



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Evelina Bitautaitė

COR-TEN PLIENO PANAUDOJIMO PASTATŲ STATYBOJE
GALIMYBIŲ TYRIMAI

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Mindaugas Daukšys

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

COR-TEN PLIENO PANAUDOJIMO PASTATŲ STATYBOJE
GALIMYBIŲ TYRIMAI

Baigiamasis magistro projektas

Statybos inžinerija (kodas M6026N21)

Vadovas

(parašas) Prof. dr. Mindaugas Daukšys
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Danutė Vaičiukynienė
(data)

Projektą atliko

(parašas) Evelina Bitautaitė
(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros fakultetas

(Fakultetas)

Evelina Bitautaitė

(Studento vardas, pavardė)

Statybos inžinerija M6026N21

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Cor-Ten plieno panaudojimo pastatų statyboje galimybių tyrimai“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 30 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Evelinos Bitautaitės**, baigiamasis projektas tema „Cor-Ten plieno panaudojimo pastatų statyboje galimybių tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Bitautaitė, Evelina. „Cor-Ten plieno panaudojimo pastatų statyboje galimybių tyrimai“. *Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Mindaugas Daukšys; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.*

Mokslo kryptis ir sritis: statybos inžinerija, statybos technologijos.

Reikšminiai žodžiai: *Cor-Ten plienas, spalva, struktūra, XRD analizė, kriterijų reikšmingumas, naudingumo vertės metodas.*

Kaunas, 2017. 80 p.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro projekte analizuojamos Cor-Ten plieno panaudojimo pastatų statyboje galimybės. Apžvelgiama Cor-Ten plieno sudėtis, klasifikacija, mechaninės savybės, panaudojimas ir kita.

Tiriamajoje dalyje nagrinėjamas 3% NaCl ir Na₂SO₄ tirpalų poveikis Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus spalvos ir tekstūros kitimui, kuomet aplinkos oro temperatūra cikliškai kinta nuo -20 iki +20°C. Nustatytas Cor-Ten plieno bandinių spalvos ir paviršiaus tekstūros kitimas veikiant agresyviajai aplinkai, ištirti bandinių paviršiuje susidarę cheminiai junginiai.

Tiriamajoje dalyje taip pat atliktas fasado ir stogo dangos, panaudojant Cor-Ten plieną, alternatyvių sprendimų vertinimas (pasirinktos alternatyvos: varis, aliuminis ir įprastas plienas), remiantis sudaryta vertinimo kriterijų sistema ir naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą. Naudojant daugiakriterinį vertinimo metodą parinktas racionalus sprendimas fasadui ir stogo dangai įrengti iš alternatyvių variantų.

Darbas susideda iš įvado, 5 skyrių, išvadų ir priedų. Darbo apimtis – 77 puslapiai, 71 paveikslas, 27 lentelės, 16 formulių, 46 literatūros šaltiniai ir 3 priedai.

Bitautaitė, Evelina. *RESEARCH OF POSSIBILITIES TO USE COR-TEN STEEL IN THE BUILDINGS AREA: Master's thesis in civil engineering technologies / supervisor assoc. prof. dr. Mindaugas Daukšys. The Faculty of Civil engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: civil engineering, civil engineering technologies

Key words: *Cor-Ten steel, color, structure, XRD analysis, the criteria for significance, the utility value method.*

Kaunas, 2017. 80 p.

SUMMARY

This master's thesis analysed Cor-Ten steel use in construction of buildings options. An overview of Cor-Ten steel composition, classification, mechanical properties, and the use of the other.

The factors of 3% NaCl and Na₂SO₄ solution effects Cor-Ten steel sample surface colour and texture variation when the ambient temperature changes cyclically from -20 to + 20 ° C. Set Cor-Ten steel samples of colour and surface texture variations due to aggressive environmental samples to investigate the surface of chemical compounds.

In research section also made the facade and roof, using Cor-Ten steel, assessment of alternative solutions (choice of alternatives: copper, aluminium and ordinary steel), based on an evaluation criteria system and method using multiple criteria. Using multiple criteria evaluation method selected rational solution to the facade and roofing installation of alternative options.

The master's thesis consists of preface, 5 chapters, conclusions and annexes. Scope of the work – of 77 pages, 71 figures, 27 tables, 16 formulas, 46 references and 3 annexes.

TURINYS

| | |
|--|----|
| ĮVADAS | 11 |
| 1. LITERATŪROS ANALIZĖ..... | 12 |
| 1.1. Klasifikacija, sudėtis..... | 12 |
| 1.2. Mechaninės savybės | 12 |
| 1.3. Suvirinimas..... | 13 |
| 1.4. Korozija | 13 |
| 1.5. Apsauginis oksido sluoksnis..... | 16 |
| 1.6. Lakštai | 19 |
| 1.7. Panaudojimas..... | 22 |
| 1.8. Privalumai ir trūkumai..... | 26 |
| 2. TIRIAMOJI DALIS..... | 27 |
| 2.1. Naudotos medžiagos..... | 27 |
| 2.2. Tyrimų metodika | 27 |
| 3. TYRIMŲ REZULTATAI..... | 29 |
| 3.1. Cor-Ten plieno bandinių agresyvioje aplinkoje tyrimai..... | 29 |
| 4. FASADO DANGOS, PANAUDOJANT COR-TEN PLIENĄ ALTERNATYVIŲ SPRENDIMŲ DAUGIAKRITERINIS ĮVERTINIMAS..... | 37 |
| 4.1. Sienos konstrukcija..... | 37 |
| 4.2. Vėdinamo fasado, panaudojant Cor-Ten plieno apdailą, įrengimo technologija..... | 38 |
| 4.3. Fasadų apdailos dangos | 39 |
| 4.4. Kriterijų reikšmingumo (teorinio qt ir kompleksinio) nustatymas taikant entropijos metodą ... | 41 |
| 4.5. Pastato išorinių sienų apdailos dangos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant naudingumo vertės metodą | 45 |
| 5. STOGO DANGOS, PANAUDOJANT COR-TEN PLIENĄ ALTERNATYVIŲ SPRENDIMŲ DAUGIAKRITERINIS ĮVERTINIMAS..... | 50 |
| 5.1. Stogo konstrukcija | 50 |
| 5.2. Stogo dangos, panaudojant Cor-Ten plieno apdailą, įrengimo technologija..... | 51 |
| 5.3. Stogų apdailos dangos | 51 |
| 5.4. Kriterijų reikšmingumo (teorinio qt ir kompleksinio) nustatymas taikant entropijos metodą ... | 54 |
| 5.5. Pastato stogo dangos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant naudingumo vertės metodą.. | 57 |
| IŠVADOS | 63 |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS | 64 |
| PRIEDAI | 67 |

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | | |
|---------------------|---|----|
| 1.3.1. pav. | Suvirtintos jungtys [1]..... | 13 |
| 1.4.1. pav. | Cor-Ten plieno ir paprasto plieno masės praradimai dėl korozijos nuostolių [14]..... | 14 |
| 1.4.2. pav. | Cor-Ten plienų savybės, kai temperatūros aukštos [1]..... | 15 |
| 1.4.3. pav. | Omni koliziejus. Georgijos valstija, Atlanta [17]..... | 15 |
| 1.4.4. pav. | Mikroskopu darytos nuotraukos. Struktūrų, esančių ant atmosferinio plieno, vaizdai [7] | 16 |
| 1.5.1. pav. | Cor-Ten spalvos keitimasis [18]..... | 16 |
| 1.5.2. pav. | Priemiesčio aplinka [15]..... | 17 |
| 1.5.3. pav. | Jūros aplinka [15]..... | 17 |
| 1.5.4. pav. | Pusiau pramoninė aplinka [15]..... | 18 |
| 1.5.5. pav. | Šimtmečio bokštas. Hokaidas, Japonija [18]..... | 19 |
| 1.6.1. pav. | Cor-Ten plieno ritinys [19]..... | 19 |
| 1.6.2. pav. | 7/8 bangos [19]..... | 19 |
| 1.6.3. pav. | 1/2 bangos [19]..... | 19 |
| 1.6.4. pav. | R tipo lakštas [19]..... | 20 |
| 1.6.5. pav. | Rumbuotas lakštas [19]..... | 20 |
| 1.6.6. pav. | Lakštai su siūle arba be jos [19]..... | 20 |
| 1.6.7. pav. | Dažais padengti lakštai [19]..... | 20 |
| 1.6.8. pav. | Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną (tankus gofravimas) [19]..... | 21 |
| 1.6.9. pav. | Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną (retas gofravimas) [19]..... | 21 |
| 1.6.10. pav. | Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną su baltais dryželiais [19]..... | 21 |
| 1.6.11. pav. | Dažytas lakštas, imituojantis variui būdingą paviršių [19]..... | 22 |
| 1.7.1. pav. | Cor-Ten plieno ir stiklo kompozicijos pastato fasadas [16]..... | 22 |
| 1.7.2. pav. | Šiaurinis angelas. Gateshead, Jungtinė Karalystė [20]..... | 23 |
| 1.7.3. pav. | Celine su šešėliu. Londonas, Jungtinės Karalystės [21]..... | 23 |
| 1.7.4. pav. | Tiltas. Abetxuko, Vitoria, Ispanija [22]..... | 24 |
| 1.7.5. pav. | Tūkstantmečio tiltas. Peterburgas, Jungtinės Karalystės [23]..... | 25 |
| 1.7.6. pav. | Bandinių pavyzdžiai, kaip Cor-Ten plienas paveiktas korozijos [5]..... | 25 |
| 1.7.7. pav. | Gumos nepakankamumas [5]..... | 25 |
| 1.7.8. pav. | Klijų nepakankamumas [5]..... | 26 |
| 2.1.1 pav. | Tyrimė naudoti Cor-Ten plieno bandiniai..... | 27 |
| 2.2.1 pav. | Skaitmeninis spalvų skaitytuvas su kodinė spalvų paletė [25]..... | 27 |
| 2.2.2 pav. | Optinis mikroskopas OLYMPUS BX51TF ir kamera QImaging Go-21 [26]..... | 28 |
| 2.2.3 pav. | Bandinių bandymo vaizdas..... | 28 |
| 2.2.4 pav. | Difraktometras <i>Bruker D8 Advandce</i> [27]..... | 29 |
| 3.1.1 pav. | Cor-Ten plieno bandinių tankis..... | 30 |
| 3.1.2 pav. | Cor-Ten plieno bandinių prieš ciklinį užšaldymą ir atšildymą spalvos kodas ir spalva iš kodinės spalvų paletės..... | 30 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| 3.1.3 pav. | Bandinių vaizdas paviršiaus struktūros tyrimams optiniu mikroskopu | 31 |
| 3.1.4 pav. | Kontrolinių Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūra | 32 |
| 3.1.5 pav. | Indeliai su Cor-Ten plieno bandiniais po cikliško temperatūrų poveikio | 33 |
| 3.1.6 pav. | Cor-Ten plieno bandinių vaizdas prieš ir po cikliško temperatūrų poveikio skirtingų tirpalų aplinkoje bandymo | 34 |
| 3.1.8 pav. | Rentgenodifrakcinės (XRD) analizės kreivės | 37 |
| 4.1.1 pav. | Vėdinamo fasado sistema [32] | 38 |
| 4.3.1 pav. | Banguotas fasadų apdailos lakštas <i>Design Cor-Ten S7</i> [37] | 39 |
| 4.3.2 pav. | Vario lakštai [38] | 40 |
| 4.3.3 pav. | Banguotas fasadų apdailos lakštas <i>DESIGN OULU T10 B</i> iš aliuminio [39] | 40 |
| 4.3.4 pav. | Banguotas fasadų apdailos lakštas <i>DESIGN OULU T10 B</i> iš plieno [39] | 41 |
| 4.4.1. pav. | Teorinis kriterijų reikšmingumas | 43 |
| 4.4.2. pav. | Kompleksinis kriterijų reikšmingumas | 44 |
| 4.5.1. pav. | Grafinis variantų palyginimas | 48 |
| 4.5.2. pav. | Grafinis variantų palyginimas | 50 |
| 5.1.1. pav. | Šlaitinio stogo konstrukcija [41] | 50 |
| 5.3.1. pav. | Pastatas su stogu iš Cor-Ten plieno lakštų [42] | 52 |
| 5.3.2. pav. | Pastatas su stogu iš vario lakštų [43] | 52 |
| 5.3.3. pav. | Pastatas su stogu iš aliuminio lakštų [44] | 53 |
| 5.3.4. pav. | Profiliuotas stogo lakštas <i>T45-37W-900</i> iš plieno [45] | 53 |
| 5.4.1 pav. | Teorinis kriterijų reikšmingumas | 56 |
| 5.4.2 pav. | Kompleksinis kriterijų reikšmingumas | 57 |
| 5.5.1 pav. | Grafinis variantų palyginimas | 60 |
| 5.5.2 pav. | Grafinis variantų palyginimas | 62 |
| 1.1 a pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H ₂ O aplinkoje (1 bandinys, viršutinė pusė) | 69 |
| 1.1 b pav. | Cor-Ten plieno paviršius po paviršinio šaldymo su vandeniu (1 bandinys, apatinė pusė) | 70 |
| 1.1 c pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H ₂ O aplinkoje (2 bandinys, viršutinė pusė) | 71 |
| 1.1 d pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H ₂ O aplinkoje (2 bandinys, apatinė pusė) | 71 |
| 1.2 a pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (1 bandinys, viršutinė pusė) | 72 |
| 1.2 b pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje | 73 |
| 1.2 c pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (2 bandinys, viršutinė pusė) | 74 |
| 1.2 d pav. | Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (2 bandinys, apatinė pusė) | 75 |

| | |
|---|----|
| 1.3 a pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na ₂ SO ₄ tirpalo aplinkoje | 76 |
| 1.3 b pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na ₂ SO ₄ tirpalo aplinkoje (1 bandinys, apatinė pusė) | 76 |
| 1.3 c pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na ₂ SO ₄ tirpalo aplinkoje | 77 |
| 1.3 d pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na ₂ SO ₄ tirpalo aplinkoje | 78 |

LENTELIŲ SĄRAŠAS

| | | |
|---------------|--|----|
| 1.1 lentelė | Cor-Ten plienų sudėtys [1] | 12 |
| 1.2 lentelė | Plienų asortimentas ir mechaninės savybės [1]..... | 12 |
| 4.4.1 lentelė | Pradiniai duomenys..... | 41 |
| 4.4.2 lentelė | Normalizuota matrica P | 42 |
| 4.4.3 lentelė | Papildoma matrica $P \cdot \ln P_{ij}$ | 42 |
| 4.4.4 lentelė | Entropijos lygiai | 43 |
| 4.4.5 lentelė | Kriterijų kitimo lygiai | 43 |
| 4.4.6 lentelė | Teorinis kriterijų reikšmingumas | 43 |
| 4.4.7 lentelė | Subjektyvus kriterijų reikšmingumas..... | 44 |
| 4.4.8 lentelė | Kompleksinis kriterijų reikšmingumas | 44 |
| 4.5.1 lentelė | Pradiniai alternatyviųjų sprendimų duomenys..... | 45 |
| 4.5.2 lentelė | Matrica P | 45 |
| 4.5.3 lentelė | Svertinė normalizuota matrica P^* | 46 |
| 4.5.4 lentelė | Svertinė normalizuota matrica P^* | 48 |
| 5.4.1 lentelė | Pradiniai duomenys..... | 54 |
| 5.4.2 lentelė | Normalizuota matrica P | 55 |
| 5.4.3 lentelė | Papildoma matrica $P \cdot \ln P_{ij}$ | 55 |
| 5.4.4 lentelė | Entropijos lygiai | 55 |
| 5.4.5 lentelė | Kriterijų kitimo lygiai | 55 |
| 5.4.6 lentelė | Teorinis kriterijų reikšmingumas | 56 |
| 5.4.7 lentelė | Subjektyvus kriterijų reikšmingumas..... | 56 |
| 5.4.8 lentelė | Kompleksinis kriterijų reikšmingumas | 56 |
| 5.5.1 lentelė | Pradiniai alternatyviųjų sprendimų duomenys..... | 58 |
| 5.5.2 lentelė | Matrica P | 58 |
| 5.5.3 lentelė | Svertinė normalizuota matrica P^* | 59 |
| 5.5.4 lentelė | Svertinė normalizuota matrica P^* | 61 |

IVADAS

Cor-Ten (corrosion resistance – high tensile strength) plieno panaudojimas Lietuvoje pastatų statyboje ir ne tik pamažu įgauna pagreitį. Tai yra atsparus atmosferiniams korozijos veiksniams, aukšto stiprumo mažai legiruotas ir specialiais elementais (vario, chromo, nikelio ir fosforo) prisotintas plienas. Atsparūs atmosferinės korozijos veiksniams, mažaaangliai, mažai legiruotieji ir savaime pasyvuojantys Cor-Ten plienai (tai plienų grupės prekinis ženklas) yra gaminami pagal korporacijos „U.S Steel Corporation“ išduotą licenciją. Pirmasis atmosferinis plienas buvo sukurtas dar 1930 metais Jungtinėse Amerikos Valstijose ir jam suteiktas Cor-Ten pavadinimas. Pirmą kartą šis plienas buvo panaudotas statyboms Jungtinėse Amerikos Valstijose, Ilinojuje 1964 metais. Nuo tada Cor-Ten išplito visame pasaulyje. Žiūrint iš ekonominės pusės atmosferinį plieną naudoti yra žymiai pigiau nei kitą plieną, kuriam reikia papildomos apsaugos nuo korozijos. Šio plieno gamybos išlaidos yra nuo 2 iki 10% mažesnės, lyginant su kitos rūšies anglinguoju plienu.

Kaip žinoma, Lietuva yra vėsiojo vidutinio klimato zonoje su vidutinio šilumo vasaromis bei vidutinio šaltumo žiemomis. Pagal klimato atšiaurumo zoną Lietuva priskiriama 5 - 6 klimato zonoms. Cor-Ten plienas prie tam tikrų atmosferinių sąlygų yra linkęs pasidengti oksido plėvele, tai yra oksiduotis. Todėl gražius architektų sumanymus gali įtakoti aplinka, kurioje bus eksploatuojamas pastatas su Cor-Ten plieno danga. Cor-Ten plieno danga dengtas pastato fasadas gali būti arti važiuojamosios dalies. Tokiu atveju, fasadą žiemos metu gali veikti ir druskų, barstomų ant važiuojamosios kelio dangos, poveikis. Keliams barstyti naudojamos druskos taip pat gali būti kelių rūšių ir skirtingos koncentracijos. Žiemos metu fasadas gali būti veikimas užšaldymo ir atšildymo poveikio druskų aplinkoje, tai yra formuojantys agresyviai aplinkai.

Siekiant įgyvendinti architektų sumanymus, pastatų fasadams bei stogams įrengti yra naudojamos įvairios dangos, pvz., plieno danga, aliuminio danga, Cor-Ten plieno danga, vario danga ir kitos. Pastaruojų metu Lietuvoje stebima tendencija, kad pastatų fasadų bei stogų įrengimui vis dažniau yra naudojamas Cor -Ten plienas. Tai danga, kuri, architektų nuomone, pastatui suteikia savitą stilių. Tai moderni ir atmosferos sąlygoms atspari medžiaga.

Darbo tikslas: atlikti Cor-Ten plieno panaudojimo pastatų statyboje galimybių tyrimą ir ištirti agresyvios aplinkos poveikį Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus spalvos ir tekstūros pokyčiams.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti Lietuvoje bei užsienio šalyse Cor-Ten plieno panaudojimo galimybių analizę ir aprašyti šioje srityje atliktus mokslinius tyrimus;
- Atlikti Cor-Ten plieno gaminių įrengimo technologijų analizę ir išskirti privalumus bei trūkumus;
- Ištirti agresyvios aplinkos poveikį Cor-Ten plieno bandiniams bei nustatyti spalvos ir tekstūros pakitimus;
- Atlikti Cor-Ten plieno, naudojamo fasadams ir stogams įrengti, alternatyvių variantų daugiakriterinį vertinimą ir parinkti racionalų sprendimą.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

1.1. Klasifikacija, sudėtis

Atsparūs atmosferos poveikiui mažai legiruoti Cor-Ten grupės plienai dėl skirtingos sudėties skirstomi į dvi rūšis: Cor-Ten A ir Cor-Ten B. Cor-Ten B plieno sudėtyje yra vario, chromo, nikelio, o gaminant Cor-Ten A plieną papildomai panaudojama fosforo (žr. 1.1 lent.), siekiant pagerinti atsparumą atmosferinei korozijai [1].

1.1 lentelė Cor-Ten plienų sudėtys [1]

| | Elemento kiekis, % | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|-------------|------------|-------------|--------|--------------|-------------|-------------|------------|--------|
| | C | Si | Mn | P | S | Al | V | Cu | Cr | Ni |
| COR-TEN A | ≤ 0,12 | 0,25 – 0,75 | 0,2 – 0,50 | 0,07 – 0,15 | ≤ 0,03 | 0,015 – 0,06 | - | 0,25 – 0,55 | 0,5 – 1,25 | ≤ 0,65 |
| COR-TEN B | ≤ 0,19 | 0,30 – 0,65 | 0,8 – 1,25 | ≤ 0,035 | ≤ 0,03 | 0,020 – 0,06 | 0,02 – 0,10 | 0,25 – 0,40 | 0,4 – 0,65 | ≤ 0,40 |

1.2. Mechaninės savybės

Atmosferinių plienų mechaninės savybės atitinka universalių konstrukcinių plienų savybes. Pagal standarto LST EN 10155 reikalavimus Cor-Ten A grupės plienas maždaug atitinka plieno rūšis S355J0WP ir S355J2WP. Cor-Ten B – atitinka plieno rūšis S355J2G1W ir S355J2G1W (žr. 1.2 lent.) [1].

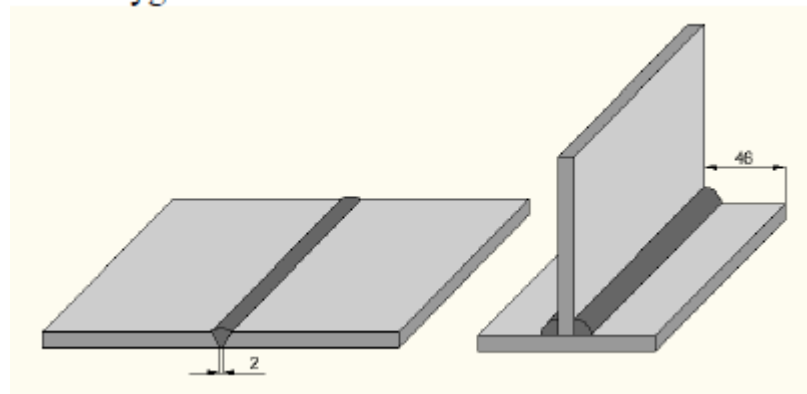
1.2 lentelė Plienų asortimentas ir mechaninės savybės [1]

| COR-TEN® | Storiai, mm | | Takumo riba | Stiprumo riba | Pailgėjimas | | | |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------|-----------|------|
| | Juostos | Stori lakštai | R _{eL} , N/mm ² | R _m , N/mm ² | | | | |
| COR-TEN® A | 2-12 | 6-12 | ≥ 345 | ≥ 485 | ≥ 20 | | | |
| COR-TEN® B | 2-13 | 6-40 | ≥ 345 | ≥ 485 | ≥ 19 | | | |
| EN-10025-5:2004 | Takumo riba | Stiprumo riba | | Pailgėjimas | | | | |
| | R _{eH} , N/mm ² | R _m , N/mm ² | | A ₈₀ , % | A ₅ , % | | | |
| | Storiai, mm | Storiai, mm | | Storiai, mm | Storiai, mm | | | |
| | 2-16 | (16)-40 | 2-(3) | 3-40 | 2 | (2)-2,5 | (2,5)-(3) | 3-40 |
| S355J0WP | ≥ 355 | - | 510-680 | 470-630 | ≥ 14 | ≥ 15 | ≥ 16 | ≥ 20 |
| S355J0W / S355J2W | ≥ 355 | ≥ 345 | 510-680 | 470-630 | ≥ 14 | ≥ 15 | ≥ 16 | ≥ 20 |

Cor-Ten A grupės plienų smūginis tūsumas yra nepakankamas, todėl jis labiau tinkamas tik plonasieneis mažai apkrautoms konstrukcijoms. Cor-Ten B grupės plienų smūginis tūsumas tikrinamas pagal LST EN 10025-5 standartą [1].

1.3. Suvirinimas

Atsižvelgiant į Cor-Ten grupės plienų chemines ir mechanines savybes yra parenkama ir suvirinimo medžiaga. Kuriant elektrodus rankiniam suvirinimui glaistytais elektrodais ir vertinant jų kokybę bei tinkamumą suvirinti Cor-Ten grupės plienus reikia remtis standartu LST EN 14532-1 ir atlikti standarto reglamentuojamus bandymus. Pasaulyje jau žinomi ir gaminami elektrodai, skirti šios grupės plienų suvirinimui, pvz.: austrų firmos Bohler elektrodai „Bohler FOX NiCuCr“, slovėnų ir lenkų firmos Elektrode Jesenice elektrodai „EVB CuNiCr“, olandų firmos Filarc elektrodai „Filarc 85CP“ ir kt. COR-TEN grupės plienai gali būti suvirinami visais žinomais suvirinimo būdais, tokiais kaip rankinis suvirinimas glaistytais elektrodais, pusiau automatinis suvirinimas esant apsauginei dujų aplinkai, automatinis suvirinimas po fluso sluoksniu ir kiti būdai [1].



1.3.1. pav. Suvirintos jungtys [1]

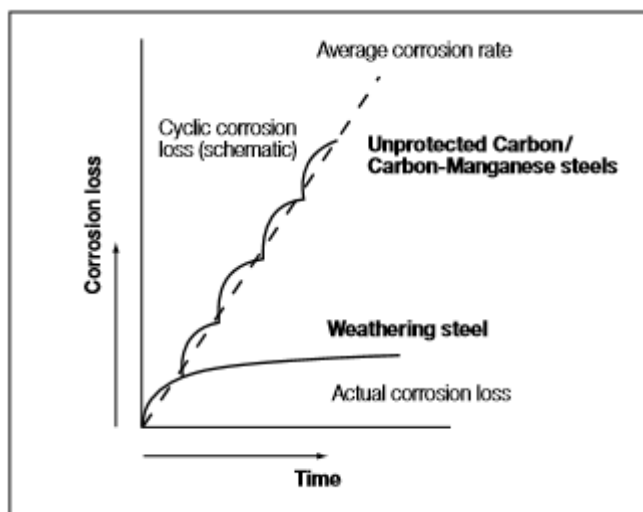
Suvirinant plonesnius gaminius arba suvirinimo metu panaudojant daugiau šilumos, vario ir chromo praradimas pagrindiniame metale veikia suvirinamo plieno atsparumą atmosferinei korozijai. Šis cheminių elementų praradimas neturi įtakos, jeigu plieno atsparumo atmosferiniai korozijai savybės nėra svarbios. Nenudažytoms konstrukcijoms, kurioms yra svarbios pagrindinio ir pridėtinio metalo antikorozinės savybės ir spalva, baigiamasis ėjimas turi būti suvirinamas specialiais elektrodais, į kurių sudėtį įeina chromas, nikelis ir varis. Rekomenduojama prieš suvirinant atlikti plieno pakaitinimą [1].

1.4. Korozija

Cor-Ten plienas vadinamas atmosferiniu plienu dėl pastarojo padidinto atsparumo korozijai. Šis atmosferinis plienas yra ne tik modernus, bet ir žymiai atsparesnis korozijai, kurią sukelia meteorologiniai reiškiniai, tokie kaip lietus, sniegas rūkas, nei standartinis ar bet kuris kitas anglingasis plienas. Atspariems atmosferos poveikiui, mažai legiruotiems Cor-Ten grupės plienams būdingas didelis atsparumas atmosferinei korozijai. Tai pasiekama panaudojant pliene nedidelius kiekius chromo, vario ir nikelio (pvz., Cor-Ten B plienas). Gaminant Cor-Ten A plieną papildomai yra įvedama fosforo, siekiant pagerinti atsparumą atmosferinei korozijai. Atspariausias atmosferinei korozijai yra Cor-Ten A plienas. Šis atmosferinis plienas buvo sukurtas siekiant jį naudoti lauke dėl savo žemos gamybos kainos ir didelio stiprumo, lyginant su kitų rūšių plienais [1, 6].

Visi plienai turi savybę rūdyti, o tai priklauso nuo deguonies, drėgmės ir atmosferos teršalų patekimo ant metalo paviršių. Rūdžių sluoksnis neleidžia deguoniui, drėgmei ir teršalams patekti ant

paviršiaus ir tai sulėtina rūdijimo procesą. Iš toliau esančio paveikslėlio (1.4.11 pav.) matyti, kaip kinta Cor-Ten plieno ir paprasto plieno masės praradimai dėl korozijos nuostolių [14].

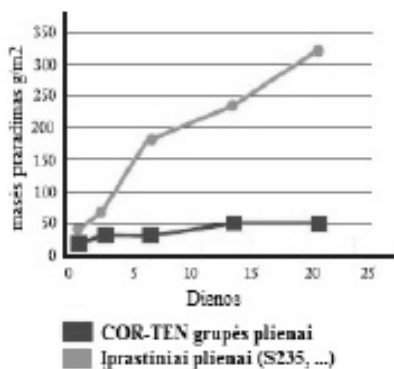


1.4.1. pav. Cor-Ten plieno ir paprasto plieno masės praradimai dėl korozijos nuostolių [14]

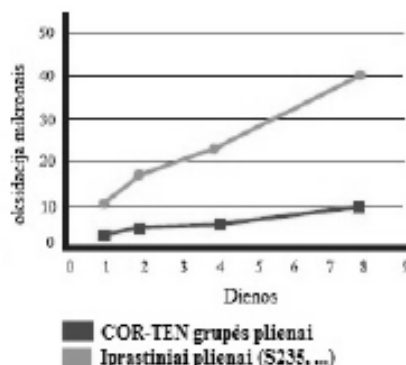
Atsparų atmosferos veiksniams plieną galima be jokios apsaugos naudoti atvira ore, kur plieno paviršių nuolat veikia besikeičiančios oro sąlygos, t.y. paviršius nuolat drėksta ir džiūsta. Jei atmosferos sąlygoms atsparus plienas dažnai sušampa, o paskui išdžiūsta, jo naudojimo laikas tik pailgėja: esant nuolatinei žemesnei nei sieros rūgšties rasos taško temperatūrai, plieno paviršiuje kondensuojasi didelis kiekis rūgšties, kuris sumažina atsparumą korozijai, veiksmingai lėtina rūdijimo procesą. Tada tokio plieno paviršiuje susidaro apsauginis oksido sluoksnis, t. y. patinos sluoksnis, kuris susidaro plieno paviršių padengus specialiu tirpalu „Rust Brown“. Subtilios rudos spalvos patina padengtas metalo paviršius gerokai skiriasi nuo dažytų ar kitų paviršių ir praktiškumu (nereikalauja valymo, perdažymo ir pan.) ir atsparumu korozijai. Dėl plienai legiruoti naudotų elementų patina yra tanki ir beveik nelaidi deguoniui. Paprastai tariant, plienai leidžiama rūdyti ir rūdys sukuria apsauginę plėvelę, kuri ateityje prilėtina korozijos procesą [6,15,16.]

Atsparius atmosferos veiksniams plienus taip pat puikiai galima naudoti dažomose plieno konstrukcijose. Atsparumas atmosferos poveikiui sumažina perdažymų būtinumą. Šie plienai, lyginant su universaliais konstrukciniais plienais, yra atsparesni esant aukštomis temperatūroms, taip pat ir dūmų poveikiui (1.4.2 pav.) [1, 8, 9].

Plieno masės praradimo priklausomybė nuo laiko 510°C temperatūroje

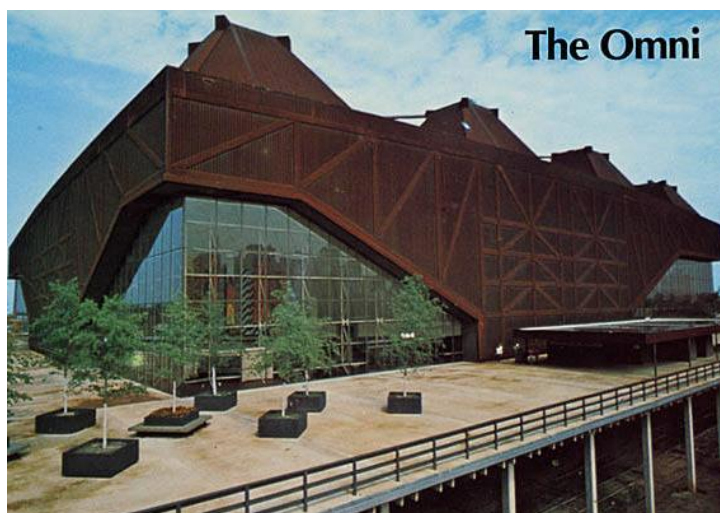


Plieno oksidacijos priklausomybė nuo laiko 595°C temperatūroje



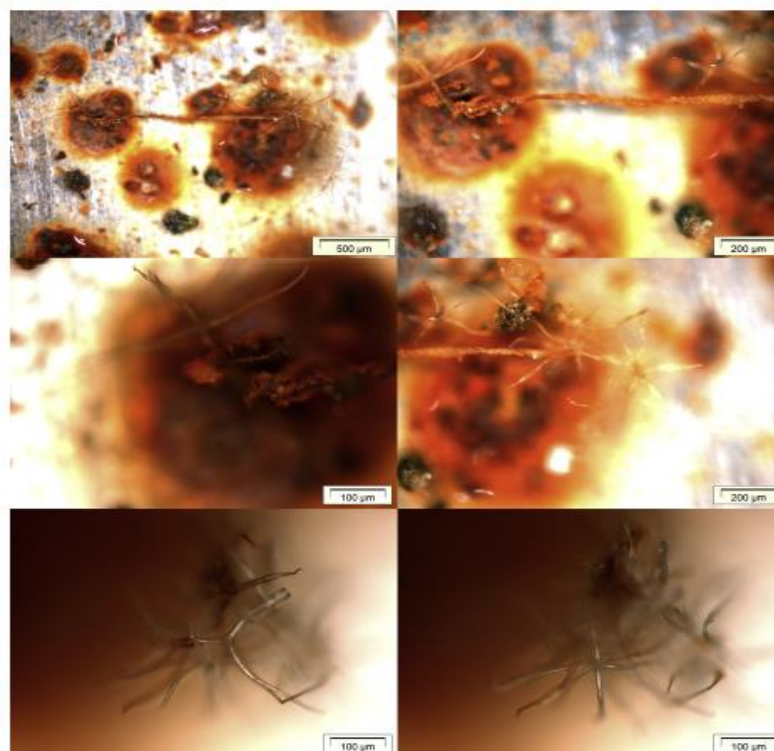
1.4.2. pav. Cor-Ten plienų savybės, kai temperatūros aukštos [1]

Nors atmosferinis plienas buvo sukurtas naudoti architektūroje ir skulptūroms daryti, dėl tam tikrų sąlygų jis negali kontroliuoti savo korozijos. Vienas iš labiausiai žinomų korozijos atvejų buvo aptiktas Atlantoje Georgijos valstijoje, kai korozija labai stipriai paveikė Omni koliziejų (1.4.3 pav.). Jis nuo pat pastatymo pradėjo rūdyti ir po kiek laiko koliziejuje atsivėrė milžiniška skylė, todėl jo statytojai po 25 metų buvo priversti nugriauti šį pastatą [17].



1.4.3. pav. Omni koliziejus. Georgijos valstija, Atlanta [17]

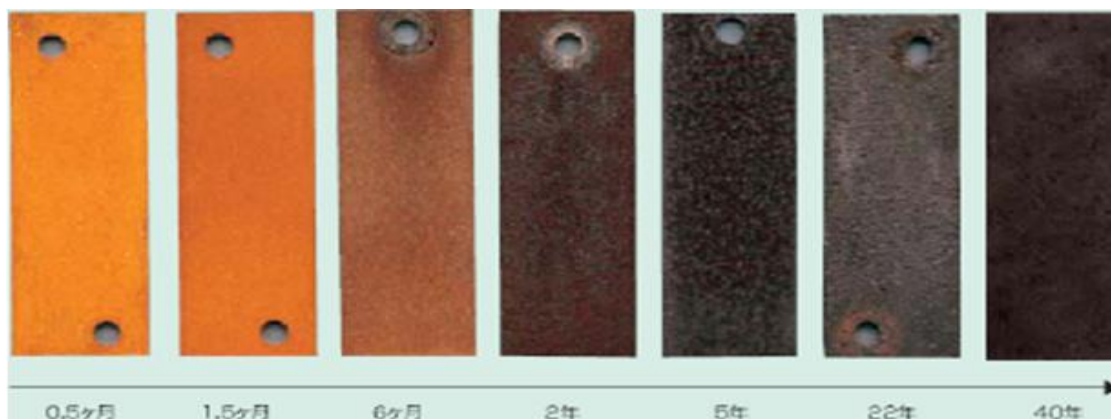
Autoriai (Song *et al*) nustatė, kad γ -FeOOH ir β -FeOOH fotovoltinis poveikis pagreitina 09CuPCrNi WS korozijos procesą regimoje šviesoje ir fotovoltinio poveikio įtaką korozijai galima įvertinti kiekybiškai remiantis fotoindukuotos srovės tankio duomenimis [2, 7].



1.4.4. pav. Mikroskopu darytos nuotraukos. Struktūrų, esančių ant atmosferinio plieno, vaizdai [7]

1.5. Apsauginis oksido sluoksnis

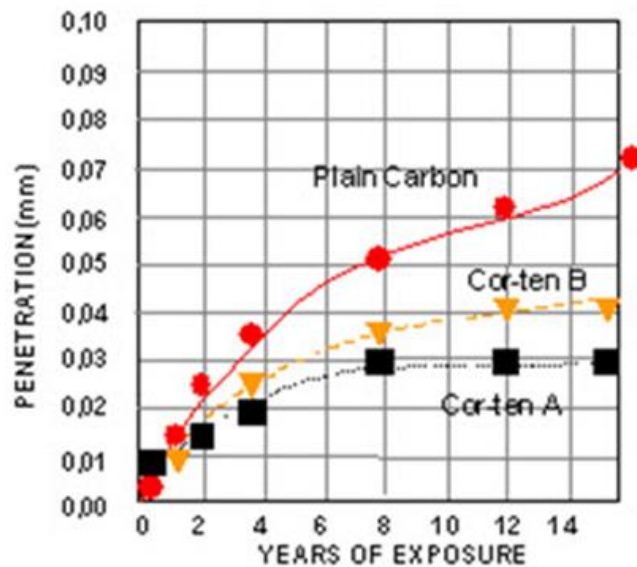
Norint, kad kuo greičiau susidarytų apsauginis oksido sluoksnis – patina, paviršius turi būti periodiškai šlapias ir sausas. Tai vidutiniškai trunka 18 – 36 mėnesius. Pradiniu etapu Cor-Ten plieno spalva gelsva, pamažu ji keičiasi į rudą, tada tampa juoda ir galiausiai spalva keičiasi, tačiau labai nedaug ir tampa tamsiai rudos spalvos (1.5.1 pav.) [18].



1.5.1. pav. Cor-Ten spalvos keitimasis [18]

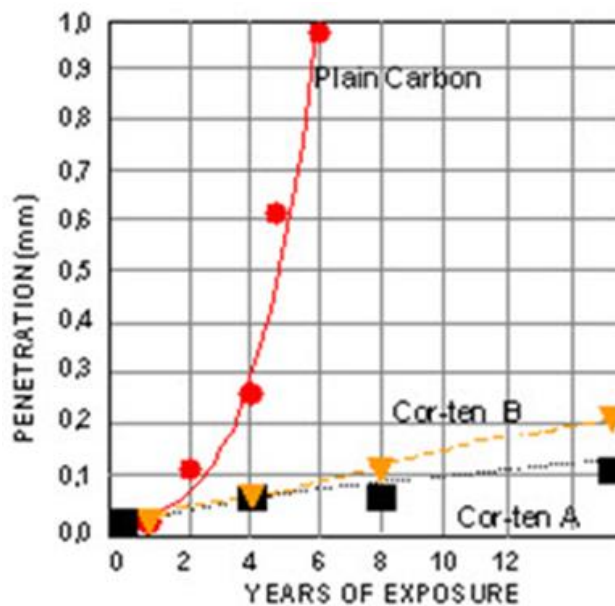
Patinos sluoksnio storio susiformavimui didžiausia įtaką turi aplinka ir oro sąlygos. Aplinkoje prie jūros apsauginis patinos sluoksnio susiformavimas gali trukti ilgiau, nei pramoninėse aplinkose ar priemiesčio vietovėse, dėl chlorido poveikio [15].

Toliau pateikti grafikai (1.5.2 – 1.5.4 pav.), iš kurių galima matyti, kaip keičiasi atmosferinio plieno ir paprasto anglinio plieno savybės esant skirtingoms aplinkoms. Duomenys buvo renkami 16 metų. Eksperimentai buvo atlikti Pietų Afrikoje [15]. Grafike pateikti duomenys, kurie atspindi tipiską priemiesčio aplinką, buvo stebimi toje vietovėje, kuri yra maždaug apie 8 kilometrus į rytus nuo Pretorijos miesto centro (1.5.2 pav.) [15].



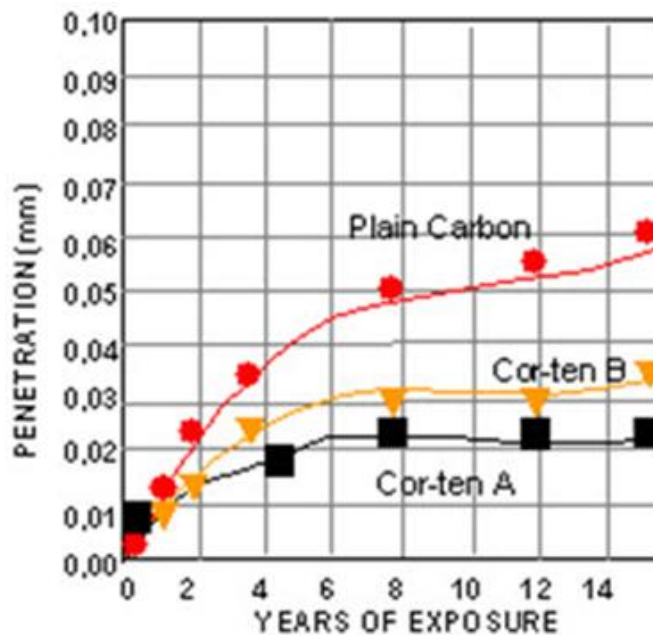
1.5.2. pav. Priemiesčio aplinka [15]

Grafike pateikti duomenys, kurie atspindi jūros aplinką, buvo stebimi vietovėje, kuri įsikūrusi maždaug apie 30 kilometrų į pietus nuo Richards Bay miesto, esančio 100 metrų virš jūros lygio ir apie 500 metrų nuo Mhlathuze upės paplūdimio (1.5.3 pav.) [15].



1.5.3. pav. Jūros aplinka [15]

Taip pat duomenys buvo stebimi pusiau pramoninėje aplinkoje, kuri įsikūrusi maždaug apie 8 kilometrus į rytus nuo Pretorijos miesto centro (1.5.4 pav.) [15].



1.5.4. pav. Pusiau pramoninė aplinka [15]

Taigi, iš aukščiau pateiktų grafikų (1.5.2 – 1.5.4 pav.) galima matyti, kad Cor-Ten plienas yra žymiai atsparesnis korozijai lyginant su įprastu anglies plienu. Matyti, kad aplinkoje prie jūros oksido sluoksnis susidaro lėčiau. Todėl rekomenduojama tokioje aplinkoje, kurioje yra jūros purslų, ore druskų nenaudoti atmosferinio plieno arba naudoti tik su sąlyga, kad chloridai reguliariai bus nuplaunami nuo Cor-Ten plieno paviršiaus. Druska neigiamai veikia apsauginį oksido sluoksnį – patiną, nes ji yra laikoma periodiškai sausoje ir drėgnoje aplinkoje ant metalo paviršiaus.

Taip pat didelį poveikį atmosferiniam plienui turi ir mašinų išmetamosios dujos. Jos paspartina rūdžių senėjimo procesą [3, 18].

Toliau esančioje nuotraukoje (1.5.6 pav.) matyti šimtmečio bokštas Japonijoje, Hokaide. Pastato fasadas yra įrengtas iš atmosferinio plieno. Galima aiškiai matyti, kaip kinta pastato fasado spalva, bėgant metams. Pirmoji nuotrauka, daryta 1969 metais, rodo, kad Cor-Ten plieno spalva pradiniam etape buvo geltona, o nuotrauka, daryta jau 2007 metais, rodo, kad plienas įgavo tamsiai rudą spalvą [18].



1.6. Lakštai

Atmosferiniam poveikiui atsparus plienas gaminamas lakštais, tačiau ne visi jie pasižymi vienoda forma. Vieni gali būti visiškai lygūs, kiti tankiai banguoti, kiti retai banguoti, gali būti dažyti arba ne ir pan. (1.6.1 – 1.6.11 pav.). Kokį Cor-Ten plieną geriau naudoti priklauso tik nuo statinio paskirties. Dažniausiai Cor-Ten plienas yra laikomas dideliais ritiniais (1.6.1 pav.), kurių yra įvairių pločių [19].



1.6.1. pav. Cor-Ten plieno ritinys [19]

Geriausia Cor-Ten A verte yra laikomi banguoti lakštai. Gilios 7/8 bangos šį atmosferinį plieną paverčia savitąjį grožį turinčiu lakštu ir tai yra pati populiariausia lakštų rūšis (1.6.2 pav.) [19].



1.6.2. pav. 7/8 bangos [19]

Klasikinis stilius, primenantis senus stogus – 1/2 bangos Cor-Ten lakštai (1.6.3 pav.). Tai yra brangesnė rūšis, palyginus su 7/8 bangos lakštais [19].



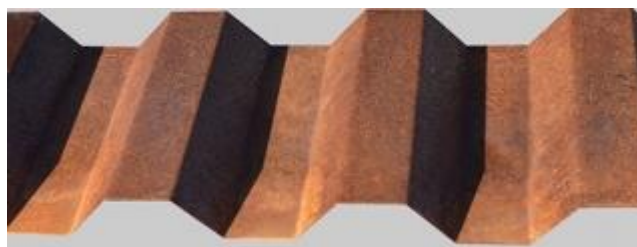
1.6.3. pav. 1/2 bangos [19]

R tipo lakštų kaina nėra didelė. Jie yra dažniausiai naudojami stogo danga pastatams norint imituoti šiuolaikinį „surūdijusį“ stogą (1.6.4 pav.). Naudojant šiuos lakštus nėra medžiagos nuostolių dengiant stogą [19].



1.6.4. pav. R tipo lakštas [19]

Rumbuotos plokštės yra stipriausios iš Cor-Ten lakštų asortimento ir yra skirtos stogams įrengti (1.6.5 pav.). Šie rumbuoti lakštai yra 1,5 gylis ir 7,2 ilgio [19].



1.6.5. pav. Rumbuotas lakštas [19]

Cor-Ten lakštas su siūle arba be jos. Šis lakštas (1.6.6 pav.) yra gaminamas su uždengtomis tvirtinimo vietomis, todėl puikiai atrodys, nes jų nesimatys [19].



1.6.6. pav. Lakštai su siūle arba be jos [19]

Cor-Ten dažyti lakštai atrodys kaip realiai surūdijęs stogo dangos paviršius (1.6.7 pav.). Galimos keturios skirtingos dažų spalvos [19].

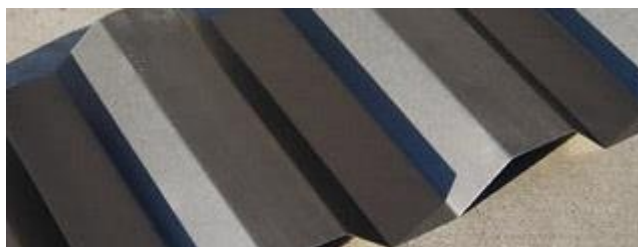


1.6.7. pav. Dažais padengti lakštai [19]

Kad dažyti lakštai atrodytų kaip senoviškas cinkuotas plienas, jie gali būti tankiai arba retai gofruoti (1.6.8 ir 1.6.9 pav.). Dažams suteikiamas garantinis laikotarpis. Šiuos lakštus galima naudoti stogams įrengti, butams apipavidalinti ir gyvatukams gaminti [6, 19].



1.6.8. pav. Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną (tankus gofravimas) [19]



1.6.9. pav. Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną (retas gofravimas) [19]

Dažyti lakštai, kurie atrodo lyg patinos sluoksnis būtų susidaręs ant plieno paviršiaus (1.6.10 pav.). Šiuos lakštus galima naudoti stogams įrengti, butams apipavidalinti ir gyvatukams gaminti [6, 19].



1.6.10. pav. Dažytas lakštas, imituojantis senovišką cinkuotą plieną su baltais dryželiais [19]

Dažyti lakštai, kurie atrodo lyg patinos sluoksnis būtų susidaręs ant varinio paviršiaus (1.6.11 pav.). Brangiai kainuoja, palyginti su variu. Šiuos lakštus galima naudoti stogams įrengti, butams apipavidalinti ir gyvatukams gaminti [19].



1.6.11. pav. Dažytas lakštas, imituojantis variui būdingą paviršių [19]

1.7. Panaudojimas

Atsparūs atmosferinės korozijos poveikiui mažai legiruotieji Cor-Ten grupės plienai, kaip konstrukcinė ar dekoratyvinė medžiaga, plačiai naudojami architektūroje, pramoninėje ir civilinėje statyboje, apžvalginių takų bei tiltų statyboje, skulptūrų gamyboje (1.7.2 – 1.7.4 pav.).



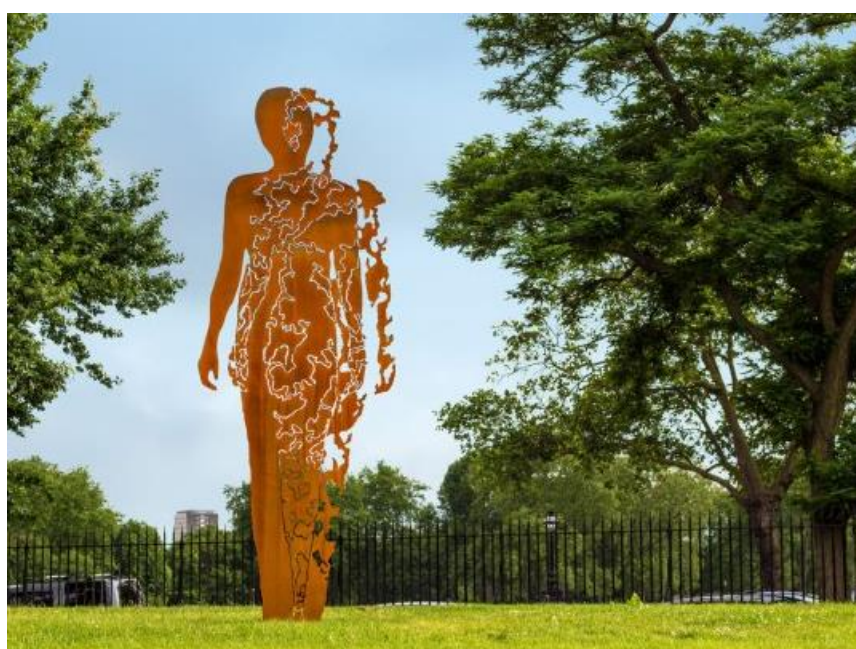
1.7.1. pav. Cor-Ten plieno ir stiklo kompozicijos pastato fasadas [16]

Vertikaliai dalintas Cor-Ten plienas sukomponuotas su didžiuliais vitrininiais langais, dvišlaičio stogo dalyje suformuojančiais įstrižą liniją, suteikė namui (1.7.1 pav.) išskirtinę išvaizdą. Šis, Cor-Ten, plienas buvo lankstomas ir montuojamas vertikaliais segmentais, taip prisiderinant prie aplink supančios gamtos. Nors plienas yra gana rafinuota ir šalta medžiaga, ryškūs ochros atspalvių dryžiai, tarsi plačios lentos, išpjautos iš ką tik nukirsto medžio, vis dėlto suteikia namui vizualinės šilumos. Dėl unikalių savybių šis plienas keičia savo spalvą, po lietaus jo spalva vienokia, o išdžiuvus ir šviečiant saulei – kitokia. Cor-Ten plienas šio namo apdailai pasirinktas neatsitiktinai. Dėl didžiulių vitrininių langų namas (1.7.1 pav.) susilieja su gamta, o tarsi surūdiję fasadai vertikaliai sumontuotų segmentų, kuriais siekta atkartoti šalia augančių pušų ritmą, suteikia neįpareigojančio jaukumo. Namų apdailai naudotos pabrėžtinai natūralios, šiuolaikinės medžiagos – stiklas, betonas, Cor-Ten plienas ir mediena [16, 24].

Taip pat naudojamas greitaeigių laivų, krovinių vagonų, konteinerių, betono maišyklių korpusų bei kranų gamyboje. Dėl savo gražios išorinės išvaizdos yra pamėgtas architektų ir plačiai taikomas architektūroje dekoraciniams elementams, skulptūroms ir kita.



1.7.2. pav. Šiaurinis angelas. Gateshead, Jungtinė Karalystė [20]



1.7.3. pav. Celine su šešėliu. Londonas, Jungtinės Karalystės [21]



1.7.4. pav. Tiltas. Abetxuko, Vitoria, Ispanija [22]

Pirmasis tiltas iš Cor-Ten plieno buvo pastatytas 1964 metais Mičigane ir Naujajame Džersyje. Tiltai beveik nėra paveikiami korozijos, jeigu jie pastatyti iš atmosferinio plieno. Kadangi, korozija vyksta labai lėtai šių tiltų gyvavimo laikotarpis yra apie 120 metų. Taigi, gerai pastatytas tiltas iš atmosferinio plieno gali pagražinti kraštovaizdį. Žiūrint iš ekonominės pusės, tai nereikalauja didelių lėšų, lyginant su kitu plieniu, kuriam reikalinga papildoma apsauga nuo korozijos. Taip pat tiltas pastatytas iš atmosferinio plieno nereikalauja daug priežiūros, lyginant su įprastu plieniu, tai taip pat sumažins papildomas išlaidas [10, 13].

Tiltų iš atmosferinio plieno privalumai:

- Reikalauja labai mažai priežiūros;
- Nėra brangi jų statybą lyginant su kitais plieniniais tiltais;
- Jų priežiūra nėra brangi;
- Greita statyba;
- Patraukli išvaizda;
- Naudingi aplinkai;
- Saugūs.

Tačiau statant neįprastos formos tiltus tam tikroje aplinkoje, gali kilti problemų, susijusių su patvarumu. Sąlytis su didelės koncentracijos chlorido jonais, kurie susidaro iš vandens pusrslų, gali pakenkti tiltui. Taip pat nerekomenduojama tiltų statyti arčiau nei 2 km nuo jūros pakrančių, nes ten yra padidėjęs druskingumas. Druska neigiamai veikia patinos sluoksnį, kuris apsaugo tiltą nuo korozijos. Druskingumo lygis toje vietoje, kur statomas tiltas neturi viršyti S2 klasifikacijos ($Cl < 300\text{mg}/\text{m}^2$ / parą). Taip pat nereiktų pamiršti žiemą barstomos druskos ant apsnigtų kelių. Tiek ant tiltų, tiek po jais druska kenkia plieninėms siūlėms. Taip pat tiltai iš atmosferinio plieno neturėtų būti statomi aplinkoje, kurioje yra padidėjusi koroziją spartinančių cheminių junginių koncentracija. Ypatingai jeigu SO_2 viršija leidžiama normą [10, 11, 13, 23].

Komandos, kuri dirbo Jungtinėse Karalystėse, atlikti tyrimai parodė, kad tiltai, kurie buvo pastatyti iš atmosferinio plieno, per pastaruosius 20 metų nebuvo paveikti korozijos. Keliems iš jų buvo nustatytos problemos, susijusios su konkrečiu gedimu, o ne dėl bendro plieno netinkamumo ar neigiamo korozijos poveikio [13, 23].



1.7.5. pav. Tūkstantmečio tiltas. Peterburgas, Jungtinės Karalystės [23]

Taip pat iš atmosferinio plieno yra gaminamos deformacinės jungtys tiltams, kurios skirtos sumažinti deformacijas, sukeltas intensyvių eismo srautų, didelių krūvių, temperatūrinių svyravimų arba žemės drebėjimo. Šios jungtys dažniausia naudojamos sijoms arba tilto atramoms pritvirtinti. Jungtys padarytos iš Cor-Ten ir dviejų skirtingos formos tipo jungiamųjų gumų. Guma yra naudojama siekiant apsaugoti kitus tilto komponentus ir jiems nepadaryti papildomos žalos. Italijos mokslininkai (Pauletta *et all* 2015) tyrinėjo dviejų tiltų deformacijas. Vienas tiltas buvo senesnės statybos, kitas naujai pastatytas. Pasirinkti tiltai buvo statyti skirtingomis technologijomis, skirtingu laikotarpiu. Abu tiltai pastatyti iš atmosferinio plieno. Tiltų jungtims naudotos atmosferinio plieno ir vulkanizuotos tamprios gumos medžiagos. Tokia guma yra parinkta todėl, kad turi savybę atlaikyti dalį deformacijų, kurias sukelia apkrova nuo eismo. Bandymo tikslas buvo patikrinti ar jungtis yra patvari. Iš gautų rezultatų galima spręsti, kad ši jungtis yra tinkama naudojimui pagal šią paskirtį. Tačiau jungtis turi būti padaryta tinkamai, nes bet koks netikslumas gali iššaukti didelę avariją [5, 12].



1.7.6. pav. Bandinių pavyzdžiai, kaip Cor-Ten plienas paveiktas korozijos [5]



1.7.7. pav. Gumos nepakankamumas [5]



1.7.8. pav. Klijų nepakankamumas [5]

Plienas su prekiniu ženklu „USS Cor-Ten“ buvo daugiausia naudojamas geležinkelio pramonėje. Atmosferinis plienas naudojamas transporto priemonėms birioms medžiagoms gabenti, kur pasireiškia gabenamų medžiagų trintis į plieno paviršių, pavyzdžiui traukinio vagonams, vežantiems anglis [11, 14].

1.8. Privalumai ir trūkumai

Galima išskirti šiuos Cor-Ten plieno panaudojimo privalumus ir trūkumus.

Privalumai:

- Atsparus atmosferinei korozijai;
- Nereikalinga papildoma apsauga nuo korozijos, todėl ekonomiškesnis variantas, lyginant su kitu angliniu plienu, kuriam reikalinga apsauga;
- Atsparus rūgščių poveikiui;
- Didelis atsparumas tempimui;
- Ilgaamžiškumas;
- Pasižymi minimalia priežiūra.

Trūkumai:

- Mažas smūginis tūsumas (Cor-Ten A, plieno smūginis tūsumas yra nepakankamas, todėl jis tinka tik plonasieneis mažai apkrautoms konstrukcijoms. Plienų Cor-Ten B smūginis tūsumas tikrinamas pagal LST EN 10025-5 standartą);
- Kol rūdys neįsisenėja, gali atrodyti neišvaizdžiai;
- Nerekomenduojamas sąlytis su didelės koncentracijos chlorido jonais;
- Nerekomenduojama naudoti chemijos pramonės aplinkoje.

2. TIRIAMOJI DALIS

2.1. Naudotos medžiagos

Tyrimams naudoti apie 190 mm ilgio, 150 mm pločio bei 2 mm storio Cor-Ten plieno bandiniai buvo gauti iš UAB „INFANTAS“ (2.1.1 pav.). Tai Cor-Ten B grupės plienas, kuris pagal LST EN 10155 standartą maždaug atitinka plieno rūšis S355J2G1W ir S355J2G1W.



2.1.1 pav. Tyrime naudoti Cor-Ten plieno bandiniai

2.2. Tyrimų metodika

Cor-Ten plieno bandinių spalva nustatyta naudojant skaitmeninį spalvų skaitytuvą „NCS COLOUR SCAN 2.0“ kartu su kodine spalvų palete „NCS INDEX 1950 ORIGINAL“ (2.2.1 pav.). Šis prietaisas pridedamas prie tiriamojo paviršiaus, kurio spalvos kodą reikia įvertinti. Pagal prietaiso nustatytą spalvos kodą iš spalvų paletės parenkama atitinkama spalva.



2.2.1 pav. Skaitmeninis spalvų skaitytuvas su kodine spalvų paletė [25]

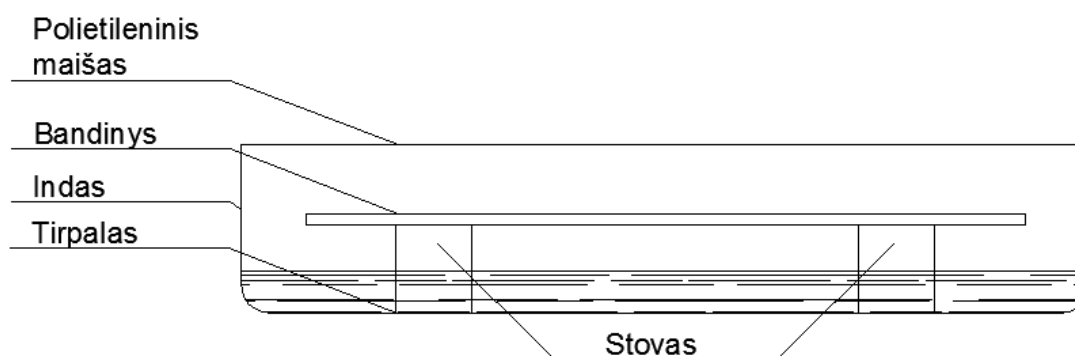
Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūra buvo tiriama optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF (2.2.2 pav.). Optinis mikroskopas skirtas stebimiems objektams padidinti iki 1000 kartų. Naudojant šį mikroskopą galima lengvai ir greitai, be sudėtingų bandinių paruošimo operacijų, įvertinti bandinių paviršiaus struktūrą ir morfologiją. Mikroobjektai fotografuojami skaitmenine

kamera ir dokumentuojami kompiuteryje. Naudojama QCapture Pro programinė įranga. Atlikti nuotraukoms yra naudojama QImaging Go-21 kamera.



2.2.2 pav. Optinis mikroskopas OLYMPUS BX51TF ir kamera QImaging Go-21 [26]

Tiriamojame dalyje nagrinėjamas 3% NaCl ir Na₂SO₄ tirpalų poveikis Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus spalvos ir tekstūros kitimui, kuomet aplinkos oro temperatūra cikliška per parą laiko pakinta nuo +20°C iki -20°C (1 ciklas). Tyrimo metu iš viso buvo atlikta 100 tokių ciklų. Norint, kad kuo greičiau susidarytų apsauginis oksido sluoksnis – patina, Cor-Ten plieno bandinių paviršius turi būti periodiškai šlapias ir sausas. Tuo tikslu paruošti Cor-Ten plieno apie 190×150 mm dydžio bandiniai buvo sudėti į plastiko indelius ant specialių stovų: į du indelius buvo pripilta paprasto vandens (kontrolinis bandymas), į kitus du 3% Na₂SO₄ tirpalo ir į likusius du – 3% NaCl tirpalo (2.2.3 pav.). Vandens ar druskos tirpalo sluoksnio storis buvo parinktas toks, kad neapsemėtų tiriamojo bandinio. Pats indas su bandiniu sandariai užtaisomas polietileno plėvele. Bandiniai patalpinti į klimatinę kamerą. Esant teigiamai temperatūrai klimatinėje kameroje, sandariame inde susidaro vandens ar atitinkamos druskos garai. Pastarieji garai nusėda ant tiriamojo bandinio paviršiaus ir jį sudrėkina, temperatūrai krentant.



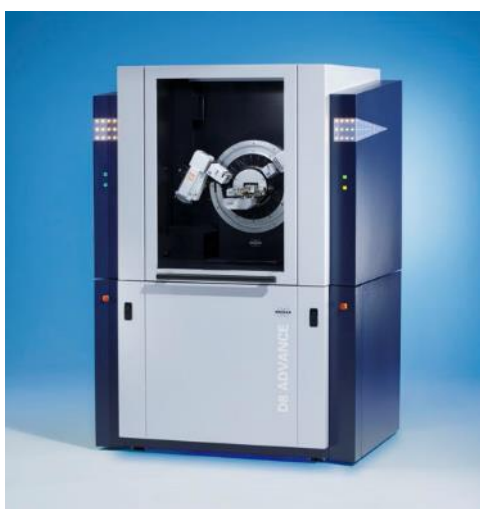
2.2.3 pav. Bandinių bandymo vaizdas

Į klimatinę kamerą bandiniai dedami taip, kad bandomasis paviršius nepasvirtų nuo horizontalios plokštumos daugiau nei 3 mm/m bet kuria kryptimi ir būtų parengtas cikliškam temperatūrų svyravimui per parą laiko nuo +20°C iki -20°C. Klimatinėje kameroje temperatūra bandomojo paviršiaus centre užrašinėjama nuolatos. Laikas pradedamas matuoti pirmojo ciklo metu

po 0 ± 30 minučių, bandinį įdėjus į klimatinę kamerą. Siekiant užtikrinti temperatūros ciklo tikslumą visiems bandiniams, turi būti gera oro cirkuliacija klimatinėje kameroje. Po 100 ciklų su kiekvienu iš bandinių atliekamos šios procedūros:

- a) Cor-Ten plieno bandiniai išimami iš sandarių indelių ir paliekami, kad išdžiūtų jų paviršius. Daromos šlapių ir sausų bandinių paviršiaus nuotraukos.
- b) Cor-Ten plieno bandinių paviršius valomas šepetėliu tol, kol bandinio paviršiuje nelieka susidariusių laisvų cheminių junginių. Vėliau atliekamas Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūros tyrimas optiniu mikroskopu.

Po cikliško temperatūrų svyravimo per parą laiko nuo $+20^{\circ}\text{C}$ iki -20°C agresyvioje aplinkoje bandymo Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje susidarę junginiai buvo tiriami taikant rentgenodifrakcinės (XRD) analizės metodą. XRD analizė atlikta difraktometru „Bruker D8 Advance“ (2.2.4 pav.).



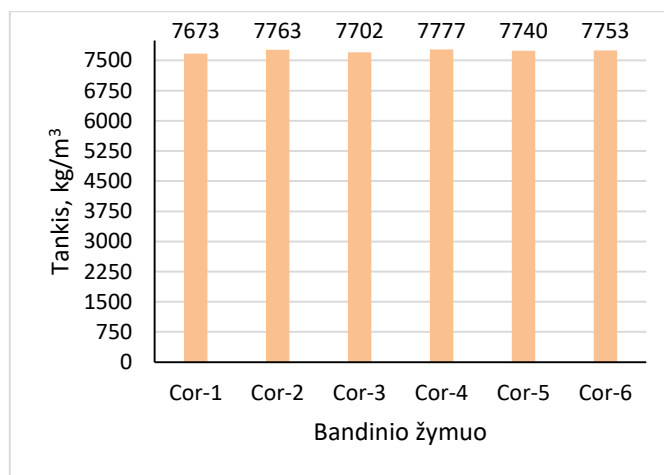
2.2.4 pav. Difraktometras *Bruker D8 Advance* [27]

Naudota: $\text{CuK}\alpha$ spinduliuotė, Ni filtras, detektoriaus judėjimo žingsnis – $0,02^{\circ}$, intensyvumo matavimo trukmė žingsnyje – 0,5 s, anodinė įtampa $U_a = 40$ kV, srovės stiprumas $I = 40$ mA. Difrakcinės kreivės buvo užrašytos $2\ 60^{\circ}$ kampų intervale [28].

3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Cor-Ten plieno bandinių agresyvioje aplinkoje tyrimai

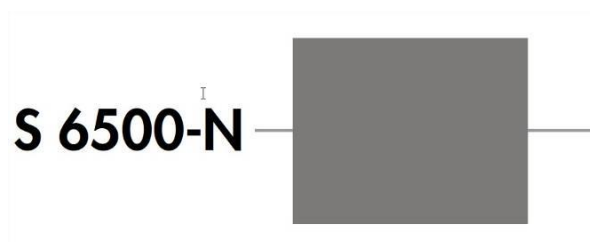
Iš pradžių, buvo nustatytas 2.1.1 pav. pavaizduotų Cor-Ten plieno bandinių (apie 190 mm ilgio, 150 mm pločio bei 2 mm storio) tankis (3.1.1 pav.).



3.1.1 pav. Cor-Ten plieno bandinių tankis

Nustatyta, kad tyrimui pasirinktų Cor-Ten plieno bandinių (apie 190 mm ilgio, 150 mm pločio bei 2 mm storio) vidutinis tankis yra 7735 kg/m³.

Prieš atliekant 3% NaCl ir Na₂SO₄ tirpalų poveikio įtaką Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus spalvos ir tekstūros kitimui, kuomet aplinkos oro temperatūra cikliškai per parą laiko pakinta nuo +20°C iki -20°C bandymą, skaitmeniniu spalvų skaitytuvu „NCS COLOUR SCAN 2.0“ nustatytas spalvos kodas buvo S 6500-N. Pagal šį spalvos kodą iš spalvų paletės „NCS INDEX 1950 ORIGINAL“ parinkta kodą atitinkanti spalva pateikta 3.1.2 pav.



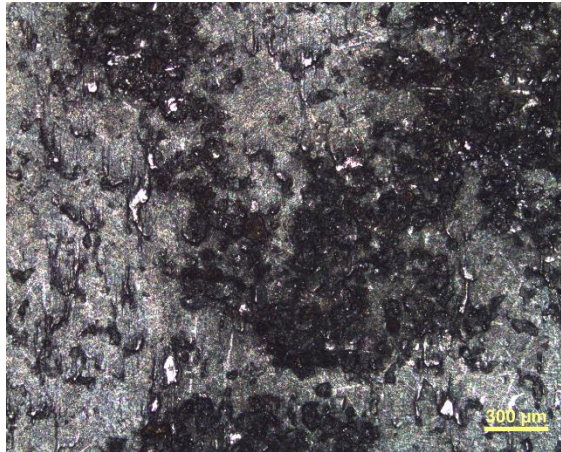
3.1.2 pav. Cor-Ten plieno bandinių prieš ciklinį užšaldymą ir atšildymą spalvos kodas ir spalva iš kodinės spalvų paletės

Prieš atliekant Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūros tyrimus optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF (2.2.2 pav.), bandinius reikėjo atitinkami paruošti, tai yra iš turimų 190 mm ilgio ir 150 mm pločio bandinių buvo išpjauti apytiksliai 20×20 mm dydžio bandiniai (3.1.3 pav.).

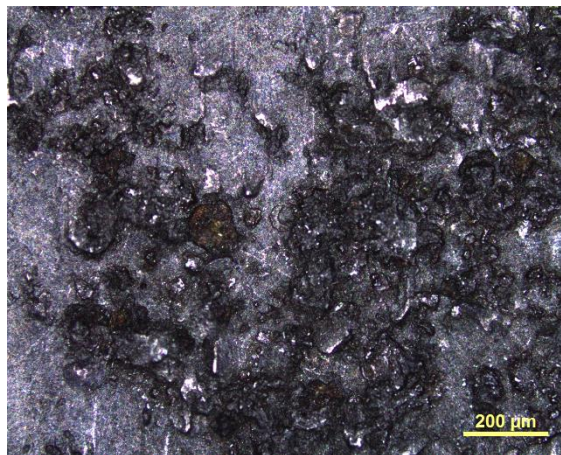


3.1.3 pav. Bandinių vaizdas paviršiaus struktūros tyrimams optiniu mikroskopu

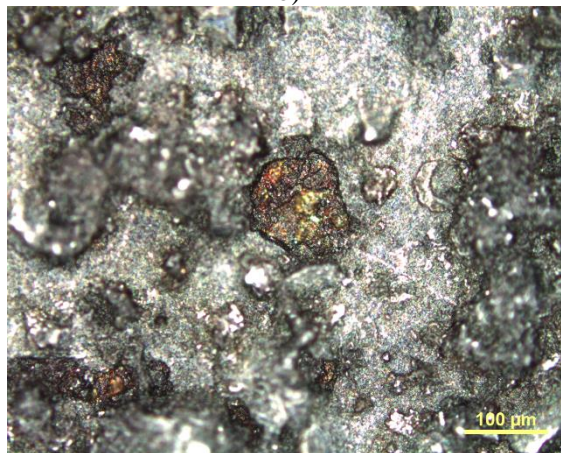
Prieš atliekant 3% NaCl ir Na₂SO₄ tirpalų poveikio įtaką Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus spalvos ir tekstūros kitimui, optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF ištirta Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūra pavaizduota 3.1.4 a – d pav. Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūra primena tarsi netolygiai išsidėsčiusius žvynus (3.1.4 a ir 3.1.4 b pav.). Vietomis matomos susidariusios oksidų užuomazgos, kurių plika žmogaus akimi negalima būtų pastebėti (3.1.4 c ir 3.1.4 d pav.).



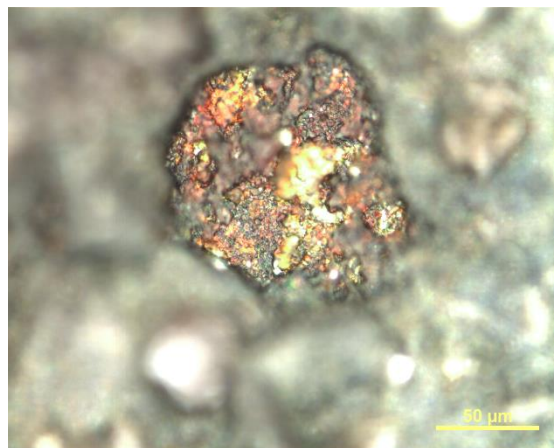
a)



b)



c)



d)

3.1.4 pav. Kontrolinių Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūra

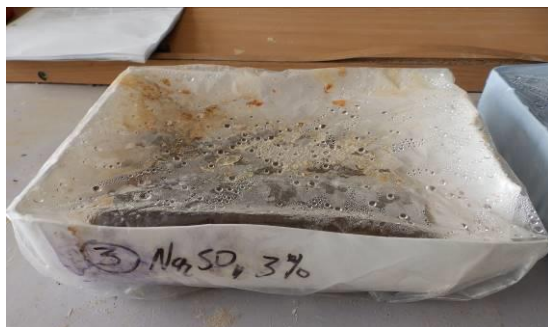
Cikliško temperatūrų svyravimo per parą laiko nuo $+20^{\circ}\text{C}$ iki -20°C bandymas, bandinius veikiant H_2O , 3% Na_2SO_4 tirpalu ir 3% NaCl tirpalu, pavaizduotas 3.1.5 a – c pav. Cor-Ten plieno bandinių oksidacijai vykti reikalingos palankios sąlygos, tai yra drėgmė ir šiluma. Palankios patinos sluoksnio formavimuisi vykti dirbtinos sąlygos yra sukuriamos laboratorijoje esančioje klimatinėje kameroje vykstant cikliškam temperatūrų svyravimui per parą laiko nuo $+20^{\circ}\text{C}$ iki -20°C , kuomet Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje nusėda vandens (neagresyvios aplinkos) ir 3% Na_2SO_4 arba 3% NaCl druskų tirpalų garai (agresyvi aplinka).



a) bandinius veikiant H_2O



b) bandinius veikiant 3% NaCl tirpalu



c) bandinius veikiant 3% Na₂SO₄ tirpalu

3.1.5 pav. Indeliai su Cor-Ten plieno bandiniais po cikliško temperatūrų poveikio skirtingų tirpalų aplinkoje

Prieš bandymą ir po cikliško temperatūrų poveikio skirtingų tirpalų aplinkoje bandymo Cor-Ten plieno bandinių vaizdas pateiktas 3.1.6 a – c pav. Vizualiai stebimi ryškiai didesni oksidacijos produktų kiekiai Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje (3.1.6 b ir 3.1.6 c pav.), bandiniams esant 3% Na₂SO₄ arba 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje (agresyvi aplinka), palyginus su Cor-Ten plieno bandiniais, esančiais H₂O aplinkoje (3.1.6 a pav.).



prieš bandymą

po bandymo

po bandymo (išdžiūvus)

a) bandinių vaizdai, esant H₂O aplinkai





prieš bandymą



po bandymo



po bandymo (išdžiūvus)

b) bandinių vaizdai, esant 3% NaCl aplinkai



prieš bandymą



po bandymo



po bandymo (išdžiūvus)



prieš bandymą



po bandymo



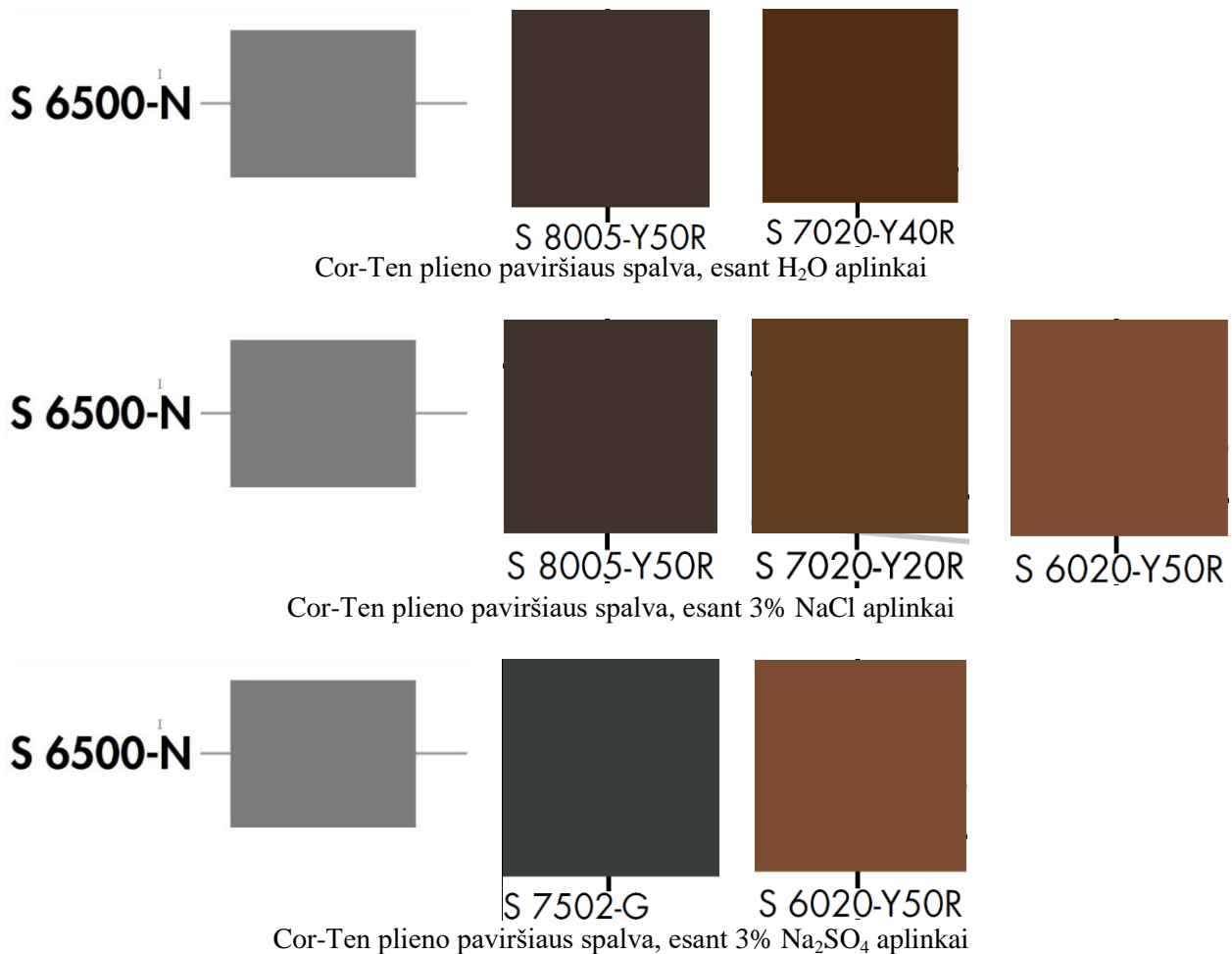
po bandymo (išdžiūvus)

c) bandinių vaizdai, esant 3% Na₂SO₄ aplinkai

3.1.6 pav. Cor-Ten plieno bandinių vaizdas prieš ir po cikliško temperatūrų poveikio skirtingų tirpalų aplinkoje bandymo

Galima daryti prielaidą, kad Cor-Ten plieno danga dengti fasadai prie cikliškų temperatūrų svyravimų per parą esant 3% Na₂SO₄ arba 3% NaCl druskoms jų paviršiuje pasidengia oksidacijos produktų sluoksniu, kuris gali būti nuplaunamas lietaus. Tokiu atveju, jei yra kombinuotas monolitinio betono ar mūro ir Cor-Ten plieno dangos fasadas, fasado paviršiuje gali formuotis rudos spalvos dėmės. Jos taip pat gali būti stebimos ant betoninio grindinio ir pan. Siekiant išvengti tokių dėmių, papildomai reikia įrengti oksidacijos produktų nubėgimo latakus.

H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje laikytų Cor-Ten plieno bandinių, skaitmeniniu spalvų skaitytuvu „NCS COLOUR SCAN 2.0“ nustatyti spalvų kodai bei pagal nustatytus kodus iš spalvų palėtės „NCS INDEX 1950 ORIGINAL“ parinktos spalvos pateiktos 3.1.7 pav.



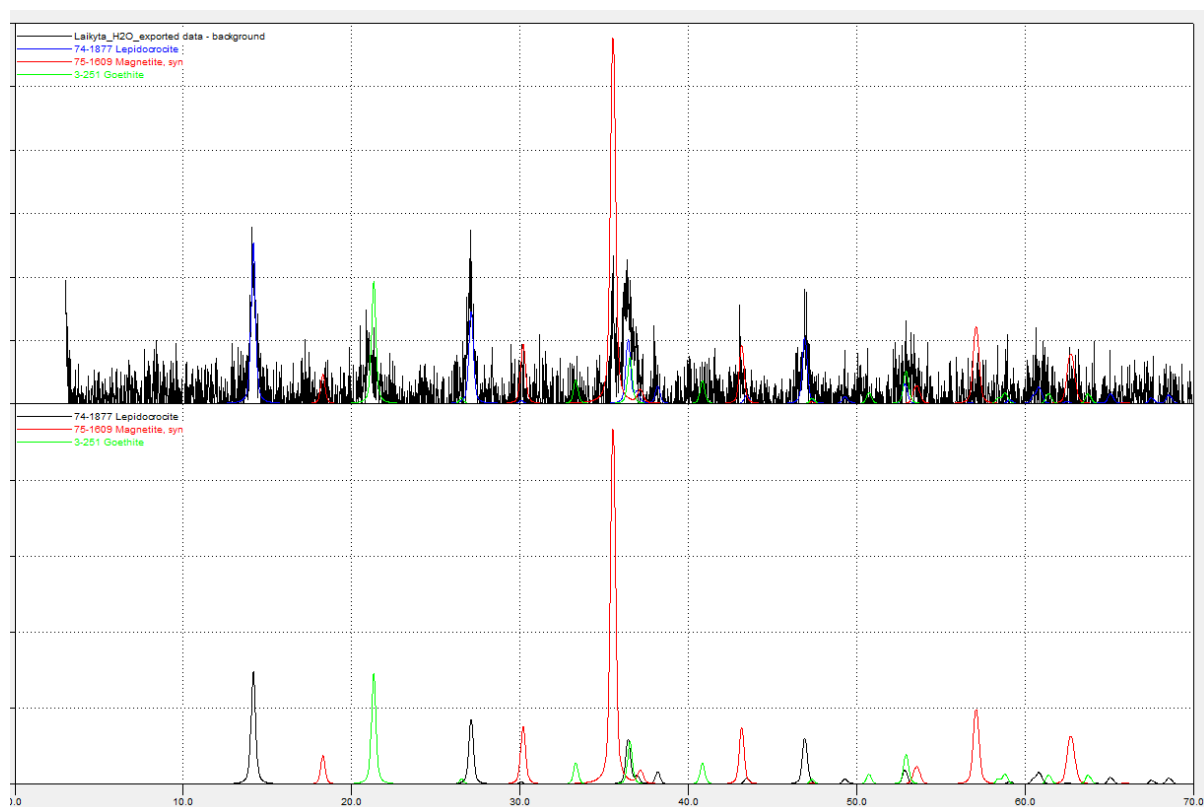
3.1.7 pav. Cor-Ten plieno bandinių spalvos pakitimas po cikliško temperatūrų poveikio skirtingų tirpalų aplinkoje bandymo

Iš 3.1.7 pav. matyti, kaip keičiasi arba kinta Cor-Ten plieno dangos spalva, jiems esant H₂O (neagresyvi aplinka), 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje (agresyvi aplinka). Architektai turėtų atsižvelgti į tai, kad Cor-Ten plieno dangos spalvą gali įtakoti aplinka, kurioje bus eksploatuojamas pastatas. Cor-Ten plieno danga dengtas pastato fasadas gali būti arti važiuojamosios dalies. Tokiu atveju, fasadą žiemos metu gali veikti ir druskų, barstomų ant važiuojamosios kelio dangos, poveikis. Žiemos metu fasadas gali būti veikiamas cikliško temperatūrų svyravimo poveikio druskų aplinkoje, tai yra formuojantis agresyviajai aplinkai.

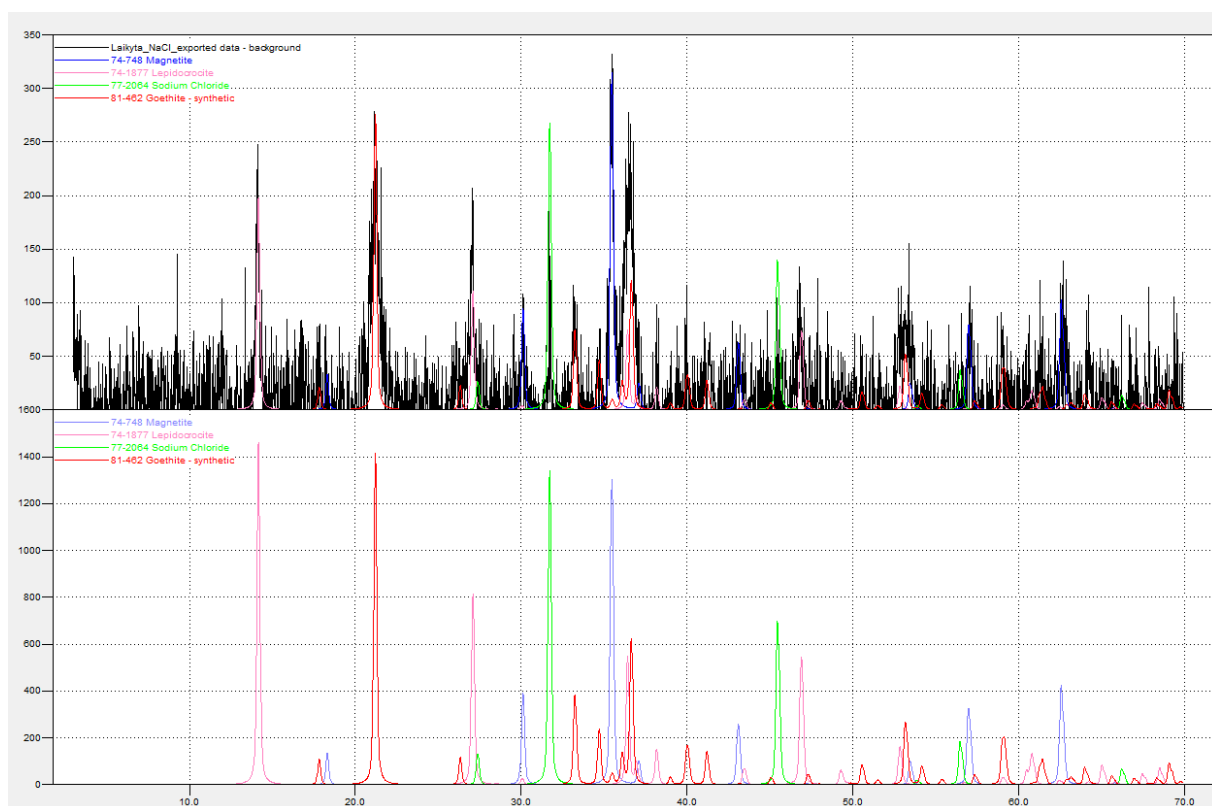
Po cikliškų temperatūrų svyravimų per parą esant 3% Na₂SO₄ arba 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje bandymo Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje susidarę junginiai buvo tiriami taikant rentgenodifrakcinės (XRD) analizės metodą. Gautos kreivės pateiktos 3.1.8 a – c pav. Iš šiame paveiksle pateiktų kreivių matyti, kad cikliškų temperatūrų svyravimo H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje poveikio metu Cor-Ten plieno dangos paviršiuje susidaro šie junginiai:

- Lepidocrocite (Lepidokrokitas) γ -FeO(OH) arba dar kitaip vadinamas esmeraldite arba hydrohematite yra geležies oksihidroksido mineralas. Hidroksidų klasė. Kristalinė struktūra ortorombinė. Kietumas pagal Moso skalę 5,0. Tankis 4,0 g/cm³. Blizgesys submetalinis, brėžis geltonrudis [29]. Lepidokrokito struktūra panaši į bemito (aptinkamo boksituose) struktūrą, jį sudaro geležies (III) oksido oktaedrai, išsidėstę sluoksniais, kuriuose sieja hidroksidų sluoksnių vandeniliniai ryšiai. Šio silpnos jungtys ir lemia

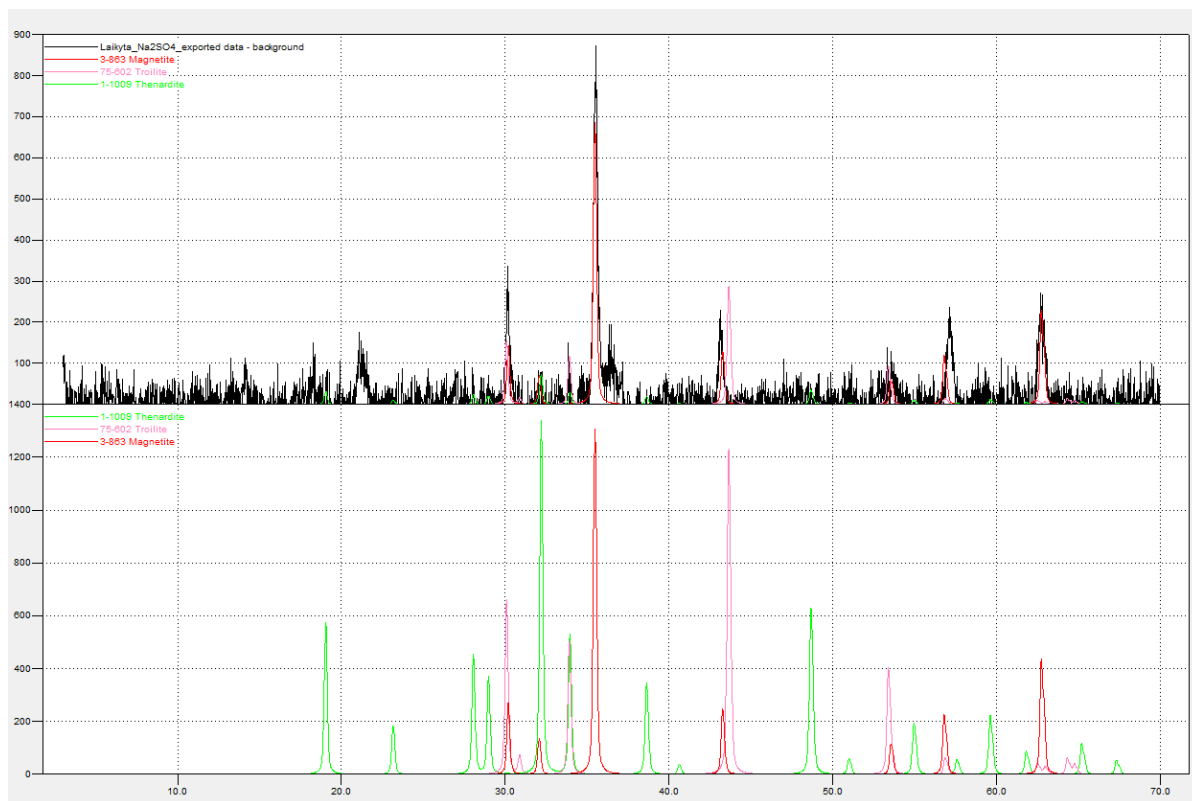
žvynišką mineralo struktūrą. Mineralas yra rubino raudonos arba rausvai rudos spalvos, šviesiai rausvai raudonos-oranžinės spalvos.



a) Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje susidarę junginiai, esant H₂O aplinkai



b) Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje susidarę junginiai, esant 3% NaCl aplinkai



c) Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje susidarę junginiai, esant 3% Na₂SO₄ aplinkai

3.1.8 pav. Rentgenodifrakcinės (XRD) analizės kreivės

- Magnetite (Magnetitas) Fe₃O₄. Magnetito mineralas yra vienas iš trijų plačiausiai natūraliai susidarančių geležies oksidų. Jis yra špinelio grupės narys. Esant anaerobinėmis sąlygomis, geležies hidroksidas (Fe(OH)₂) gali oksiduotis vandens terpėje ir virsti magnetitu. Savitasis tankis 5,0 g/cm³ [30].
- Goethite (Getitas) FeO(OH) yra geležies oksihidroksido mineralas. Kietumas pagal Moso skalę – 5,0 iki 5,5. Savitasis tankis 3,3-4,3 g/cm³. Getito blizgesys nuo deimantinio, metalinio iki matinio. Spalva – geltona, geltonai ruda, ruda. Tai yra pagrindinis rūdžių komponentas [31].

Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūros nuotraukų, darytų optiniu mikroskopu po cikliškų temperatūrų svyravimo H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje daugiau pateikta 1 priede.

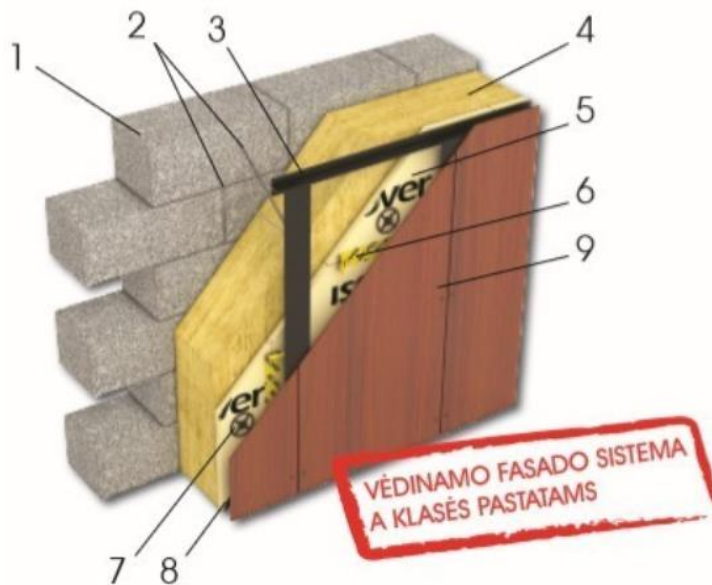
4. FASADO DANGOS, PANAUDOJANT COR-TEN PLIENĄ ALTERNATYVIŲ SPRENDIMŲ DAUGIAKRITERINIS ĮVERTINIMAS

4.1. Sienos konstrukcija

Pasirinkta sienos konstrukcija su vėdinamu fasadu. Sienos konstrukcija (4.1.1 pav.) susideda iš:

1. Laikanti siena;
2. Plieno strypai;
3. L ar T formos profiliai;

4. Šilumos izoliacija;
5. Vėjo izoliacija;
6. Lipni juosta
7. Smeigė;
8. Vėdinamas oro tarpas;
9. Apdailos plokštė.



4.1.1 pav. Vėdinamo fasado sistema [32]

Vėdinamasis fasadas yra ilgaamžis, jo priežiūra eksploatacijos metu labai minimali. Vėdinamo fasado konstrukcijoje vyksta natūrali ventilacija, be papildomų priemonių sukuriamas komfortiškas klimatas pastato viduje. Dėl natūralios ventilacijos drėgmė, jeigu jos kažkiek susidaro, iš fasado šiltinamosios medžiagos greitai išgaruoja. Fasado plokštės kartu su šiltinimo sluoksniu sukuria dvigubą garso izoliacijos barjerą. Sausa izoliacinė medžiaga reiškia gerą termoizoliaciją ir mažus šilumos nuostolius. Kad šiltinimo sluoksnis visada būtų sausas, labai svarbu, kad izoliacinė medžiaga būtų tinkamai pritvirtinta, kad būtų pakankamas ventiliacinis tarpas. Galima teigti, kad vėdinamuosiuose fasaduose dalis šiluminės varžos prarandama dėl infiltracijos ir prapūtimo, ganėtinai sunku patikimai įrengti priešvėjinį sluoksnį. Taip pat sudėtinga tinkamai apskardinti palanges, parapetus, išspręsti sandūrų su kitomis konstrukcijomis klausimus, apsaugoti izoliacinės medžiagas nuo atmosferos kritulių. Tačiau vėdinamą fasadą galima įrengti ir ant labai kreivų, nekokybiškų sienų. Vėdinamiems fasadams įrengti gali būti naudojamos įvairios apdailos medžiagos. Lieka tik teisingai parinkti tvirtinimo elementus [32, 33, 34].

4.2. Vėdinamo fasado, panaudojant Cor-Ten plieno apdailą, įrengimo technologija.

Cor-Ten apdailos lakštai prie fasado gali būti tvirtinami matomu arba nematomu tvirtinimo būdu. Matomas – kniedėmis arba varžtais, nematomas – klijais.

Tvirtinant prie L ar T formos profilių Cor-Ten apdailos plokštės matomu būdu – kniedėmis, turi būti naudojamas kniedijimo įrankis. Kniedės turėtų būti iš tokios medžiagos, kuri nereaguotų su apdailai pasirinkta medžiaga, šiuo atveju – Cor-Ten plienu. Kniedžių galvučių spalvą galima priderinti prie apdailos paviršiaus spalvos. Skylių padėtis turi būti išmatuota ir išgręžta prieš

montuojant plokštes prie vėdinamo fasado L ar T formos profilių. Nepriklausomai nuo dydžio kiekvienoje plokštėje turi būti du fiksuoti taškai (jie negali judėti), vienas iš jų plokštės viduryje, o kitas horizontaliai iš kairės ar dešinės pusės, kiti tvirtinimo taškai turi būti paslankūs (plokštė toje vietoje turi judėti). Fiksuoti taškai palaiko plokštės svorį ir užtikrina, kad ji išliktu reikiamoje vietoje, o paslankūs taškai atlaiko vėjo apkrovą. Tvirtinant fasado apdailos plokštes matomu tvirtinimo būdu, rekomenduojama tvirtinti iš viršaus ir leisti žemyn. Tvirtinama naudojant pagalbinį atraminį skersinį. Tvirtinant plokštę pirmiausia pritvirtinti fiksuotus taškus ir tik po to paslankius. Kiekviena plokštė sulygiuojama naudojant tarpeklius. Taip tvirtinti plokštes viso fasado plotu, kol bus baigtas darbas. Taikant tokią pačią profilių tvirtinimo metodiką galima apdailos profilius tvirtinti varžtais [46].

Fasado apdailos plokštės gali būti tvirtinami nematomu būdu panaudojant statybinius klijus. Pirmiausia reikėtų L ar T tipo profilius ir Cor-Ten plokštes nuvalyti ir padengti gruntu. L ar T tipo profilius apklijuoti lipnia juosta ir užtepti klijų tada užkelti Cor-Ten plokštę ant pagalbinio atraminio skersinio ir ją pritvirtinti [46].

4.3. Fasadų apdailos dangos

Cor-Ten plienas

Ypatingos cheminės sudėties Cor-Ten atmosferos sąlygoms atsparaus struktūrinio plieno lakštas pasižymi geresniu atsparumu atmosferos poveikiui nei įprastas struktūrinis plienas. Pastatams naudojami atmosferos sąlygoms atsparaus plieno paviršius nereikia papildomai apdirbti. Kadangi gaminant ir eksploatuojant atmosferos sąlygoms atsparų plieną nebereikia apdirbti jo paviršius, sumažinamas poveikis aplinkai ir išlaidos, patiriamos gaminio naudojimo laikotarpiu [37].



4.3.1 pav. Banguotas fasadų apdailos lakštas *Design Cor-Ten S7* [37]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – A klasės Cor-Ten plienas;
- Storis – 1 mm;
- Svoris – 8,77 kg/m²;
- Kaina – 35 €/m².

Varis

Sprendimas klojant ar rekonstruojant fasadą naudoti varį, taurųjį metalą, yra ne tik teisingas pasirinkimas, bet ir puiki investicija. Atlikus fasado įrengimo darbus, prasideda vario medžiagos spalvos keitimosi procesas. Vario paviršiuje susidaro apsauginis sluoksnis - patina. Kuo agresyvesnė aplinka, tuo greičiau susidaro apsauginis sluoksnis. Tinkamai ir kokybiškai panaudojus varį stogui ar fasadui įrengti, jam suteikiamas daugiau kaip 150 metų garantinis laikotarpis. Taigi, galima sakyti, kad varis yra viena iš pigiausių medžiagų skirtų pastatų stogams ir fasadams [38].



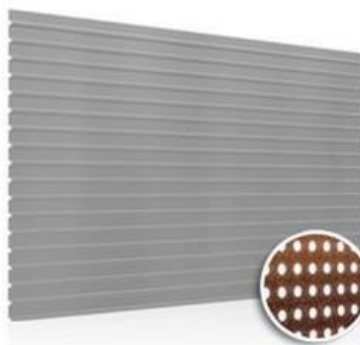
4.3.2 pav. Vario lakštai [38]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – varis;
- Storis – 0,7 mm;
- Svoris – 6,23 kg/m²;
- Kaina – 40 €/m².

Aliuminis

Aliuminis yra vienas labiausiai paplitusių metalo elementų pasaulyje. Nors aliuminis ir lengvai randamas dėl savo aktyvumo, tačiau tik po apdorojant molio ir mineralų junginius. Aliuminis yra šviesus, gerai atspindintis šviesą, lengvai apdorojamas ir perdirbamas metalas, taip pat geras šilumos ir elektros laidininkas [39].



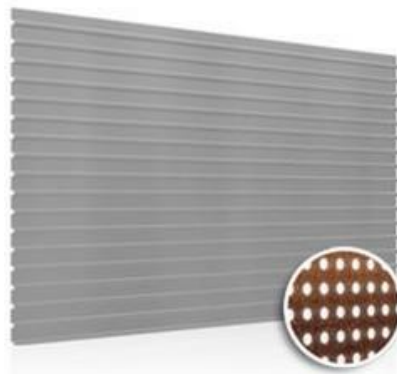
4.3.3 pav. Banguotas fasadų apdailos lakštas *DESIGN OULU T10 B* iš aliuminio [39]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – aliuminis;
- Storis – 0,7 mm;

- Svoris – 2,48 kg/m²;
- Kaina – 20 €/m².

Įprastas plienas



4.3.4 pav. Banguotas fasadų apdailos lakštas *DESIGN OULU T10 B* iš plieno [39]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – plienas;
- Storis – 0,6 mm;
- Svoris – 6,0 kg/m²;
- Kaina – 11 €/m².

4.4. Kriterijų reikšmingumo (teorinio qt ir kompleksinio) nustatymas taikant entropijos metodą

Pradiniai duomenys pateikti 4.4.1 lentelėje:

4.4.1 lentelė Pradiniai duomenys.

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimo sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetinis vaizdas, balais |
|--------------------------------------|---|---|--|---|--|--|--|
| A ₁ | 35 | 1,18 | 0,305 | 8,77 | 5 | 1 | 4 |
| A ₂ | 40 | 1,092 | 0,282 | 6,23 | 4 | 1 | 5 |
| A ₃ | 20 | 0,91 | 0,235 | 2,48 | 3 | 3 | 3 |
| A ₄ | 11 | 1,001 | 0,259 | 6 | 4 | 4 | 3 |
| Suma | 106 | 4,183 | 1,081 | 23,48 | 16 | 9 | 15 |
| Optimalumas | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MAX |

Alternatyvos:

- A₁ – fasado lakštas iš Cor-Ten plieno;
- A₂ – fasado lakštas iš vario;
- A₃ – fasado lakštas iš aliuminio;
- A₄ – fasado lakštas iš įprastojo plieno.

Vertinimo kriterijai:

K_1 – Medžiagų kaina, €/m²;

K_2 – Žmogaus darbo sąnaudos, val./m²;

K_3 – Mechanizmų darbo sąnaudos, val./m²;

K_4 – Medžiagų svoris, kg/m²;

K_5 – Įrengimo sudėtingumas, balais;

K_6 – Priežiūra eksploatacijos metu, balais;

K_7 – Estetinis vaizdas, balais.

Įrengimo sudėtingumas yra vertinamas atsižvelgiant į dangos masę, kuo ji didesnė, tuo daugiau operacijų reikės atlikti – daugiau reikės skylių gręžti ir naudoti daugiau varžtų.

5 balai – sudėtingas įrengimas, reikalauja priežiūros eksploatacijos metu, puikus estetiškas vaizdas;

1 balas – nesudėtingas įrengimas, nereikalauja didelės priežiūros eksploatacijos metu, prastas estetiškas vaizdas.

Priežiūra eksploatacijos metu yra vertinama balais

Atliekame matricos normalizavimą pagal (4.4.1) formulę:

$$\bar{P}_{i,j} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (4.4.1)$$

Normalizavus pagal šią formulę gaunama normalizuota matrica \bar{P} (4.4.2 lent.), kur visi elementai yra nedimensiniai dydžiai ($x_{i,j}$).

4.4.2 lentelė Normalizuota matrica \bar{P}

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K_1 , medžiagų kaina | K_2 , žmogaus darbo sąnaudos | K_3 , mechanizmų darbo sąnaudos | K_4 , medžiagų svoris | K_5 , įrengimo sudėtingumas | K_6 , priežiūra eksploatacijos metu | K_7 , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| A_1 | 0,3302 | 0,2821 | 0,2821 | 0,3735 | 0,3125 | 0,1111 | 0,2667 |
| A_2 | 0,3774 | 0,2611 | 0,2609 | 0,2653 | 0,2500 | 0,1111 | 0,3333 |
| A_3 | 0,1887 | 0,2175 | 0,2174 | 0,1056 | 0,1875 | 0,3333 | 0,2000 |
| A_4 | 0,1038 | 0,2393 | 0,2396 | 0,2555 | 0,2500 | 0,4444 | 0,2000 |

Nustatome kiekvieno kriterijaus entropijos lygį E_j pagal (4.4.2) formulę:

$$E_j = -k \sum (P \cdot \ln P_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln m} \quad (4.4.2)$$

Kad apskaičiuoti būtų lengviau, sukuriame papildomą matricą esančią skliausteliuose (4.4.3 lent.).

4.4.3 lentelė Papildoma matrica ($P \cdot \ln P_{ij}$)

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K_1 , medžiagų kaina | K_2 , žmogaus darbo sąnaudos | K_3 , mechanizmų darbo sąnaudos | K_4 , medžiagų svoris | K_5 , įrengimo sudėtingumas | K_6 , priežiūra eksploatacijos metu | K_7 , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| A_1 | -0,3659 | -0,3570 | -0,3570 | -0,3678 | -0,3635 | -0,2441 | -0,3525 |
| A_2 | -0,3678 | -0,3506 | -0,3505 | -0,3520 | -0,3466 | -0,2441 | -0,3662 |
| A_3 | -0,3147 | -0,3318 | -0,3318 | -0,2374 | -0,3139 | -0,3662 | -0,3219 |
| A_4 | -0,2351 | -0,3422 | -0,3423 | -0,3487 | -0,3466 | -0,3604 | -0,3219 |
| Suma | -1,2834 | -1,3816 | -1,3816 | -1,3059 | -1,3705 | -1,2149 | -1,3624 |

Entropijos lygis E_j kinta intervale $[0;1]$, todėl galime parašyti $0 \leq E_j \leq 1$, kur $(j = \overline{1, n})$. Taigi entropijos lygiai bus (4.4.4 lent.):

4.4.4 lentelė Entropijos lygiai

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| E_j | 0,7163 | 0,7711 | 0,7711 | 0,7289 | 0,7649 | 0,6780 | 0,7604 |

Toliau nustatomas kriterijų kitimo lygis d_j pagal (4.4.3) formulę:

$$d_j = 1 - E_j, \text{ kur } (j = \overline{1, n}) \quad (4.4.3)$$

4.4.5 lentelė Kriterijų kitimo lygiai

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| d_j | 0,2837 | 0,2289 | 0,2289 | 0,2711 | 0,2351 | 0,3220 | 0,2396 |

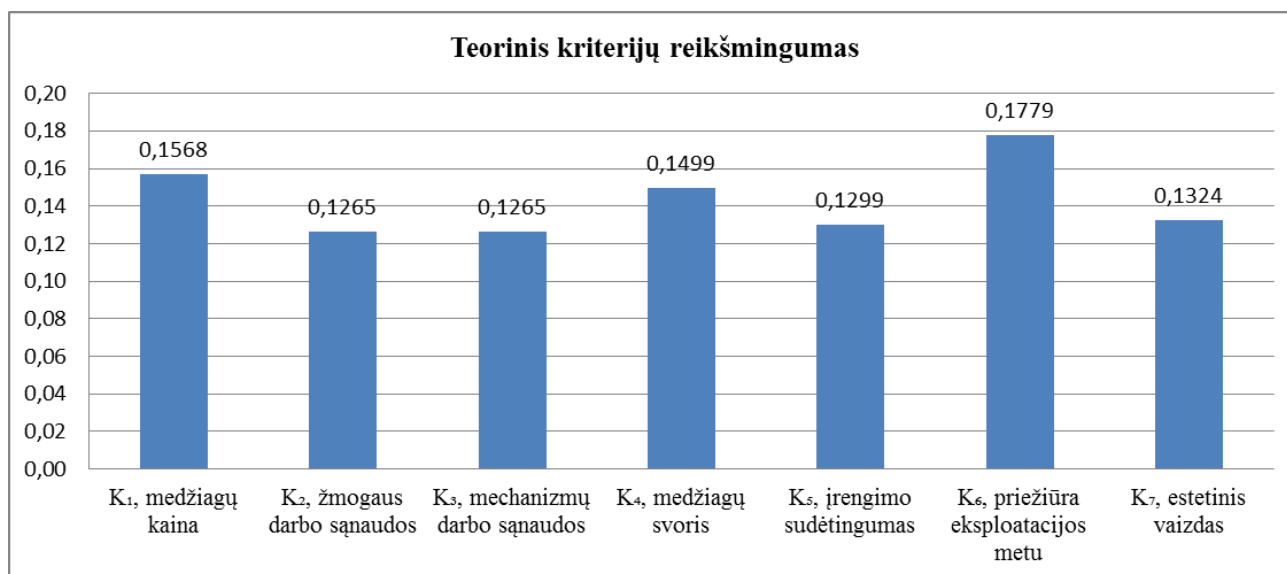
Kadangi visi kriterijai vienodai yra svarbūs, tai teorinis kriterijų reikšmingumas nustatomas pagal (4.4.4) formulę:

$$q_{j(t)} = \frac{d_j}{\sum d_j}; (j = \overline{1, n}) \quad (4.4.4)$$

Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 4.4.6 lentelėje ir stulpelinėje diagramoje (4.4.1 pav.).

4.4.6 lentelė Teorinis kriterijų reikšmingumas

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| $q_j(t)$ | 0,1568 | 0,1265 | 0,1265 | 0,1499 | 0,1299 | 0,1779 | 0,1324 |



4.4.1. pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas

Įmonės UAB “Infantas” vadovui buvo pateikta apklausa, kuris įvertino parinktų kriterijų reikšmingumą. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas \bar{q}_j yra pateiktas 4.4.7 lentelėje:

4.4.7 lentelė Subjektyvus kriterijų reikšmingumas

| K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimų sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetiškas vaizdas, balais |
|---|---|--|---|--|--|---|
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

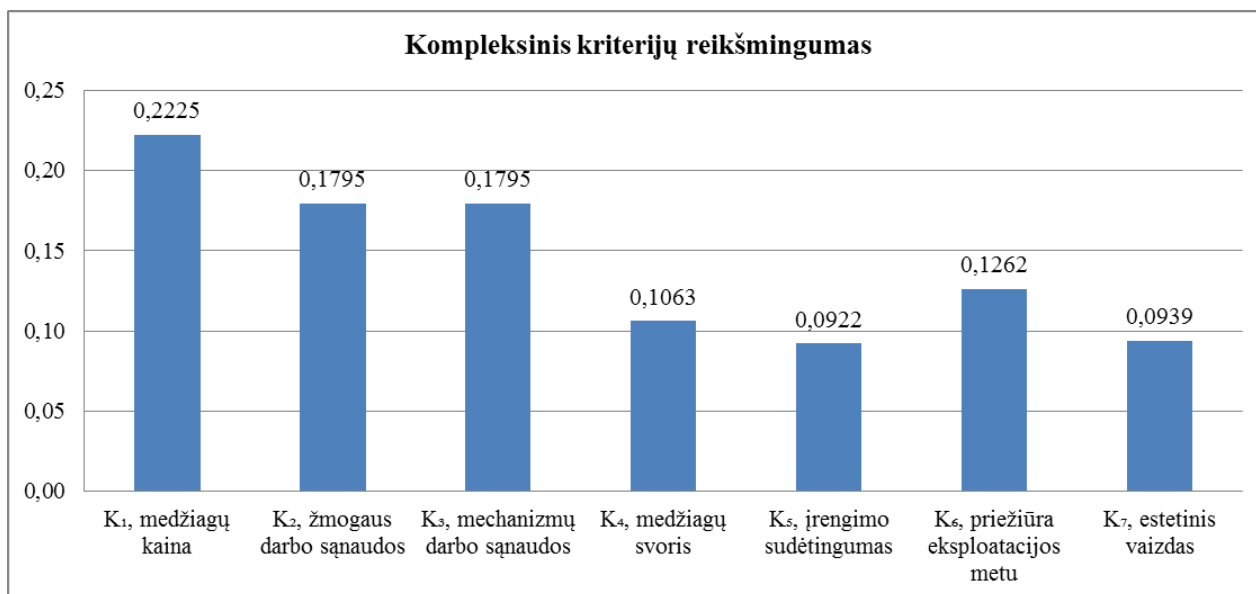
Tuomet galime nustatyti kompleksinį reikšmingumą pagal (4.4.5) formulę:

$$\bar{q}_{j,0} = \frac{\bar{q}_j \cdot q_{j(t)}}{\sum(\bar{q}_j \cdot q_{j(t)})}; (j = \overline{1, n}); \quad (4.4.5)$$

Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 4.4.8 lentelėje ir stulpelinėje diagramoje (4.4.2 pav.).

4.4.8 lentelė Kompleksinis kriterijų reikšmingumas

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| q _{j(t)} | 0,2225 | 0,1795 | 0,1795 | 0,1063 | 0,0922 | 0,1262 | 0,0939 |



4.4.2. pav. Kompleksinis kriterijų reikšmingumas

Kaip matyti iš 4.4.1 pav. pateiktos stulpelinės diagramos, gauta tokia teorinio kriterijų reikšmingumo prioritėtinė eilė: 17,79% - priežiūra eksploatacijos metu (K₆), 15,68% - medžiagų kaina (K₁), 14,99% - medžiagų svoris (K₄), 13,24% - estetiškas vaizdas (K₇), 12,99% - įrengimo sudėtingumas (K₅), po 12,65% - žmogaus darbo sąnaudos (K₂) ir mechanizmų darbo sąnaudos (K₃). Apjungus teorinį ir subjektyvų kriterijų reikšmingumus gauta tokia kompleksinio kriterijų reikšmingumo prioritėtinė eilė: 22,25% - medžiagų kaina (K₁), po 17,95% - žmogaus darbo sąnaudos

(K₂) ir mechanizmų darbo sąnaudos (K₃), 12,62% - priežiūra eksploatacijos metu (K₆), 10,63% - medžiagos svoris (K₄), 9,39% - estetiškas vaizdas (K₇), 9,22% - įrengimo sudėtingumas (K₅).

Pagal teorinį reikšmingumą, renkantis inžinerinį sprendimą, didžiausią dėmesį reikia kreipti į kriterijų K₆ – priežiūrą eksploatacijos metu, o pagal kompleksinį kriterijų reikšmingumą didžiausią dėmesį reikia kreipti į kriterijų K₁ – medžiagos kainą.

4.5. Pastato išorinių sienų apdailos dangos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant naudingumo vertės metodą

Pradiniai alternatyvių sprendimų duomenys pateikti 4.5.1 lentelėje.

4.5.1 lentelė Pradiniai alternatyviųjų sprendimų duomenys.

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimo sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetiškas vaizdas, balais |
|--------------------------------------|---|---|--|---|--|--|---|
| A ₁ | 35 | 1,18 | 0,305 | 8,77 | 5 | 1 | 4 |
| A ₂ | 40 | 1,092 | 0,282 | 6,23 | 4 | 1 | 5 |
| A ₃ | 20 | 0,91 | 0,235 | 2,48 | 3 | 3 | 3 |
| A ₄ | 11 | 1,001 | 0,259 | 6 | 4 | 4 | 3 |
| Suma | 106 | 4,183 | 1,081 | 23,48 | 16 | 9 | 15 |
| Optimalumas | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MAX |
| Kompleksinis reikšmingumas, % | 22,25 | 17,95 | 17,95 | 10,63 | 9,22 | 12,62 | 9,39 |
| Teorinis reikšmingumas, % | 15,68 | 12,65 | 12,65 | 14,99 | 12,99 | 17,79 | 13,24 |

Matricos P normalizavimas atliekamas taikant vektorių normalizavimo metodą (4.5.2 lent.):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}}, \text{ kur } i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (4.5.1)$$

Čia: m – alternatyvų skaičius; n – kriterijų skaičius.

4.5.2 lentelė Matrica \bar{P}

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| A ₁ | 0,3302 | 0,2821 | 0,2821 | 0,3735 | 0,3125 | 0,1111 | 0,2667 |
| A ₂ | 0,3774 | 0,2611 | 0,2609 | 0,2653 | 0,2500 | 0,1111 | 0,3333 |
| A ₃ | 0,1887 | 0,2175 | 0,2174 | 0,1056 | 0,1875 | 0,3333 | 0,2000 |
| A ₄ | 0,1038 | 0,2393 | 0,2396 | 0,2555 | 0,2500 | 0,4444 | 0,2000 |

Skaičiavimai atliekami esant kompleksiniam reikšmingumui:

Svertinės normalizuotos matricos \overline{P}^* sudarymas (4.5.3 lent.):

$$\overline{P}^* = [\overline{P}] \cdot [\overline{q}_j] \quad (4.5.2)$$

Čia:

$[\overline{P}]$ – normalizuota matrica;

$[\overline{q}_j]$ – subjektyvaus kriterijų reikšmingumas, kuris paskaičiuotas porinio palyginimo metodu.

4.5.3 lentelė Svertinė normalizuota matrica \overline{P}^*

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetinis vaizdas |
|--|---------------------------------------|--|---|-------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| A ₁ | 0,0735 | 0,0506 | 0,0506 | 0,0397 | 0,0288 | 0,0140 | 0,0250 |
| A ₂ | 0,0840 | 0,0469 | 0,0468 | 0,0282 | 0,0231 | 0,0140 | 0,0313 |
| A ₃ | 0,0420 | 0,0390 | 0,0390 | 0,0112 | 0,0173 | 0,0421 | 0,0188 |
| A ₄ | 0,0231 | 0,0430 | 0,0430 | 0,0272 | 0,0231 | 0,0561 | 0,0188 |

Nustatomas idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{[(\max x_{ij}/j \in I), (\min x_{ij}/j \in I')]/i = \overline{1, m}\} = \{x_1^+; x_2^+; x_3^+\}$$

Idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{11; 0,91; 0,235; 2,48; 3; 1; 5\} = \{3,6364; 1,2967; 1,2979; 3,5363; 1,6667; 4; 0,6\}$$

Nustatomas idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{[(\min x_{ij}/j \in I), (\max x_{ij}/j \in I')]/i = \overline{1, m}\} = \{x_1^-; x_2^-; x_3^-\}$$

Idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{40; 1,18; 0,305; 8,77; 5; 4; 3\} = \{0,275; 0,7712; 0,7705; 0,2828; 0,6; 0,25; 1,6667\}$$

Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^+ tarp realaus a_i ir a^+ nustatymas:

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_j^+|; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (4.5.3)$$

Čia:

x_{ij} – realus;

a^+ - idealiai teigiamas;

L_i^+ - atstumas.

$$L_1^+ = |0,0735 - 3,6364| + |0,0506 - 1,2967| + |0,0506 - 1,2979| + |0,0397 - 3,563| + |0,0288 - 1,6667| + |0,014 - 4| + |0,025 - 0,6| = 15,7516$$

$$L_2^+ = |0,084 - 3,6364| + |0,0469 - 1,2967| + |0,0468 - 1,2979| + |0,0282 - 3,563| + |0,0231 - 1,6667| + |0,014 - 4| + |0,014 - 0,6| = 15,7597$$

$$L_3^+ = |0,042 - 3,6364| + |0,039 - 1,2967| + |0,039 - 1,2979| + |0,0112 - 3,563| + |0,0173 - 1,6667| + |0,0421 - 4| + |0,0188 - 0,6| = 15,8245$$

$$L_4^+ = |0,0231 - 3,6364| + |0,043 - 1,2967| + |0,043 - 1,2979| + |0,0272 - 3,563| + |0,0231 - 1,6667| + |0,0561 - 4| + |0,0188 - 0,6| = 15,7998$$

Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^- tarp realaus a_i ir a^- nustatymas:

$$L_1^- = |0,0735 - 0,275| + |0,0506 - 0,7712| + |0,0506 - 0,7705| + |0,0397 - 0,2828| + |0,0288 - 0,6| + |0,014 - 0,25| + |0,025 - 1,6667| = 4,3338$$

$$L_2^- = |0,084 - 0,275| + |0,0469 - 0,7712| + |0,0468 - 0,7705| + |0,0282 - 0,2828| + |0,0231 - 0,6| + |0,014 - 0,25| + |0,014 - 1,6667| = 4,3419$$

$$L_3^- = |0,042 - 0,275| + |0,039 - 0,7712| + |0,039 - 0,7705| + |0,0112 - 0,2828| + |0,0173 - 0,6| + |0,0421 - 0,25| + |0,0188 - 1,6667| = 4,4067$$

$$L_4^- = |0,0231 - 0,275| + |0,043 - 0,7712| + |0,043 - 0,7705| + |0,0272 - 0,2828| + |0,0231 - 0,6| + |0,0561 - 0,25| + |0,0188 - 1,6667| = 4,3820$$

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam $K_{bit,i}$ nustatymas.

$$K_{bit,1} = \frac{L_1^-}{L_1^+ + L_1^-} = \frac{4,3338}{15,7516 + 4,3338} = 0,2158$$

$$K_{bit,2} = \frac{L_2^-}{L_2^+ + L_2^-} = \frac{4,3419}{15,7597 + 4,3419} = 0,2160$$

$$K_{bit,3} = \frac{L_3^-}{L_3^+ + L_3^-} = \frac{4,4067}{15,8245 + 4,4067} = 0,2178, \max$$

$$K_{bit,4} = \frac{L_4^-}{L_4^+ + L_4^-} = \frac{4,3820}{15,7998 + 4,3820} = 0,2171$$

Racionaliausias inžinerinis sprendimas bus tas, kurio K_{bit} reikšmė yra *max*.

Naudingumo laipsnio nustatymas. Lyginame mūsų nagrinėjamo varianto reikšmę su idealaus varianto reikšme:

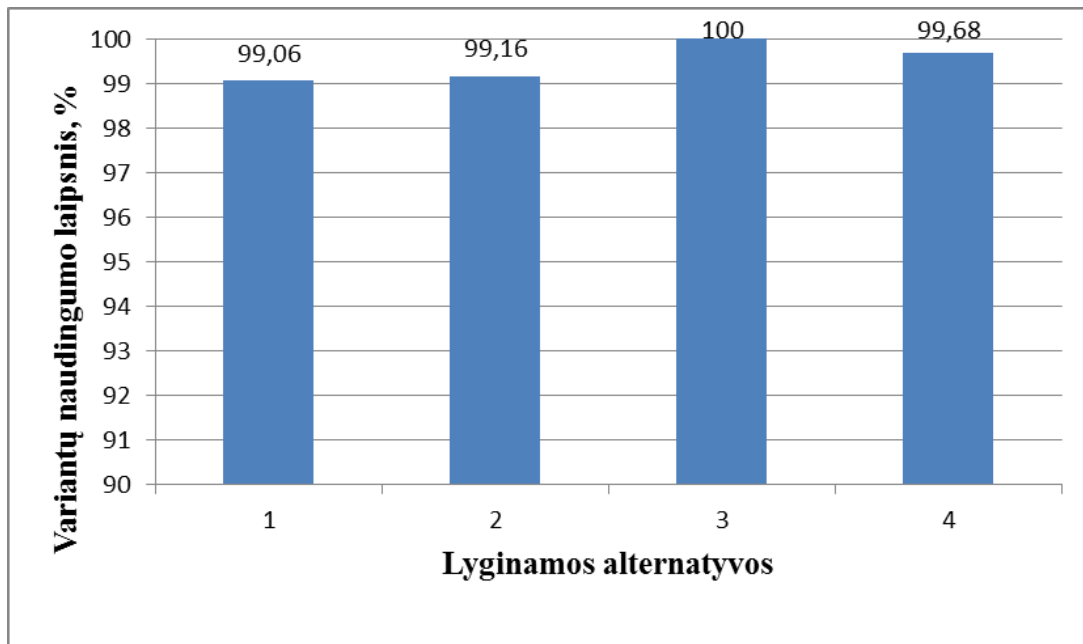
$$N_1 = \frac{K_{bit,1}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2158}{0,2178} \cdot 100\% = 99,06\%$$

$$N_2 = \frac{K_{bit,2}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2160}{0,2178} \cdot 100\% = 99,16\%$$

$$N_3 = \frac{K_{bit,3}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2178}{0,2178} \cdot 100\% = 100\%$$

$$N_4 = \frac{K_{bit,4}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2171}{0,2178} \cdot 100\% = 99,68\%$$

Pagal gautus duomenis atliekamas grafinis variantų palyginimas (4.5.1 pav.).



4.5.1. pav. Grafinis variantų palyginimas.

Skaičiavimai atliekami esant teoriniam reikšmingumui:

4.5.4 lentelė Svertinė normalizuota matrica \bar{P}^*

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| A ₁ | 0,0518 | 0,0357 | 0,0357 | 0,0560 | 0,0406 | 0,0198 | 0,0353 |
| A ₂ | 0,0592 | 0,0330 | 0,0330 | 0,0398 | 0,0325 | 0,0198 | 0,0441 |
| A ₃ | 0,0296 | 0,0275 | 0,0275 | 0,0158 | 0,0244 | 0,0593 | 0,0265 |
| A ₄ | 0,0163 | 0,0303 | 0,0303 | 0,0383 | 0,0325 | 0,0791 | 0,0265 |

Idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{11; 0,91; 0,235; 0,48; 3; 1; 5\} = \{3,6364; 1,2967; 1,2979; 3,5363; 1,6667; 4; 0,6\}$$

Idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{40; 1,18; 0,305; 8,77; 5; 4; 3\} = \{0,275; 0,7712; 0,7705; 0,2828; 0,6; 0,25; 1,6667\}$$

Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^+ tarp realaus a_i ir a^+ nustatymas:

$$L_1^+ = |0,0518 - 3,6364| + |0,0357 - 1,2967| + |0,0357 - 0,235| + |0,056 - 2,48| + |0,0406 - 0,0198| + |0,0198 - 4| + |0,0353 - 5| = 15,7591$$

$$L_2^+ = |0,0592 - 3,6364| + |0,0330 - 1,2967| + |0,0330 - 0,235| + |0,398 - 2,48| + |0,0325 - 0,0198| + |0,0198 - 4| + |0,0441 - 5| = 15,7726$$

$$L_3^+ = |0,0296 - 3,6364| + |0,0275 - 1,2967| + |0,0275 - 0,235| + |0,0158 - 2,48| + |0,0244 - 0,0198| + |0,0593 - 4| + |0,0265 - 5| = 15,8233$$

$$L_4^+ = |0,0163 - 3,6364| + |0,0303 - 1,2967| + |0,0303 - 0,235| + |0,0383 - 2,48| + |0,0325 - 0,0198| + |0,0791 - 4| + |0,0265 - 5| = 15,7807$$

Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^- tarp realaus a_i ir a^- nustatymas:

$$L_1^- = |0,0518 - 0,275| + |0,0357 - 0,7712| + |0,0357 - 0,7705| + |0,056 - 0,2828| + |0,0325 - 0,6| + |0,0198 - 0,25| + |0,0353 - 1,6667| = 4,3413$$

$$L_2^- = |0,0592 - 0,275| + |0,0330 - 0,7712| + |0,0330 - 0,7705| + |0,398 - 0,2828| + |0,0325 - 0,6| + |0,0198 - 0,25| + |0,0441 - 1,6667| = 4,3548$$

$$L_3^- = |0,0296 - 0,275| + |0,0275 - 0,7712| + |0,0275 - 0,7705| + |0,0158 - 0,2828| + |0,0244 - 0,6| + |0,0593 - 0,25| + |0,0265 - 1,6667| = 4,4056$$

$$L_4^- = |0,0163 - 0,275| + |0,0303 - 0,7712| + |0,0303 - 0,7705| + |0,0383 - 0,2828| + |0,0325 - 0,6| + |0,0791 - 0,25| + |0,0265 - 1,6667| = 4,3629$$

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam $K_{bit,i}$ nustatymas.

$$K_{bit,1} = \frac{L_1^-}{L_1^+ + L_1^-} = \frac{4,3413}{15,7591 + 4,3413} = 0,216$$

$$K_{bit,2} = \frac{L_2^-}{L_2^+ + L_2^-} = \frac{4,3548}{15,7726 + 4,3548} = 0,2164$$

$$K_{bit,3} = \frac{L_3^-}{L_3^+ + L_3^-} = \frac{4,4056}{15,8233 + 4,4056} = 0,2178, \max$$

$$K_{bit,4} = \frac{L_4^-}{L_4^+ + L_4^-} = \frac{4,3629}{15,7807 + 4,3629} = 0,2166$$

Racionaliausias inžinerinis sprendimas bus tas, kurio K_{bit} reikšmė yra \max .

Naudingumo laipsnio nustatymas. Lyginame mūsų nagrinėjamo varianto reikšmę su idealaus varianto reikšme:

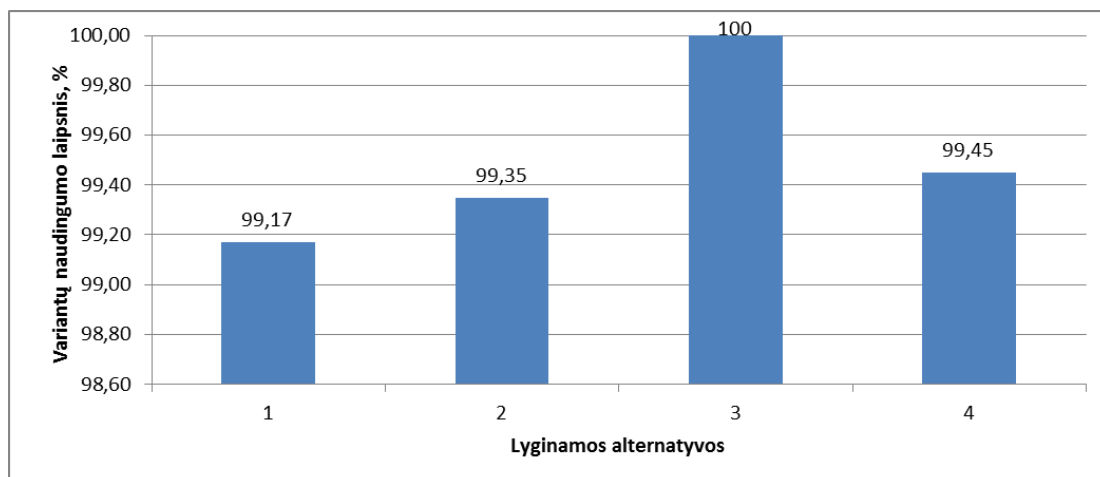
$$N_1 = \frac{K_{bit,1}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,216}{0,2178} \cdot 100\% = 99,17\%$$

$$N_2 = \frac{K_{bit,2}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2164}{0,2178} \cdot 100\% = 99,35\%$$

$$N_3 = \frac{K_{bit,3}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2178}{0,2178} \cdot 100\% = 100\%$$

$$N_4 = \frac{K_{bit,4}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2166}{0,2178} \cdot 100\% = 99,45\%$$

Pagal gautus duomenis atliekamas grafinis variantų palyginimas (4.5.2 pav.).



4.5.2. pav. Grafinis variantų palyginimas

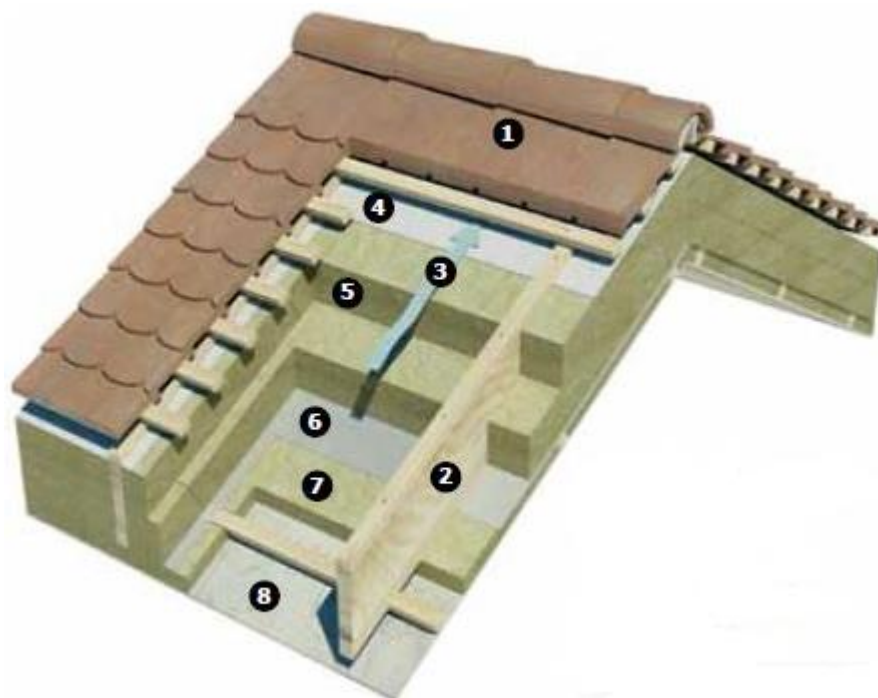
Iš 4.5.1 ir 4.5.2 pav. pateiktų stulpelinių diagramų matyti, kad atliktus skaičiavimus pagal kompleksinį ir teorinį reikšmingumą, abiem atvejais geriausias projektinis sprendimas yra trečioji alternatyva – tai yra fasadui įrengti reikėtų naudoti lakštus iš aliuminio.

5. STOGO DANGOS, PANAUDOJANT COR-TEN PLIENĄ ALTERNATYVIŲ SPRENDIMŲ DAUGIAKRITERINIS ĮVERTINIMAS

5.1. Stogo konstrukcija

Pasirinkta šlaitinio stogo konstrukcija su vėdinamu oro tarpu. Stogo konstrukcija (5.1.1 pav.) susideda iš:

1. Stogo danga;
2. Gegnės;
3. Vėdinamas oro tarpas;
4. Difuzinė plėvelė;
5. Šilumos izoliacijos sluoksnis;
6. Vandens garus ir orą izoliuojantis sluoksnis;
7. Šilumos izoliacijos sluoksnis;
8. Vidaus apdaila (gipso kartono plokštė).



5.1.1. pav. Šlaitinio stogo konstrukcija [41]

Lietuvoje dažniausiai gyvenamieji pastatai statomi su mansardomis, todėl šilumos izoliacinis sluoksnis tokiose konstrukcijose yra montuojamas tarp gegnių. Kadangi šilumos izoliacijos storiai A, A+ ir A++ yra didesni, nei įprasta- gegnės naudojamos sudėtinės arba kompozicinės. Tarp jų įrengiamas šilumos izoliacijos sluoksnis. Iš šiltosios pusės, tai yra iš pastato vidaus, prie gegnės yra tvirtinama vandens garų izoliacija (kartu ir oro barjeras), paprastai tam naudojama 200 mikronų storio polietileno plėvelė. Prie gegnės apačios per pritvirtintą polietileno plėvelę yra prikalmi mediniai tašeliai ar metalo profiliai, ant kurių bus tvirtinama lubų apdaila (gipso kartono plokštės, medinės dailylentės ir pan.). Tarpas tarp tašelių ar profilių yra užpildomas 50 mm storio šilumos izoliacija. Virš gegnės yra įrengiama hidroizoliacija iš vandens garams laidžios plėvelės (difuzinė plėvelė) prie kurios yra glaudžiamos universalios akmens vatos plokštės. Vėdinamas oro tarpas turi būti įrengtas virš difuzinės plėvelės. Turi būti užtikrintas oro judėjimas šiame tarpe, tai yra karnize (stogo apačioje) ir kraige (stogo viršuje) šis oro tarpas turi susisiekti su lauko oru. Virš hidroizoliacijos sluoksnio išilgai gegnės kalama lenta, ant jos skersine kryptimi grebėstai, ant kurių tvirtinamos čerpių arba banguotų lakštų dangos[41].

5.2. Stogo dangos, panaudojant Cor-Ten plieno apdailą, įrengimo technologija

Prieš montuojant pirmąjį Cor-Ten plieno lakštą reikia pritvirtinti karnizo lankstinį. Šis lankstinys montuojamas jį padėjus lygiagrečiai karnizui ir yra pritvirtinamas cinkuotomis vinimis arba sraigtais prie pirmojo grebėsto. Stogo lakštų tvirtinimas pradedamas nuo stogo karnizo, lakštai turi būti lygiuojami su karnizu. Lakštai montuojami pradedant iš kairės į dešinę arba atvirkščiai. Karnizo užlaida 40-45 mm. Cor-Ten stogo lakštai prie grebėstų tvirtinami sraigtais žemiausiame profilio taške. Jungiant stogo lakštus, jie tarpusavyje yra jungiami savisriegiais varžtais aukščiausiame bangos taške. Ties karnizu lakštai turi būti tvirtinami kas antroje bangoje. Cor-Ten lakštai užleidžiami vienas ant kito ne mažiau kaip 200 mm [47].

5.3. Stogų apdailos dangos

Cor-Ten plienas



5.3.1. pav. Pastatas su stogu iš Cor-Ten plieno lakštų [42]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – A klasės Cor-Ten plienas;
- Storis – 1mm;
- Svoris – 8,77 kg/m²;
- Kaina – 32 €/m².

Varis



5.3.2. pav. Pastatas su stogu iš vario lakštų [43]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – varis;
- Storis – 1,0 mm;
- Svoris – 8,9 kg/m²;
- Kaina – 44 €/m².

Aliuminis

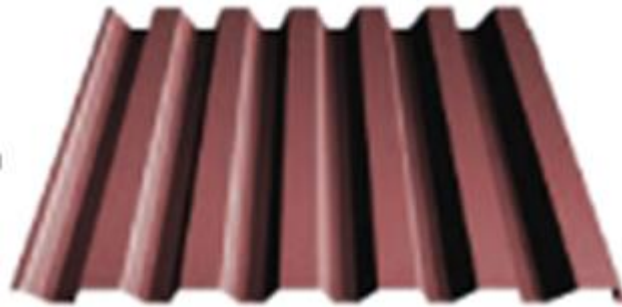


5.3.3. pav. Pastatas su stogu iš aliuminio lakštų [44]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – aliuminis;
- Storis – 0,8 mm;
- Svoris – 2,6 kg/m²;
- Kaina – 32 €/m².

Įprastas plienas



5.3.4. pav. Profiliuotas stogo lakštas *T45-37W-900* iš plieno [45]

Lakšto charakteristikos:

- Medžiaga – plienas;
- Storis – 0,8 mm;
- Svoris – 8,0 kg/m²;
- Kaina – 17 €/m².

5.4. Kriterijų reikšmingumo (teorinio qt ir kompleksinio) nustatymas taikant entropijos metodą

Pradiniai duomenys pateikti 5.4.1 lentelėje:

5.4.1 lentelė Pradiniai duomenys.

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimo sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetinis vaizdas, balais |
|--------------------------------------|---|---|--|---|--|--|--|
| A ₁ | 32 | 1,18 | 0,305 | 8,77 | 5 | 1 | 4 |
| A ₂ | 44 | 1,56 | 0,403 | 8,9 | 4 | 1 | 5 |
| A ₃ | 32 | 0,95 | 0,246 | 2,6 | 3 | 3 | 3 |
| A ₄ | 17 | 1,335 | 0,345 | 8 | 4 | 4 | 3 |
| Suma | 125 | 5,025 | 1,299 | 28,27 | 16 | 9 | 15 |
| Optimalumas | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MAX |

Alternatyvos:

A₁ – stogo lakštas iš Cor-Ten plieno;

A₂ – stogo lakštas iš vario;

A₃ – stogo lakštas iš aliuminio;

A₄ – stogo lakštas iš plieno.

Vertinimo kriterijai:

K₁ – Medžiagų kaina. €/m²;

K₂ – Žmogaus darbo sąnaudos, val./m²;

K₃ – Mechanizmų darbo sąnaudos, val./m²;

K₄ – Medžiagų svoris. kg/m²;

K₅ – Įrengimo sudėtingumas, balais;

K₆ – Priežiūra eksploatacijos metu, balais;

K₇ – Estetinis vaizdas, balais.

Įrengimo sudėtingumas yra vertinamas atsižvelgiant į dangos masę, kuo ji didesnė tuo daugiau reikės skylių gręžti ir naudoti daugiau varžtų.

5 balai – sudėtingas įrengimas, reikalauja priežiūros eksploatacijos metu, puikus estetinis vaizdas;

1 balas – nesudėtingas įrengimas, nereikalauja didelės priežiūros eksploatacijos metu, prastas estetinis vaizdas.

Atliekame matricos normalizavimą pagal (5.4.1) formulę:

$$\bar{P}_{i,j} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (5.4.1)$$

Normalizavus pagal šią formulę gaunama normalizuota matrica \bar{P} , kur visi elementai yra nedimensiniai dydžiai ($x_{i,j}$).

5.4.2 lentelė Normalizuota matrica \bar{P}

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|
| A ₁ | 0,2560 | 0,2348 | 0,2348 | 0,3102 | 0,3125 | 0,1111 | 0,2667 |
| A ₂ | 0,3520 | 0,3104 | 0,3102 | 0,3148 | 0,2500 | 0,1111 | 0,3333 |
| A ₃ | 0,2560 | 0,1891 | 0,1894 | 0,0920 | 0,1875 | 0,3333 | 0,2000 |
| A ₄ | 0,1360 | 0,2657 | 0,2656 | 0,2830 | 0,2500 | 0,4444 | 0,2000 |

Nustatome kiekvieno kriterijaus entropijos lygį E_j pagal (5.4.2) formulę:

$$E_j = -k \sum (P \cdot \ln P_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln m} \quad (5.4.2)$$

Kad apskaičiuoti būtų lengviau, sukuriame papildomą matricą esančią skliausteliuose (5.4.3 lent.):

5.4.3 lentelė Papildoma matrica ($P \cdot \ln P_{ij}$)

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| A ₁ | -0,3488 | -0,3402 | -0,3402 | -0,3631 | -0,3635 | -0,2441 | -0,3525 |
| A ₂ | -0,3675 | -0,3631 | -0,3631 | -0,3639 | -0,3466 | -0,2441 | -0,3662 |
| A ₃ | -0,3488 | -0,3149 | -0,3151 | -0,2195 | -0,3139 | -0,3662 | -0,3219 |
| A ₄ | -0,2713 | -0,3521 | -0,3521 | -0,3572 | -0,3466 | -0,3604 | -0,3219 |
| Suma | -1,3365 | -1,3704 | -1,3706 | -1,3037 | -1,3705 | -1,2149 | -1,3624 |

Entropijos lygis E_j kinta intervale $[0;1]$, todėl galime parašyti $0 \leq E_j \leq 1$, kur $(j = \overline{1, n})$. Taigi entropijos lygiai bus (5.4.4 lent.):

5.4.4 lentelė Entropijos lygiai

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| E_j | 0,7459 | 0,7649 | 0,7649 | 0,7276 | 0,7649 | 0,6780 | 0,7604 |

Toliau nustatomas kriterijų kitimo lygis d_j pagal (5.4.3) formulę:

$$d_j = 1 - E_j, \text{ kur } (j = \overline{1, n}) \quad (5.4.3)$$

5.4.5 lentelė Kriterijų kitimo lygiai

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| d_j | 0,2541 | 0,2351 | 0,2351 | 0,2724 | 0,2351 | 0,3220 | 0,2396 |

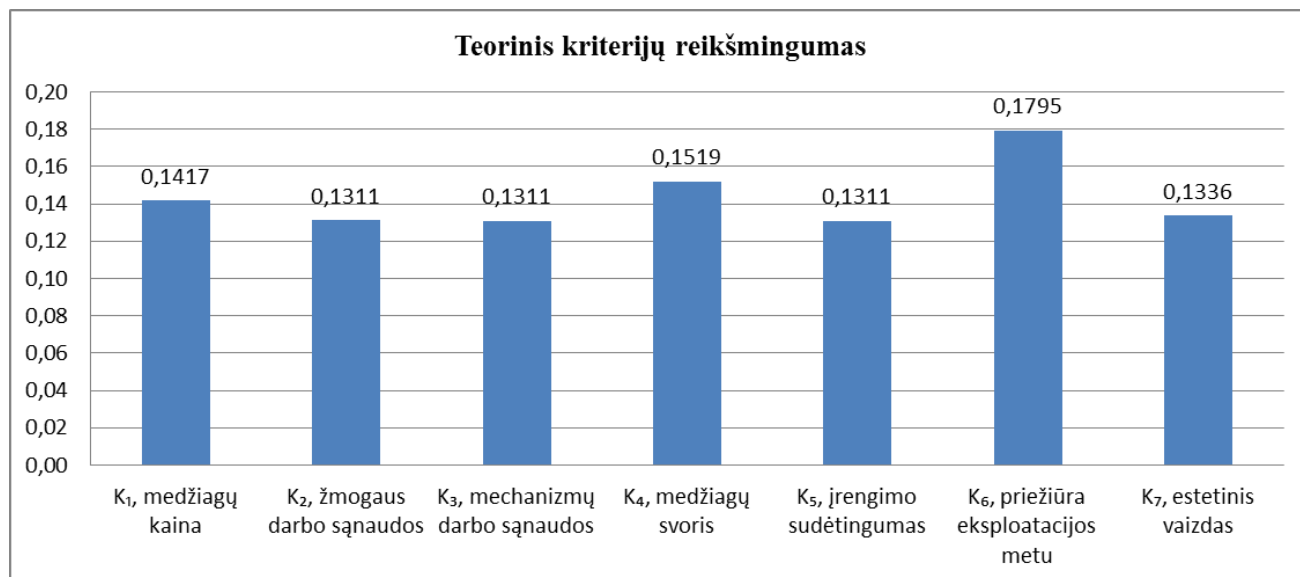
Kadangi visi kriterijai vienodai yra svarbūs, tai teorinis kriterijų reikšmingumas nustatomas pagal (5.3.4) formulę:

$$q_{j(t)} = \frac{d_j}{\sum d_j}; \quad (j = \overline{1, n}) \quad (5.4.4)$$

Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 5.4.6 lentelėje ir stulpelinėje diagramoje (5.4.1 pav.).

5.4.6 lentelė Teorinis kriterijų reikšmingumas

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| q _{j(t)} | 0,1417 | 0,1311 | 0,1311 | 0,1519 | 0,1311 | 0,1795 | 0,1336 |



5.4.1 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas

Įmonės UAB “Infantas” vadovui buvo pateikta apklausa, kurioje įvertino parinktų kriterijų reikšmingumą. Subjektyvus kriterijų reikšmingumas \bar{q}_j yra pateiktas 5.4.7 lentelėje.

5.4.7 lentelė Subjektyvus kriterijų reikšmingumas

| K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimo sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetiškas vaizdas, balais |
|---|---|--|---|--|--|---|
| 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

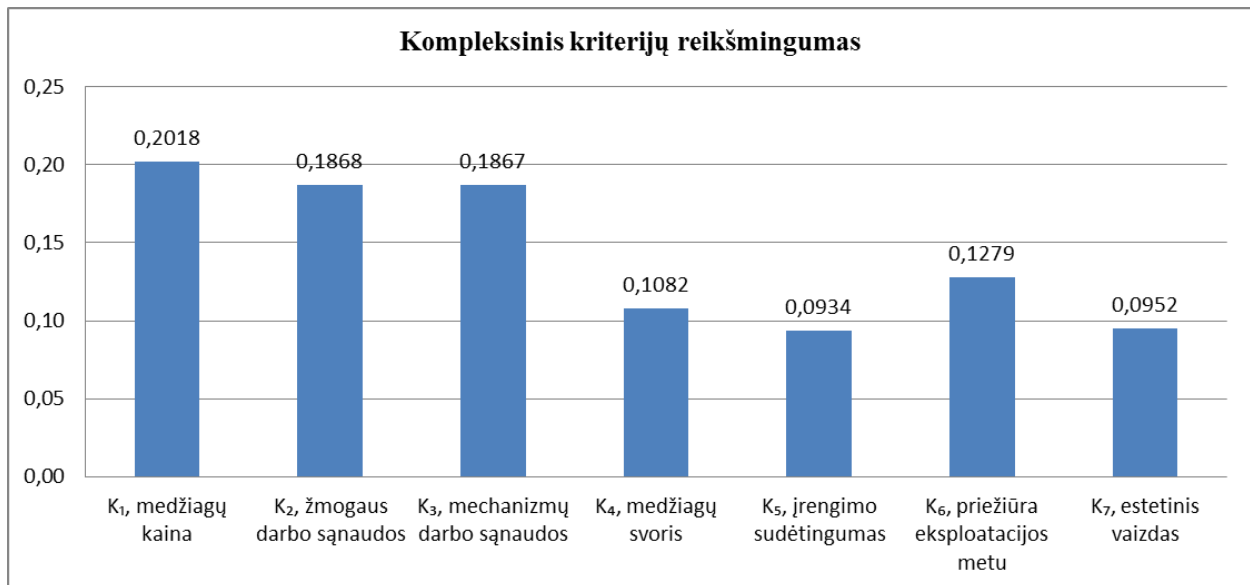
Tuomet galime nustatyti kompleksinį reikšmingumą pagal (5.4.5) formulę:

$$\bar{q}_{j,0} = \frac{\bar{q}_j \cdot q_{j(t)}}{\sum (\bar{q}_j \cdot q_{j(t)})}; \quad (j = \overline{1, n}) \quad (5.4.5)$$

Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 5.3.8 lentelėje ir stulpelinėje diagramoje (5.4.2 pav.).

5.4.8 lentelė Kompleksinis kriterijų reikšmingumas

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| q _{j(t)} | 0,2018 | 0,1868 | 0,1867 | 0,1082 | 0,0934 | 0,1279 | 0,0952 |



5.4.2 pav. Kompleksinis kriterijų reikšmingumas

Kaip matyti iš 5.4.1 pav. pateiktos stulpelinės diagramos, gauta tokia teorinio kriterijų reikšmingumo prioritetinga eilė: 17,95% - priežiūra eksploatacijos metu (K_6), 15,19% - medžiagų svoris (K_4), 14,17% - medžiagų kaina (K_1), 13,36% - estetiškas vaizdas (K_7) ir po 13,11% - įrengimo sudėtingumas (K_5), žmogaus darbo sąnaudos (K_2) bei mechanizmų darbo sąnaudos (K_3). Apjungus teorinį ir subjektyvų kriterijų reikšmingumus gauta tokia kompleksinio kriterijų reikšmingumo prioritetinga eilė: 20,18% - medžiagų kaina (K_1), 18,68% - žmogaus darbo sąnaudos (K_2), 18,67% - mechanizmų darbo sąnaudos (K_3), 12,79% - priežiūra eksploatacijos metu (K_6), 10,82% - medžiagų svoris (K_4), 9,52% - estetiškas vaizdas (K_7), 9,34% - įrengimo sudėtingumas (K_5).

Pagal teorinį reikšmingumą, renkantis inžinerinį sprendimą, didžiausią dėmesį reikia kreipti į kriterijų K_6 – priežiūrą eksploatacijos metu, o pagal kompleksinį kriterijų reikšmingumą didžiausią dėmesį reikia kreipti į kriterijų K_1 – medžiagų kainą.

5.5. Pastato stogo dangos racionalaus sprendimo parinkimas, taikant naudingumo vertės metodą

Pradiniai alternatyvių sprendimų duomenys pateikti 5.5.1 lentelėje.

5.5.1 lentelė Pradiniai alternatyviųjų sprendimų duomenys.

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina, €/m ² | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos, val/m ² | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos, val/m ² | K ₄ , medžiagų svoris, kg/m ² | K ₅ , įrengimo sudėtingumas, balais | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu, balais | K ₇ , estetiškas vaizdas, balais |
|--------------------------------------|---|---|--|---|--|--|---|
| A ₁ | 32 | 1,18 | 0,305 | 8,77 | 5 | 1 | 4 |
| A ₂ | 44 | 1,556 | 0,403 | 8,9 | 4 | 1 | 5 |
| A ₃ | 32 | 0,95 | 0,246 | 2,6 | 3 | 3 | 3 |
| A ₄ | 17 | 1,335 | 0,345 | 8 | 4 | 4 | 3 |
| Suma | 125 | 5,021 | 1,299 | 28,27 | 16 | 9 | 15 |
| Optimalumas | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MIN | MAX |
| Kompleksinis reikšmingumas, % | 20,18 | 18,68 | 18,673 | 10,82 | 9,34 | 12,79 | 9,52 |
| Teorinis reikšmingumas, % | 14,17 | 13,31 | 13,31 | 15,19 | 13,11 | 17,95 | 13,36 |

Matricos P normalizavimas atliekamas taikant vektorių normalizavimo metodą (5.5.2 lent.):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}}, \text{ kur } i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (5.5.1)$$

Čia: m – alternatyvų skaičius; n – kriterijų skaičius.

5.5.2 lentelė Matrica \bar{P}

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|-------------------------------------|
| A ₁ | 0,2560 | 0,2350 | 0,2348 | 0,3102 | 0,3125 | 0,1111 | 0,2667 |
| A ₂ | 0,3520 | 0,3099 | 0,3102 | 0,3148 | 0,2500 | 0,1111 | 0,3333 |
| A ₃ | 0,2560 | 0,1892 | 0,1894 | 0,0920 | 0,1875 | 0,3333 | 0,2000 |
| A ₄ | 0,1360 | 0,2659 | 0,2656 | 0,2830 | 0,2500 | 0,4444 | 0,2000 |

Skaičiavimai atliekami esant kompleksiniam reikšmingumui:

Svertinės normalizuotos matricos \bar{P}^* sudarymas (5.5.3 lent.):

$$\bar{P}^* = [\bar{P}] \cdot [\bar{q}_j] \quad (5.5.2)$$

Čia:

$[\bar{P}]$ – normalizuota matrica;

$[\bar{q}_j]$ – subjektyvaus kriterijų reikšmingumas, kuris paskaičiuotas porinio palyginimo metodu.

5.5.3 lentelė Svertinė normalizuota matrica \overline{P}^*

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetiškas vaizdas |
|--|---------------------------------------|--|---|-------------------------------------|---|--|--|
| A ₁ | 0,0517 | 0,0439 | 0,0438 | 0,0336 | 0,0292 | 0,0142 | 0,0254 |
| A ₂ | 0,0710 | 0,0579 | 0,0579 | 0,0341 | 0,0234 | 0,0142 | 0,0317 |
| A ₃ | 0,0517 | 0,0353 | 0,0354 | 0,0100 | 0,0175 | 0,0426 | 0,0190 |
| A ₄ | 0,0274 | 0,0497 | 0,0496 | 0,0306 | 0,0234 | 0,0568 | 0,0190 |

Nustatomas idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{[(\max x_{ij}/j \in I), (\min x_{ij}/j \in I')]/i = \overline{1, m}\} = \{x_1^+; x_2^+; x_3^+\}$$

Idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{17; 0,95; 0,246; 2,6; 3; 1; 5\} = \{2,5882; 1,6379; 1,6382; 3,4231; 1,6667; 4; 0,6\}$$

Nustatomas idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{[(\min x_{ij}/j \in I), (\max x_{ij}/j \in I')]/i = \overline{1, m}\} = \{x_1^-; x_2^-; x_3^-\}$$

Idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{44; 1,556; 0,403; 8,9; 5; 4; 3\} = \{0,3864; 0,6105; 0,6104; 0,2921; 0,6; 0,25; 1,6667\}$$

Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^+ tarp realaus a_i ir a^+ nustatymas:

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_j^+|; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n} \quad (5.5.3)$$

Čia:

x_{ij} – realus;

a^+ - idealiai teigiamas;

L_i^+ - atstumas.

$$L_1^+ = |0,0517 - 2,5882| + |0,0439 - 1,6379| + |0,0438 - 1,6382| + |0,0336 - 3,4231| + |0,0292 - 1,6667| + |0,0142 - 4| + |0,0254 - 0,6| = 15,3123$$

$$L_2^+ = |0,0710 - 2,5882| + |0,0579 - 1,6379| + |0,0579 - 1,6382| + |0,0341 - 3,4231| + |0,0234 - 1,6667| + |0,0142 - 4| + |0,0147 - 0,6| = 15,2639$$

$$L_3^+ = |0,0517 - 2,5882| + |0,0353 - 1,6379| + |0,0354 - 1,6382| + |0,01 - 3,4231| + |0,0175 - 1,6667| + |0,0426 - 4| + |0,019 - 0,6| = 15,3426$$

$$L_4^+ = |0,0274 - 2,5882| + |0,0497 - 1,6379| + |0,0496 - 1,6382| + |0,0306 - 3,4231| + |0,0234 - 1,6667| + |0,0568 - 4| + |0,019 - 0,6| = 15,2975$$

Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^- tarp realaus a_i ir a^- nustatymas:

$$L_1^- = |0,0517 - 0,3864| + |0,0439 - 0,6105| + |0,0438 - 0,6104| + |0,0336 - 0,2921| + |0,0292 - 0,6| + |0,0142 - 0,25| + |0,0254 - 1,6667| = 4,1744$$

$$L_2^- = |0,0710 - 0,3864| + |0,0579 - 0,6105| + |0,0579 - 0,6104| + |0,0341 - 0,2921| + |0,0234 - 0,6| + |0,0142 - 0,25| + |0,0147 - 1,6667| = 4,1259$$

$$L_3^- = |0,0517 - 0,3864| + |0,0353 - 0,6105| + |0,0354 - 0,6104| + |0,01 - 0,2921| + |0,0175 - 0,6| + |0,0426 - 0,25| + |0,019 - 1,6667| = 4,2046$$

$$L_4^- = |0,0274 - 0,3864| + |0,0497 - 0,6105| + |0,0496 - 0,6104| + |0,0306 - 0,2921| + |0,02341 - 0,6| + |0,0568 - 0,25| + |0,019 - 1,6667| = 4,1596$$

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam $K_{bit,i}$ nustatymas.

$$K_{bit,1} = \frac{L_1^-}{L_1^+ + L_1^-} = \frac{4,1744}{15,3123 + 4,1744} = 0,2142$$

$$K_{bit,2} = \frac{L_2^-}{L_2^+ + L_2^-} = \frac{4,1259}{15,2639 + 4,1259} = 0,2128$$

$$K_{bit,3} = \frac{L_3^-}{L_3^+ + L_3^-} = \frac{4,2046}{15,3426 + 4,20467} = 0,2151 \text{ max}$$

$$K_{bit,4} = \frac{L_4^-}{L_4^+ + L_4^-} = \frac{4,1596}{15,2975 + 4,1596} = 0,2138$$

Racionaliausias inžinerinis sprendimas bus tas, kurio K_{bit} reikšmė yra max.

Naudingumo laipsnio nustatymas. Lyginame mūsų nagrinėjamo varianto reikšmę su idealaus varianto reikšme:

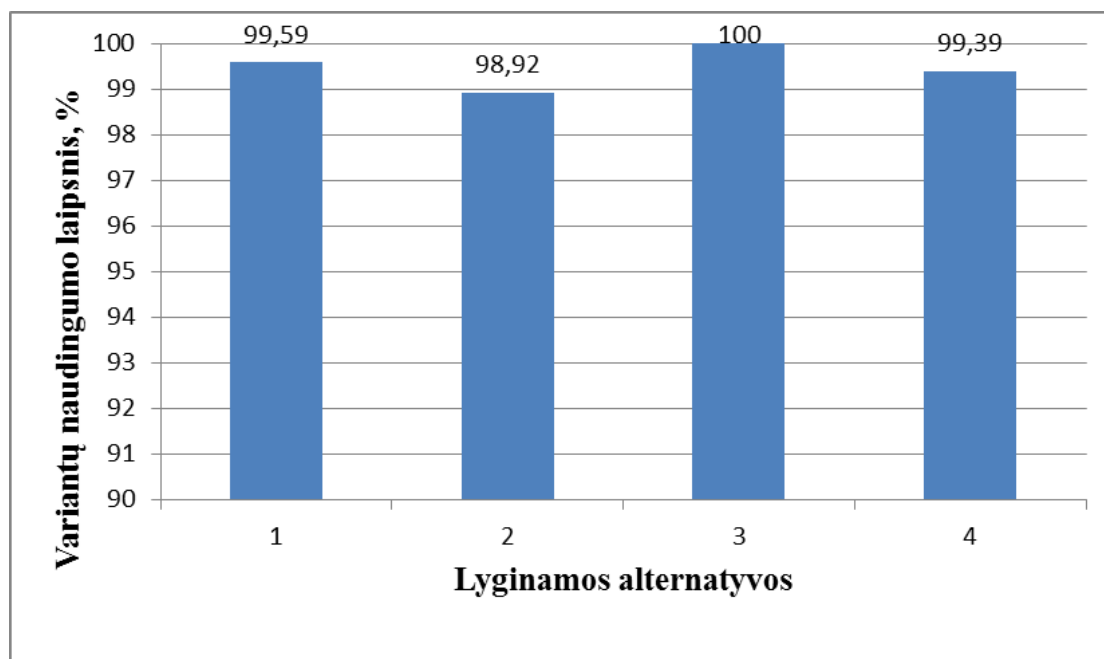
$$N_1 = \frac{K_{bit,1}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2142}{0,2151} \cdot 100\% = 99,59\%$$

$$N_2 = \frac{K_{bit,2}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2128}{0,2151} \cdot 100\% = 98,92\%$$

$$N_3 = \frac{K_{bit,3}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2151}{0,2151} \cdot 100\% = 100\%$$

$$N_4 = \frac{K_{bit,4}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2138}{0,2151} \cdot 100\% = 99,39\%$$

Pagal gautus duomenis atliekamas grafinis variantų palyginimas (5.5.1 pav.).



5.5.1 pav. Grafinis variantų palyginimas.

Skaičiavimai atliekami esant teoriniam reikšmingumui:

5.5.4 lentelė Svertinė normalizuota matrica \bar{P}^*

| Kriterijai / Alternatyvūs sprendimai | K ₁ , medžiagų kaina | K ₂ , žmogaus darbo sąnaudos | K ₃ , mechanizmų darbo sąnaudos | K ₄ , medžiagų svoris | K ₅ , įrengimo sudėtingumas | K ₆ , priežiūra eksploatacijos metu | K ₇ , estetinis vaizdas |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|--|----------------------------------|--|--|------------------------------------|
| A ₁ | 0,0363 | 0,0313 | 0,0313 | 0,0471 | 0,0410 | 0,0199 | 0,0356 |
| A ₂ | 0,0499 | 0,0412 | 0,0413 | 0,0478 | 0,0328 | 0,0199 | 0,0445 |
| A ₃ | 0,0363 | 0,0252 | 0,0252 | 0,0140 | 0,0246 | 0,0598 | 0,0267 |
| A ₄ | 0,0193 | 0,0354 | 0,0353 | 0,0430 | 0,0328 | 0,0798 | 0,0267 |

Idealus teigiamas variantas:

$$a^+ = \{17; 0,95; 0,246; 2,6; 3; 1; 5\} = \{2,5882; 1,6379; 1,6382; 3,4231; 1,6667; 4; 0,6\}$$

Idealus neigiamas variantas:

$$a^- = \{44; 1,556; 0,403; 8,9; 5; 4; 3\} = \{0,3864; 0,6105; 0,6104; 0,2921; 0,6; 0,25; 1,6667\}$$

Idealaus teigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^+ tarp realaus a_i ir a^+ nustatymas:

$$L_1^+ = |0,0363 - 2,5882| + |0,0313 - 1,6379| + |0,0313 - 1,6382| + |0,0471 - 3,4231| + |0,0410 - 1,6667| + |0,0199 - 4| + |0,0356 - 0,6| = 15,3116$$

$$L_2^+ = |0,0499 - 2,5882| + |0,0412 - 1,6379| + |0,0413 - 1,6382| + |0,0478 - 3,4231| + |0,0328 - 1,6667| + |0,0199 - 4| + |0,0445 - 0,6| = 15,2766$$

$$L_3^+ = |0,0363 - 2,5882| + |0,0252 - 1,6379| + |0,0252 - 1,6382| + |0,014 - 3,4231| + |0,0246 - 1,6667| + |0,0598 - 4| + |0,0267 - 0,6| = 15,3423$$

$$L_4^+ = |0,0193 - 2,5882| + |0,0354 - 1,6379| + |0,0353 - 1,6382| + |0,0430 - 3,4231| + |0,0328 - 1,6667| + |0,0798 - 4| + |0,0267 - 0,6| = 15,2818$$

Idealaus neigiamo varianto skirtumo (atstumo) L_i^- tarp realaus a_i ir a^- nustatymas:

$$L_1^- = |0,0363 - 0,3864| + |0,0313 - 0,6105| + |0,0313 - 0,6104| + |0,0471 - 0,2921| + |0,0410 - 0,6| + |0,0199 - 0,25| + |0,0356 - 1,6667| = 4,1737$$

$$L_2^- = |0,0499 - 0,3864| + |0,0412 - 0,6105| + |0,0413 - 0,6104| + |0,0478 - 0,2921| + |0,0328 - 0,6| + |0,0199 - 0,25| + |0,0445 - 1,6667| = 4,1386$$

$$L_3^- = |0,0363 - 0,3864| + |0,0252 - 0,6105| + |0,0252 - 0,6104| + |0,0140 - 0,2921| + |0,0246 - 0,6| + |0,0598 - 0,25| + |0,0267 - 1,6667| = 4,2044$$

$$L_4^- = |0,0193 - 0,3864| + |0,0354 - 0,6105| + |0,0353 - 0,6104| + |0,0430 - 0,2921| + |0,0328 - 0,6| + |0,0798 - 0,25| + |0,0267 - 1,6667| = 4,1439$$

Santykinio lyginamų variantų artumo idealiam $K_{bit,i}$ nustatymas.

$$K_{bit,1} = \frac{L_1^-}{L_1^+ + L_1^-} = \frac{4,17373}{15,3116 + 4,1737} = 0,2142$$

$$K_{bit,2} = \frac{L_2^-}{L_2^+ + L_2^-} = \frac{4,1386}{15,2766 + 4,1386} = 0,2132$$

$$K_{bit,3} = \frac{L_3^-}{L_3^+ + L_3^-} = \frac{4,2044}{15,3423 + 4,2044} = 0,2151 \text{ max}$$

$$K_{bit,4} = \frac{L_4^-}{L_4^+ + L_4^-} = \frac{4,1439}{15,2818 + 4,1439} = 0,2133$$

Racionaliausias inžinerinis sprendimas bus tas, kurio K_{bit} reikšmė yra max.

Naudingumo laipsnio nustatymas. Lyginame mūsų nagrinėjamo varianto reikšmę su idealaus varianto reikšme:

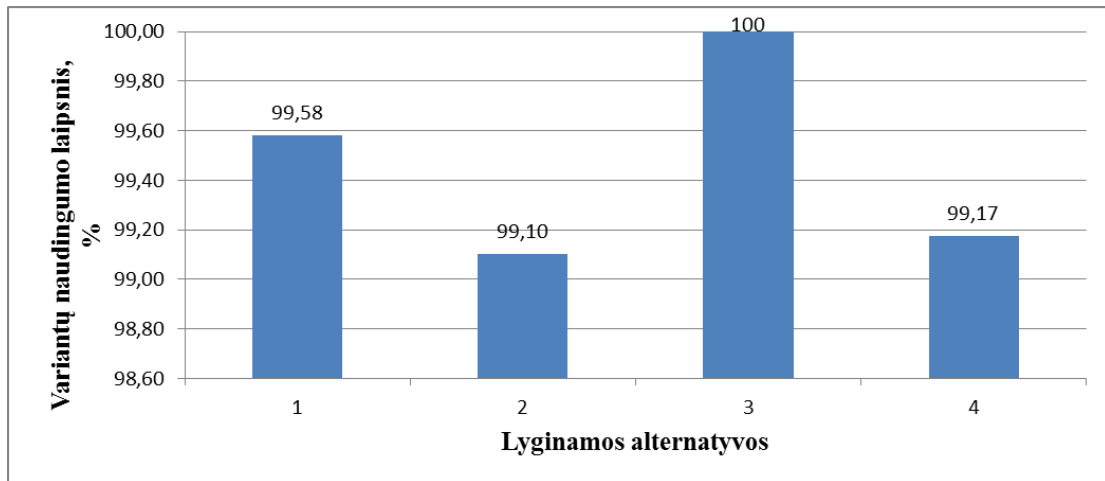
$$N_1 = \frac{K_{bit,1}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2142}{0,2151} \cdot 100\% = 99,58\%$$

$$N_2 = \frac{K_{bit,2}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2132}{0,2151} \cdot 100\% = 99,10\%$$

$$N_3 = \frac{K_{bit,3}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2151}{0,2151} \cdot 100\% = 100\%$$

$$N_4 = \frac{K_{bit,4}}{K_{bit,max}} \cdot 100\% = \frac{0,2133}{0,2151} \cdot 100\% = 99,18\%$$

Pagal gautus duomenis atliekamas grafinis variantų palyginimas (5.5.2 pav.).



5.5.2 pav. Grafinis variantų palyginimas.

Iš 5.5.1 ir 5.5.2 pav. pateiktų stulpelinių diagramų matyti, kad atlikus skaičiavimus pagal kompleksinį ir teorinį reikšmingumus, abiem atvejais geriausias projektinis sprendimas yra trečioji alternatyva – tai yra fasadui įrengti reikėtų naudoti lakštus iš aliuminio.

IŠVADOS

1. Dar prieš eksploataciją Cor-Ten plieno dangos paviršiaus struktūra primena tarsi netolygiai išsidėsčiusius žvynus. Pažeidimų vietose jau galima matyti susidariusias oksidų užuomazgas, kurių plika žmogaus akimi negalima būtų pastebėti.
2. Galima daryti prielaidą, kad Cor-Ten plieno danga dengti fasadai prie cikliškų temperatūrų svyravimų per parą esant 3% Na₂SO₄ arba 3% NaCl druskoms jų paviršiuje pasidengia oksidacijos produktų sluoksniu, kuris gali būti nuplaunamas lietaus. Tokiu atveju, jei yra kombinuotas monolitinio betono ar mūro ir Cor-Ten plieno dangos fasadas, fasado paviršiuje gali formotis rudos spalvos dėmės. Jos taip pat gali būti stebimos ant betoninio grindinio ir pan. Siekiant išvengti tokių dėmių, papildomai reikia įrengti oksidacijos produktų nubėgimo latakus.
3. Architektai turėtų atsižvelgti į tai, kad Cor-Ten plieno dangos spalvą gali turėti įtakos aplinkai, kurioje bus eksploatuojamas pastatas. Arti kelio važiuojamosios dalies eksploatuojamas Cor-Ten plieno danga dengtas pastato fasadas veikiamas cikliškų temperatūrų svyravimų ir 3% Na₂SO₄ arba 3% NaCl druskų aplinkos poveikio gali įgyti kitą spalvą nei fasadas, kuris nebus veikiamas druskų su užšaldymo ir atšildymo poveikiu.
4. Rentgenodifrakcinės (XRD) analizės metu nustatyta, kad cikliškų temperatūrų svyravimo H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje veikiamo Cor-Ten plieno dangos paviršiuje susidaro šie junginiai: Lepidokrokitas γ -FeO(OH), Magnetitas Fe₃O₄ ir Getitas FeO(OH). Geležies oksihidroksidai ir geležies oksidas Cor-Ten plieno dangos paviršiuje sudaro ploną plėvelę, kuri apsaugo dangą nuo rūdijimo. Susidarę junginiai išsidėsto sluoksniais ir metalo paviršiuje suformuoja žvynelinę struktūrą bei turi įtakos spalvos pakitimui nuo raudonos arba rausvai rudos spalvos iki šviesiai rausvai raudonos-oranžinės arba geltonos spalvos.
5. Renkantis inžinerinį sprendimą stogui bei fasadui įrengti iš pasirinktų keturių alternatyvių variantų, pagal teorinį kriterijų reikšmingumą didžiausią dėmesį reikia kreipti į kriterijų K₆ – priežiūrą eksploatacijos metu, o pagal kompleksinį kriterijų reikšmingumą į K₁ – medžiagų kainą;
6. Daugiakriterinio vertinimo metu atlikus skaičiavimus pagal kompleksinį ir teorinį reikšmingumus, abiem atvejais geriausias projektinis sprendimas yra trečioji alternatyva – aliuminio fasadinė apdaila ir stogas su aliuminio danga.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. M.Gutaravičius, N.Višniakov „Glaistyųjų elektrodų, skirtų atsparių atmosferinei korozijai cor-ten grupės plienų suvirinimui, kokybės tyrimas”, 2010;
2. Liying Song, Zhuoyuan Chen, Barong Hou. Višniakov „The role of the photovoltaic effect of c-FeOOH and b-FeOOH on the corrosion of 09CuPCrNi weathering steel under visible light”, 2015;
3. Julene Aramendia, Leticia Gómez - Nubla, Kepa Castro, Juan Manuel Madariaga „Spectroscopic speciation and thermodynamic modeling to explain the degradation of weathering steel surfaces in SO₂ rich urban atmospheres”, 2014;
4. Julene Aramendia, Leticia Gómez - Nubla, Kepa Castro, Juan Manuel Madariaga „Structural and chemical analyzer system for the analysis of deposited airborne particles and degradation compounds present on the surface of outdoor weathering steel objects”, 2015;
5. Margherita Pauletta, Enrico Battocchio, Gaetano Russo „A weathering steel elastomer joint for the connection between new and existing bridges”, 2015;
6. C. Chiavari, E. Bernardi, C. Martini, F. Passarini, A. Motori, M.C. Bignozzi „Atmospheric corrosion of Cor-Ten steel with different surface finish: Accelerated ageing and metal release”, 2012;
7. Julene Aramendia, Leticia Gomez-Nubla, Ludovic Bellot-Gurlet, Kepa Castro, Gorka Arana, Juan Manuel Madariaga „Bioimpact on weathering steel surfaces: Oxalates formation and the elucidation of their origin”, 2015;
8. Hongyan Wu, Linxiu Du and Xianghua Liu „Dynamic Recrystallization and Precipitation Behavior of Mn–Cu–V Weathering Steel”, 2011;
9. Hongyan Wu, Linxiu Du, Zhengrong Ai, Xianghua Liu „Static Recrystallization and Precipitation Behavior of a Weathering Steel Microalloyed with Vanadium”, 2013;
10. Vit Křivý „Design of corrosion allowances on structures from weathering steel”, 2012;
11. Vít Křivý, Petr Konečný „Real Material Properties of Weathering Steels Used in Bridge Structures”, 2013;
12. Viktor Urban, Vít Krivy, Katerina Kreislova „The Development of Corrosion Processes on Weathering Steel Bridges”, 2015
13. *Weathering steel bridges* [interaktyvus]. 2005 [žiūrėta 2015-12-04]. Prieiga per:
http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_materials/publications/online_guides/pdf/weathering_steel_bridges.pdf
14. *Steel construction* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-10-02]. Prieiga per:
http://www.steelconstruction.info/Weathering_steel#How_weathering_steel_works
15. *Atmospheric Corrosion Resistant Corten Steel* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-10-09]. Prieiga per:
<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=274>
16. *Israiškingi Cor-Ten fasadai* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-10-16]. Prieiga per:
www.infantas.lt/sistema/ruukki/Israiskingi%20CORTEN%20fasadai%201.pdf

17. *Remembering the Omni, the Arena That Helped Revitalize Downtown Atlanta* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-10-30]. Prieiga per: <http://www.citylab.com/design/2015/04/remembering-the-omni-the-arena-that-helped-revitalize-downtown-atlanta/391349/>
18. *Nippon steel and Sumitomo metal COR-TEN* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-10-30]. Prieiga per: https://www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/A006en.pdf
19. *Corten Roofing* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-11-06]. Prieiga per: <http://www.cortenroofing.com/>
20. *Angel of the North* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-11-13]. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Angel_of_the_North
21. *Zadok Ben-David is a London based, award winning artist* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-11-20]. Prieiga per: <https://artpeople.net/2016/06/zadok-ben-david-sculpture/>
22. *Weathering steel* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-11-27]. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Weathering_steel
23. *Shanks Millennium Bridge, Near Peterborough* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2015-12-04]. Prieiga per: <https://www.steelconstruction.org/design-awards/2001/commendation/shanks-millennium-bridge-near-peterborough/>
24. *Elegantiškas stogas ir fasadas šimtmečiui? Misija įmanoma* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-12-11]. Prieiga per: <http://www.statybunaujienos.lt/naujiena/Elegantiskas-stogas-ir-fasadas-simtmečiui-Misija-imanoma/3932+>
25. *NCS Colour Scan 2.0* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-02-19]. Prieiga per: <http://www.ncscolour.com/en/design-architecture/web-shop/ncs-colour-scan-20/>
26. *Optinis mikroskopas OLYMPUS BX51TF* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-02-26]. Prieiga per: <http://mtrmika.technion.ac.il/wp-content/uploads/2015/09/olympus-bx-51-brochure.pdf>
27. *Bruker D8 Discover* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-03-04]. Prieiga per: <http://brukersupport.com/ProductDetail/1042>
28. *Bruker D8 Discover User Manual* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-03-04]. Prieiga per: http://www.charfac.umn.edu/instruments/Bruker_D8_Discover_2D_Manual_v2012.08.08.pdf
29. *Lepidokrokitas* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per: <https://lt.wikipedia.org/wiki/Lepidokrokitas>
30. *Magnetite* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per: <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetite>
31. *Goethite* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-04-08]. Prieiga per: <https://en.wikipedia.org/wiki/Goethite>
32. *Fasadų siltinimas* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-09-30]. Prieiga per: <http://www.renovacija.lt/statybu-sprendimas/fasadu-siltinimas/>
33. *Sertifikuota vėdinamo fasado sistema – su nerūdijančio plieno strypais ir be šilumos tiltelių* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-07]. Prieiga per: <http://exterus.lt/sertifikuota-vedinamo-fasado-sistema-su-nerudijančio-plieno-strypais-ir-silumos-tilteliu/>

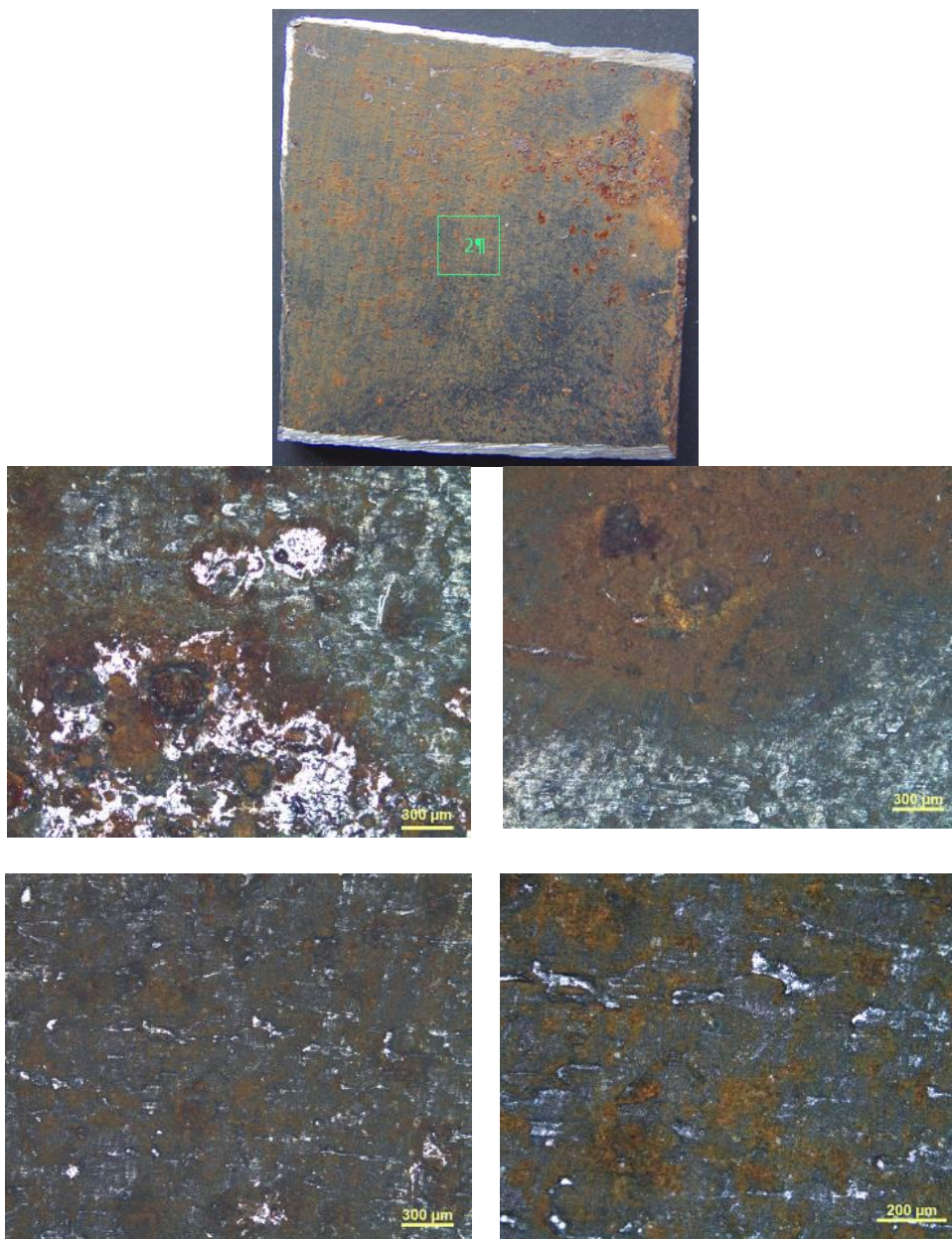
34. *Vėdinamas fasadas* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-07]. Prieiga per:
<http://heliopolis.lt/products/vedinamas-fasadas/>
35. *Montavimo instrukcija* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-07]. Prieiga per:
<http://www.ventiluojamifasadai.lt/Montavimo-instrukcija-694.html>
36. *Vėdinamų fasadų tvirtinimo tipai* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-07]. Prieiga per:
http://www.vedrana.lt/vedinamu_fasadu_tvirtinimo_tipai/
37. *Cor-Ten fasadų apdailos profilis* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-21]. Prieiga per:
<http://www.ruukki.com/ltu/b2b/produktai/fasado-apdaila/banguoti-fasadu-apdailos-profiliai/detaliau-apie-banguotus-fasadu-apdailos-la%a1tus-cor-ten/design-cor-ten-s7>
38. *Vario lakštai* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-21]. Prieiga per: http://www.varitus.lt/lt/products-menu_lt/lakstai-vamzdziai/varis1/vario-lakstai-2
39. *Plieno ir aliuminio fasadų apdailos profiliai* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-21]. Prieiga per:
<http://www.ruukki.com/ltu/b2b/produktai/fasado-apdaila/banguoti-fasadu-apdailos-profiliai/detaliau-apie-banguotus-fasadu-apdailos-lastus/design-oulu-t10-b>
40. *Aliuminio lakštai* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-10-21]. Prieiga per:
<http://www.sdprekyba.lt/aliuminis.html>
41. *A, A+ ir A++ klasės gyvenamųjų namų stogų šiltinimas* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-04]. Prieiga per: <http://www.statybajums.lt/temos/izoliacija-apsiltinimas-hidroizoliacija/a-a-ir-a-klases-gyvenamuju-namu-stogu-siltinimas>
42. *Standing seam* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-18]. Prieiga per:
http://www.cortenroofing.com/standing-seam-corten_8_1160_30803.html
43. *Variniai stogai ir fasadai* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-18]. Prieiga per:
http://www.varitus.lt/lt/products-menu_lt/stogu-ir-fasadu-sistemas/variniai-stogai-i-fasadai
44. *Aliuminė stogo ir sienų danga* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-18]. Prieiga per:
<http://stogodanga.lt/aliumine-stogo-danga/>
45. *Kainininkas* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-11-25]. Prieiga per:
<http://www.infantas.lt/sistema/ruukki/RUUKKI%20kainininkas%20201703.pdf>
46. *Equitone plokščių montavimas* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2017-04-30] Prieiga per:
https://www.youtube.com/watch?v=FophDD_CDaI&feature=player_embedded
47. *Profiliuoti lakštai* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2017-04-30] Prieiga per:
http://cdn.ruukki.com/docs/default-source/roofing-documents/lithuania/ruukki_profiliuotu_lakstu_montavimo_instrukcija_2013_04.pdf?sfvrsn=14
48. *Sistela sąnaudų normatyvai. 2 DALIS. Bendrieji statybos ir montavimo darbai. N10 Medinės konstrukcijos. N11 Grindys. N12 Stogai. N13 Statybinių konstrukcijų ir įrenginių apsauga nuo korozijos. N14 Kaimo statybos konstrukcijos. N15 Apdailos darbai.*

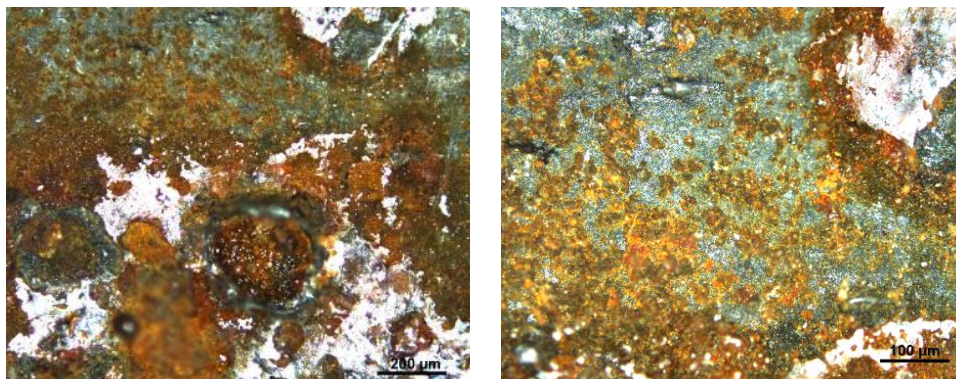
PRIEDAI

- 1 priedas.** Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūros nuotraukos, darytos optiniu mikroskopu po ciklišių temperatūrų svyravimo H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje.
- 2 priedas.** Straipsnis „Cor-Ten plieno panaudojimo statybos sektoriuje galimybės“ Jaunųjų mokslininkų konferencijai „Statyba ir architektūra“.
- 3 priedas.** Diplomas iš Jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Statyba, sekcija „Statybinės medžiagos“.

1 priedas. Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus struktūros nuotraukos, darytos optiniu mikroskopu po ciklišių temperatūrų svyravimo H₂O, 3% Na₂SO₄ ir 3% NaCl druskų tirpalų aplinkoje.

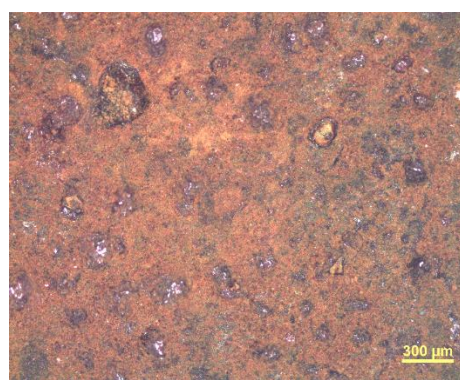
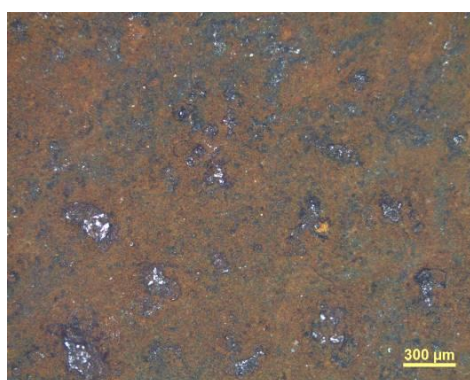
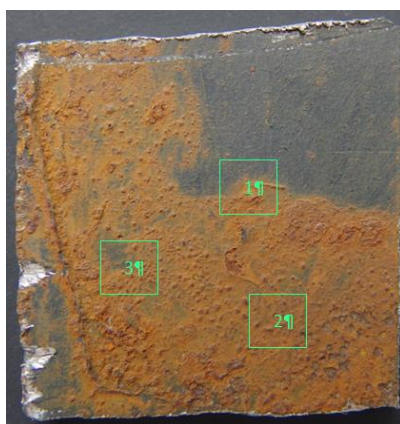
Optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF gautas Cor-Ten plieno bandinių paviršiaus vaizdas po ciklišių temperatūrų svyravimo H₂O aplinkoje, pateiktas 1.1 a – d pav. (1 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės bei 2 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės).

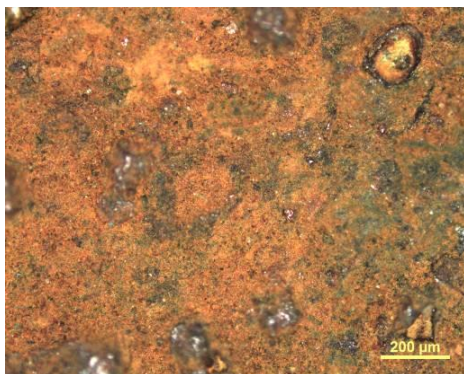




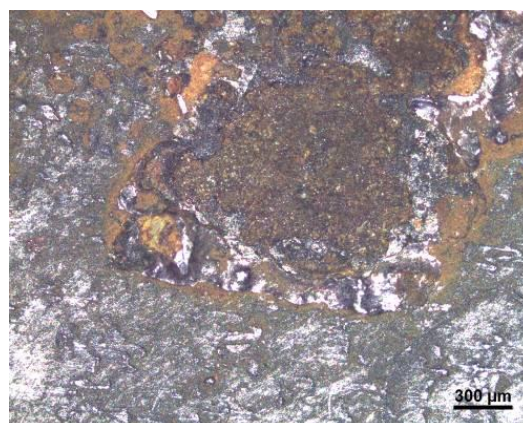
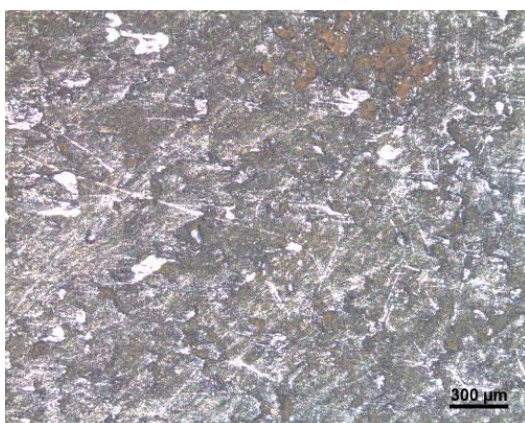
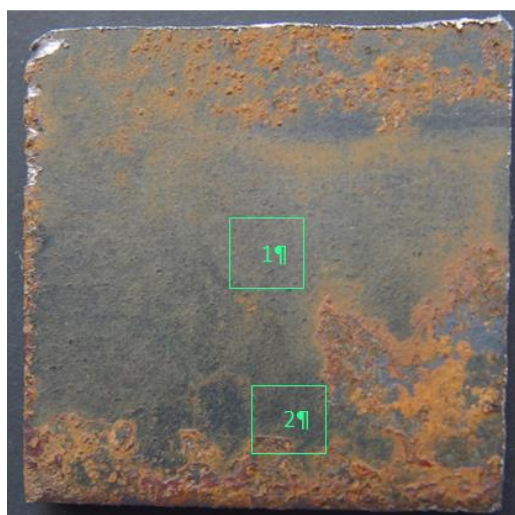
1.1 a pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H₂O aplinkoje (1 bandinys, viršutinė pusė)

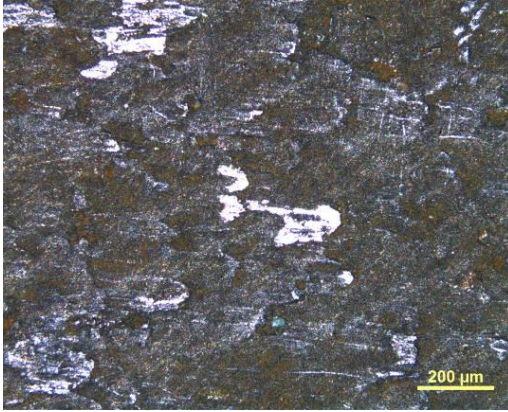
Cikliško temperatūrų svyravimo bandymo metu Cor-Ten plieno bandinių paviršiuje vyksta pasyvacijos procesas. Šio proceso metu metalų paviršiuje susidaro plona oksidų plėvelė, kuri apsaugo juos nuo rūdijimo. Dėl to Cor-Ten plienas dažnai dar vadinamas atmosferiniam poveikiui atspariu plienu. Iš 1.1 – 1.3 pav. matyti, kad Cor-Ten plieno dangos bandinių paviršiuje formuojasi geležies oksihidroksidų ir geležies oksidų sluoksniai, kurie pasaugo dangą nuo rūdijimo.



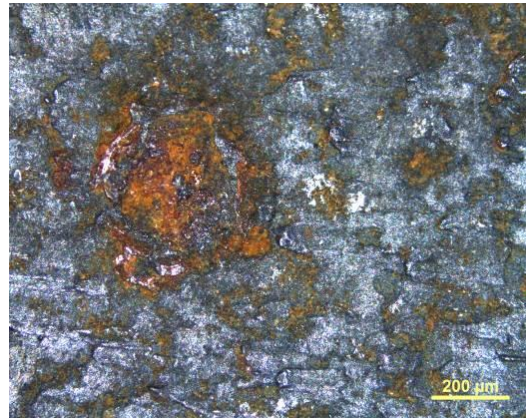
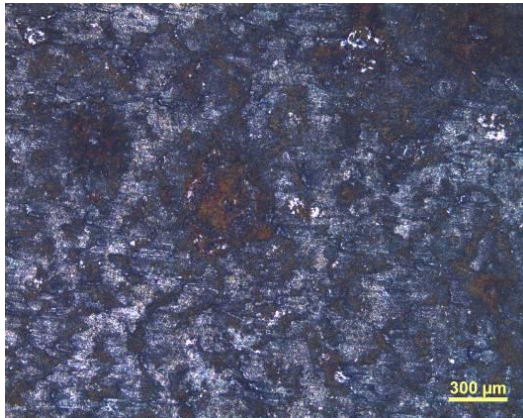
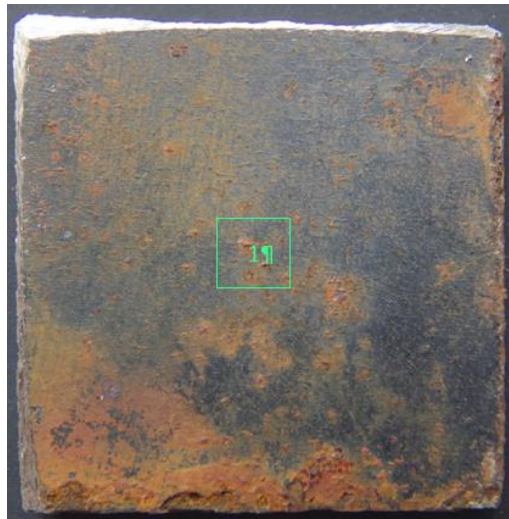


1.1 b pav. Cor-Ten plieno paviršius po paviršinio šaldymo su vandeniu (1 bandinys, apatinė pusė)



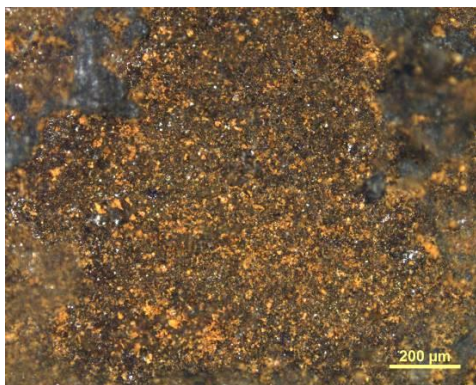
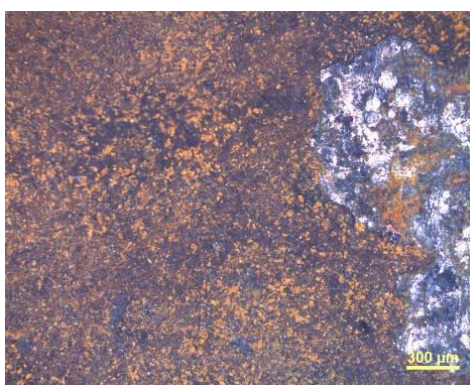
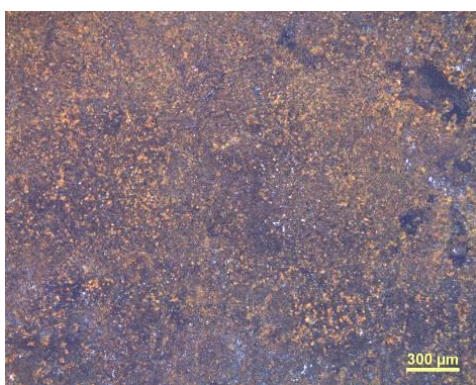


1.1 c pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H₂O aplinkoje (2 bandinys, viršutinė pusė)

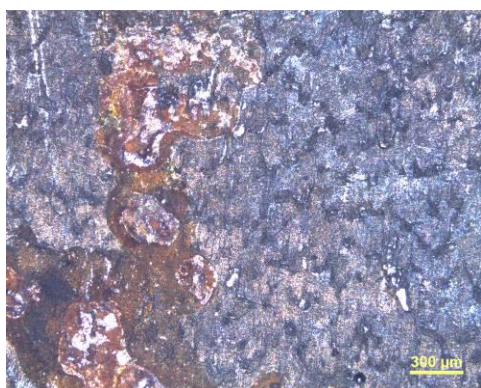


1.1 d pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo H₂O aplinkoje (2 bandinys, apatinė pusė)

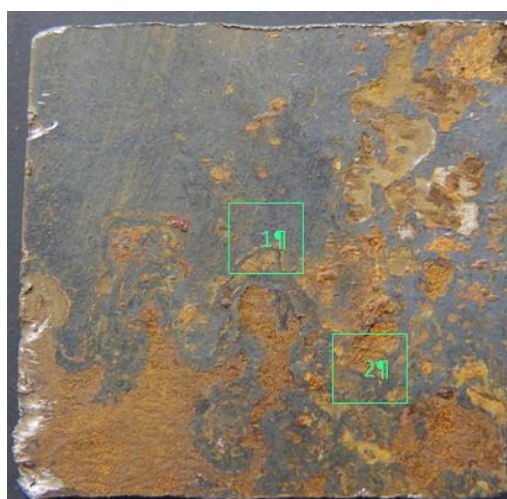
Optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF gautas Cor-Ten plieno bandinių vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje bandymo, pateiktas 1.2 a – d pav. (1 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės bei 2 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės).

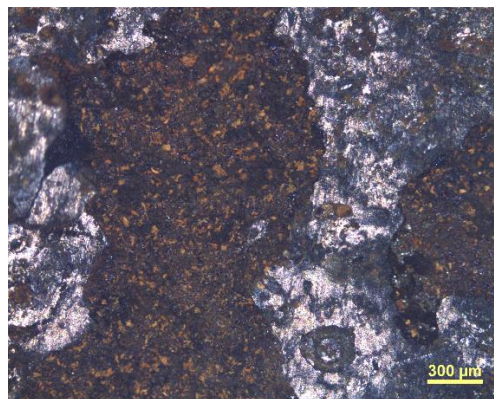
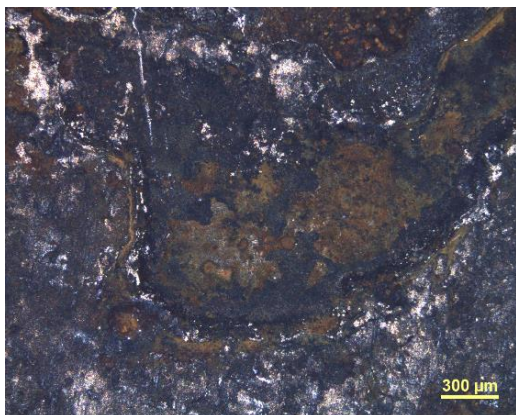


1.2 a pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (1 bandinys, viršutinė pusė)

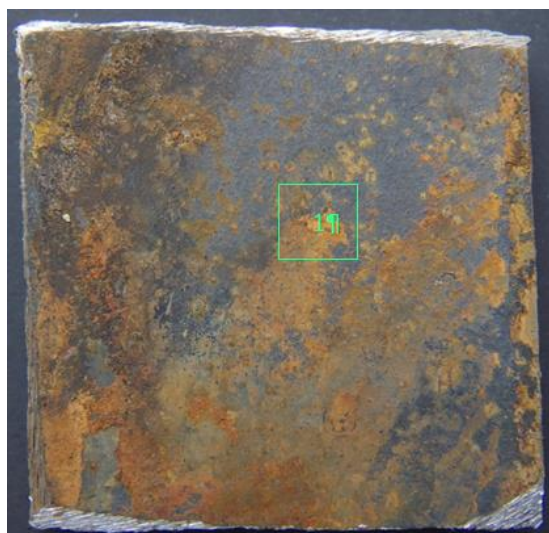


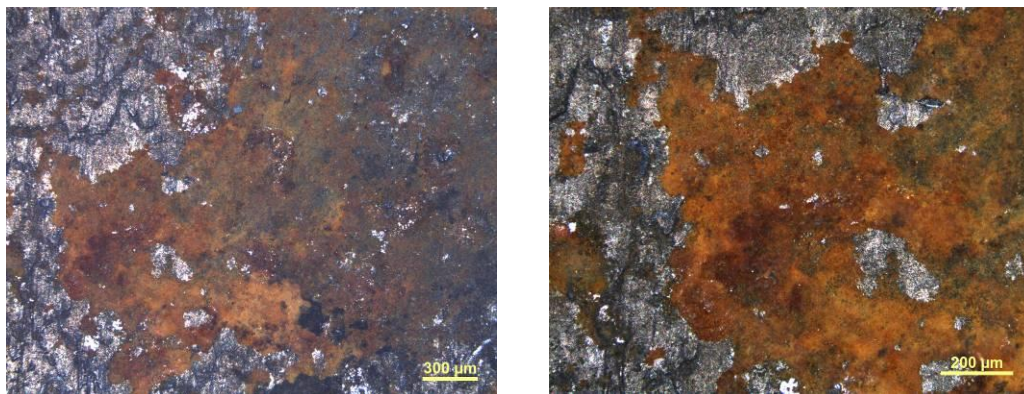
1.2 b pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (1 bandinys, apatinė pusė)





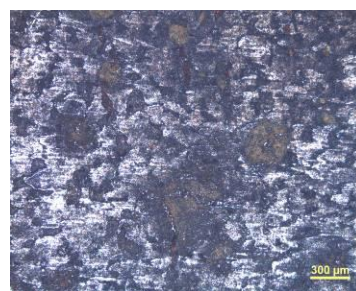
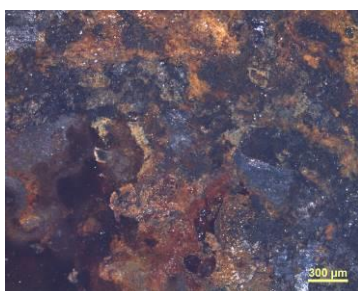
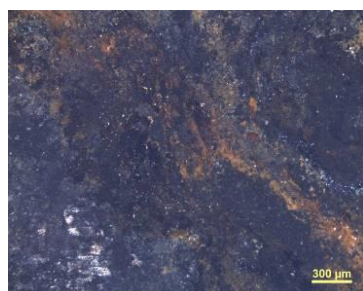
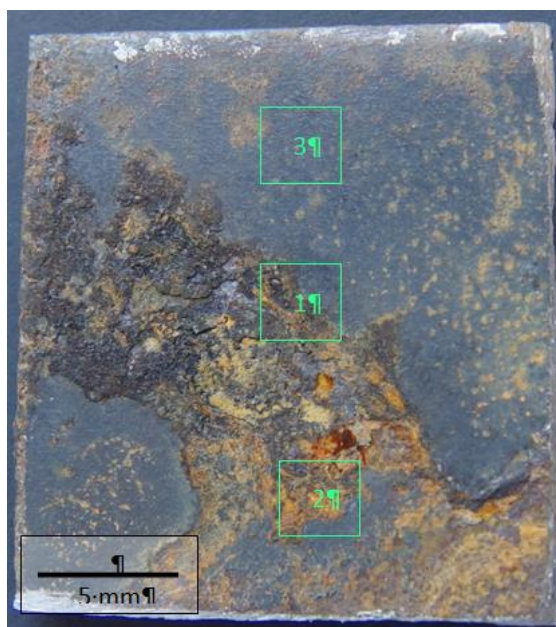
1.2 c pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (2 bandinys, viršutinė pusė)

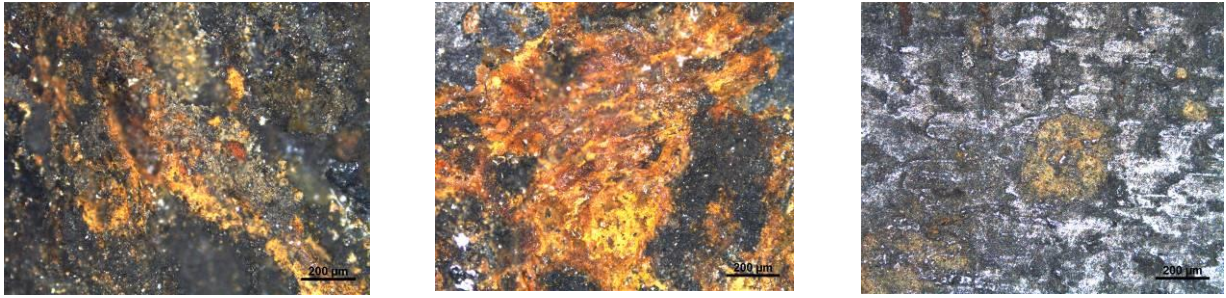




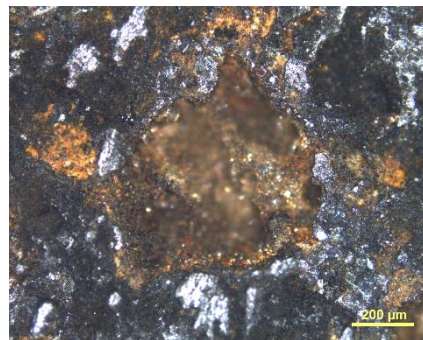
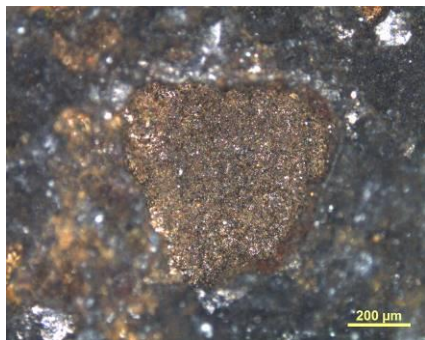
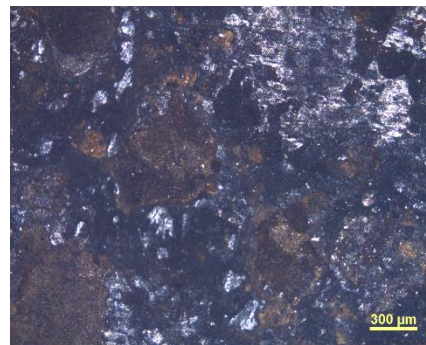
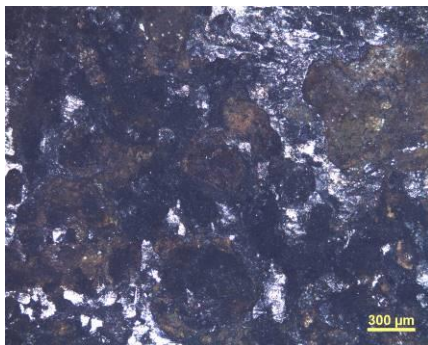
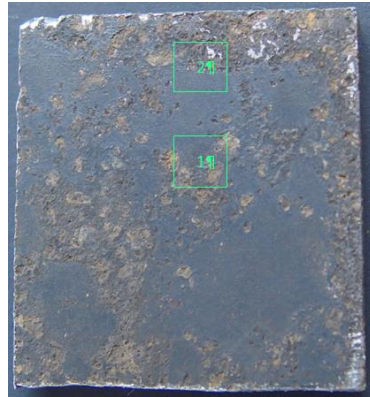
1.2 d pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% NaCl tirpalo aplinkoje (2 bandinys, apatinė pusė)

Optiniu mikroskopu OLYMPUS BX51TF gautas Cor-Ten plieno bandinių vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na₂SO₄ tirpalo aplinkoje bandymo, pateiktas 1.3 a – d pav. (1 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės bei 2 bandinys, viršutinė ir apatinė pusės).

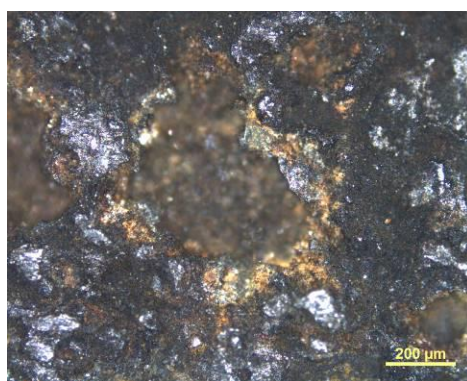
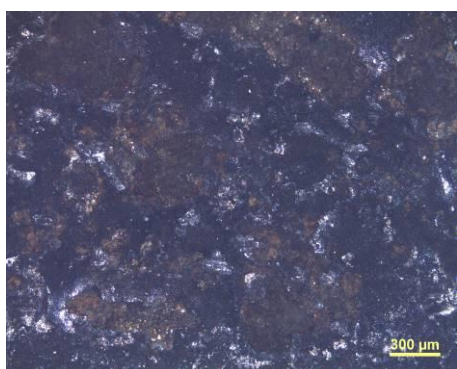
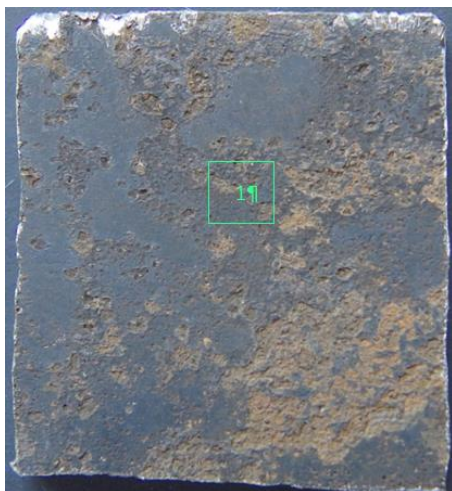




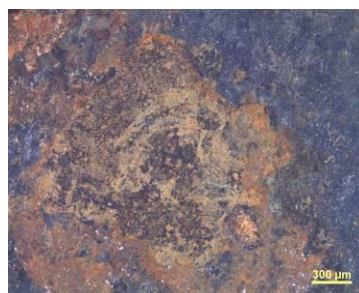
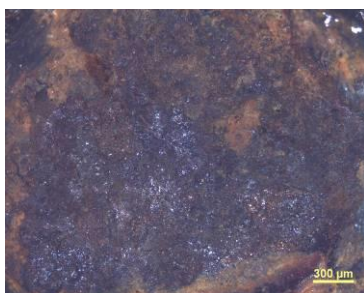
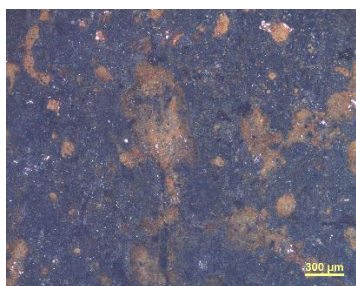
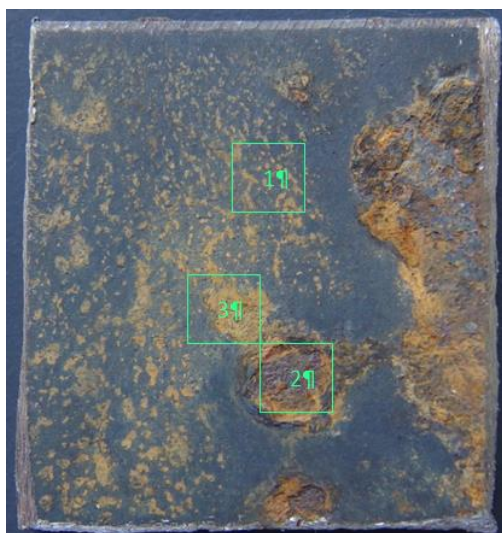
1.3 a pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na₂SO₄ tirpalo aplinkoje (1 bandinys, viršutinė pusė)

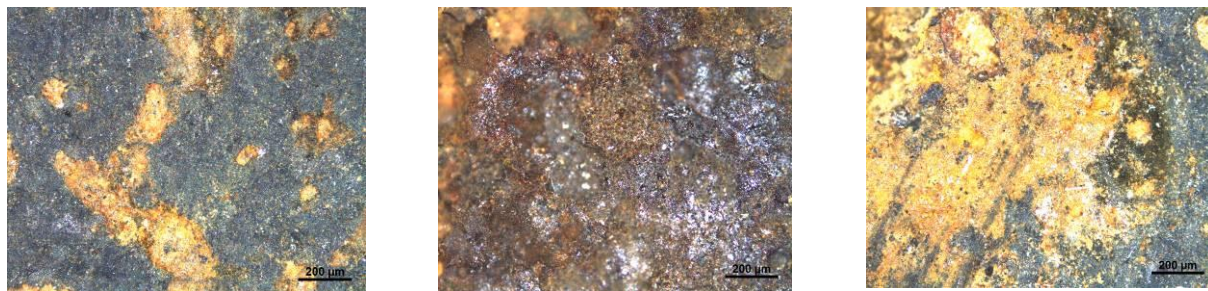


1.3 b pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na₂SO₄ tirpalo aplinkoje (1 bandinys, apatinė pusė)



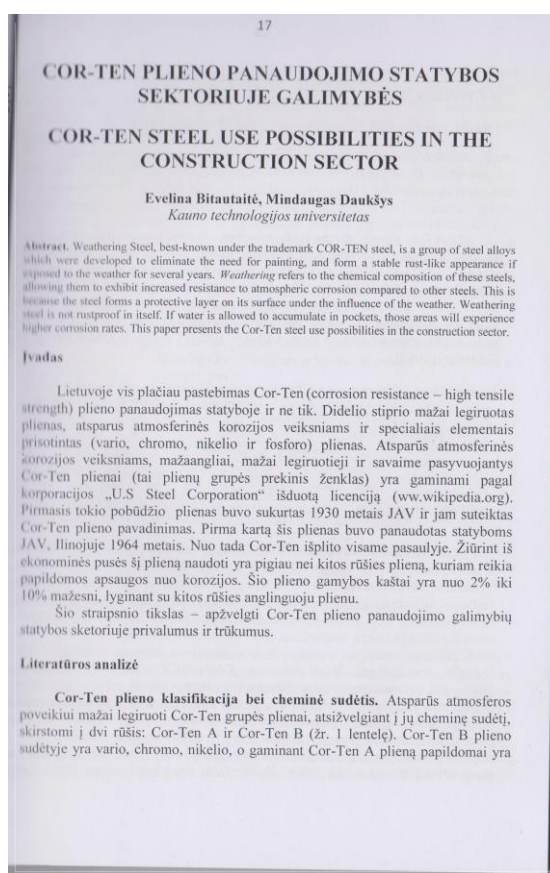
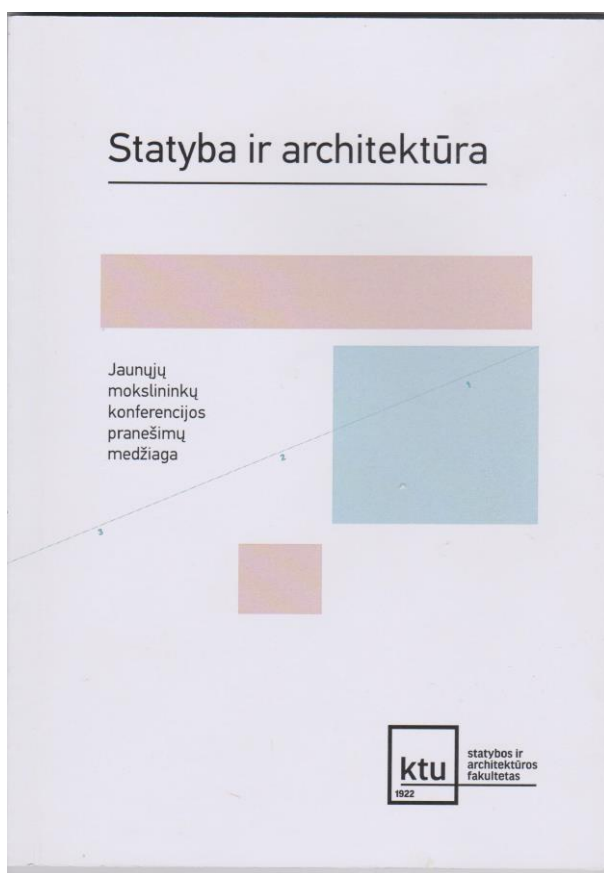
1.3 c pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na_2SO_4 tirpalo aplinkoje (2 bandinys, viršutinė pusė)





1.3 d pav. Cor-Ten plieno paviršiaus vaizdas po cikliško temperatūrų svyravimo 3% Na₂SO₄ tirpalo aplinkoje
(2 bandinys, apatinė pusė)

2 priedas. Straipsnis „Cor-Ten plieno panaudojimo statybos sektoriuje galimybės“ Jaunųjų mokslininkų konferencijai „Statyba ir architektūra“.



3 priedas. Diplomas iš Jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, Statyba, sekcija „Statybinės medžiagos“.

