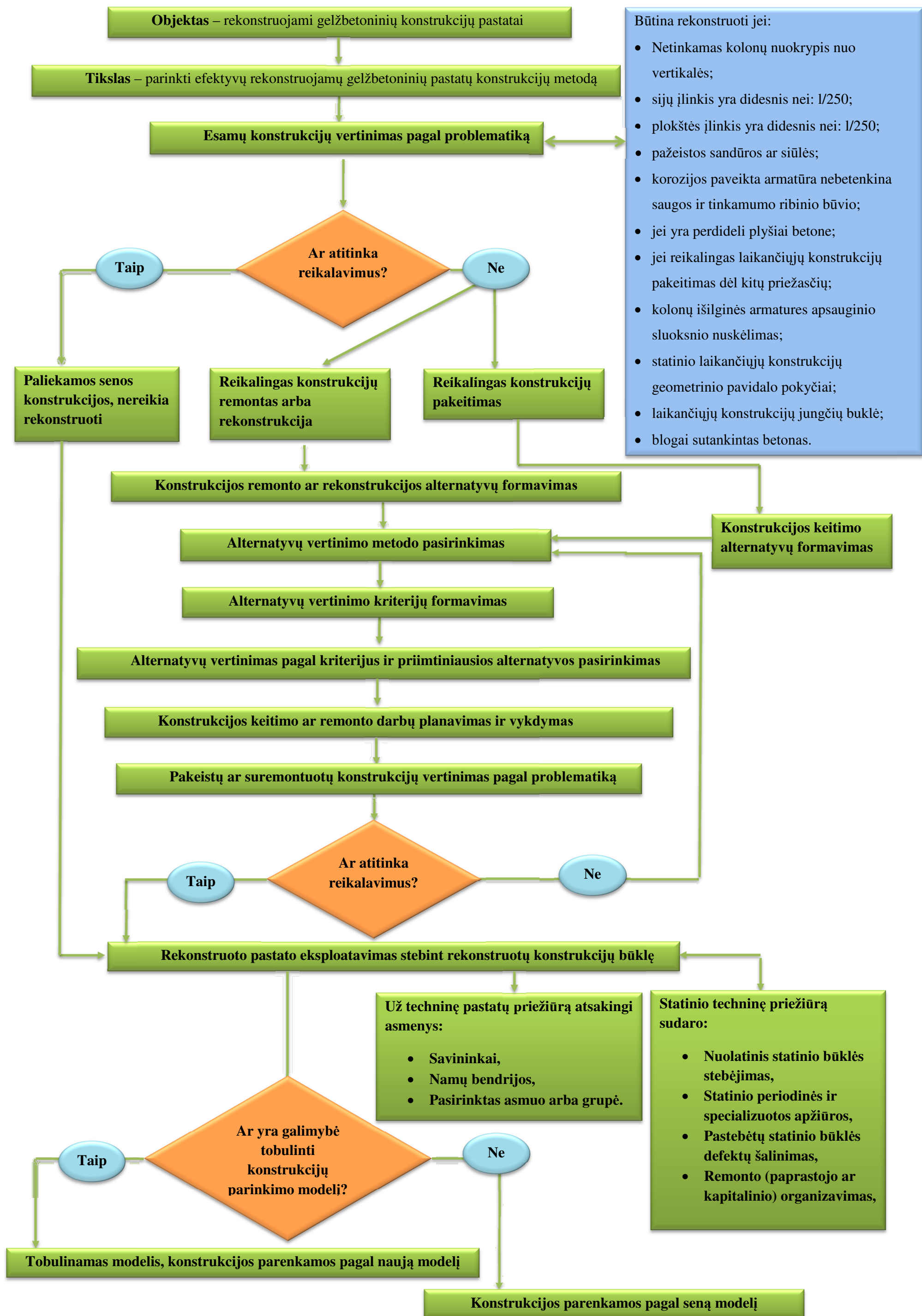
3.1 pav. Skaičiuojamoji statinio schema

Tiriant pastatą buvo nustatytas jo fizinis nusidėvėjimas. Atlikus konstrukcijų skaičiavimus buvo nustatyta, kad yra reikalingas gelžbetoninių kolonų stiprinimas.

Stiprinamos gelžbetoninės 500x500 mm skerspjūvio kvadratinės rūšio kolonos. Jas veikiančios įrašos pavaizduotos 3.2 pav.



3.2 pav. Rūšio kolonas suprojektuotos veikiančios įrašos



3.3 pav. Gelžbetonio konstrukcijų stiprinimo parinkimo modelis

3.2. Konstrukcijų įvertinimas pagal problematiką

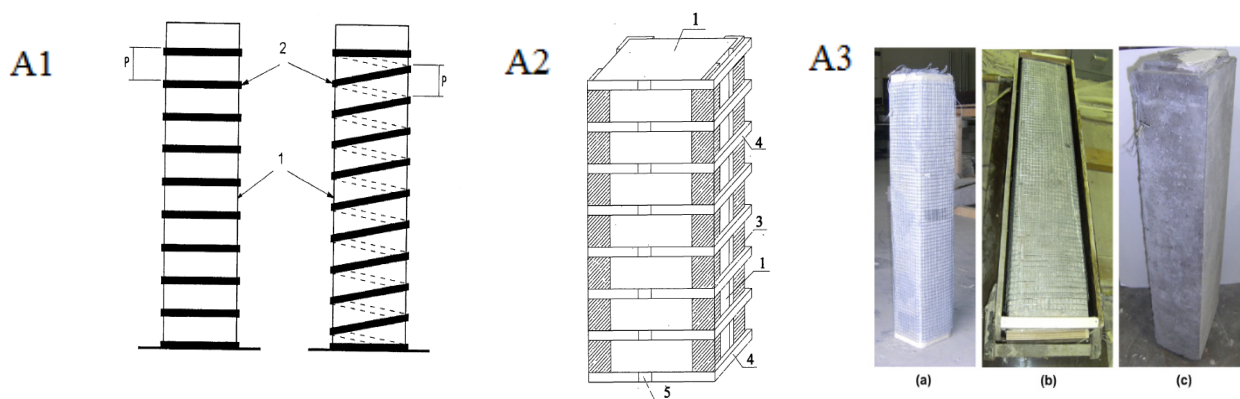
Konstrukcijas būtina remontuoti ar pakeisti naujomis, jei:

- kolonų nuokrypis nuo vertikalės viršija:
iki 4,0 m-10 mm;
4,0-8,0 m-15 mm;
8,0-16,0 m-20 mm;
16,0-25,0 m- 30 mm;
- sijų įlinkis yra didesnis nei: $l/250$;
- plokštės įlinkis yra didesnis nei: $l/250$;
- pažeistos sandūros ar siūlės;
- korozijos paveikta armatūra nebetenkina saugos ir tinkamumo ribinio būvio;
- jei plyšiai betone viršija: 0,3 mm; 0,4 mm (pagal poveikio klasę);
- jei reikalingas laikančiųjų konstrukcijų pakeitimas dėl kitų priežasčių (pvz. statinio paskirties pasikeitimas, tarpatramio didinimas, papildomų aukštų įrengimas, pasikeitęs aplinkos agresyvumas);
- kolonų išilginės armatūros apsauginio sluoksnio nuskėlimas (judant transportui);
- statinio laikančiųjų konstrukcijų geometrinio pavidalo pokyčiai;
- laikančiųjų konstrukcijų jungčių buklė;
- blogai sutankintas betonas.

3.3. Pasirinktų alternatyvų formavimas

Sprendžiant daugiakriterijinį uždavinį suformuojamos trys alternatyvos:

1. A1 – kolonos stiprinamos anglies pluošto vijomis;
2. A2 – kolonos stiprinamos plieninėmis juostomis;
3. A3 – kolonos stiprinamos armuotu betono sluoksniu.



3.4 pav. Pasirinktos alternatyvos gelžbetoninėms kolonoms stiprinti

3.4. Parinktų rodiklių sąrašas

1. Kaina, Lt;
2. Laikomoji galia, kN/m; kN/m²;
3. Ilgaamžiškumas, m;
4. Technologiškumas, spec. technikos ir įrangos poreikis, susumuotas balas;
 - reikalingas kranas keliomosios galio iki 2,5 tonų – 1;
 - reikalingas kranas keliomosios galio iki 5 tonų – 3;
 - reikalingas kranas keliomosios galio iki 10 tonų – 7;
 - reikalingas domkratas – 5;
 - reikalingos klojinių sistemos – 3;
 - reikalinga įranga projektiniai padėčiai fiksuoti – 2;
 - Reikalingi pastoliai – 2;
 - Reikalinga kita spec. įranga – 4;
5. Autentiškumas, senų konstrukcijų išsaugojimas, balas;
 - išsaugomos senos konstrukcijos – 10;
 - išsaugotos konstrukcijos bus remontuojamos – 5;
 - senos konstrukcijos pakeičiamos – 0.
6. Konstrukcijos svoris, t;
7. Eksploatavimo išlaidos, Lt/10 metų;
8. Žmonių darbo sąnaudos, žm. val.;
9. Mechanizmų darbo sąnaudos, maš. val.;
10. Reikalingos papildomų medžiagų ir darbų sąnaudos tenkinant gaisrinės saugos reikalavimus, Lt.

3.5. Kriterijų reikšmingumų nustatymas AHP metodu

Lentelėje 3.1 pateikiami kriterijų vertinimo balai ir jų reikšmės. Lentelėje 3.2 pateikiami ekspertų kriterijų vertinimo vidurkiai.

3.1 lentelė. Kriterijų vertinimo balų reikšmės (Podvezko 2011)

Svarbumo lygis	Apibrėžimas
1	Rodikliai vienodai svarbūs
3	Vienas rodiklis truputi svarbesnis už kitą
5	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
7	Vienas rodiklis labai daug svarbesnis už kitą
9	Vienas rodiklis nepalyginamai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8	Tarpinės reikšmės

3.2 lentelė. Vertinimų vidurkių lentelė

Eksp.	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
x ₁	1,00	0,49	0,40	4,25	5,40	7,00	5,50	6,45	6,45	5,20
x ₂	2,5	1	1,1	6,25	7	6,85	4,9	7,5	7,45	6,35
x ₃	2,6	1,12	1	6,85	6,9	6,15	5,05	7,25	7,05	4,95
x ₄	0,25	0,16	0,15	1	0,26	3	0,3	4,5	2,85	0,42
x ₅	0,19	0,16	0,15	4	1	4,1	2,1	4,7	4,7	1,95
x ₆	0,15	0,15	0,17	0,39	0,26	1	0,37	0,43	0,43	0,22
x ₇	0,19	0,21	0,2	3,75	0,48	3,2	1	4,7	4,5	1,55
x ₈	0,16	0,13	0,14	0,27	0,22	3,3	0,22	1	1,3	0,26
x ₉	0,16	0,14	0,14	0,41	0,22	3,3	0,23	0,85	1	0,26
x ₁₀	0,2	0,16	0,21	2,85	0,54	4,85	0,74	4,25	4,25	1

čia

x₁ – kaina, Lt;

x₂ – laikomoji galia, kN/m;

x₃ – ilgaamžiškumas, m;

x₄ – spec. technikos ir įrangos poreikis, susumuotas balas;

x₅ – senų konstrukcijų išsaugojimas, balas;

x₆ – konstrukcijos svoris, t;

x₇ – eksplotavimo išlaidos, Lt/10 metų;

x₈ – žmonių darbo sąnaudos, žm. val.;

x₉ – mechanizmų darbo sąnaudos, maš. val.;

x₁₀ – Reikalingos papildomų medžiagų, darbų sanaudos tenkinant gaisrinės saugos reikalavimus, Lt.

Rodiklis $\prod_i$ apskaičiuojamas pagal (2.2) formulę. Apskaičiuotos reikšmės pateiktos 3.5 lentelėje.

$$\prod_i = \prod_{j=1}^{10} p_{ij} ; \quad (2.2)$$

$$\prod_i = 1 \cdot 0,49 \cdot 0,4 \cdot 4,25 \cdot 5,4 \cdot 7,00 \cdot 5,50 \cdot 6,45 \cdot 6,45 \cdot 5,2 = 37661,8201.$$

Dydis w'_i apskaičiuojamas pagal (2.3) formulę. Apskaičiuotos reikšmės pateiktos 3.5 lentelėje.

$$w'_i = \sqrt[10]{\prod_i} ; \quad (2.3)$$

$$w'_1 = \sqrt[10]{37661,8201} = 2,87.$$

Kriterijų reikšmingumas w_i apskaičiuojamas pagal (2.4) formulę. Apskaičiuotos reikšmės pateiktos 3.5 lentelėje.

$$w_i = \frac{\sqrt[10]{\prod_{j=1}^{10} a_{ij}}}{\sum_{i=1}^{10} \sqrt[10]{\prod_{j=1}^{10} a_{ij}}} ; \quad (2.4)$$

$$w_1 = \frac{\sqrt[10]{1 \cdot 0,49 \cdot 0,4 \cdot 4,25 \cdot 5,4 \cdot 7,00 \cdot 5,50 \cdot 6,45 \cdot 6,45 \cdot 5,2}}{2,87 + 4,13 + 4,01 + 0,61 + 1,21 + 0,3 + 1,04 + 0,37 + 0,50,37 + 0,96} = 0,18.$$

Skaičiavimo teisingumui patvirtinti pagal (2.4) formulę atliekama kontrolė.

$$\sum_{i=1}^{10} w_i = 1,0 ;$$

$$\sum_{i=1}^{10} w_i = 0,18 + 0,26 + 0,25 + 0,04 + 0,08 + 0,02 + 0,07 + 0,02 + 0,02 + 0,06 = 1,0.$$

Sudauginama ekspertų nuomonių vidurkių matrica su kriterijų reikšmingumų matrica:

$$\begin{bmatrix} 1,00 & 0,49 & 0,40 & 4,25 & 5,40 & 7,00 & 5,50 & 6,45 & 6,45 & 5,20 \\ 2,50 & 1,00 & 1,10 & 6,25 & 7,00 & 6,85 & 4,90 & 7,50 & 7,45 & 6,35 \\ 2,60 & 1,12 & 1,00 & 6,85 & 6,90 & 6,15 & 5,05 & 7,25 & 7,05 & 4,95 \\ 0,25 & 0,16 & 0,15 & 1,00 & 0,26 & 3,00 & 0,30 & 4,50 & 2,85 & 0,42 \\ 0,19 & 0,16 & 0,15 & 4,00 & 1,00 & 4,10 & 2,10 & 4,70 & 4,70 & 1,95 \\ 0,15 & 0,15 & 0,17 & 0,39 & 0,26 & 1,00 & 0,37 & 0,43 & 0,43 & 0,22 \\ 0,19 & 0,21 & 0,20 & 3,75 & 0,48 & 3,20 & 1,00 & 4,70 & 4,50 & 1,55 \\ 0,16 & 0,13 & 0,14 & 0,27 & 0,22 & 3,30 & 0,22 & 1,00 & 1,30 & 0,26 \\ 0,20 & 0,14 & 0,14 & 0,41 & 0,22 & 3,30 & 0,23 & 0,85 & 1,00 & 0,26 \\ 0,12 & 0,16 & 0,21 & 2,85 & 0,54 & 4,85 & 0,74 & 4,25 & 4,25 & 1,00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,26 \\ 0,25 \\ 0,04 \\ 0,08 \\ 0,02 \\ 0,07 \\ 0,02 \\ 0,02 \\ 0,06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,09 \\ 2,95 \\ 2,88 \\ 0,45 \\ 0,90 \\ 0,22 \\ 0,75 \\ 0,27 \\ 0,27 \\ 0,68 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Dydis $\lambda'_{\max}$, gaunamas ekspertų nuomonių vidurkio ir kriterijų reikšmingumą sandaugos matricos reikšmę padalinus iš atitinkamo kriterijaus reikšmingumo. Skaičiavimo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

$$\lambda'_{\max,i} = \frac{2,09}{0,18} = 11,57. \quad (2.18)$$

Dydis $\lambda'_{\max}$, apskaičiuojamas pagal (2.19) formulę.

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \lambda'_{\max,i}}{10}; \quad (2.19)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{11,57 + 11,33 + 11,40 + 11,76 + 11,74 + 11,62 + 11,47 + 11,78 + 11,55 + 11,21}{10} = 11,54.$$

Pagal (2.8) formulę skaičiuojamas rodiklis S_i .

$$S_i = \frac{S}{S_A} = \frac{\frac{\lambda_{\max} - m}{m-1}}{1,49}; \quad (2.8)$$

čia $S_A = 1,49$, nes vertinama dešimt kriterijų.

$$S_i = \frac{11,54 - 10}{10 - 1} = 0,115.$$

Kadangi konsistencijos sąlyga $S_i > 0,10$ ekspertų nuomonės yra nesuderintos, tačiau tai galima paaiškinti tuo, kad ekspertų kompetencijos lygis buvo nevienodas ir jų prioritetai pasiskirtė skirtingai. Kai kuriuose literatūros šaltiniuose minima, kad skaičiavimams konsistencijos sąlyga yra galima $S_i < 0,20$. Šiuo atveju ekspertų nuomonės yra suderintos.

3.3 lentelė. Skaičiavimo rezultatai

Kriterijus	Π_i	w_i'	w_i	Kontrolė	$P \times w$	$\lambda'_{\max,i}$	$\lambda_{\max}$	S_i
x ₁	37661,820130	2,87	0,18	1,00	2,09223232	11,57	11,54	0,115
x ₂	1432810,198682	4,13	0,26		2,94665944	11,33		
x ₃	1078289,506661	4,01	0,25		2,88219038	11,40		
x ₄	0,007509	0,61	0,04		0,45443904	11,76		
x ₅	6,689861	1,21	0,08		0,89495212	11,74		
x ₆	0,000006	0,30	0,02		0,21878693	11,62		
x ₇	1,528231	1,04	0,07		0,75421671	11,47		
x ₈	0,000042	0,37	0,02		0,27097099	11,78		
x ₉	0,000045	0,37	0,02		0,26788383	11,55		
x ₁₀	37661,820130	0,96	0,06		0,67937637	11,21		

3.6. Geriausios alternatyvos nustatymas TOPSIS metodu

Pradinė sprendimų matrica su kriterijų įvertinimu juos minimizuoti ar maksimizuoti ir kriterijų reikšmingumais pateikta 3.4 lentelėje.

Pradinės sprendimų matricos reikšmės normalizuojamos pagal (2.10) formulę.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; i = \overline{1,3}; j = \overline{1,10}; \quad (2.10)$$

$$\bar{x}_{11} = \frac{2220}{\sqrt{2220^2 + 1569^2 + 725^2}} = 0,7891.$$

Sprendimų matrica su normalizuotomis reikšmėmis pateikta lentelėje 3.5. Pagal (2.12) formulę normalizuotos matricos reikšmės padauginus iš atitinkamų reikšmingumo koeficientų gaunama svertinė normalizuotoji matrica.

$$\bar{x}'_{ij} = \bar{x}_{ij} q_i; i = \overline{1,3}; j = \overline{1,10}; \quad (2.12)$$

$$\bar{x}'_{11} = 0,7891 \cdot 0,18 = 0,142.$$

Normalizuotos svertinės matricos reikšmės pateiktos 3.6 lentelėje.

Pagal (2.13) formulę nustatomas idealiai geriausias variantas.

$$a^+ = \left\{ \left[\left(\max_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J' \right) \right] / i = \overline{1,3} \right\}; \quad (2.13)$$

čia

J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;

J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

$$a^+ = \{0,046; 0,193; 0,171; 0,02; 0,046; 0,000; 0,02; 0,006; 0,009; 0,000\}.$$

Pagal (2.14) formulę nustatomas neigiamai idealus variantas.

$$a^- = \left\{ \left[\left(\min_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i \bar{x}_{ij} \mid j \in J' \right) \right] / i = \overline{1,3} \right\}; \quad (2.14)$$

$$a^- = \{0,142; 0,103; 0,114; 0,024; 0,046; 0,019; 0,060; 0,016; 0,014; 0,057\}.$$

3.4 lentelė. Pradinė sprendimų matrica

	Kaina, Lt	Laikomoji galia kN/m	Ilgamžiš- kumas, m	Spec. tech., balas	Senų. konst. išsaugojimas, balas	Konstrukci- jos svoris, t	Eksplotavi- mo išlaidos, Lt/10 metų	Darbo sąnaudos, žm. val.	Darbo sąnaudos, maš. val.	Išlaidos gaisrinei saugai, Lt
A1	2220	16	20	6,00	5,00	0,002	300,00	2,90	1,90	190,00
A2	1569	22	25	6,00	5,00	0,26	588,00	2,00	1,14	588,00
A3	725	30	30	5,00	5,00	0,8	200,00	1,20	1,50	1,00
q _i	0,18	0,23	0,21	0,06	0,10	0,03	0,07	0,03	0,03	0,06
Min/max	min	max	max	min	max	min	min	min	min	min

3.5 lentelė. Normalizuota sprendimų matrica

	Kaina, Lt	Laikomoji galia kN/m	Ilgamžišku- mas, m	Spec. tech., balas	Senų. konst. Išsaugoji-	Konstrukci- jos svoris, t	Eksplotavimo išlaidos, Lt/10 metų	Darbo sąnaudos,žm. val.	Darbo sąnaudos, maš. val.	Išlaidos gaisrinei saugai,
A1	0,7891	0,3951	0,4558	0,6092	0,5774	0,0024	0,4349	0,7792	0,7101	0,3075
A2	0,5577	0,5433	0,5698	0,6092	0,5774	0,3091	0,8525	0,5374	0,4260	0,9516
A3	0,2577	0,7408	0,6838	0,5077	0,5774	0,9510	0,2900	0,3224	0,5606	0,0016
q _i	0,18	0,26	0,25	0,04	0,08	0,02	0,07	0,02	0,02	0,06
Min/max	min	max	max	min	max	min	min	min	min	min

3.6 lentelė. Normalizuota svertinė matricija

	Kaina, Lt	Laikomoji galia kN/m	Ilgamžišku- mas, m	Spec. tech., balas	Senų. konst. Išsaugoji-	Konstrukci- jos svoris, t	Eksplotavimo išlaidos, Lt/10 metų	Darbo sąnaudos,žm. val.	Darbo sąnaudos, maš. val.	Išlaidos gaisrinei saugai,
A1	0,142	0,103	0,114	0,024	0,046	0,000	0,030	0,016	0,014	0,018
A2	0,100	0,141	0,142	0,024	0,046	0,006	0,060	0,011	0,009	0,057
A3	0,046	0,193	0,171	0,020	0,046	0,019	0,020	0,006	0,011	0,000
q _i	0,18	0,26	0,25	0,04	0,08	0,02	0,07	0,02	0,02	0,06
Min/max	min	max	max	min	max	min	min	min	min	min

Pagal (2.15) formulę nustatomas atstumas tarp lyginamojo i-tojo ir idealiai geriausio varianto.

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; i = \overline{1,3}; \quad (2.15)$$

$$L_1^+ = 0,145;$$

$$L_2^+ = 0,106;$$

$$L_3^+ = 0,019.$$

Pagal (2.16) formulę nustatomas atstumas tarp lyginamojo i-tojo ir neigiamai idealaus varianto.

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; i = \overline{1,3}; \quad (2.16)$$

$$L_1^- = 0,052;$$

$$L_2^- = 0,065;$$

$$L_3^- = 0,159.$$

Pagal (2.17) formulę nustatomas kiekvieno i-tojo varianto santykinis atstumas iki idealaus.

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}; i = \overline{1,3}; \quad (2.17)$$

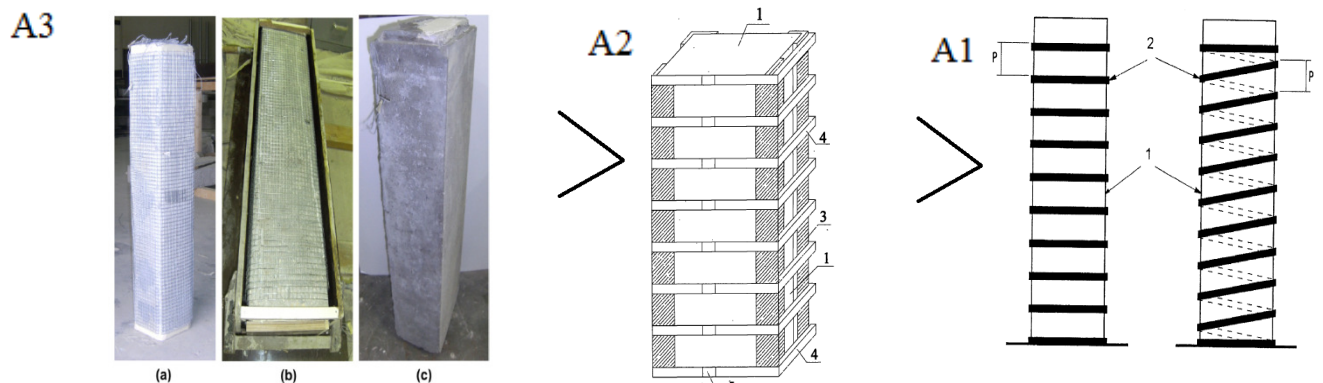
čia $K_i \in [0,1]$.

$$K_1 = \frac{0,052}{0,145 + 0,052} = 0,26;$$

$$K_2 = 0,38;$$

$$K_3 = 0,89.$$

Prioritetų eilutė, sprendžiant daugiakriterijinį uždavinį TOPSIS metodu yra $A3 > A2 > A1$.



3.5 pav. Alternatyvų rezultatai gelžbetoninėms kolonom stiprinti

Atlikus skaičiavimus buvo nustatyta, kad pasirinktų gelžbetoninių kolonų stiprinimui iš trijų pasiūlitų variantų racianaliausias yra – kolonų stiprinimas armuotu betonu sluoksniu. Toks rezultatas buvo gautas, nes ekspertų apklausos duomenimis svarbiausias rodiklis yra laikomoji galia, o stiprinant gelžbetonines kolonas armuotu betono sluoksniu pasiekama didžiausia laikomoji galia gniuždomajam stipriui. Ekspertų nuomone, toks rodiklis, kaip konstrukcijos svoris, yra palyginti nesvarbus, kuris būtų turėjęs įtakos rezultatams, bet jis nebūtų pakeitęs pačios alternatyvų prioritetų eilutės, nes skirtumai tarp pirmos ir antros, antros ir trečios yra dideli.

IŠVADOS

Išnagrinėjus gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo metodus ir technologijas, galima daryti šias išvadas:

1. Apleisti pastatai yra stambūs kraštovaizdžio vizualinės taršos objektai, kelia grėsmę žmonių saugumui, didina socialinę įtampą, sukelia materialinius nuostolius. Planuojant šių pastatų racionalų naudojimą, būtina atsižvelgti ne vien tik į ekonominę naudą. Tokių objektų tvarkymas turi būti sprendžiamas kompleksiskai, įvertinant technines ir netechnines sąlygas, t.y. pagal darnios statybos principus, darnaus teritorijų ir visuomenės vystymo kontekste. Reikalingi moksliniai tyrimai ir jų pagrindu parengtos taikomosios priemonės, kurie padėtų priimti efektyvius apleistų pastatų tvarkymo ir naudojimo sprendimus. Pastatų rekonstrukcija yra aktuali ypač tuomet, kai, yra tikslas iš esmės pertvarkyti esamą statinį, sukurti jo naują kokybę: pastatyti naujus aukštus (antstatus) ar nugriauti dalį esamų (nedidinant statinio užimto žemės ploto matmenų, išskyrus priestato atvejį).

2. Dažniausiai gelžbetoninės konstrukcijos stiprinamos dviem pagrindiniais būdais: naujų sluoksnių pribetonavimu arba naudojant metalinius elementus. Paskutiniu metu vis plačiau naudojamos įvairios kompozitinės medžiagos ir jų dirbiniai.

3. Anglies pluoštu stiprinimo sistema gelžbetonio konstrukcijose taikoma tada, kai susiduriama su didesne eksploatacijos apkrova pastatuose, tiltuose, kai pramonės įmonėse montuojami didesni ir sunkesni įrenginiai, taip pat konstrukcijų elementų dinaminėms apkrovoms bei statinių paskirties keitimo atvejais. Ši medžiaga naudojama ir tada, kai susiduriama su laikančiųjų elementų pažeidimais: konstrukcinių medžiagų senėjimo procesu, armatūros korozija, transporto priemonių smūgiais bei gaisru. Taikant šią sistemą labai pagerinamos konstrukcijos eksploatacijos sąlygos: sumažinama atšokimų galimybė, armatūros įtempimas bei plyšių plotis. Medžiaga gali ištaisyti ir konstrukcinės schemos pakeitimų padarinius (sienų, kolonų bei perdangų fragmentų šalinimas). Ją galima naudoti ir taisant projektavimo bei darbų atlikimo klaidas (nepakankamas armatūros perdengimas ar nepakankami elementų matmenys).

4. Sukurtas algoritmas, kuris padės pasirinkti optimalų gelžbetoninių konstrukcijų stiprinimo būdą, stiprinimo alternatyvų vertinimo kriterijus konkrečiose situacijose nustatyti efektyviausią gelžbetonio stiprinimo būdą remiantis: ekonominiais, statinio fizikinių savybių, estetikos, darbo imlumo, specialios technikos poreikio ir kitais aspektais.

5. Nustatant pasirinktų kriterijų reikšmingumus vartotojui pritaikytas daugiakriteris analitinės hierachijos proceso (AHP) metodas. Atlikus ekspertų apklausą buvo nustatyta, kad svarbiausi rodikliai gelžbetoninėms konstrukcijoms stiprinti yra: laikomoji galia ($q = 0,26$), ilgaamžiškumas ($q = 0,25$) ir kaina ($q = 0,18$). Mažiau svarbūs - konstrukcijos svoris ($q = 0,02$), žmonių darbo

sąnaudos ($q = 0,02$) ir mechanizmų darbo sąnaudos ($q = 0,02$). Rezultatai parodo, kad ekspertams yra svarbiausia konstrukcijų patikimumas ir ilgaamžiškumas ir jiems nėra taip svarbu kokiomis sąnaudomis tai bus pasiekta.

6. Atlikus skaičiavimus buvo nustatyta, kad pasirinktų gelžbetoninių kolonų stiprinimui iš trijų pasiūlytų variantų raciausiai yra kolonų stiprinimas armuotu betonu sluoksniu. Prioritetų eilutės rezultatai, sprendžiant daugiakriterijinį uždavinį yra $0,89 > 0,38 > 0,26$. Tokį rezultatą lėmė tai, kad ekspertų apklausos duomenimis svarbiausias rodiklis yra laikomoji galia, o stiprinant gelžbetonines kolonas armuotu betono sluoksniu pasiekama didžiausia laikomoji galia gniuždomajam stipriui. Ekspertų nuomone, toks rodiklis, kaip konstrukcijos svoris, yra nereikšmingas.

7. Šio tyrimo rezultatai buvo aptarti pranešimuose: 2014 metų 17-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis” 2014 m. kovo 20 dieną ir konferencijos jungtiniame posėdyje 2014 m. balandžio 30 dieną.

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

- Antuchevičienė, J. 2005. Apleistų pastatų naudojimo medeliavimas darnaus vystymo(-si) aspektu. *Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika. 165 p.
- Basalt fiber unidirectional cloth [interaktyvus]. 2014. *Zhejiang Heading Filter Material Co.* [žiūrėta 2014-05-25]. Prieiga per internetą: <http://headingfilter001.en.china.cn/selling-leads/detail,1161719500,Basalt-fiber-UniDirectional-cloth-Basalt-filter-cloth-Basalt-dust-collector-bag.html>
- Carson, J. M.; Rizkalla, S.; Shimp, E. 2006. *Precast concrete pile with carbon fiber reinforced grid*. Patent number: US201213652126.
- Carbon fibre wrap strengthens concrete columns [interaktyvus]. 2014. *SPECIFIER*. . [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: <http://www.specifile.co.za/specifier/cement-a-concrete/897-carbon-fibre-wrap-strengthens-concrete-columns>
- Colajanni, P.; De Domenico, F.; Recupero, A.; Spinella, N. 2014. Concrete columns confined with fibre reinforced cementitious mortars: Experimentation and modelling, *Construction and Building Materials* 52 375–384.
- Construction reinforcement / Teknoplata – Carbon fiber strip [interaktyvus]. 2010. *Tekno construction chemicals*. [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: <http://www.teknoyapi.com.tr/en/product-browser/teknoplata-carbon-fiber-strip/30>
- Domagala, L. 2011. Modification of properties of structural lightweight concrete with steel fibres, *Civil Engineering and Management*, 17:1 36-44.
- Fankui, Z.; Changming, C.; Ming, Z.; Xuefeng, Z. 2012. Repairing and strengthening method for existing reinforced concrete beam-column joints. *Patent number: CN2012192635*.
- Fiber reinforced polymers [interaktyvus]. 2014. *Advance Composite Fibers*. [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: <http://www.advancecompositedfibers.com/eng/soluciones.html>
- Galvez, J.C.; Benitez, J.M.; Tork, B.; Casati, M.J.; Cendon, D.A. 2009. Splitting failure of precast prestressed concrete during the release of the prestressing force, *Engineering Failure Analysis* 16 2618–2634.
- Gelžbetonio injektavimas [interaktyvus]. 2014. *Baltijos pašvaistė*. [žiūrėta 2014-02-20]. Prieiga per internetą: <http://www.baltjospasvaiste.lt/lts/lt/injektavimas/gelzbetonio-injektavimas>
- Gilbert, R.I. 2011. The Serviceability Limit States in Reinforced Concrete Design, *Procedia Engineering* 14 385–395.
- Hwang, H.; Yoon, H.; Joh, C.; Kim, B. 2010. Punching and fatigue behavior of long-span prestressed concrete deck slabs. *Republic of Korea. Engineering Structures* 32 2861_2872.

- Yeh, P.L.; Liu, P.L. 2009. Imaging of internal cracks in concrete structures using the surface rendering technique, *NDT&E International* 42 181–187.
- Yong Y.; Bo, W.; Jianyang, X.; Huiping, H. 2010. *Strengthening device combined with reinforced concrete column*. Patent number: CN2010264477.
- Jingfeng, W.; Jingcheng, X.; Aijun, L. 2008. *Fiber composite material steel reinforced concrete structure*. Patent number: CN20081123343.
- Kamaitis, Z. 2010. Modelling of corrosion protection for reinforced concrete structures with surface coatings, *Civil Engineering and Management*, 14:4, 241-249.
- Komaki, H.; Fukuda, Y.; Nakata, M. 2007. *Method of strengthening reinforced concrete column structures using carbon fibre*. Patent number: TW20070121702.
- Konstrukcijų stiprinimas ir anglies pluošto sistemos [interaktyvus]. 2013. *Velve MST*. [žiūrėta 2013-12-15]. Prieiga per internetą: <http://velvemst.lt/mapei/produktai-statybai/konstrukciju-stiprinimas-ir-anglies-pluosto-sistemos/konstrukciju-stiprinimo-sistemu-pasirinkimo-galimybes>
- Malinauskas, P.; Kalibatas, D. 2005. Racionalių statybos technologinių procesų parinkimas taikant Copras metodą. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas*. Vol XI, Nr. 3 197–205 p.
- Martinola, G.; Meda, A.; Giovanni, A.; Plizzari, C.; Rinaldi, Z. 2010. Strengthening and repair of RC beams with fiber reinforced concrete, *Cement & Concrete Composites* 32 731–739.
- Matulis, T.; Ignatavičius, Č.; Volvačiovas, R. 2012. Pastatų nusidėvėjimo vertinimo metodikos analizė ir jos panaudojimas tiriant ikimokyklinio ugdymo įstaigas, *Statyba/Construction* ISSN 2029-7149 online.
- Mouil, M.; Khelafi, H. 2007. Properties of lightweight concrete made with crushed natural pozzolana as coarse aggregate, *Technological and Economic Development of Economy*, 13:4, 259-265.
- Mourad, S.M.; Shannag, M.J. 2012. Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets, *Cement & Concrete Composites* 34 288–294.
- Naderi, M. 2008. Adhesion of Different Concrete Repair Systems Exposed to Different Environments, *Adhesion*, 84:1 78-104.
- Patobulintos „Sika“ medžiagos konstrukcijoms sutvirtinti [interaktyvus]. 2007. *Spec.lt*. [žiūrėta 2012-12-18]. Prieiga per internetą: http://www.spec.lt/lt/izoliacines_medziagos-Patobulintos_Sika_medziagos_konstrukcijoms_sutvirtinti
- Podzvezko, V. 2011. Application of AHP technique, *Journal of Business Economics and Management*, 10:2 (2011) 181-189.
- Simanavičienė, R. 2011. Kiekybinių daugiatislių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė. *Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika. 148 p.

- Simonavičiūtė, L. 2003. *Pastatų priežiūros techninio eksploatavimo bendrosios taisyklės*. Vilnius: 39 p.
- Steel fiber reinforced concrete [interaktyvus]. 2011. *Bright hub engineering*. [žiūrėta 2013-02-05]. Prieiga per internetą: http://www.brighthubengineering.com/concrete-technology/52076-steel-fiber-reinforced-concrete/#imgn_0
- Structural strengthening and plate bonding [interaktyvus]. 2012. *EPMS supplies*. [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: http://www.epms-supplies.co.uk/Search.aspx?product_group=46&page=2
- Surdokienė, R. 2011. Visuomeninių pastatų konversija Lietuvoje: Kino teatro „Lietuva“ konversijos galimybių studija. *14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*.
- Tang, K.; Millard, S.; Beattie, G. 2012. Technical and economic aspects of using GGBFS for crack control mitigation in long span reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*. 39. 65-70p.
- Technical design guide for FRP composite product and parts. [interaktyvus]. 2014. *Molded Fiber Glass Companies*. [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: http://www.moldedfiberglass.com/sites/default/files/docs/MFG_Technical_Design_Guide_FRP_Composite_0.pdf
- Tittarelli, F.; Moriconi, G. 2011. Comparison between surface and bulk hydrophobic treatment against corrosion of galvanized reinforcing steel in concrete, *Cement and Concrete Research* 41 609–614.
- Tittarelli, F.; Moriconi, G. 2008. The effect of silane-based hydrophobic admixture on corrosion of reinforcing steel in concrete, *Cement and Concrete Research* 38 1354–1357.
- Triantaphyllou, E. 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study//*Applied Optimization*. 44. 289p.
- Unidirectional carbon fiber (for retrofitting) [interaktyvus]. 2013. *Construction division*. [žiūrėta 2014-04-15]. Prieiga per internetą: <http://www.polymerprod.com/main/3000/index.asp?pageid=134618&t=carbon-fiber-unidirectional/-carbon-fiber-plates>
- Valivonis, J.; Marčiukaitis, G. 2006. Technological-structural peculiarities of reinforced concrete structures strengthened with carbon fiber-reinforced polymer, *Technological and Economic Development of Economy*, 12:2 77-83.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. Pastatų sistemotechninis įvertinimas. Vilnius: Technika. 279p.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Banaitienė, N. 2001. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė. Vilnius: Technika.. 380 p.

- Zhou, H. L. 2003. *Reinforced concrete prefabricated member containing carbon fiber reinforced plastic*. Patent number: CN2003255549U.
- Žiogas, V. A.; Juočiušas, S.; Medelienė, V.; Žiogas, G. 2012. Procesai, vykstantys betonavimo ir pradinio kietėjimo metu gelžbetoninėse monolitinėse konstrukcijose, *Engineering structures and technologies* 4(2) 67–75.
- Wang, Z. X.; Wang, Y. Y. 2014. Evaluation of the provincial competitiveness of the Chinese high-tech industry using an improved TOPSIS method. *Expert Systems with Applications* Volume 41, Issue 6, May 2014. Pages 2824 –2831.

PRIEDAI

Rekonstruojamų pastatų gelžbetonio konstrukcijų efektyvaus varianto parinkimo kriterijų palyginimas

Žemiau pateiktoje lentelėje palyginkite vertinimo kriterijus balais nuo 1 iki 9, skirtus nustatyti efektyviausią gelžbetonio konstrukcijų stiprinimo metodą. Apklausos metu gautais rezultatais bus vertinamos sustiprintos gelžbetoninės kolonos trimis alternatyvomis:

stiprinimas anglies pluošto vijomis, stiprinimas plieninėmis juostomis ir stiprinimas armuotu betono sluoksniu.

Svarbumo lygis	Apibrėžimas
1	Rodikliai vienodai svarbūs
3	Vienas rodiklis truputi svarbesnis už kitą
5	Vienas rodiklis daug svarbesnis už kitą
7	Vienas rodiklis labai daug svarbesnis už kitą
9	Vienas rodiklis nepalyginamai svarbesnis už kitą
2, 4, 6, 8	Tarpinės reikšmės

Ekspertas Nr.	Kaina, Lt	Laikomoji galia, kN/m;	Ilgamžiškumas, m;	Spec. technikos ir įrangos poreikis, balas;	Senų konstrukcijų išsaugojimas, balas;	Konstrukcijos svoris, t;	Eksplotavimo išlaidos, Lt/10 metų;	Žmonių darbo sąnaudos, žm. val.;	Mechanizmų darbo sąnaudos, maš. val.;	Išlaidos gaistrinei saugai, Lt.
Kaina, Lt	1									
Laikomoji galia, kN/m;		1								
Ilgamžiškumas, m;			1							
Spec. technikos ir įrangos poreikis, balas;				1						
Senų konstrukcijų išsaugojimas, balas;					1					
Konstrukcijos svoris, t;						1				
Eksplotavimo išlaidos, Lt/10 metų;							1			
Žmonių darbo sąnaudos, žm. val.;								1		
Mechanizmų darbo sąnaudos, maš. val.;									1	
Išlaidos gaistrinei saugai, Lt.										1

Parengė: Vilniaus Gedimino technikos universiteto magistro studijų studentas Andrius Virbickas



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS
UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS

PROGRAMA

17-osios

Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos

“MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS”

Sekcijoje

STATYBA

(2014 m. kovo 20 d.)

Sekretorė – A. Binkytė

el. paštas: arune.binkyte@vgtu.lt

Konferencijos tinklapis: <http://jmk.statyba.vgtu.lt>

VILNIUS

KONFERENCIJOS VIETA IR DATA

VGTU Statybos fakulteto, Statybos technologijos ir
vadybos katedros atrankinė konferencija įvyks 2014 m.
kovo 20 d. 13:45 val. SRC 301 aud.

Jungtinė SF konferencija vyks 2014 m. kovo 28 d. (data
gali keistis)

KONFERENCIJOS DALYVIAI

Konferencija skirta doktorantams, dirbantiems statybos
srityje ir magistrantams, aktyviai dalyvaujantiems
moksline veikloje.

KONFERENCIJOS PROGRAMA

2014 m. kovo 20 d.

13:45–16:00 – Posėdis

1. Aivaras Jasiulevičius. Plokščiųjų sutapdintų stogų
vėdinimo daugiataktis vertinimas. Vadovas:
D. Kalibatas
2. Monika Gapšytė. Daugiabučių gyvenamųjų pastatų
šildymo sistemų atnaujinimo Lietuvoje, panaudojant
alternatyvius energijos išteklius, ypatumai. Vadovas:
V. Kukut
3. Birutė Jonuškytė. Intelektualių sistemų panaudojimo
modernizuojant daugiabučius gyvenamuosius
pastatus galimybių analizė. Vadovas: T. Vilutienė
4. Robertas Šimaitis. Energiškai efektyvių pastatų
modeliavimas. Vadovas: T. Vilutienė
5. Mindaugas Takažauskas. Viešųjų pirkimų statybos
sektoriuje problematikos tyrimas ir apžvalga.
Vadovas: J. Šaparauskas
6. Žilvinas Steiblys. Pastatų energetinis naudingumas
Lietuvoje.
7. Paulius Kurlinkus. Permainos statybos sektoriuje
energijos taupymo kontekste. Vadovas: G. Ambrasas
8. Evaldas Matuzevičius. Eksploatuojamų stogų
įrengimo technologijų ir patikimumą įtakančių
veiksnių analizė.
9. Andrius Virbickas. Rekonstruojamų pastatų
gelžbetonio konstrukcijų efektyvaus varianto
parinkimas. Vadovas: G. Ambrasas
10. Matas Balčėtis. Ventiliacija ir jos poveikis vidaus
patalpų klimatui. Vadovas: R. Tamošaitis

**17-ojo VGTU jaunųjų mokslininkų konferencijų ciklo "Mokslas - Lietuvos ateitis", sekcijos "STATYBA", jungtinis posėdis
2014 m. balandžio 30 d., VGTU SRC 311 auditorija, 9:00-15:00 val.**

1 dalis (9:00-12:00)

Statybinės konstrukcijos, statybinė mechanika ir geotechnika

1	Edgaras Atutis	Lenkiamų elementų, armuotų iš anksto įtempta nemetaline armatūra, įlinkio nustatymas	GMKK
2	Justinas Bartkevičius	Gelžbetoninių sijų, sustiprintų mechaniškai tvirtinama anglies pluošto juosta, elgsenos tyrimai	GMKK
3	Tomas Boldorevas	Spragotų plieninių centriškai gniuždomų kolonų skaitiniai ir natūriniai tyrimai	MMKK
4	Aurimas Dališanskis	Ekscentriškai gniuždomų šaltai formuotų C tipo elementų elgsenos tyrimai	MMKK
5	Giedrius Danielius	Tempiamųjų gelžbetoninių elementų tempiamojo sustandėjimo eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai	TSSK
6	Asta Garškaitė, Vytautas Tamulėnas, Arvydas Rimkus	Sumaniųjų konstrukcinių sprendimų ir statinių priežiūros priemonių taikymo perspektyvos Lietuvoje	TSSK
7	Rūta Jakštaitė	Išoriškai FRP lakštais sustiprintų gelžbetoninių elementų skaitinis modeliavimas	TSSK
8	Liudas Liepa, Agnė Gervytė, Juozas Atkočiūnas	Skenavimas - nauja prisitaikančių konstrukcijų liekamųjų įlinkių skaičiavimo metodika	SMK
9	Tomas Merkevičius	Neskėtriųjų kabamųjų tiltų preliminarus projektavimas	TSSK
10	Deividas Rumšys, Eugenijus Gudonis, Aleksandr Sokolov	Trumpalaikė apkrova veikiamų armuoto lengvojo betono sijų deformacijų analizė	TSSK
11	Andrius Savickas, Romas Girkontas, Tadas Tamošiūnas	Molio susitraukimo deformacijos	GK
12	Indrė Selezenevaitė	Netamprios metalinės struktūros skerspjuvių parametų optimizacijos algoritmas	SMK
13	Justinas Sindaravičius	Įrašų derinių įtakos projektuojant gelžbetonines konstrukcijas analizė	GMKK
14	Šarūnas Skuodis, Agata Šlečkuvienė	Smėlinio grunto dalelių vaizdų analizė skaičiuojant elektroniniu mikroskopu	GK
15	Ignas Staškus	Daugiaaukščio pastato kolonų ilgalaikio įtempių-deformacijų būvio analizė, veikiant palaipsniui augančiai apkrovai statybos metu	GMKK
16	Tautvydas Statkus, Vaidas Martinkus	Spraustinio giliojo pamato nuosėdžių vertinimas	GK
17	Modestas Stragys	Inovatyvaus plieninio vantinio tilto elgsenos analizė	TSSK
18	Tomas Šlivinskas	Mūro skiedinio gniuždomojo stiprio tyrimų metodų analizė	GMKK
19	Vytautas Tamulėnas, Vaidotas Gelažius	Cikline apkrova veikiamų gelžbetoninių elementų įtempių ir deformacijų analizė	TSSK
20	Mantas Tankūnas	Gniuždomo betono įtempių diagramos formos įtaka kompozitinės plokštės lenkiamajai galiai tyrimas	MMKK
21	Sigutė Žilėnaitė	Plieninių tinklinių arkinių pėsčiųjų tiltų tinklelio lyginamoji analizė	TSSK

Statybinės medžiagos, statybos technologijos, nekilnojamojo turto vadyba ir ergonomika

1	Vitalijus Aleksandra	Ergonominių darbo aplinkos veiksnių ir nelaimingų atsitikimų sąsajos statybos sektoriuje	DGSK
2	Darius Balčiūnas, Evaldas Matuzevičius	Plokščiųjų stogų dangų įrengimo technologijų ir patikimumo analizė	STVK
3	Jolita Baliūnaitė	Migracijos procesų įtaka gyvenamojo būsto plėtrai	SENTVK
4	Renata Boris	Anglies mikropluošto poveikis ugniai atsparaus betono savybėms	SMDK
5	Justas Čerkauskas, Ieva Jackutė	Sveikas ir saugus būstas pagal užsienio šalių patirtį: virtualus turas, daugiakriterinis vertinimas ir rekomendacijų teikimo sistema	SENTVK
6	Aivaras Jasiulevičius	Plokščiųjų sutapdintų stogų vėdinimo daugiatakslis vertinimas	STVK
7	Algina Juknaitė	Socialių ir vertybinių aspektų įtaka statybos sektoriaus vertės kūrimo grandinei	SENTVK
8	Mindaugas Macijauskas	Cheminių įmaišų poveikis cementinės teslos reologinėms savybėms	SMDK
9	Evaldas Matuzevičius	Eksplatuojamų stogų įrengimo technologijų ir patikimumą įtakančių veiksnių analizė	STVK
10	Erlandas Narkūnas	Didelio tarpatramio pastatų stogo laikančiųjų konstrukcijų efektyvaus variant	STVK
11	Rasa Pališkienė, Lina Pečiūrė	Intelektinė darbo našumo valdymo duomenų bazė	SENTVK
12	Aurelija Peckienė	Daugiakriterė rizikų rangos sutarties vykdymo metu analizė	STVK
13	Povilas Plečkaitis	Rankinio krovinių tvarkymo UAB "Senukai" ergonominis tyrimas	DGSK
14	Kristina Pumput	NT rinka ir jos cikliškumą analizė makroekonominio aspektu	SENTVK
15	Robertas Šimaitis	Energiškai efektyvių pastatų modeliavimas	STVK
16	Eglė Šiožinytė	Etninės architektūros gyvenamųjų pastatų atnaujinimas: kai kurie ekspertų vertinimo aspektai	STVK
17	Andrius Virbickas	Rekonstruojamų pastatų gelžbetonio konstrukcijų efektyvaus varianto parinkimas	STVK