



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Aplinkos taršą mažinančių dangų padengimo ant stogo lakštų
technologiniai tyrimai**

Magistro baigiamasis projektas

Andrius Krasickas

Projekto autorius

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

Vadovas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

**Aplinkos taršą mažinančių dangų padengimo ant stogo lakštų
technologiniai tyrimai**

Magistro baigiamasis projektas

Statybos valdymas (6211EX007)

Andrius Krasickas

Projekto autorius

Doc. dr. Ernestas Ivanauskas

Vadovas

Doc. dr. Algirdas Augonis

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Andrius Krasickas

Aplinkos taršą mažinančių dangų padengimo ant stogo lakštų technologiniai tyrimai

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Andriaus Krasicko, baigiamasis projektas tema „Aplinkos taršą mažinančių dangų padengimo ant stogo lakštų technologiniai 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 spausdintų ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ar netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų pinigų sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

Kaunas, 2019

Turinys

| | |
|--|-----------|
| Lentelių sąrašas..... | 6 |
| Paveikslų sąrašas..... | 7 |
| Santrauka..... | 9 |
| Įvadas | 11 |
| 1. Literatūrinė apžvalga..... | 12 |
| 1.1. Aplinkos tarša | 12 |
| 1.1.1. Aplinkos taršos šaltiniai..... | 13 |
| 1.1.2. Aplinkos taršos poveikis..... | 14 |
| 1.1.3. Valymo perspektyvos | 14 |
| 1.2. Stogo konstrukcijos apžvalga | 15 |
| 1.2.1. Stogų klasifikacija..... | 15 |
| 1.2.2. Plokštieji stogai..... | 16 |
| 1.2.3. Šlaitiniai stogai..... | 17 |
| 1.2.4. Beasbestinė stogo danga..... | 20 |
| 1.3. Titano dioksido (TiO ₂) apžvalga..... | 20 |
| 1.3.1. Cheminis elementas - titanas | 20 |
| 1.3.2. Titano dioksido savybės | 21 |
| 1.3.3. Titano dioksido savybių gerinimas | 23 |
| 2. Vertinimo metodologija, įranga ir medžiagos..... | 25 |
| 2.1. Daugiakriterinio vertinimo apžvalga..... | 25 |
| 2.1.1. Skaičiavimo metodas – „TOPSIS“..... | 26 |
| 2.1.2. Antrasis skaičiavimo metodas – „SAW“..... | 28 |
| 2.1.3. Trečiasis skaičiavimo metodas – „COPRAS“ | 28 |
| 2.2. Įranga ir medžiagos naudojamos eksperimento metu | 30 |
| 2.2.1. Medžiagos..... | 30 |
| 2.2.2. Įranga..... | 33 |
| 3. Eksperimentinė tyrimo dalis..... | 36 |
| 3.1. Pasiruošimas tyrimams..... | 36 |
| 3.1.1. Titano dioksido paruošimas..... | 36 |
| 3.1.2. Pirmųjų bandinių paruošimas | 38 |
| 3.1.3. Papildomų mėginių darymas | 39 |
| 3.1.4. Pasiruošimas savaiminio nusivalomumo tyrimui | 39 |
| 3.2. Paviršiaus savaiminio nusivalomumo tyrimas..... | 43 |
| 3.2.1. Pirmos tyrimo įžvalgos..... | 43 |
| 3.2.2. Paviršiaus nusivalomumo tyrimo tęsimas | 46 |
| 3.2.3. Paviršiaus nusivalomumo tyrimo užbaigimas | 49 |
| 3.2.4. Savaiminio paviršiaus nusivalomumo tyrimo apibendrinimas..... | 53 |
| 3.3. Oro taršos skaidymo tyrimas | 54 |
| 3.3.1. Pasiruošimas tyrimui | 54 |
| 3.3.2. Tyrimo procesas..... | 56 |
| 3.3.3. Tyrimo apibendrinimas | 58 |
| 4. Tyrimo daugiakriterinis vertinimas | 59 |
| 4.1. Savaiminio paviršiaus nusivalomumo vertinimas..... | 59 |
| 4.2. Kriterijų reikšmingumo nustatymas..... | 59 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3. Daugiakriterinis vertinimas "TOPSIS" metodu..... | 67 |
| 4.4. Apibendrinimas..... | 71 |
| Išvados | 72 |
| Literatūros sąrašas | 73 |

Lentelių sąrašas

| | |
|--|----|
| 1 lentelė. Standartinio lakšto parametrai | 32 |
| 2 lentelė. Pirmo etapo bandinių specifikacija | 38 |
| 3 lentelė. Antro etapo bandinių specifikacija..... | 39 |
| 4 lentelė. Esamų bandinių pilna informacija..... | 42 |
| 5 lentelė. Esamų bandinių spalvos kodai | 42 |
| 6 lentelė. Esamų bandinių spalvos kodų kaita | 45 |
| 7 lentelė. Papildyta visų bandinių specifikacija | 47 |
| 8 lentelė. Visų bandinių spalvos kodai | 48 |
| 9 lentelė. Pirmo etapo mėginių kitimo procesas pagal spalvos kodus. | 51 |
| 10 lentelė. Antrojo etapo mėginių kitimo procesas pagal spalvos kodus | 52 |
| 11 lentelė. Tyrime naudojami mėginiai | 55 |
| 12 lentelė. Bandinių specifikacija | 55 |
| 13 lentelė. Oro taršos skaidymo rezultatai | 57 |
| 14 lentelė. Nupurkštų bandinių spalvų kodai..... | 58 |
| 15 lentelė. Teršalų savaiminio paviršiaus nusivalymo vertinimas..... | 59 |
| 16 lentelė. Alternatyvų sąrašas..... | 60 |
| 17 lentelė. Kriterijų lentelė | 61 |
| 18 lentelė. Darbų trukmė | 61 |
| 19 lentelė. Pradinė alternatyvų ir kriterijų matrica..... | 62 |
| 20 lentelė. Alternatyvų ir kriterijų matrica | 63 |
| 21 lentelė. Normalizuota alternatyvų ir kriterijų lentelė..... | 64 |
| 22 lentelė. Pagalbinė alternatyvų ir kriterijų matrica | 65 |
| 23 lentelė. Entropijos lygio reikšmės | 65 |
| 24 lentelė. Kitimo lygio reikšmės..... | 66 |
| 25 lentelė. Teorinis kriterijų reikšmingumas | 66 |
| 26 lentelė. Pradinė alternatyvų ir kriterijų matrica..... | 67 |
| 27 lentelė. Normalizuota alternatyvų ir kriterijų matrica | 68 |
| 28 lentelė. Svertinė alternatyvų ir kriterijų matrica..... | 69 |
| 29 lentelė. Svertinės normalizuotos matricos duomenų geriausi ir blogiausi taškai..... | 69 |
| 30 lentelė. Skirtumai tarp idealiai teigiamų ir neigiamų variantų (1-10 alternatyvos)..... | 70 |
| 31 lentelė. Skirtumai tarp idealiai teigiamų ir neigiamų variantų (11-19 alternatyvos)..... | 70 |
| 32 lentelė. Santykinis atstumas iki idealaus taško (1-10 alternatyvos) | 70 |
| 33 lentelė. Santykinis atstumas iki idealaus taško (11-19 alternatyvos) | 70 |
| 34 lentelė. Naudingumo laipsnis (1-10 alternatyvos)..... | 70 |
| 35 lentelė. Naudingumo laipsnis (11-19 alternatyvos)..... | 71 |

Paveikslų sąrašas

| | |
|--|----|
| 1 pav. Cheminė tarša [43] | 12 |
| 2 pav. Biologinė tarša [44]..... | 13 |
| 3 pav. Oro taršos pagrindiniai šaltiniai..... | 13 |
| 4 pav. Stogų klasifikacija..... | 15 |
| 5 pav. Plokščiojo neeksploatuojamo stogo pavyzdinė konstrukcija su sluoksniais..... | 16 |
| 6 pav. Plokščiasis neeksploatuojamas stogas su ritinine danga..... | 16 |
| 7 pav. Šlaitinių stogų formos pagal jų geometriją..... | 18 |
| 8 pav. Šlaitinių stogų dangų klasifikacija [54]..... | 19 |
| 9 pav. Šlaitinio stogo konstrukcinė detalė [55]..... | 19 |
| 10 pav. Azoto oksidų skaidymo principas..... | 22 |
| 11 pav. Teikiamos naudos palyginimas su žaliaisiais plotais..... | 23 |
| 12 pav. Savaiminio paviršiaus nusivalymo principas..... | 23 |
| 13 pav. Titano dioksidas [35]..... | 30 |
| 14 pav. Titano dioksidas..... | 31 |
| 15 pav. Beasbestinis stogo lakštas..... | 31 |
| 16 pav. Medžiagų svarstyklės..... | 33 |
| 17 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga..... | 33 |
| 18 pav. Klimatinė kamera su ultravioletiniu apšvietimu..... | 34 |
| 19 pav. Dujų analizatorius „MX6 iBrid“..... | 35 |
| 20 pav. Skaitmeninis spalvos skaitytuvas..... | 35 |
| 21 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga..... | 36 |
| 22 pav. Ultragarsu smulkintas titano dioksidas..... | 37 |
| 23 pav. Susmulkintas ir išdžiovintas titano dioksidas..... | 37 |
| 24 pav. Pirmieji nudažyti bandiniai..... | 38 |
| 25 pav. Paruošti sekantys bandiniai..... | 39 |
| 26 pav. Bandinys padengtas teršalais..... | 40 |
| 27 pav. Spalvos kodo nustatymas..... | 40 |
| 28 pav. Pirmasis bandinys..... | 40 |
| 29 pav. Antrasis bandinys..... | 41 |
| 30 pav. Trečiasis bandinys..... | 40 |
| 31 pav. Ketvirtasis bandinys..... | 41 |
| 32 pav. Penktasis bandinys..... | 40 |
| 33 pav. Šeštasis bandinys..... | 41 |
| 34 pav. Ultravioletinių spindulių kameros nustatyti parodymai..... | 43 |
| 35 pav. Bandiniai po pirmų ciklų kameroje ir apipilti vandeniu..... | 43 |
| 36 pav. Pirmasis bandinys po 4 ciklų..... | 43 |
| 37 pav. Antrasis bandinys po 4 ciklų..... | 44 |
| 38 pav. Trečiasis bandinys po 4 ciklų..... | 43 |
| 39 pav. Ketvirtasis bandinys po 4 ciklų..... | 44 |
| 40 pav. Penktasis bandinys po 4 ciklų..... | 43 |
| 41 pav. Šeštasis bandinys po 4 ciklų..... | 44 |
| 42 pav. Nauji aštuoni bandiniai padengti teršalais..... | 46 |
| 43 pav. Kameros parodymai nustatant bandinių spalvos kodą..... | 49 |
| 44 pav. Pirmasis bandinys: 10% pramoninio TiO ₂ (maišyta ultragarsu) prieš ir po 28 ciklų..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 45 pav. Ketvirtasis bandinys: 5% nesmulkinto pramoninio TiO ₂ prieš ir po 28 ciklą..... | 50 |
| 46 pav. Penktasis bandinys: 10% nesmulkinto pramoninio TiO ₂ prieš ir po 28 ciklą | 50 |
| 47 pav. Azoto dujų kamera su UV apšvietimo lempomis | 54 |
| 48 pav. Vario svėrimas azoto dujoms gauti | 54 |
| 49 pav. Kairėje paruošta kolba su azoto rūgštim ir variu. Dešinėje – vaizdas po įvykusios reakcijos | 55 |
| 50 pav. Nupurkšti eksperimento bandiniai | 56 |
| 51 pav. Azoto dujų kiekio kitimo grafikas | 57 |
| 52 pav. Teorinio kriterijų reikšmingumo grafikas | 66 |
| 53 pav. Alternatyvų naudingumo grafikas pagal pasirinktus kriterijus..... | 71 |

Santrauka

Autorius Krasickas Andrius. Aplinkos taršą mažinančių dangų padengimo ant stogo lakštų technologiniai tyrimai. Magistro studijų baigiamasis projektas. Vadovas doc. dr. Ernestas Ivanauskas. Kauno technologijos universitetas. Statybos ir Architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: inžinerija, statybos inžinerija (E05)

Reikšmingi žodžiai: titano dioksidas, stogo dangos, aplinkos tarša, aplinkos taršos mažinimas, stogo dangų padengimo technologijos.

Kaunas, 2019. 76p.

Titano dioksidas (TiO_2) –novatoriška nano dalelių medžiaga, kuri pasižymi unikaliomis savybėmis, kai yra įterpiama į tam tikras pastato konstrukcijos išorines dangas, šiuo metu – stogo padengimo medžiagą. Kai dangos paviršius su titano dioksidu yra veikiamas ultravioletinių spindulių, pigmentas veikia kaip katalizatorius, fotokatalizės principu. Tokios stogo dangos paviršius gali padėti skaidyti aplinkos taršą (ore esančius azoto oksidus (NO_x)). Taip pat, tokia danga pasižymi savaiminiu paviršiaus nusivalomumo efektu. Šiame magistriniame baigiamajame darbe bus bandoma ištirti šias titano dioksido savybes, kai pigmentas bus maišomas į dažų masę ir padengiamas ant beasbestinės stogo dangos lakštų. Numatyta išsiaiškinti skirtingas padengimo technologijas, skirtingus titano dioksido tipus ir jo koncentracijas dažuose. Galiausiai, atlikti bandinių daugiakriterinį vertinimą.

Summary

Author's Krasickas Andrius. Technological research on roofing sheets for application of anti-pollution coatings. Master's Final Degree project of Minor Studies. Supervisor abbreviation of the position doc. dr. Ernestas Ivanauskas. Faculty of Civil Engineering and Architecture. Kaunas University of Technology.

Study field and area: Engineering, Civil Engineering (E05)

Keywords: titanium dioxide, roof coatings, environmental pollution, reduction of environmental pollution, the technology of roof sheets laying.

Kaunas, 2019. 76p.

Titanium dioxide (TiO_2) is an innovative nanoparticle material that has unique properties when incorporated into certain construction exterior coating, currently in this case - roofing materials. When the surface of the coating is exposed to ultraviolet rays with titanium dioxide, the pigment acts as a catalyst, based on photocatalysis principle. The surface of such a roofing can help to purify environmental pollution (nitrogen oxides (NO_x) in the air). Also, this coating has a self-cleaning effect. This Master's thesis will attempt to investigate these properties of titanium dioxide when the pigment is mixed into the paint mass and applied to asbestos-free roofing sheets. It is intended to find out differences between: technologies of covering, different types of titanium dioxide and its concentrations in paints. Finally, perform a multi-criteria evaluation of the created samples.

Įvadas

Stogas – tai viena pagrindinių ir svarbiausių pastato sudedamųjų konstrukcijų. Stogas atspindi esamo pastato patrauklumą ir išskirtinumą. Efektyvus stogas, tai gerų architektūrinių ir konstrukcinių sprendimų, bei kokybiškai atlikto darbo - rezultatas. Puikiai parinktos stogo medžiagos ne tik suteiks pastatui reikiamą estetiką, bet ir pagerins jo ilgaamžiškumą. O šiuolaikinėje visuomenėje vis plečiantis žaliosioms bei ekologiškoms iniciatyvoms – tobulėja ir statybos gamybos technologijos, kurios gali suteikti stogo dangoms naujas savybes, pavyzdžiui, kaip savaiminis paviršiaus nusivalomumas arba taršos, esančios ore, skaidymas, o senas dar labiau sustiprinti.

Stogo danga tai viršutinė, išorinė pastato konstrukcijos dalis, kuri yra labiausiai veikiama įvairių aplinkos veiksnių – skirtingos klimatinės oro sąlygos, įvairūs nešvarumai bei dulkės, taip pat aplinkoje esantys cheminiai, fizikiniai, biologiniai teršalai, todėl yra labai svarbu, kad padengtos stogo dangos paviršius būtų kuo atsparesnis. Toks tikslas gali būti lengviau pasiekiamas, kai į naujos stogo dangos sudėtį būtų įterpiamos tam specialios medžiagos – titano dioksidas, kuris fotokatalitinio proceso principu, šiai dangai ir suteiks minėtas savybes. Šiuo metu jau ir yra daromi įvairūs tyrimai tokiomis medžiagomis. Bandoma surasti ir išsiaiškinti geriausią, efektyviausią ir ekonomiškiausią variantą šių medžiagų panaudojimui. Tokios stogo dangos taptų dar atsparesnės, ilgaamžiškesnės ir lengviau eksploatuojamos.

Darbo mokslinė problema

Vienas iš pagrindinių aplinką teršiančių veiksnių, tai yra azoto oksido dujos (NO_x), kurias daugumoje išskiria transportas, pramonė ir energetika. Smogas – tai ore susidarantys teršalai, kurie neigiamai veikia žmonių sveikatą ir žemės biosferą. Tai tampa viena iš aktualiausių aplinkos taršos problemų globaliniu mastu. Dėl šios priežasties šiuolaikinėje visuomenėje, statant įvairios paskirties statinius, susiduriama su naujai keliamais reikalavimais: statyti aplinką tausojančius pastatus.

Darbo tikslas

Išanalizuoti beasbestines stogo dangas, jų gamybos technologijų problemas. Taip pat, patobulinti šią stogo dangą į jos sudėtį įvedant TiO_2 katalizatorių, kad sistema taptų pati savaime nusivalanti ir skaidanti aplinkos taršą. Palyginti ankstesnę technologiją su naujesne (patobulinta) ir apibrėžti jos teikiamą naudą pastatui, žmogui ir gamtai.

Darbo uždaviniai

- Išanalizuoti problemos aktualumą;
- Atlikti medžiagų, įrangos literatūrinę apžvalgą;
- Išanalizuoti daugiakriterinio vertinimo metodus;
- Aprašyti atliktą eksperimentą su beasbestine stogo danga;
- Atlikti daugiakriterinį vertinimą stogo dangos bandiniams;
- Apibendrinti gautus eksperimento rezultatus ir pateikti darbo išvadas.

1. Literatūrinė apžvalga

1.1. Aplinkos tarša

Aplinkos tarša, tai bet kokių medžiagų ar energijos, kas gali sukelti tam tikrą ekologinės pusiausvyros sutrikdymą, emisijos (pateikimas, išmetimas) į biosferą. Aplinkos tarša yra laikomi įvairūs aplinkos kitimai, kaip: cheminiai, fiziniai ar biologiniai. Visi šie veiksniai gali turėti neigiamos įtakos žmonių ir kitų organizmų gyvavimui.

Cheminius teršalus, galima suskirstyti pagal kilmę:

- Antropogeniniai;
- Gamtiniai (natūralūs).

Antropogeniniai cheminiai teršalai yra medžiagos, kurios patenka į aplinką dėl tam tikros žmonių vykdomos veiklos. Gamtiniai cheminiai teršalai yra įvairios, garuojančios druskos, ugnikalnių ir gaisrų dujos, augalų dalys, žemės dulkės ir t.t. Šios medžiagos, net ir labai sunkiai skylančios, esant tam tikromis sąlygomis vis tiek išsiskaido. Neorganiniai junginiai, t.y. antropogeniniai cheminiai teršalai gali būti paversti tam tikrais junginiais, kurie esančioje biosferoje natūraliai nesugebės suskilti. Tai gali būti sunkiųjų metalų junginiai, azoto oksidų junginiai, fosforo junginiai ir t.t. O didesnė tokių junginių koncentracija gali būti pavojinga žmonėms, gyvūnams ir augalams.



1 pav. Cheminė tarša [43]

Fizikinė tarša yra apibūdinama kaip triukšmas, vibracija, radioaktyvumas, ar spinduliuotė. Tai apima tokius pašalinius veiksnius, kaip ultragarsas, elektromagnetinė, ultravioletinė ar šiluminė spinduliuotė.

Biologiniai teršalai tai įvairių gyvų organizmų dalys, pavyzdžiui: sėklos, žiedadulkės, sporos. Taip pat šiai teršalų grupei yra priskiriami ir patys organizmai, kaip : erkės, kraujasiurbiai vabzdžiai, dulkių erkutės, graužikai ir įvairūs augalų kenkėjai. Reiktų paminėti, kad mikroorganizmai (bakterijos, virusai, pelėsiniai ir kiti grybeliai) irgi priklauso biologiniams teršalams.

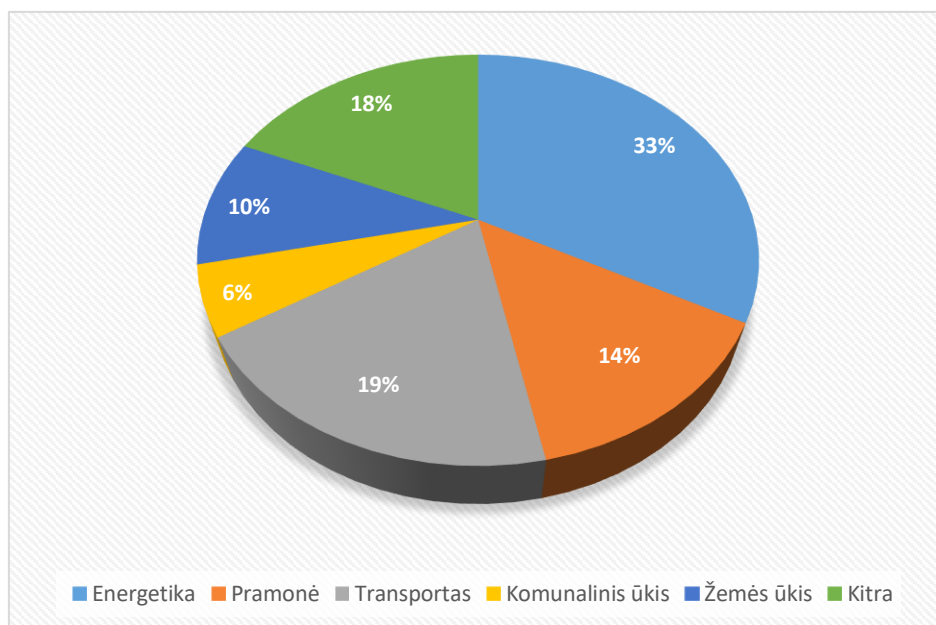


2 pav. Biologinė tarša [44]

1.1.1. Aplinkos taršos šaltiniai

Pagrindiniai aplinkos taršos šaltiniai:

- Energetika
- Pramonė
- Transportas
- Komunalinis ūkis
- Žemės ūkis
- Atliekos



3 pav. Oro taršos pagrindiniai šaltiniai

Didėjanti žmonijos populiacijai per pastaruosius kelis dešimtmečius užsiteršė nemažai ekologinių sistemų, iš kurių pagrindinės būtų oro ir vandens. Beveik daugiau kaip pusė pasaulio žmonių gyvena urbanizuotose teritorijose. Viso pasaulio miestų ekonominė sistema didėja, todėl didžiulė aplinkos tarša prilyginama ne tik su žmonių skaičiaus augimu miesto teritorijose, bet ir gamybos plėtra. Žmonių skaičius miestuose augo daug sparčiau nei kaimo gyvenvietėse, ypač besivystančiose

šalyse, sukeldamas nemažai aplinkosaugos problemų. Būtent tai ir didino pagrindinių taršalų sukėlėjų skaičių. O didelė dalis cheminių teršalų, išsiskiriančių į aplinką, pasižymi labai geru stabilumu ir ilgaamžiškumu.[5-6].

1.1.2. Aplinkos taršos poveikis

Pagrindiniai aplinkos oro teršalai keliantys neigiamą poveikį sveikatai:

- Kietosios dalelės (KD₁₀ ir KD_{2.5});
- Azoto dioksidas (NO₂);
- Sieros dioksidas (SO₂);
- Ozonas (O₃);
- Anglies monoksidas (CO).

Aplinkos taršos poveikis gali daryti nemažą įtaką žmogaus, bei kito gyvo organizmo vystymosi raidai. Pavyzdžiui dėl azoto dioksidų gali atsirasti ligos susijusios su kraujotakos sistemomis ar plaučių ligomis. Net trumpalaikis poveikis šio dioksido gali neigiamai paveikti plaučių funkcionavimą, ypač sergantiems astma. Didesnė koncentracija padidina riziką, dėl kvėpavimo takų infekcijos atsiradimo, ir susirgimo dažnį, dėl apatinių kvėpavimo takų ligų. Sukelia gleivinės paburkimą, be to gali atsirasti skausmai krūtinės ąštoje, dusulys. Taip pat kvėpavimo takų dirginimo pasireiškia ir kitas cheminių teršalų junginys – sieros oksidas. Esant didesnei koncentracijai atsiranda kosulys, akių paburkimas ir jų gleivinės dirginimas. Vėliau gali net pasireikšti dusinimo priepuoliai. Neigiamai veikia ir odą – dirgina, o vėliau gali sukelti ir alerginę reakciją. Anglies monoksido junginiai gali sukelti stiprų galvos skausmą, silpnumą ir pykinimą. Taip ir visi kiti sunkiųjų metalų junginiai esantys aplinkoje gali dirginti kvėpavimo takus arba sukelti uždegimines reakcijas plaučiuose, gali paūmėti lėtinių širdies ar kraujagyslių ligų eiga. Taip pat didesnės koncentracijos gali sutrikdyti net ir širdies veiklą, sumažinti gyvenimo trukmę arba paskatinti plaučių vėžio atsiradimą. Visi šie junginiai patekę į kvėpavimo takus gali būti pernešti į kraują ir kitus organizmo audinius ar organus, o tai skatins lėtinį apsinuodijimą ar išsaus organizmo alergines reakcijas [50-51].

1.1.3. Valymo perspektyvos

Pagrindinė problema, su kuria susiduria šiuolaikinė visuomenė ir kuri kelią neabejotiną grėsmę žmonijos sveikatai - oro ir vandens tarša. Kiekvieną dieną civilinė, karinė, bei pramoninė veikla, sukuria didžiulį kiekį ekologiškų ir neorganinių teršalų, kurie neišvengiamai patenka į mūsų atmosferą, t.y. upes, jūras, gruntus, orą. Aplinka yra užteršta nepilno degimo dalelėmis – azoto oksidais. Tobulėjant statybos gamybos technologijoms ir plečiantis žaliosioms iniciatyvoms, atsiranda daugiau ir įvairių statybos produktų, kuri gali prisidėti prie tokios taršos mažinimo. Pavyzdžiui: viename moksliniame straipsnyje [53] aprašyta, kad titano dioksidas yra technologiškai svarbus, natūraliai atsirandantis pigmentas, kuris gali būti naudojamas kaip sudedamoji dalis energijos, aplinkos, sveikatos ir kitų programų vystymui į ekologiškesnę pusę. Jame buvo aprašytas tyrimas, kad vario nano dalelių membrana, pagaminta iš biologiškai skaidomo polimero (medžiaga, kuri pasižymi molekulėmis, sudarytomis iš daug pasikartojančių struktūrinių vienetų) ir sumaišyto su titano dioksido nano milteliais, sugebėjo efektyviai pašalinti arseną (cheminis elementas - As, kuris gali sudaryti nuodingus cheminius dalelių junginius) iš geriamojo vandens. Titano dioksidas yra paplitęs visame pasaulyje. Pigmentas kaip katalizatorius gali būti naudojamas kaip antiseptinė ir

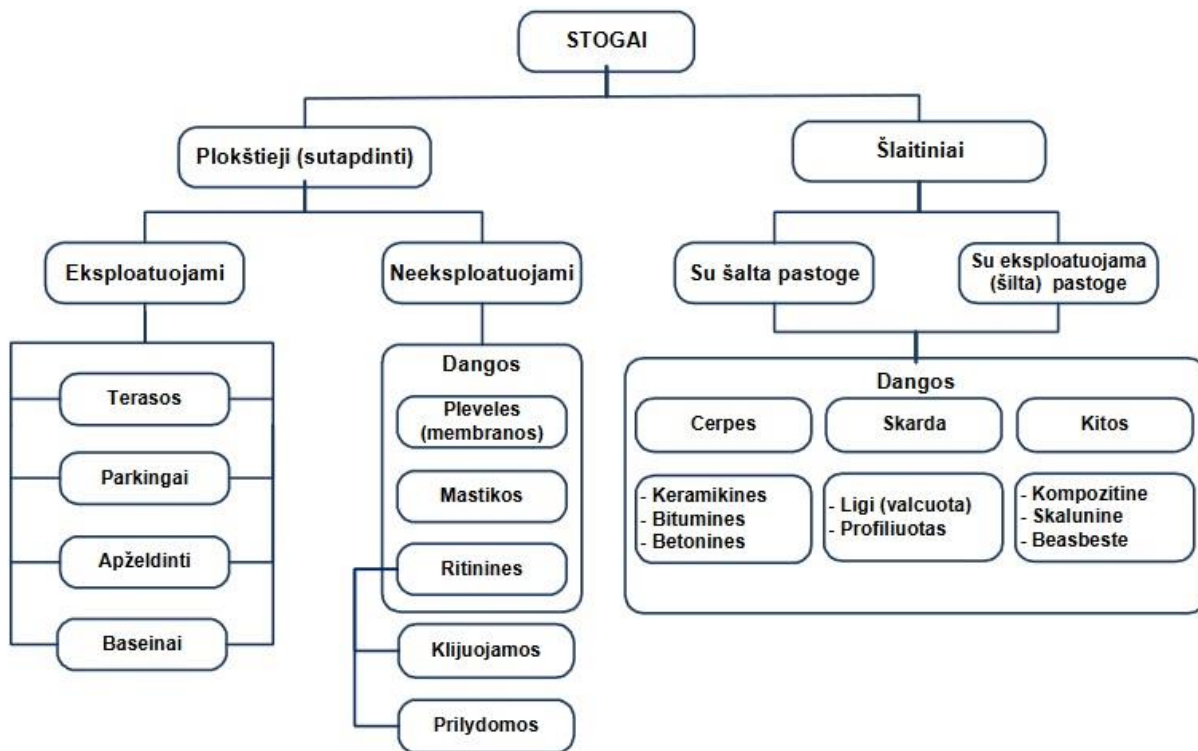
antibakterinė medžiaga, kuri bus skirta organinių teršalų skaidymui oro ar vandens sistemose, bei mikrobu valymui. [7].

1.2. Stogo konstrukcijos apžvalga

Stogas yra vienas iš pagrindinių pastato konstrukcinių dalių, kurio paskirtis yra apsaugoti patalpas ir žemiau esančias konstrukcijas nuo visų išorinių atmosferos klimatinė poveikių, kaip lietus, sniegas, vėjas, saulės, taip pat palaikyti pastato mikroklimatą. Konstrukcija, nuolydis, danga ir naudojamos medžiagos yra parenkami atsižvelgiant į išorinius veiksnius, bet taip pat į pastato paskirtį ir jam keliamus architektūrinius reikalavimus. Pagal techninį reglamentą (STR 2.04.01:2018 „Pastatų atitvaros. Sienos, stogai, langai ir išorinės įėjimo durys“ [52]) stogas yra pastato viršutinė dalis, dengianti ir sauganti pastato vidų nuo visų atmosferos poveikių, kuris turi būti statomas, projektuojamas taip, kad tenkintų šio reglamento visus reikalavimus.[8-10].

1.2.1. Stogų klasifikacija

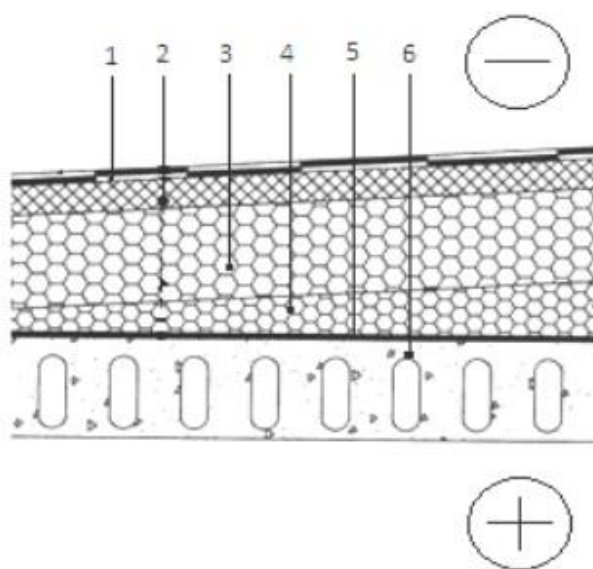
Stogų klasifikacija yra parengta remiantis į konstrukcinius stogo sprendimus. Kitaip pasakius, pastato stogas yra skirstomas į dvi grupes plokščiasis ir šlaitinis, o plokščieji ir labai mažo nuolydžio stogai yra sutapdintos konstrukcijos. Čia pastato denginys atlieka ir laikančiosios konstrukcijos funkcijas. Kitu atveju – šlaitiniuose stoguose, denginį ir laikančiąsias konstrukcijas skiria pastogės erdmė. Stogų klasifikacija pavaizduota 4 paveikslėlyje.



4 pav. Stogų klasifikacija

1.2.2. Plokštieji stogai

Šių stogų nuolydis, pagal techninį reglamentą turi būti tarp $0,7^\circ$ ir 7° laipsnių. Plokštieji stogai dar kitaip yra vadinami sutapdintais stogais, nes pastato stogas ir patalpos lubos realiai yra kaip viena konstrukcija. Dažniausiai toks stogo tipas yra naudojamas pramoninėje statyboje. Nors vandens nuleidimo sistemos, naujos progresyvios medžiagos (konstrukcinės, izoliacinės) gerokai praplatino šių stogų tipo naudojamo sritį [56-57]. Plokštieji stogai nesumažina vidinės pastato erdvės. Šių dangų pasiskirstymas ir dangos yra pavaizduoti 4 paveikslėlyje. Plokščiojo stogo pavyzdinė konstrukcija su pagrindiniais stogo sluoksniais yra pavaizduota 5 paveikslėlyje (1 – hidroizoliacinė danga; 2 – termoizoliacinis sluoksnis (akmens vata); 3 – vidurinis termoizoliacinis sluoksnis; 4 - šilumos izoliacinis sluoksnis, skirtas stogo nuolydžiui suformuoti (polistireninis putplastis); 5 – garus izoliuojantis sluoksnis; 6 – gelžbetoninės perdangos plokštė.)







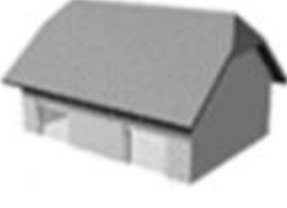





5 pav. Plokščiojo neeksploatuojamo stogo pavyzdinė konstrukcija su sluoksniais




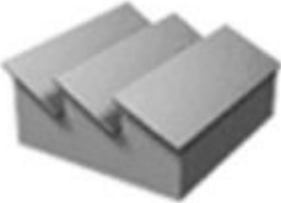






6 pav. Plokščiasis neeksploatuojamas stogas su ritinine danga

1.2.3. Šlaitiniai stogai

Šiam stogų tipui, pagal techninį statybos reglamentą, yra priskiriamos visos stogų rūšys, kurių nuolydis didesnis už 7° laipsnius. Šlaitinis stogas skiriasi nuo plokščiojo tuo, kad tarp laikančiosios konstrukcijos ir patalpos lubų visad bus palikta tam tikra ertmė – pastogė. Šio tipo stogai pasižymi labai plačiu jų pritaikymu ir jų formų geometrija. Visos galimos šlaitinių stogų formos yra pavaizduotos 7 paveikslėlyje.

| | | | |
|---|--------------------|--|---------------------------------|
|  | vienašlaitis |  | dvišlaitis |
|  | trišlaitis |  | keturšlaitis (valminis) |
|  | pusiau valminis |  | daugiašlaitis |
|  | bokštinis |  | kūginis |
|  | kupolinis |  | daugiašlaitis, susikertantis |

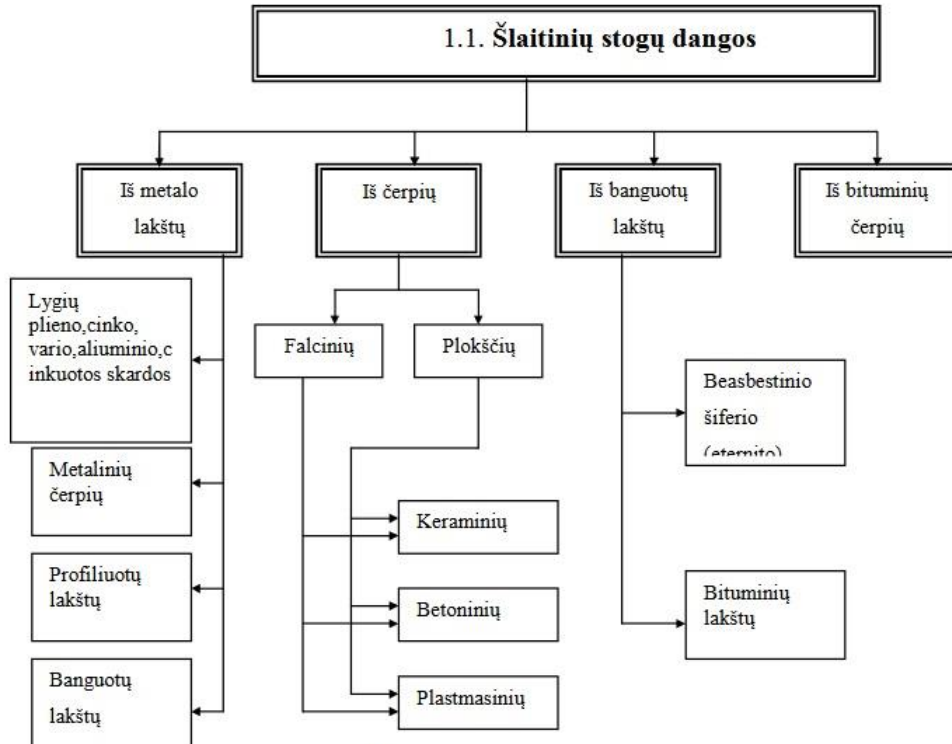
| | | | |
|---|------------------------|--|--------------|
|  | dvišlaitis mansardinis |  | briaunuotas |
|  | įgaubtas |  | pjūklinis |
|  | skliautinis |  | piramidinis |
|  | rombinis |  | šalmo formos |

7 pav. Šlaitinių stogų formos pagal jų geometriją

Lietuvoje labiausiai paplitę vienšlaičiai ir dvišlaičiai stogai – šie stogų tipai yra sudaryti iš paprastos konstrukcijos ir pasižymi geru ilgaamžiškumu. Taip pat, gyventojai renkasi būtent šiuos stogus, nes tokioje šalyje, kaip Lietuvoje yra būdingas įvairūs klimato ciklai ir įvairūs temperatūros pokyčiai. [11-12].

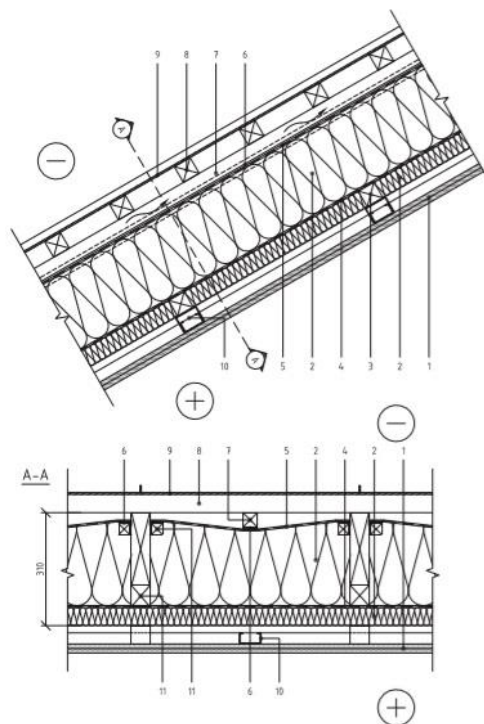
Šlaitiniai stogai taip pat turi platų ir stogo dangų asortimentą. Stogo dangos medžiaga – viena iš pagrindinių ir svarbiausių pastato dangalo apsauginių dalių, kurios apsaugo nuo nenuspėjamo išorinio poveikio. Šių dienų stogų dangos, jų medžiagų rūšys apibūdina tokias charakteristikas kaip ilgaamžiškumas bei patikimumas. Dangos gali būti perdirbtos arba pagamintos iš įvairiausių medžiagų: nuo medienos iki šiuolaikinių polimerų [13-14]

Dangų klasifikacija pavaizduota 8 paveikslėlyje.



8 pav. Šlaitinių stogų dangų klasifikacija [54]

Standartinė šlaitinio stogo konstrukcija ir ją sudarančios dangos yra pavaizduotos 9 paveikslėlyje (1 – vidaus apdaila (gelžbetoninė plokštė); 2 – termoizoliacinis sluoksnis; 3 – skersinis tašas; 4 – ora ir garus izoliuojantis sluoksnis; 5 – hidroizoliacija ir apsauga nuo vėjo (difuzinė plėvelė); 6 – tarpinė; 7 – vėdinamas oro tarpas su jį formuojančiu tašu; 8 – grebėstas; 9 – stogo danga; 10 – gipso kartono lubų karkasas; 11 – tašas).



9 pav. Šlaitinio stogo konstrukcinė detalė [55]

1.2.4. Beasbestinė stogo danga

Kadangi eksperimentinėje dalyje bus atliekami tyrimai būtent su šia stogo danga, tai šioje dalyje susipažinsim su ja šiek tiek plačiau.

Ankščiau buvo naudojamas statybinis asbestinis šiferis, kuris 1976 metais buvo įrašytas į kenksmingų medžiagų sąrašą, o nuo 2005 metų absoliučiai uždraustas naudoti visoje Europos Sąjungoje, taip pat ir Lietuvoje. Tada atsirado kita tokios dangos alternatyva - stogo plokštelės be asbesto arba kitaip banguotoji beasbestė stogo danga. Ši danga sulaukė stipraus pripažinimo Lietuvoje, bei visame pasaulyje ir yra laikomas vienu iš progresyvaus mąstymo ir nuolankaus požiūrio į aplinką gestu. Beasbestė stogo danga tapo viena iš labiausiai paplitusių ir propaguojamų stogo dangų šiandieninėje visuomenėje. Ieškant alternatyvų pakeisti asbestą, buvo pradėtas naudoti armuojantis pluoštas, kuris yra saugus žmonėms bei aplinkai, tačiau dar ir įgavo geresnes savybes - tapo atsparesnis mechaniniams ir cheminiams poveikiams, elastingesnis, tvirtesnis. Pagrindinės žaliavos, naudojamos beasbestinio šiferio lakštų gamybai: celiuliozė (10%), cementas (50-70%) bei įvairūs mineraliniai užpildai (20-40%). Puikiausia tai, kad šiuos šiferio lakštus įmanoma pritaikyti net įvairios ir išskirtinos konstrukcijos pastatams. [15-19]

Šiuolaikinio banguotųjų beasbesčių šiferio dangos amžius gali siekti net iki 50 metų. Tai reiškia, kad net per tokią ilgą laiko trukmę, esant tokiam klimatui, šios dangos paviršius nepraras jam būdingų technologinių savybių. yra atsparumas Ši stogo danga yra pakankamai lengva, dažniausiai jai montuoti yra reikalingas mažesnis grebėstų žingsnis, o tai leidžia sutaupyti medienos ir palengvina montavimo technologiją. Šiferinės stogo dangos turi puikų atsparumą klimato, bei biologiniam poveikiui, yra visiškai nedegus, nebijo korozijos ar staigių temperatūros pokyčių. Taip pat, pasižymi puikią garso izoliaciją. Ypač tapo lengvas beasbestinio šiferio tvirtinimas - vinimis arba varžtais. [58-59]

1.3. Titano dioksido (TiO₂) apžvalga.

Šiuo metu visame pasaulyje didelio susidomėjimo sulaukia medžiagos, kurios pasižymi tam tikromis unikaliomis savybėmis. Pavyzdžiui, medžiagų gebėjimas skaidyti ant paviršiaus papuolusius nešvarumus arba azoto oksidais (NO_x) užteršto oro valymas skaidant šias daleles. Toki efektai gali būti pasiekiami dėl panaudotų specialių priedų, tokių kaip - katalizatorių (pvz. TiO₂). Jie veikia fotokatalitinio proceso (fotokatalizės) principu, kitaip pasakius, veikiant dangą ultravioletiniams spinduliams. Šie teiginiai ir laboratoriniai tyrimai su tokiomis nano dalelėmis yra aprašomi įvairiuose moksliniuose straipsniuose ir vis dar plačiai bandomi ištirti. [20]

1.3.1. Cheminis elementas - titanas

Titanas yra IV B grupės elementas, priklausantis pereinamųjų metalų klasei. Titanas dažnai naudojamas formuojant įvairius lydinius. Šio elemento dėka medžiagos tampa atsparesnės korozijai, pasižymi mažesniu tankiu (dvigubai mažesnis nei plieno) bei didesniu mechaniniu tvirtumu. Šio pereinamojo metalo atominis numeris - 22, jo masė - 47.88 gramai, o tūris lygus 10.64 cm³/mol. Grynas titanas gali būti randamas kaip tamsiai pilkos spalvos, žvilgus metalas arba kaip tamsiai pilki milteliai. Šio elemento lydymosi temperatūra yra 1677 °C, o virimo temperatūra - 3277 °C. Titano metalas žemoje temperatūroje yra labai trapus. Tačiau prie aukštesnės temperatūros jis tampa labai kalus ir elastingas. Be to, įvedus nedidelius deguonies arba azoto kiekius, titano metalas mechaniniu požiūriu virsta žymiai tvirtesnis. Šis metalas yra nereaktyvus. Titanas nesudaro junginių su

deguonimi, bent esant kambario temperatūrai. Pats metalas yra visiškai atsparus rūgštims, chlorui bei kitoms korozinėms medžiagoms. Titanas tampa reaktyvus tik labai aukštose temperatūrose. Šis metalas yra devintas labiausiai paplitęs elementas šios planetos žemės plutoje. Titano metalas dažniausiai yra randamas vulkaninės kilmės uolienose. Dažniausiai jis yra randamas tokiuose mineraluose kaip rutilas, ilmenitas (silpnai magnetinis titano-geležies oksido mineralas) ar sfenas (kalcio titano silikatas) ir t.t. [25]

1.3.2. Titano dioksido savybės

Titano dioksidas yra fotokatalizatorius - tai medžiagos, kurioms suteikus tam tikrą kiekį energijos, pavyzdžiui ultravioletinės spinduliuotės energija, yra inicijuojamos tam tikros cheminės reakcijos, kuriose pati medžiaga nedalyvauja, medžiaga veikia tik kaip katalizatorius. Vienas iš fotokatalizatorių yra titano dioksidas (TiO_2). Jis pasižymi tokiomis savybėmis, kaip biologinis ir cheminis inertiškumas, optinis stabilumas, o tai yra vieni iš pagrindinių reikalavimų katalizatoriams. Taip pat ši medžiaga yra, netoksiška ir pasižymi dideliu efektyvumu. Titano dioksidas (TiO_2) dėl savo išskirtinių fizikinių bei cheminių savybių yra plačiai naudojamas fotokatalizės procesuose ir tyrimuose. Šis pigmentas dažniausiai yra naudojamas, kaip nano kristalinis miltelių pavidalas.

Titano dioksidas yra trijų kristalografinių fazių:

- Rutilas;
- Anatazas;
- Brukitas;

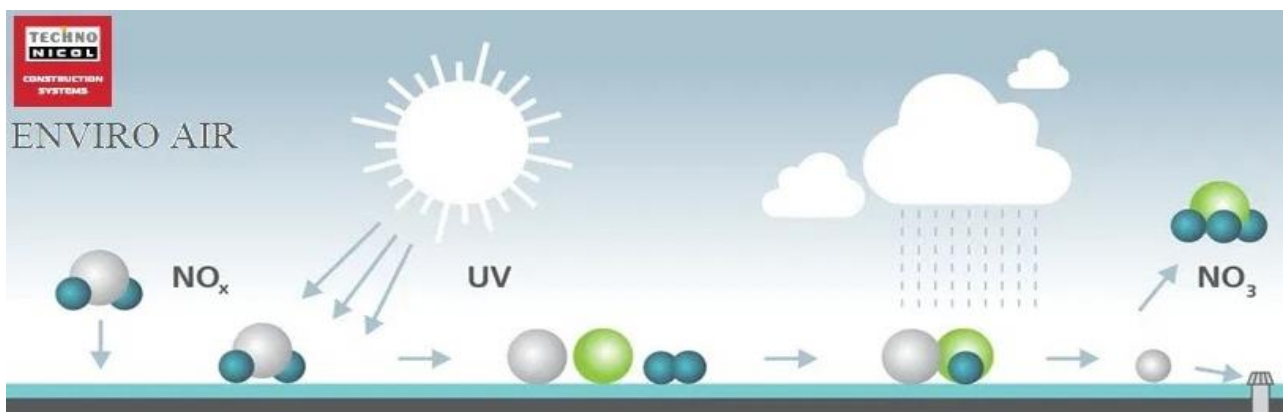
Rutilas yra termodinamiškai (veikiant aukštai temperatūrai) stabiliausia fazė, kai anatazas ir brukitas yra metastabilios fazės, tai yra esant aukštai temperatūrai, jos pereina į rutilo fazę. Rutilas ir anatazas pasižymi tetragoninę kristalo struktūra, kai brukitas – ortorombinę. Visiems tyrimams dažniausiai yra naudojamas rutilas bei anatazas. Tačiau fotochemijoje – dažniausiai būna naudojamos tik titano dioksido rutilo kristalografinės struktūros. Anatazo struktūrą yra pakankamai sudėtinga išgauti ir išlaikyti. Nors anatazas ir pasižymi geresnėmis fotokatalitinėmis savybėmis nei rutilas, tačiau esant aukštai temperatūrai, pasidaro sunku išlaikyti anatazui būdingą kristalografinę struktūrą. Jeigu didesnis šilumos kiekis veikia ilgiau - anatazas po tam tikro laiko tarpo pereina į rutilo fazę.[29]

Viename moksliniame tyrime buvo nagrinėjama galimybė pasyviai lauko oro valymui, oro taršos skaidymui, naudojant anatazės fazės titano dioksido nano daleles. Projekto tikslas, išsiaiškinti apie, daleles, kurios vykstant oksidacijai fotokatalizuoja teršalus, esančius atmosferoje – būtent tokius, kaip azoto oksidai (NO_x), kurių ir yra daugiausiai išmetama į aplinką dėl vis augančio transporto priemonių mąsto. Buvo bandoma pritaikyti jį aktyviems patalpų oro filtrams, kurie galėtų pašalinti netinkamus junginius esančius patalpoje. Japonijoje tokio tipo tyrimai vyko ilgiau nei dešimtmetį, o Europoje neseniai buvo baigta diegti tokius filtrus vykdant tam tikrus institucijų projektus. Vis dėlto, praktinis oro valymo įgyvendinimas, vis dar išlieka prieštaringas. Vieni tvirtina, kad tokio tipo tarša gali būti mažinama taikant ir paprastas priemones. Tačiau šio projekto pagalba, buvo išsiaiškintas titano dioksido oro teršalų skaidymo technologinis potencialas. Buvo atkreiptas dėmesys į tam tikras išmatuotas vertes, pavyzdžiui greitį, per kurį galima išvalyti orą iš tam tikro esamo ploto. Dabar yra bandoma platinti pasyvios fotokatalitinės oro taršos skaidymo technologijas, tačiau tam reikalingi dar didesnio masto meteorologiniai modeliavimai ir įvairūs tyrimai, siekiant išrasti ir patvirtinti diegimo strategijas. [21-23]

Dar viename tyrime buvo aprašomas vienas iš svarbiausių ir nenuginčijamų, technologinio paviršiaus dangų mokslo laimėjimų, tai yra būtent šio fotokatalizaoriaus savybių pritaikymas išoriniams pastato paviršiams. Tai yra parodymas būtent šio ryšio, tarp titano dioksido fizikinių bei cheminių savybių ir atominės paviršiaus struktūros. Dėl ypatingai mišraus joninio ir kovalentinio ryšio metalo oksido sistemoje, pluošto struktūra, palyginant su kitais cheminiais metalais ar puslaidininkiais, parodo stiprų cheminį poveikį lokaliuose srityse, o tai rodo, kad titano dioksidas tikrai pasižymi geromis katalinėmis savybėmis. Dėl to prasidėjo vystytis idėjos ir tyrimai, kad reikia kuo daugiau pastatų ir netik - susisiekimo infrastruktūros, paviršiaus ploto padengto titano dioksidu. Taip prasidėjo šios idėjos plėtimasis, atsiranda vis daugiau bandymų pritaikyti, tai įvairiems paviršiams ir medžiagoms. Bandoma išsiaiškinti kuo daugiau aspektų susijusių su šia tema. Tačiau, gamybiniai tinklai dar nėra tam pritaikyti. Informacijos trūkumas, dar nėra plačiai išvystyta tokia technologija ir jos pritaikymas, bei tokios naujos gamybos teikiama nauda žmogui ir aplinkai. [24;26-28]

Taip prasidėjo šios medžiagos teorinis plėtojimas ir bandymas pritaikyti daugelyje statybos sričių, taip pat ir infrastruktūros srityse. Yra bandoma šią medžiagą pritaikyti ne tik statinio išorinėse konstrukcijose, kurios pasižymėtų savaiminiu nusivalymu ir oro taršos dalelių skaidymu, bet ir vidinėse apdailos medžiagose. Pavyzdžiui, dėl savo antisanitarinių savybių ir įvairių bakterijų skaidymo yra bandoma išplėtoti tokias medžiagas ligoninėse, baseinuose, įvairiose visuomeninėse patalpose, kaip valgyklos ir panašiai. Bandoma titano dioksidą įterpti ir į asfalto dangą, kuri sugebėtų skaidyti transporto priemonių išmetamus azoto dioksidus. Bandoma vandens ir oro filtrams pritaikyti šią naują medžiagą, kuri padėtų jį išvalyti. Taip pat yra aprašyta, kaip titano dioksidas su tam tikromis priemonėmis gali padėti greičiau ardyti įvairias atliekas.

Lietuvoje šios idėjos taip pat bandomos plėtoti. Pavyzdžiui stogo dangų gamintojai, tarptautinė korporacija „Technicol“, kuriai priklauso ir UAB „Mida LT“ skyrė daugiau dėmesio ir ekologinės dangos gamybai. Jie pristatė oro teršalus skaidančią bituminę dangą – „ENVIRO AIR“. Šios stogo dangos bandymai buvo atlikti Vokietijoje - Hanoverio Techninės chemijos institute, kurie atitiko standarto (ISO 22197-1:2016) reikalavimus. Tyrimų rezultatai parodė, kad azoto dujų kiekis aplinkoje, kur veikė titano dioksidas padengtas ant šios dangos, sumažėjo iki 34%. Veikimo principas – titano dioksidas pritraukia aplinkoje (ore) esančius teršalus, kaip azoto oksidus, ir juos veikiant ultravioletiniams spinduliams suskaido į žmonėms ir aplinkai nekenksmingus elementus, kuriuos į gruntą nuplauna lietus. Toks stogas su titano dioksidu dar papildomai pasižymi apsauga pačiai stogo dangai nuo ultravioletinių spindulių bei ardo ant dangos paviršiaus atsirandančius organinius teršalus. Veikimo principas yra pavaizduotas 10 paveikslėlyje, o teikiamos naudos palyginimas su žaliaisiais plotais pavaizduotas 11 paveikslėlyje.

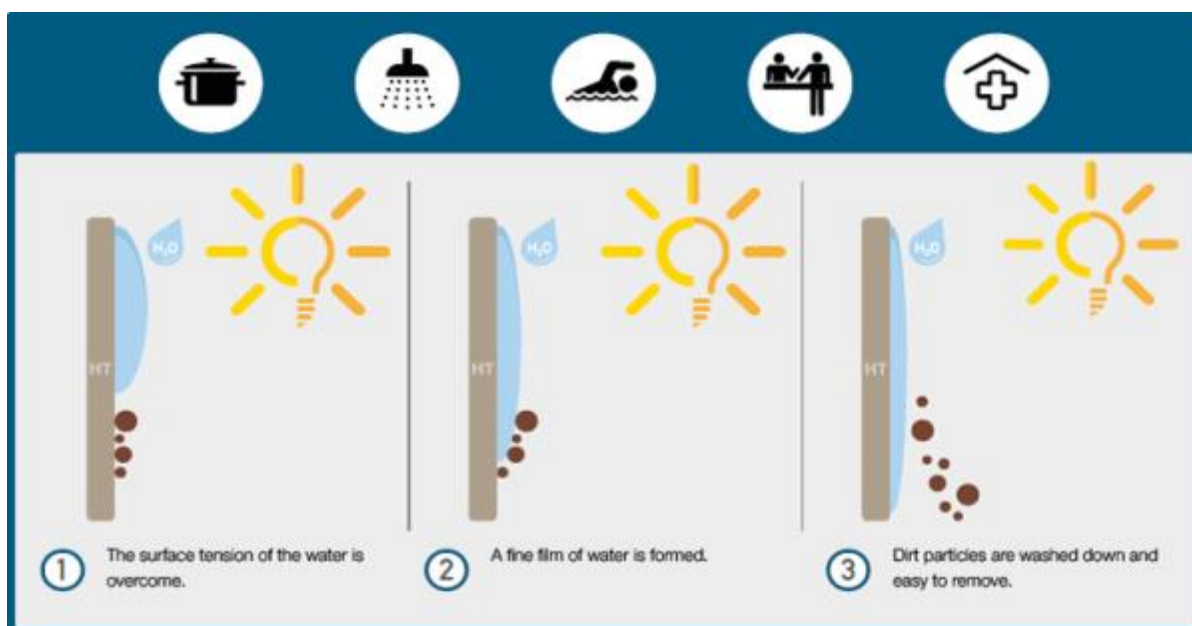


10 pav. Azoto oksidų skaidymo principas



11 pav. Teikiamos naudos palyginimas su žaliaisiais plotais

Taip pat, vienas iš didžiausių Lietuvos prekybos ir laisvalaikio centrų – „Mega“ - turi sumontuotas fasadines plokštes, kurios yra padengtos titano dioksidu. Tai yra vokiečių įmonės „Agrob Buchtal“ plokštės – „Kera Twin^R K20“. Jų paviršius yra ekologiškas bei nekenksmingas aplinkai. Plokštės pasižymi ne tik oro teršalų skaidymu, bet ir papildomomis savybėmis, kaip savaiminis paviršiaus valomasis ir antibakterinis poveikis. Veikimo principas: esant ultravioletiniams spinduliams ir veikiant jais plokštės paviršius yra skaidomi kenksmingi junginiai, neutralizuojamos bakterijos ir lyjant lietuvi visai nesunkiai nusiplauna. Titano dioksidas, esant labai aukštai temperatūrai yra integruojamas į plokštės keramininį paviršius jos gamybos metu, o išlieka ten iki jos eksploatacijos pabaigos. [60-61]



12 pav. Savaiminio paviršiaus nusivalymo principas

1.3.3. Titano dioksido savybių gerinimas

Nepaisant puikių titano dioksido fotokatalitinių savybių, dar yra bandoma ir tiriama, kaip būtų galima pagerinti jo efektyvumą, įterpiant papildomų metalų priemaišų jonų. Šis pigmentas dėl ganėtinai plačios savo draustinės juostos, gali būti fotokatalitiškai aktyvus tik tam tikroje ultravioletinėje spinduliuotėje ($\lambda < 387 \text{ nm}$). Tai yra maža saulės spindulių, pasiekiančių žemės paviršių dalis - tik apie 5% saulės spinduliuojamos energijos. Be to, greita krūvininkų rekombinacija

galimai stabdo fotokatalizės procesą. Taigi, daromais tyrimais, yra bandoma išsiaiškinti, kaip būtų galima išvengti tokių trūkumų. Fotokatalitines titano dioksido savybes būtų galima pagerinti bent keliais būdais, pavyzdžiui:

- keičiant šio pigmento fotokatalizatoriaus matmenis (skaidant daleles: didesnis paviršiaus plotas reiškia efektyvesnę vandenilio gavybą);
- keičiant titano dioksido struktūrą arba fazę, bei draustinės juostos plotį. Draustinės juostos plotį galima pakeisti įterpiant tam tikrų priemaišų, taip šiame puslaidininkyje atsirastų dar keli papildomi energetiniai lygmenys;
- galima parinkti ir kitokio tipo priemaišas, kaip nikelis (Ni), varis (Cu) arba magnis (Mg), kurios galėtų sumažinti krūvininkų rekombinacijos esamą greitį arba kurios galėtų padidintų juose esančių elektronų pernašos greitį iš valentinės juostos į - laidumo[30].

Bandant patobulinti fotokatalitinį efektyvumą, buvo atlikti eksperimentai su metalų priemaišų jonais (Zn^{+2} , Ag^{+2} , Pd^{+2} bei Pt^0). Įterpiant šių priemaišų, kurios turi didesnę valentingumą kaip +4, tampa įmanoma pagerinti fotokatalitinės reakcijos aktyvumą, bet yra atlikti kiti tyrimai, kurie rodo, kad pridėdant tokių priemaišų, kaip trivalenčių arba penkiavalenčių metalų jonų, gali atsirasti neigiama įtaka fotokatalitiniam procesui, kad veikiant ultravioletinėje spinduliuotėje.

Kituose atliktuose tyrimuose, kur buvo naudojamas tik (Mg^{+2}) divalentis magnis, buvo išsiaiškinta, kad įterpiant jį, į titano dioksido kristalinę gardelę, pasidaro įmanoma ženkliai pagreitinti fotokatalizės procesą. Šie bandymai atlikti naudojant tam tikrą tirpalą - metiloranžo vandeninį tirpalą, į kurį buvo įdėtas titano dioksidas su įterptomis į jį magnio priemaišomis. Tyrimo rezultatai parodė, kad efektyviausia metalo priemaišų koncentracija yra lygi 1%, kitu atveju, mažesnę koncentraciją turintis titano dioksidas šį tirpalą skaido žymiai lėčiau. Tyrimo išvada, kad magnio priemaišos įterptos į titano dioksido dangą sumažina krūvininkų rekombinacijos greitį, o tai reiškia, kad didesnė dalis elektronų gali pereiti iš titano dioksido į šį tirpalą, tokiu būdu jį skaidydami sparčiau, taip pat - tokia pati dalis šių elektronų persikelia iš tirpalo į titano dioksido dangos paviršius, užpildydami skylės valentinėje juostoje. [31]

Kituose tyrimuose į titano dioksido kristalinę buvo įterpiamos vario priemaišos. Šios priemaišos, lyginant su magniu, ne tik sumažino rekombinacijos greitį, bet dar ir padidino elektronų pernašos spartą, iš valentinės juostos į laidumo. Įterpus vario priemaišų, galima pagreitinti elektronų pernašą iki ir ant titano dioksido paviršiaus, adsorbuoto deguonies, o tai paspartina ir deguonies redukciją. Šie tyrimai nors ir buvo atliekami, šiek tiek kitokiu būdu, tiksliau - vandens taršos valymo tikslais, bet pats proceso principas išlieka realia toks pat. Šiame tyrime, buvo išsiaiškintas ir geležies bei platinos priemaišų poveikis. Visais tyrimo atvejais buvo nustatyta, kad priemaišų koncentracija yra santykinai maža: vario priemaišų - 0,12%, geležies - 0,13%, o platinos - 0,34%. Tyrimo rezultatuose buvo aprašyta, kad geriausias fotokatalitinis efektyvumas yra pastebėtas, kai titano dioksidas turėjo vario priemaišų. Šio eksperimento metu buvo skaidomas tam tikras organinis cheminis junginys: „4-chlorofenolis“ (4 – CP), kuris buvo apšviestas ultravioletine spinduliuote iki trijų valandų trukmės. Per šį laiko tarpą, vario priemaišų turinti pigmentas, išskaidė net iki 80% minėto organinio junginio, kai geležies priemaišų turintis titano dioksidas išskaidė 54%, o platinos – 73%. Grynas titano dioksidas, be jokių papildomų priemaišų. Minėto organinio junginio išskaidė tik 25%. [32-33].

2. Vertinimo metodologija, įranga ir medžiagos

2.1. Daugiakriterinio vertinimo apžvalga

Daugiakriteriniai sprendimų priėmimo skaičiavimo metodai (MCDM – angliškai: „Multi(ple) Criteria Decision Making“) yra naudojami norint surasti tam tikrą, optimalų sprendimą. Jie yra skirstomi į dvi grupes:

- MODM (angliškai: „Multi(ple) Objective Decision Making“) – daugiaobjektis sprendimo priėmimo metodas. Tai yra daugiakriterinis optimizavimo metodas. Šis metodas naudoja vektorinę optimizaciją, kuri yra pagrįsta sprendimo proceso modeliu. Toks metodas yra taikomas sprendžiant uždavinius, apimančius daugelį tikslo funkcijų, kurios turi būti optimizuojamos tuo pačiu metu.
- MADM (angliškai: „Multi(ple) Attribute Decision Making“) – daugiakriterinis sprendimo priėmimo metodas. Šis metodas yra taikomas, kai privaloma išsirinkti vieną (naudingiausią) alternatyvą iš žinomo ir konkretaus visų esamų alternatyvų sąrašo.

Baigiamajam darbe bus analizuojami daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai, kurie bus pagrįsti kiekybiniais matavimais. Pasaulyje tokių sprendimo metodų yra sukurta nemažai, tačiau iki šiol nėra nustatyta, kuris metodas yra efektyviausias sprendžiant vienokios ar kitokios srities uždavinius.

Šiame skyriuje aprašysime tris pagrindinius ir populiariausius sprendimų vertinimo metodus:

- TOPSIS (angliškai: „Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution“) – tai yra metodas artumo idealiajam taškui surasti;
- SAW (angliškai: „Simple Additive Weighting“) – tai yra paprastasis adityvus svorių skaičiavimo metodas;
- COPRAS (angliškai: „Complex Proportional Assessment“) – tai yra kompleksinio proporcingumo vertinimo skaičiavimo metodas.

Daugiakriteriniai metodai nagrinėja uždavinius, kurių sprendinių aibė dažniausiai yra diskreti, tai yra, kad ją sudaro didelis galimų alternatyvų skaičius. Alternatyvos - tai visi galimi, tikslingi ir skirtingi, sprendimai, kurie yra apibūdinami tam tikrais nustatytais rodikliais. Parinkti rodikliai nurodo tam tikrus visų nagrinėjamų alternatyvų aspektus - kiekvienas rodiklis atspindi vieną alternatyvos savybę. Daugiakriterinio vertinimo metodo tikslas yra visų alternatyvų surangavimas.

Tačiau skirtingi rodikliai nurodo skirtingus požūrius į esamas alternatyvas. Rodikliai gali būti prieštaringi vienas kitam. Taip pat yra svarbu paminėti, kad jie gali būti matuojami skirtingais mato vienetais (balai, m², m³, Eur ir t.t.). Todėl visus rodiklius reikia normalizuoti, taip jie taps bedimensiais dydžiais. Kitaip išsireiškus, norint palyginti duotas alternatyvas – reikia įtaką turinčius kriterijus išreikšti tarpusavyje lyginamais dydžiais, tada visus rodiklius bus galima lygiavertiškai naudoti esamų alternatyvų vertinime. Rodiklių reikšmingumui nustatyti yra skaičiuojamas jų tarpusavio santykinis reikšmingumas, kuris parodo, kiekvieno rodiklio svarbą arba kiek, tam tikras, rodiklis yra svaresnis už kitą nagrinėjimui problemai.

Daugiatiksliai sprendimo priėmimo skaičiavimo metodai yra taikomi daugybėje įvairių sričių, kaip: inžinerinių, investicinių ar medicininių uždavinių sprendimui. Visi tokio tipo uždaviniai turi bendrų bruožų – visos pasirinktos alternatyvos yra vertinamos pagal tam tikrą rodiklių skaičių, visi vertinimo kriterijai gali būti prieštaraujantys, o rodikliai neprivalo turėti vienodus matavimo vienetus. Šių uždavinių sprendimo procesą sudaro trys pagrindiniai etapai:

- Esamų alternatyvų sąrašo sudarymas;
- Pasirinktų rodiklių, pagal kuriuos bus vertinamos alternatyvos, apibrėžimas;
- alternatyvų surangavimas.

Pirmajam etape yra sudaroma esamų alternatyvų aibė, kuri bus reikalinga uždavinio sprendimui. Visos alternatyvos gali būti vadinamos sprendimo variantais. Antrame etape yra sudaroma pasirinktų rodiklių aibė, kuri apibrėš esamas alternatyvų savybes. Tada bus nustatomos šių rodiklių reikšmės kiekvienai esamai alternatyvai ir atliekamas pasirinktų rodiklių santykinis reikšmingumas. Trečiame etape yra analizuojamos alternatyvos, t.y – sprendimo variantai. Taip bus gauta naudingiausia ir geriausia alternatyva, o jos išrinkimas bus pagrįstas diferencijuotu variantų skaičiavimo vertinimu, naudojantis antrajame etape gautais duomenimis [62].

2.1.1. Skaičiavimo metodas – „TOPSIS“

Šį daugiatislį sprendimo priėmimo metodą naudosime baigiamajam darbe, todėl aprašysime plačiau nei kitus metodus.

Artumo idealiam taškui metodas yra sukurtas Yoon ir Hwang mokslininkų [45]. Jie sukūrė nustatytų variantų prioritetiškumo gavimo metodiką, kuri yra pagrįsta pagal koncepciją, kad optimali alternatyva turės mažiausią atstumą nuo idealaus taško sprendimo ir atvirkščiai, didžiausią atstumą – nuo priešingai idealaus taško sprendimo. Todėl toks metodas yra vadinamas visų esamų variantų racionalumo nustatymo artumui idealiajam taškui (angliškai: „Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution“ - TOPSIS).

Metodo skaičiavimo aprašymas: kiekvieno rodiklio reikšmė gali nuolatos didėti arba atvirkščiai - mažėti. Todėl būtų galima surasti idealų sprendimo variantą (idealus taškas), kuris bus sudarytas iš naudingiausių rodiklių reikšmių. Taip pat, būtų galima surasti ir neigiamai idealų sprendimo variantą (taškas – atvirkščiai proporcingas idealiajam) kuris bus sudarytas iš prasčiausių rodiklių reikšmių. Norint pritaikyti artumo idealiam taškui metodą sprendžiamai problemai, privaloma padaryti sprendimų matricą „P“. Matrica pavaizduota formulėje (2.1):

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

Matricoje: eilučių reikšmės yra nagrinėjamos alternatyvos („m“ – alternatyvų skaičius), o stulpeliai – naudingumo rodikliai („n“ – naudingumo rodiklių skaičius), kurie nurodo vertinamos alternatyvos efektyvumą. Taip pat: „ x_{ij} “ – „i“ –šios alternatyvų vos, o „j“ –ojo efektyvumo rodiklio reikšmė.

Tada, sprendimų matrica „P“ yra normalizuojama, atliekant vektorinę normalizaciją, kuri yra pavaizduota formulėje (2.2):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2.2)$$

Suskaičiuota normalizuotoji matrica “ \bar{P} ”, kurios visos pateiktos efektyvumo reikšmės yra bedimensiai dydžiai (2.3):

$$\bar{P} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Tarkime, kad jau yra žinomos rodiklių integruoto santykinio reikšmingumo reikšmės “ q_j^* ”:

$$q_j^*, (j = \overline{1, n}). \quad (2.4)$$

Tada, taikant formulę (2.5), sudaroma svertinė normalizuota matrica “ \bar{P}^* ”:

$$\bar{P}^* = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1^* \bar{x}_{11} & q_2^* \bar{x}_{12} & \dots & q_n^* \bar{x}_{1n} \\ q_1^* \bar{x}_{21} & q_2^* \bar{x}_{22} & \dots & q_n^* \bar{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_1^* \bar{x}_{m1} & q_2^* \bar{x}_{m2} & \dots & q_n^* \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Idealiai geriausias variantas (geriausia alternatyva) yra nustatomas pagal šią formulę (2.6):

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n\} \quad (2.6)$$

Neigiamai idealus variantas (blogiausia alternatyva) yra nustatomas pagal formulę (2.7):

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n\} \quad (2.7)$$

Šioje formulėje: “J” yra rodiklių indeksų aibė, kurių didžiausios reikšmės yra geresnės, o “J’” – rodiklių indeksų aibė, kurių mažiausios reikšmės yra geresnės.

Pagal formulę (2.8) bus surandamas atstumas tarp idealiai geriausio varianto “A⁺” ir lyginamojo i-tojo. Jis skaičiuojamas randant atstumą n –atėje Euklido erdvėje:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}), \quad (2.8)$$

atstumas tarp neigiamai idealaus “A⁻” ir i-ojo bus surandamas pagal formulę (2.9):

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}), \quad (2.9)$$

Paskutiniu šio metodo „TOPSIS“ žingsniu yra surandamas kiekvieno i-tojo varianto atstumas iki idealiai geriausio varianto. Tai nustatoma pagal (2.10) formulę:

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1] \quad (2.10)$$

Kuo „K_i“ reikšmė yra artimesnė vienetui, tuo šis variantas yra artimesnis idealiajam taškui, t. y. naudingiausias variantas bus tas, kurio reikšmė „K_i“ bus didžiausia.

2.1.2. Antrasis skaičiavimo metodas – „SAW“

Metodas yra sukurtas ir apibendrintas MacCrimmon mokslininko [46]. Šis daugiatikslis skaičiavimo būdas yra paprastasis adityvus svorių metodas. Jis pasižymi tuo, kad yra vienas iš paprasčiausių, bet taip pat plačiai, taikomų metodų. Metodo pagrindiniai įvesties duomenys yra sprendimų matrica bei surastos rodiklių reikšmingumo reikšmės. Principiniai „SAW“ metodo skaičiavimo žingsniai (skaičiavimo eigos algoritmas) yra du:

- normalizuojama sprendimų matrica;
- normalizuotosios matricos kiekvienas narys yra dauginamas su jo reikšmingumo santykinės reikšmės ir taip pat yra sudedamas su kitais alternatyvos nariais.

2.1.3. Trečiasis skaičiavimo metodas – „COPRAS“

Daugiatikslis sprendimo priėmimo metodas „COPRAS“ yra sukurtas 1997 metais Zavadsko ir Kaklauskio mokslininkų [47]. Šis metodas yra kompleksinio proporcingumo vertinimo būdas. Pagrindinis metodo skaičiavimo principas – lyginamųjų visų alternatyvų santykinis reikšmingumas. Jisai yra nustatomas, remiantis teigiamomis ir neigiamomis, juos apibūdinančiomis savybėmis. Kuo alternatyvų santykinė reikšmė didesnė, tuo pati alternatyva tiksliau atitinka sprendimo rezultatą, pagal priimančio žmogaus poreikius. Principiniai „COPRAS“ metodo skaičiavimo žingsniai (skaičiavimo algoritmas) yra šeši:

- Sudaroma sprendinių pagrindinė matrica;
- Sudarytos matricos visi elementai yra normalizuojami;

- Normalizuotos sprendimų matricos visus elementus dauginant su reikšmingumo reikšmėmis (atitinkamų rodiklių) bus gauta - svertinė normalizuota sprendimų matrica;
- Apskaičiuojamos minimizuojamų ir maksimizuojamų rodiklių sumos svertinėje normalizuotoje sprendinių matricoje;
- Apskaičiuojamas visų alternatyvų santykinis reikšmingumas, efektyvumas;
- Sudaroma visų alternatyvų prioritėtinė aibė, t.y. visas alternatyvas suranguojame. Kuo didesnis gautas rezultatas, tuo alternatyvos reikšmingumas (racionalumas) yra didesnis [34].

2.2. Įranga ir medžiagos naudojamos eksperimento metu

2.2.1. Medžiagos

Titano dioksidas

Eksperimentui atlikti buvo pasirinktas dviejų rūšių titano dioksidas:

- 1) Pramoninis, miltelių pavidalo, pigmentas – Cristal firmos „TiONA 128“.



13 pav. Titano dioksidas [35]

Pigmento ypatybės:

- gryno titano dioksido – 95%
- aliuminio hidroksidas, cirkonio oksidas – 5%
- pH - 7,3
- virimo temperatūra ~ 2800 °C
- lydymosi temperatūra ~ 1800 °C
- tūrinis tankis – 0,64-0,88 kg/l

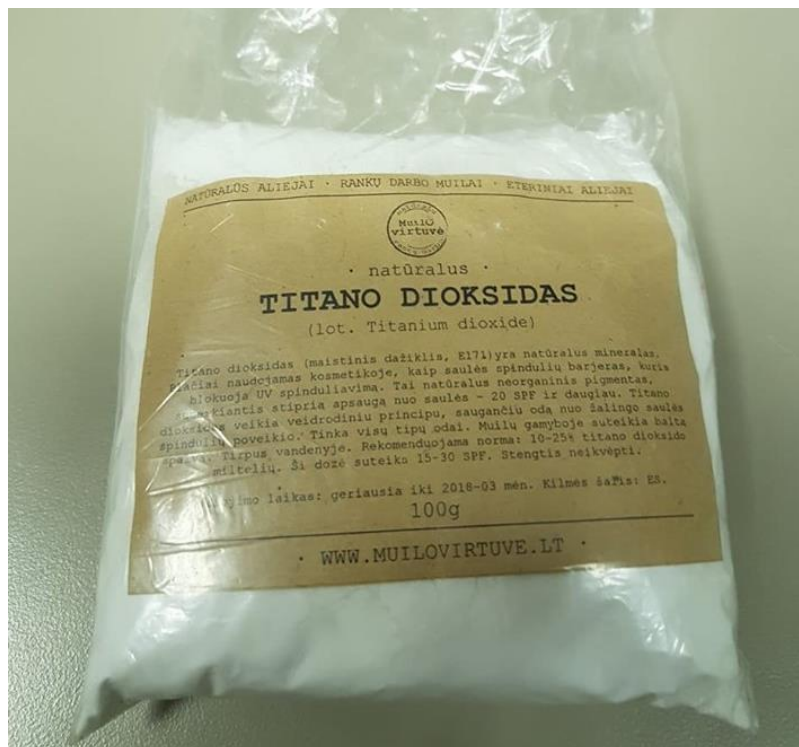
Pagrindiniai privalumai:

- puikus patvarumas
- geros optinės savybės
- didelis atspalvio stiprumas
- geras blizgesys
- lengvai išsisklaido
- nedegus
- tirpus vandenyje;

Rekomenduojamas naudoti:

- dekoratyvinėms, architektūrinėms vidinėms ir išorinėms dangoms
- pramonės dangoms
- apdailos darbams
- dažams

2) Natūralus arba „maistinis“ titano dioksidas.



14 pav. Titano dioksidas

Tai yra natūralus neorganinis pigmentas. Mineralas, plačiai naudojamas kosmetikoje, kaip saulės spindulių barjeras, kuris blokuoja (sugeria) saulės ultravioletinį spinduliavimą. Taip pat naudojamas maisto pramonėje, kaip maistiniai dažai „E171“ (miltelių pavidalu). Pigmentas tirpus vandenyje. Ypatybės tokios pat, kaip aukščiau išvardyto titano dioksido tipo. Sudėtis – titano dioksidas 100%.

Šiuos titano dioksido miltelius maišysime su dažais ir tepsim ant stogo dangos bandinių, su kuriais bus atliekamas tyrimas [36-37].

Beasbestiniai stogo lakštai.

Šie lakštai yra saugi beasbestinė stogo danga, kuri pagaminta iš cemento, celiuliozės, kalkakmenio, vandens. Taip pat jų sudėtyje yra polivinilo acetato (PVA) – kuris pakeitė prieš tai šiferinėse dangose buvusį asbestą. Pluoštinis cementas pasižymi stipriu atsparumu aplinkos veiksnių poveikiui, dėl to, ši danga - ilgai saugos namų stogą. O šių laikų gamyba siūlo platų, tokių dangų pasirinkimą pagal bangos tipą, formą ir spalvą, kas tikrai leis pasirinkti pratišką, optimalų ir estetišką sprendimą.



15 pav. Beasbestinis stogo lakštas

Lakštai bus supjaustomi į mažesnio ploto bandinius. Ant jų bus tepami dažai, kurie bus sumaišyti su titano dioksidu, o su paruoštais bandiniais bus galima daryti tyrimą [38].

Standartinio lakšto pagrindinės savybės:

- Ilgas eksploatacinis laikotarpis (≥ 35);
- Didelis paviršiaus atsparumas drėgmei ir erozijai;
- Atsparumas puvimui;
- Aukšta degimo atsparumui klasė;
- Aukštas paviršiaus atsparumas mechaniniams pažeidimams;
- Mažas temperatūrinis plėtimasis;
- Mažinantis išorinių veiksnių garso poveikį.

1 lentelė. Standartinio lakšto parametrai

| Lakšto parametrai | Rodiklis |
|---|-----------------|
| Bangų aukštis, mm | 57 |
| Plotis (bendras), mm | 920 |
| Ilgis (bendras), mm | 875 |
| Plotas (bendras), m ² /vnt | 0,805 |
| Naudingas (dengimo) plotas, m ² /vnt | 0,65 |
| Storis, mm | 6±0,5 |
| Svoris, kg | 11 ±0,5 |

2.2.2. Įranga

Svarstyklės

Elektroninis įrenginys – „GR-202 Nr.14210265“. Su jomis galima sverti medžiagas, kurių masė ne didesnė, nei 200g. Svarstyklės pasižymi geru tikslumu (0,01 mg). Jose yra automatinis vidinis kalibravimas. Medžiagos sveriamos ant nerūdijančio plieno platformos (diametras 80 mm), kuri yra uždaroje, stačiakampio formos, stiklinėje kameroje. Jos bus naudojamos titano dioksido miltelių, dažų, bei bandinių svorių matavimams atlikti [39].



16 pav. Medžiagų svarstyklės

Ultragarsinė homogenizavimo įranga

Ultragarsinis laboratorijos prietaisas. Ši įranga yra kompaktiška, lengvai naudojama ir itin universali. Prietaisas gali būti naudojamas įvairių, organinių ir neorganinių, medžiagų tam tikram perdirbimui. Paprastai ultragarso įrangos naudojamas apima: mėginių paruošimą, ląstelių sutrikimą, homogenizavimą, išskaidymą, dalelių dydžio mažinimą ir cheminių reakcijų paspartinimą (sonokinezija) [40]. Šį įrenginį naudosim titano dioksido dalelių dydžio mažinimui ir jo sumaišymui su dažais.



17 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga

Klimatinė kamera su ultravioletiniu apšvietimu

Klimatinė kamera arba pagreitinto sendinimo įranga: „QUV Spray“ (gamintojas „Q-Lab Industrines“, JAV) [48]. Kameros pagrindinė taikymo sritis yra nustatyti statybinių medžiagų ilgaamžiškumą. Joje yra automatinė temperatūros ir drėgmės kontrolė bei ultravioletinio apšvietimo „UVA-340“ lempos. Visa to paskirtis - užtikrinti kuo tikslesnį išorinį aplinkos poveikį bandiniams. Mėginių, buvusių kameroje, laiko trukmė yra matuojama kameros ciklais. Ciklą sudaro 300 minučių ultravioletinės spinduliuotės poveikio. Apšvitos intensyvumas $0,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, 340 nm ilgio bangų diapazonas. Ši laiko trukmė negali būti tiesiogiai paversta į natūralaus senėjimo trukmę, bet rezultatai netiesiogiai nurodo natūralaus senėjimo proceso intensyvumą. Remiantis tam tikrais pateiktais „ATLAS“ [49] įmonės duomenimis: veikiant „UVA 340“ lempomis ir esant apšvitos intensyvumui - $0,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, bei 340 nm ilgio bangų diapazone (kas atitinka saulės spektrą), galima teigti, kad 240 valandų ultravioletinės spinduliuotės sąlyginai atitinka vienerių metų natūralią saulės ultravioletinę spinduliuotę, vidutinio klimato juostoje, kokia ir yra pas mus - Lietuvoje.

Šis įrenginys bus naudojamas pagrindiniams tyrimo tikslams iširti, kaip dangos nusivalomumo ir oro taršos skaidymo efektams. Juos bandysim sukelti su ultravioletine spinduliuote. Taip pat, bus galima pamatyti ir kitus rezultatus, kaip bandinio galimo spalvos pokyčio ir ilgaamžiškumo. Kitaip pasakius, šio įrenginio pagalba bus galima iširti mėginius juos veikiant kompleksiskai – ultravioletiniais spinduliais ir tam tikru vandens kiekiu. Visa tyrimo metodiką nusako „LST EN ISO 16474-1:2014 - Dažai ir lakai. Apšvitos laboratoriniais šviesos šaltiniais metodai.(1;2;3 dalis)“ standartas.[41;63]



18 pav. Klimatinė kamera su ultravioletiniu apšvietimu

Dujų analizatorius „MX6 iBrid“

Specialus prietaisas, fiksuojantis matuojamų dujų reikšmes. Su šiuo prietaisu bandysime įvertinti aplinkos taršos skaidymo efektą. Dujų analizatorius padės matuoti NO₂ dujų koncentracijos pokyčius [42].



19 pav. Dujų analizatorius „MX6 iBrid“

Skaitmeninis spalvos skaitytuvas

Tai yra spalvos kodo nustatymo prietaisas „NCS Xrite RM200“ pagalba galėsime tiksliau įvertinti bandinių paviršiaus spalvos pokyčius, nei tik vizualiai. Taip pat, galėsime nustatyti skirtumus ir dangos nusivalomumo efekto tyrime. Mėginių apžiūrą stengiamės atlikti pagal „LST EN ISO 13076:2012 – Dažai ir laikai. Apšvietimas ir dangų regimojo įvertinimo procedūra“ standartą, kuris nurodo tam tikrus reikalavimus apšvietimui, mėginių apžiūros metu [63].



20 pav. Skaitmeninis spalvos skaitytuvas

3. Eksperimentinė tyrimo dalis

3.1. Pasiruošimas tyrimams

Šio etapo tikslas pasiruošti reikalingas medžiagas – turimą dviejų tipų titano dioksidą, įrenginius ir bandinius. Bandiniai bus supjaustyti mažais lakštais, nudažyti dažais su sumaišytu titano dioksido pigmentu.

3.1.1. Titano dioksido paruošimas

Kaip ir buvo minėta aukščiau, eksperimentui atlikti bus pasirinktas dviejų tipų titano dioksidas:

- Cristal „TiONA 128“
- Natūralus, maisto pramonėje naudojamas TiO_2 .

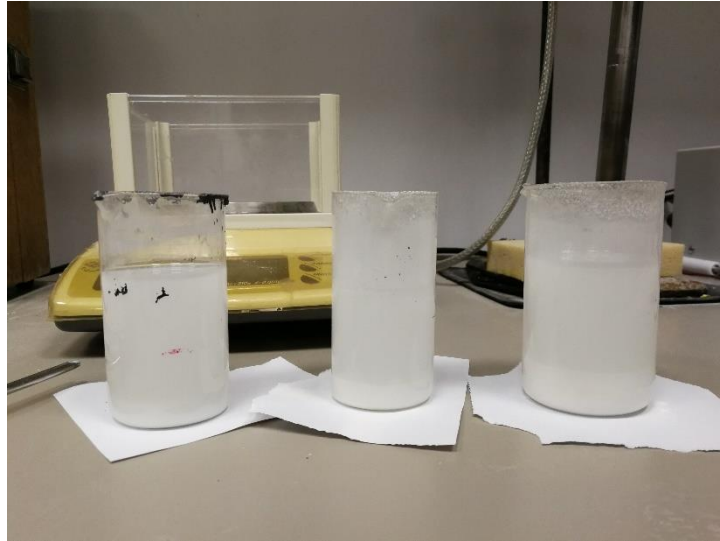
Keliuose moksliniuose straipsniuose buvo rasta informacija, kad miltelių pavidalo titano dioksidą galima pasmulkinti ultragarsu – iki nano dalelių, norint išgauti jo geresnes savybes, pasak šaltinio jis turėtų daug efektyviau veikti gaminyje. Susmulkinus titano dioksidą, padidės sąveikaujančių ryšių skaičius (dėl padidėjusio išskaidyto dalelių skaičiaus), nuo kurio ir priklausys visas efektyvumas [1-2].

Taip pat buvo rasta mokslinių straipsnių, kuriuose aprašoma, kad efektyvumą galima pakelti ir titano dioksidą gerai išmaišius su kita medžiaga (šio tyrimo metu – dažais). Kuo geriau išsimaišys titano dioksidas, tuo lygiau pasidengs visas dengiamas (šiuo metu dažomas) plotas, o tai padidins sąveikaujančių ryšių skaičių taip pat [3-4].

Taigi titano dioksido smulkinimui pasirinktas būdas yra ultragarsu (ultragarsinė homogenizavimo įranga). Suformuojami 3 ruošiniai (du ruošiniai su 3g titano dioksido, vienas su 5g), t.y. titano dioksido miltelius išmaišėme vandenyje ir paruoštas kolbas įstatėme į aparatą. Kiekvieną ruošinį ultragarsu veikėme po 5 minutes.



21 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga



22 pav. Ultragarsu smulkintas titano dioksidas

Tą patį procesą atlikome ir su natūraliu, maisto pramonei naudoti, skirtu titano dioksidu - padarėme 3 ruošinius (du ruošiniai su 3g - vienas su 5g). Suformuotus ruošinius, taip pat kaip ir praeitus, ultragarsu veikėme 5 minutes. Pastebėjimas – šis titano dioksido tipas sunkiau maišėsi su vandeniu, vizualiai matėsi nuosėdų sluoksnis ant kolbos dugno. Tai rodo galimybę, kad pramoninio titano dioksido išsisklaidymo ir tirpimo vandenyje savybės yra geresnės.

Visi šeši ruošiniai po smulkinimo ultragarsu buvo sudėti į kaitinimo krosnelę. Ten veikiant 100 °C temperatūrai buvo išgarinamas vanduo, o susmulkintas titano dioksidas liko nusėdęs ant kolbos kraštų ir dugno.



23 pav. Susmulkintas ir išdžiovintas titano dioksidas

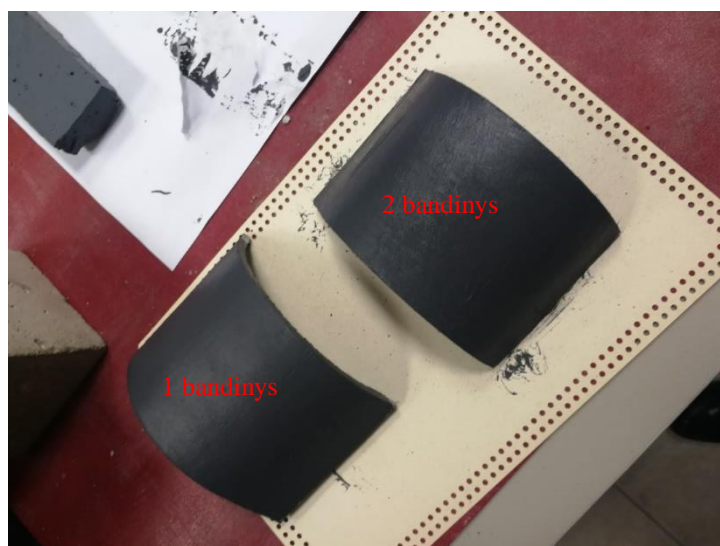
3.1.2. Pirmųjų bandinių paruošimas

Šio tyrimo etapo metu buvo pradėti ruošti pirmieji mėginiai. Tyrimo bandiniai – beasbestinė stogo danga nudažyta 1 sluoksniu dažų su tam tikru titano dioksido tipu ir jo koncentracija.

Gauti dažai buvo silikatiniai, kuriuose kietųjų dalelių kiekis pagal svorį yra $50\% \pm 2\%$, todėl dedami titano dioksidą į dažų masę, svorį skaičiuosim nuo dažų santykinės svorio vertės.

Pirmasis mėginys buvo padarytas su smulkintu pramoniniu titano dioksidu. Taigi, į dažų masę įdedama 10% titano dioksido, kad milteliai geriau pasklistų ir pasiskirstytų, buvo nuspręsta esamą ruošinį maišyti pasitelkiant ultragarsą. Gautais dažais nudažytas bandinys paliekamas nudžiūti.

Antrojo mėginys buvo daromas su smulkintu natūraliuoju titano dioksidu. Buvo atsverta 10% miltelių nuo santykinės dažų masės. Tačiau, turimus pigmento miltelius su dažais buvo nuspręsta sumaišyti emulsijos pavidalu, t.y. titano dioksidą pirmiau išmaišyti vandenyje, o tik paskiau supilti į dažus. Maišymas atliekamas mechaniniu būdu (ranka). Tikslas – išsiaiškinti ar tokiu metodu pigmentas geriau pasiskirsto dažuose ir tuo pačiu ant bandinio. Nudažytas bandinys paliktas nudžiūti.



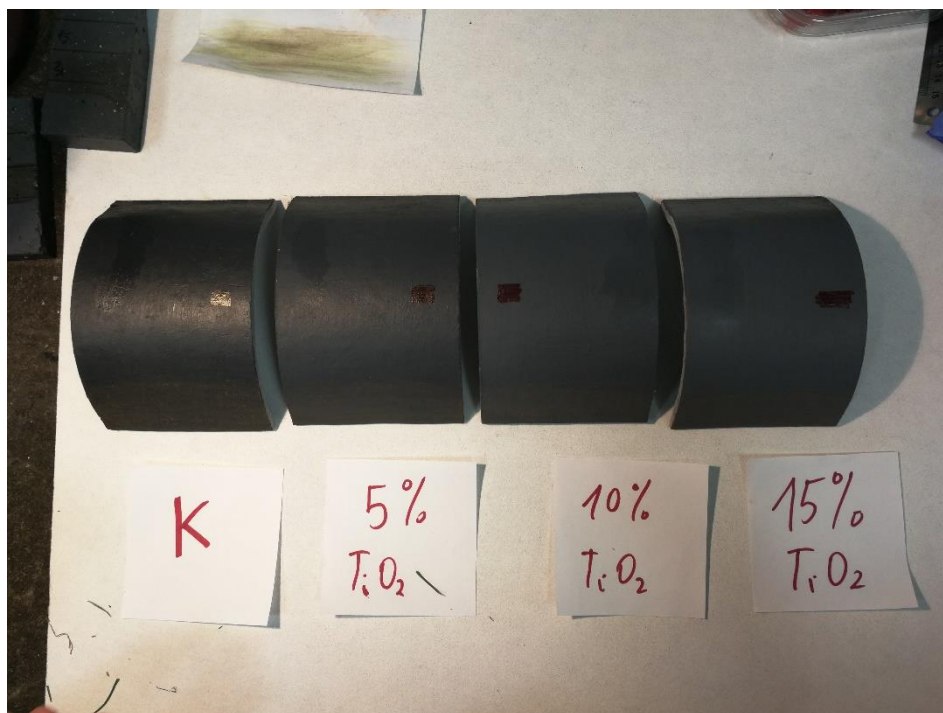
24 pav. Pirmieji nudažyti bandiniai

2 lentelė. Pirmo etapo bandinių specifikacija

| Bandinio Nr. | TiO ₂ rūšis | Konc., % | Bandinio masė prieš dažymą, g | Bandinio masė po dažymo, g | Bandinio plotas, m ² | Dažų išeiga, g/m ² | TiO ₂ išeiga, g/m ² |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 bandinys | Pramoninis | 10 | 158,275 | 160,272 | 0,02 | 99,85 | 9,985 |
| 2 bandinys | Natūralus | 10 | 154,398 | 156,03 | 0,015 | 108,8 | 10,88 |

3.1.3. Papildomų mėginių darymas

Norint gauti kuo tikslesnius paviršiaus nusivalomumo tyrimus reikėtų turėti didesnę bandinių diapazoną. Dėl to buvo paruošti dar 4 papildomi bandiniai su pramoniniu neskaidytu titano dioksidu. Pigmentas į dažus buvo maišomas mechaniniu būdu (ranka). Bandiniai padengiami dažais, kurių sudėtyje buvo 5%, 10%, 15% titano dioksido, o vienas mėginys pagamintas, kaip kontrolinis, be pridėtinio pigmento.



25 pav. Paruošti sekantys bandiniai

3 lentelė. Antro etapo bandinių specifikacija

| Bandinio Nr. | TiO ₂ rūšis | Konc., % | Bandinio masė prieš dažymą, g | Bandinio masė po dažymo, g | Bandinio plotas, m ² | Dažų išėiga, g/m ² | TiO ₂ išėiga, g/m ² |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 bandinys | Pramoninis | 10 | 158,275 | 160,272 | 0,02 | 99,85 | 9,985 |
| 2 bandinys | Natūralus | 10 | 154,398 | 156,03 | 0,015 | 108,8 | 10,88 |
| 3 bandinys | Kontrolinis | 0 | 161,346 | 163,658 | 0,0208 | 111,1538 | 0 |
| 4 bandinys | Pramoninis | 5 | 159,916 | 161,871 | 0,0195 | 100,2564 | 5,0128205 |
| 5 bandinys | Pramoninis | 10 | 161,831 | 163,948 | 0,0222 | 95,36036 | 9,536036 |
| 6 bandinys | Pramoninis | 15 | 162,042 | 164,274 | 0,0224 | 99,64286 | 14,946429 |

3.1.4. Pasiruošimas savaiminio nusivalomumo tyrimui

Visi šeši bandiniai buvo nudažyti markeriu – žymekliu ir padengti laku. Tada jie buvo įdėti į ultravioletinių spindulių kamerą vienam ciklui (300 minučių), kas atitinka 7-8 dienų ultravioletinę spinduliuotę natūralioje aplinkoje. Kameroje buvo nustatyti drėgmės ir temperatūros parametrai panašūs į esančius mūsų aplinkoje – temperatūra nustatyta apie 21 °C, o drėgmė laikėsi ~ 60%. Deja, bet tokio tipo teršalai, po vieno ciklo, ant mėginio paviršiaus neparodė jokio nusivalomumo efekto. Tada buvo nutarta, kad bandinius verta ir galima padengti, dėl platesnio tyrimo spektro, teršalais,

kurie natūraliai gali susidaryti supančioje aplinkoje. Buvo pasirinkta stipria spalva pasižymintys produktai: žolė, gervuogė, arbatos ekstraktas, šilauogė ir avietė.

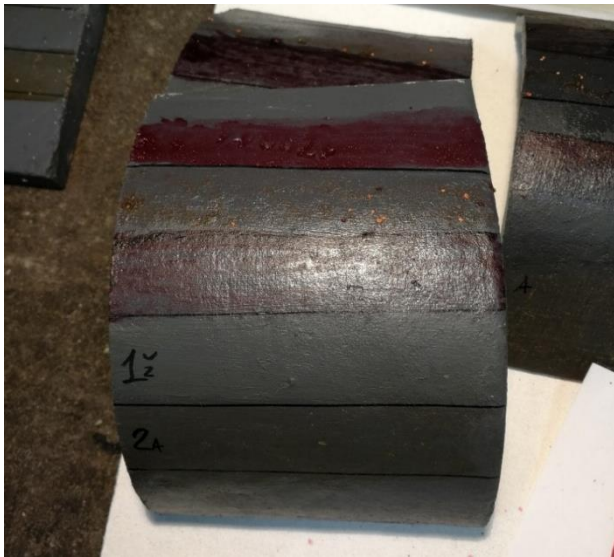


26 pav. Bandinys padengtas teršalais

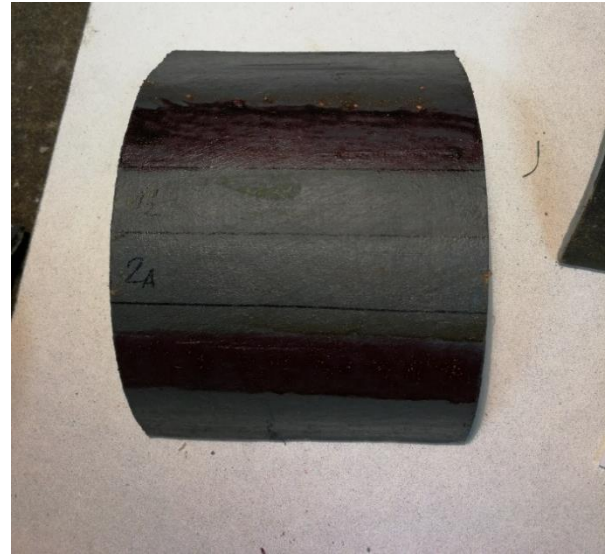
Padengus mėginių paviršius šiais teršalais, jie paliekami nudžiūti. Vėliau, skaitmeniniu spalvos skaitytuvu (27 pav.) buvo nustatomas kiekvieno mėginio ir ant jo esančių teršalų spalvos kodas. Visi paruošti mėginiai (28 - 33 pav.) dedami į ultravioletinių spindulių kamerą su tokiais pačiais nustatytais parametrais. Bandinių bendra specifikacija ir spalvos kodai pateikti 4 ir 5 lentelėse.



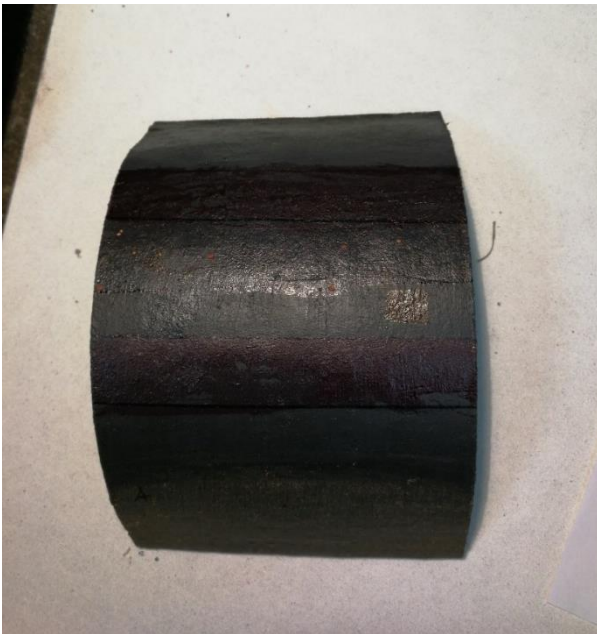
27 pav. Spalvos kodo nustatymas



28 pav. Pirmasis bandinys



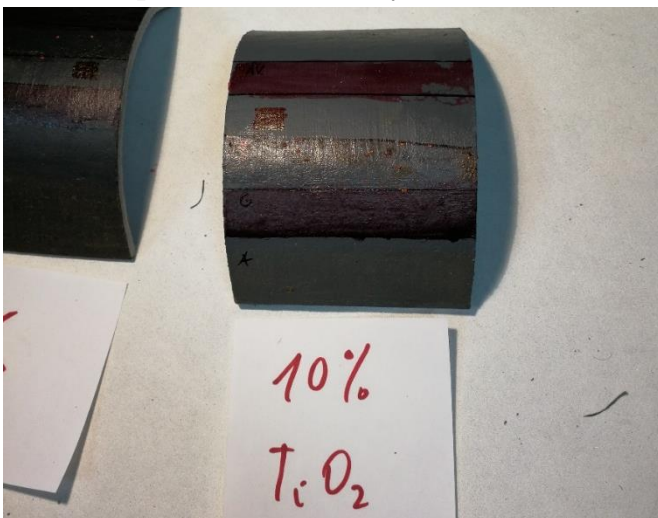
29 pav. Antrasis bandinys



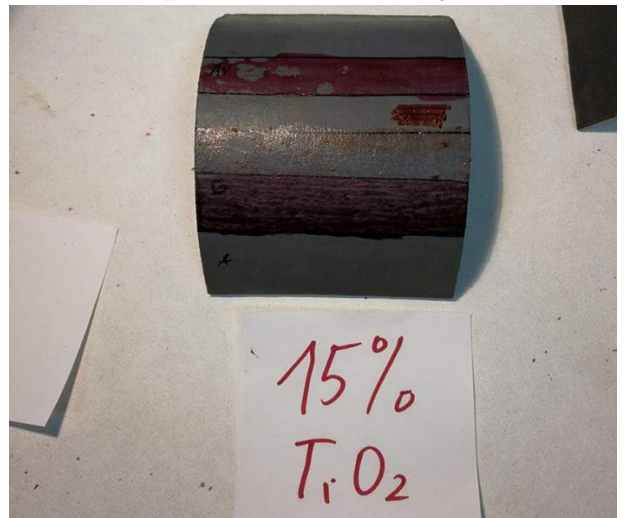
30 pav. Trečiasis bandinys



31 pav. Ketvirtasis bandinys



32 pav. Penktasis bandinys



33 pav. Šeštasis bandinys

4 lentelė. Esamų bandinių pilna informacija

| Bandinio Nr. | TiO ₂ rūšis | Konc., % | Maišymui naudota dažų masė, g | Sąlyginą dažų masė (50%), g | Įdėtas TiO ₂ | Bandinio masė prieš dažymą, g | Bandinio masė po dažymo, g | Bandinio plotas, m ² | Dažų išeiga, g/m ² | TiO ₂ išeiga, g/m ² |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 bandinys | Pramoninis | 10 | 32,909 | 16,455 | 1,644 | 158,275 | 160,272 | 0,02 | 99,85 | 9,985 |
| 2 bandinys | Natūralus | 10 | 29,329 | 14,665 | 1,292 | 154,398 | 156,03 | 0,015 | 108,8 | 10,88 |
| 3 bandinys | Kontrolinis | 0 | 10,246 | 5,123 | 0 | 161,346 | 163,658 | 0,0208 | 111,1538 | 0 |
| 4 bandinys | Pramoninis | 5 | 24,813 | 12,407 | 0,613 | 159,916 | 161,871 | 0,0195 | 100,2564 | 5,0128205 |
| 5 bandinys | Pramoninis | 10 | 26,159 | 13,080 | 1,297 | 161,831 | 163,948 | 0,0222 | 95,36036 | 9,536036 |
| 6 bandinys | Pramoninis | 15 | 27,856 | 13,928 | 2,189 | 162,042 | 164,274 | 0,0224 | 99,64286 | 14,946429 |

5 lentelė. Esamų bandinių spalvos kodai

| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | | | | | |
|--------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Žymeklis | Lakas |
| 1 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 8000 – N | - | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8005 – R50B | S 8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | S 7502 – B |
| 4 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 7502 – R | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 7005 – B20G | S 8010 – Y90R | S 7502 – B |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 6502 - N | S 7502 - R | S 7005 – R80B |
| 6 bandinys | S 6005 – R80B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 6020 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - B | S 7502 - R | S 7005 – R80B |

3.2. Paviršiaus savaiminio nusivalomumo tyrimas

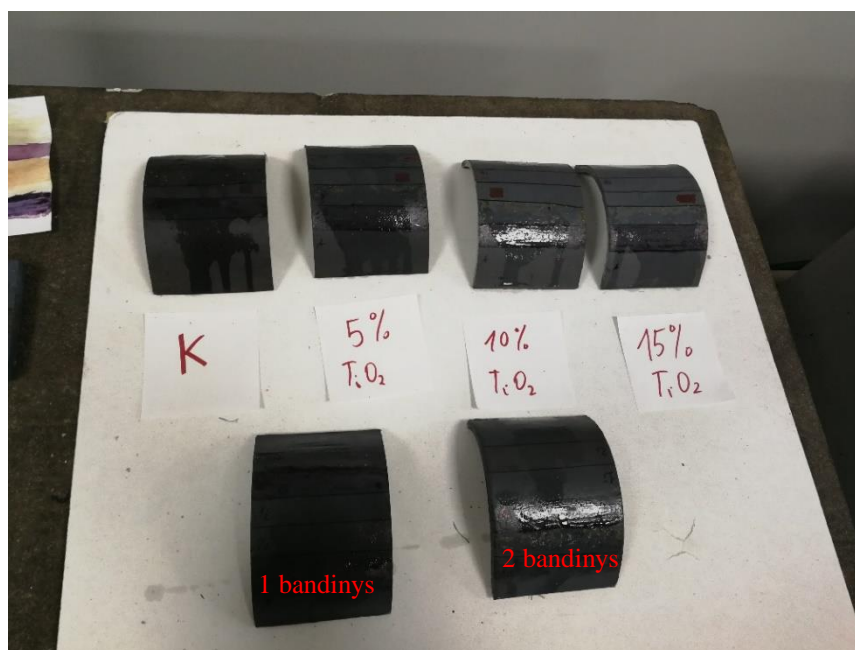
3.2.1. Pirmos tyrimo išvalgos

Šio etapo metu vizualiai ir su skaitmeniniu spalvos skaitikliu ištyrėm prieš tai dažytus mėginius. Bandiniai prabuvo 3 ciklus (900 minučių) ultravioletinių spindulių kameroje, kurioje buvo nustatyta temperatūra 21 °C ir drėgnumas – ~60%, o tai atitinka 22-23 dienų ultravioletinę spinduliuotę natūralioje aplinkoje.



34 pav. Ultravioletinių spindulių kameros nustatyti parodymai

Išėmę bandinius iš kameros, vizualiai galėjome pastebėti nežymius skirtumus: daugumos mėginių paviršius buvo šiek tiek šviesesnis. Tada buvo nuspręsta, kad mėginius vertėtų apipilti vienodu vandens kiekiu (~20 ml), taip imituojant lietaus poveikį stogo dangai.



35 pav. Bandiniai po pirmų ciklų kameroje ir apipilti vandeniu

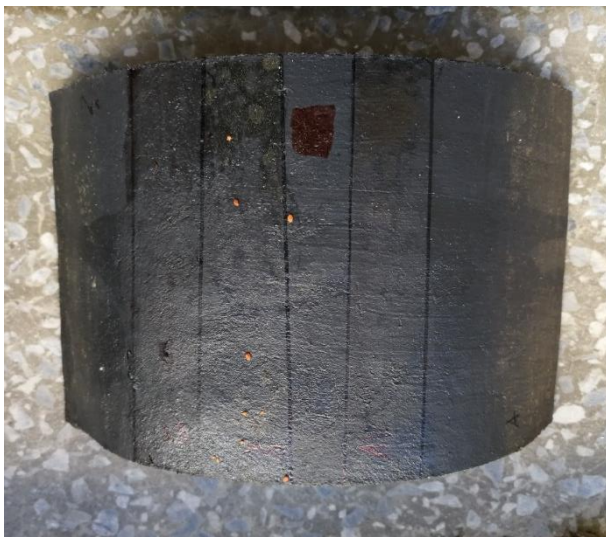
Apipilti mėginiai dar vienam ciklui (300 minučių) buvo įdėti į kamerą. Taigi, bandiniai iš viso prabuvo ultravioletinių spindulių kameroje 4 ciklus (1200 minučių), kas atitinka vieno mėnesio ultravioletinę spinduliuotę natūralioje aplinkoje ir apipilti tam tikru vandens kiekiu, yra toliau tiriami vizualiai ir su skaitmeniniu spalvos prietaisu. Visi mėginiai po keturių ciklų kameroje yra pavaizduoti (36 – 41 pav.), o spalvos kodai surašyti 6 lentelėje.



36 pav. Pirmasis bandinys po 4 ciklų



37 pav. Antrasis bandinys po 4 ciklų



38 pav. Trečiasis bandinys po 4 ciklų



39 pav. Ketvirtasis bandinys po 4 ciklų



40 pav. Penktasis bandinys po 4 ciklų



41 pav. Šeštasis bandinys po 4 ciklų

6 lentelė. Esamų bandinių spalvos kodų kaita

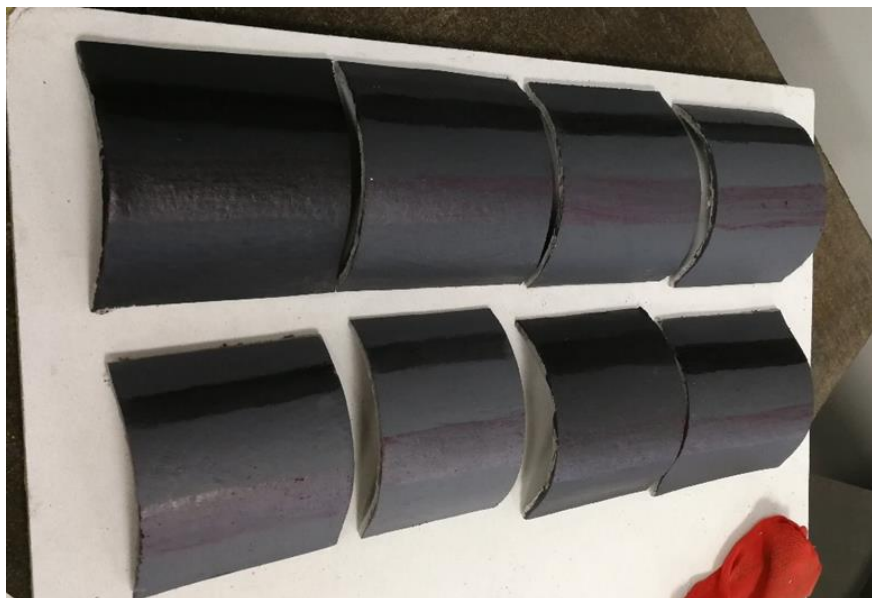
| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Žymeklis | Lakas |
| 1 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 8000 – N | S 8000 – N | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8005 – R50B | S 8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | S 7502 – B |
| 4 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 7502 – R | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 7005 – B20G | S 8010 – Y90R | S 7502 – B |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 6502 - N | S 7502 - R | S 7005 – R80B |
| 6 bandinys | S 8005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 6020 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - B | S 7502 - R | S 7005 – R80B |
| Pirmi 6 bandiniai po 4 ciklų UV kameroje ir nulieti vandeniu (~20ml) prieš ketvirtąjį ciklą (1 mėn. UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | | | | | |
| 1 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 7500 – N | S 7010 – R50B | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 | S 7502 | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8005 – R50B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | Neliko |
| 4 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 8010 – Y90R | Neliko |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7000 – N | S 7005 – R50B | S 7020 - R | Neliko |
| 6 bandinys | S 6005 – R80B | S 7005 – R50B | S 6502 – B | S 6502 – B | S 7000 – N | S 6502 – B | S 7020 - R | Neliko |

Iš pirmų gautų duomenų su skaitmeniniu spalvos prietaisu galime pastebėti, kad bandinių spalva nepakito (minimaliai pašviesėjo), tačiau teršalų kiekis blunka (didesnis skaičius rodo ryškesnį spalvos atspalvį). Gervuogės ir šilauogės teršalų atspalviai neliko toki pat ryškūs. Lako dėmės iš vis nesimatė. Likusių teršalų skirtumas nėra didelis. Taip pat, verta paminėti, kad didžiausias pastebėtas skirtumas, tiriant savaiminio paviršiaus nusivalomumo efektą, atsirado, kai bandiniai buvo apipilti vandeniu.

3.2.2. Paviršiaus nusivalomumo tyrimo tęsimas

Taip pat, šio etapo metu buvo paruošti keletas papildomų mėginių, tik šį kartą jie buvo nudažyti su smulkintu maistiniu ir pramoniniu titano dioksidu. Pigmento ir dažų maišymas buvo atliekamas mechaniniu būdu (ranka). Šių bandinių pagalba bus bandoma palyginti gautus savaiminio paviršiaus nusivalomumo rezultatus tarp smulkinto ir nesmulkinto titano dioksido, bei įvertinti koks kiekis titano dioksido gaminyje veiks efektyviausiai. Taip pat, bus bandoma iširti ar skirtingas pigmento tipas rodys skirtingus paviršiaus savaiminio nusivalomumo rezultatus.

Taigi, su dažais, kuriuose buvo įmaišytas pramoninis titano dioksidas, susmulkintas ultragarsu, buvo padengti sekantys penki bandiniai. Į dažų sudėti įėjo šios titano dioksido koncentracijos: 5, 10, 12, 15, 18%. Taip pat, su dažais, kuriuose buvo įmaišytas natūralias titano dioksidas (irgi smulkintas ultragarsu), buvo padengti dar du mėginiai. Šie bandiniai nudažyti su 5% ir 10% titano dioksido koncentracijomis. Nudažytas ir dar vienas papildomas kontrolinis bandinys. Vėliau, išdžiovintiems bandiniams buvo nustatytas paviršiaus spalvos kodas. Šio etapo pradžioje, buvo nuspręsta panaudoti kitokius teršalus: anglį bei burokėlį, kuriuos užtepėm ant visų naujai padarytų mėginių.



42 pav. Nauji aštuoni bandiniai padengti teršalais

Tačiau, dėl bendrų ir tikslesnių rezultatų, buvo panaudoti praeito tyrimo etapo teršalai. Teršalų spalvos kodas buvo taip pat nustatytas su skaitmeniniu spalvos prietaisu. Visų bandinių specifikacijos ir spalvų kodai pateikti žemiau esančiose 7 ir 8 lentelėse.

7 lentelė. Papildyta visų bandinių specifikacija

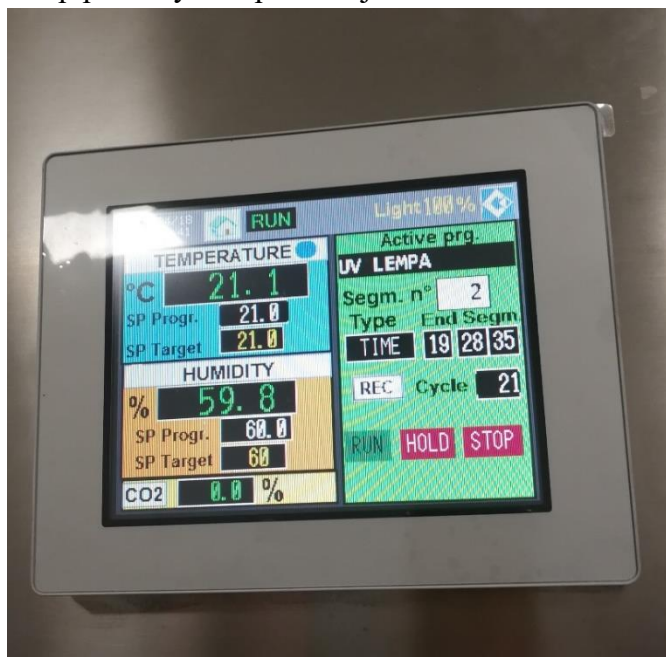
| Bandinio Nr. | TiO ₂ rūšis | Konc., % | Maišymui naudota dažų masė, g | Sąlygina dažų masė (50%), g | Įdėtas TiO ₂ | Bandinio masė prieš dažymą, g | Bandinio masė po dažymo, g | Bandinio plotas, m ² | Dažų išeiga, g/m ² | TiO ₂ išeiga, g/m ² |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 bandinys | Pramoninis | 10 | 32,909 | 16,455 | 1,644 | 158,275 | 160,272 | 0,02 | 99,85 | 9,985 |
| 2 bandinys | Natūralus | 10 | 29,329 | 14,665 | 1,292 | 154,398 | 156,03 | 0,015 | 108,8 | 10,88 |
| 3 bandinys | Kontrolinis | 0 | 10,246 | 5,123 | 0 | 161,346 | 163,658 | 0,0208 | 111,153 | 0 |
| 4 bandinys | Pramoninis | 5 | 24,813 | 12,407 | 0,613 | 159,916 | 161,871 | 0,0195 | 100,256 | 5,012 |
| 5 bandinys | Pramoninis | 10 | 26,159 | 13,080 | 1,297 | 161,831 | 163,948 | 0,0222 | 95,360 | 9,536 |
| 6 bandinys | Pramoninis | 15 | 27,856 | 13,928 | 2,189 | 162,042 | 164,274 | 0,0224 | 99,642 | 14,946 |
| 7 bandinys | Pramoninis | 5 | 21,147 | 10,574 | 0,528 | 164,439 | 166,536 | 0,0235 | 89,234 | 4,461 |
| 8 bandinys | Pramoninis | 10 | 24,368 | 12,184 | 1,218 | 165,027 | 167,759 | 0,024 | 113,833 | 11,383 |
| 9 bandinys | Pramoninis | 12 | 22,756 | 11,378 | 1,365 | 162,048 | 164,76 | 0,0224 | 121,071 | 14,528 |
| 10 bandinys | Pramoninis | 15 | 20,821 | 10,411 | 1,561 | 163,501 | 165,556 | 0,0225 | 91,333 | 13,7 |
| 11 bandinys | Pramoninis | 18 | 24,917 | 12,459 | 2,242 | 158,751 | 160,968 | 0,0185 | 119,837 | 21,570 |
| 12 bandinys | Maistinis | 5 | 22,003 | 11,002 | 0,550 | 163,281 | 165,613 | 0,022 | 106 | 5,3 |
| 13 bandinys | Maistinis | 10 | 21,427 | 10,714 | 1,071 | 164,579 | 166,879 | 0,0235 | 97,872 | 9,787 |
| 14 bandinys | Kontrolinis | 0 | 13,057 | 6,529 | 0 | 164,307 | 167,719 | 0,023 | 148,347 | 0 |

8 lentelė. Visų bandinių spalvos kodai

| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|----------------|------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Žymeklis | Lakas | Anglis | Burokas |
| 1 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S S7010 – R30B | S 8000 – N | S 8000 – N | - | - | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | - | - | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8005 – R50B | S S8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | S 7502 – B | - | - |
| 4 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 7502 – R | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 7005 – B20G | S 8010 – Y90R | S 7502 – B | - | - |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 6502 - N | S 7502 - R | S 7005 – R80B | - | - |
| 6 bandinys | S 8005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 6020 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - B | S 7502 - R | S 7005 – R80B | - | - |
| Pirmi 6 bandiniai po 4 ciklų UV kameroje ir nulieti vandeniu (~20ml) prieš ketvirtąjį ciklą (1 mėn. UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | | | | | | | |
| 1 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 7500 – N | S 7010 – R50B | - | - | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 | S 7502 | - | - | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8005 – R50B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | Neliko | - | - |
| 4 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 7500 – N | 7502 – B | S 8010 – Y90R | Neliko | - | - |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7000 – N | S 7005 – R50B | S 7020 - R | Neliko | - | - |
| 6 bandinys | S 6005 – R80B | S 7005 – R50B | S 6502 – B | S 6502 – B | S 7000 – N | S 6502 – B | S 7020 - R | Neliko | - | - |
| Papildomai paruošti nauji bandiniai | | | | | | | | | | |
| 7 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | - | - | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 8 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | - | - | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 9 bandinys | S 7005 – R80B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 8000 – N | - | - | S 8000 - N | S 7010 – R50B |
| 10 bandinys | S 6005 – R80B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - N | - | - | S 7502 - B | S 7005 – R50B |
| 11 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7020 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | - | - | S 7502 - B | S 7005 – R50B |
| 12 bandinys | S 7502 - B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 8000 – N | - | - | S 8500 - N | S 7010 – R50B |
| 13 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 8000 – N | - | - | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 14 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - N | - | - | S 8500 | S 8005 – R50B |

3.2.3. Paviršiaus nusivalomumo tyrimo užbaigimas

Šiame etape mėginiai buvo ištraukti iš ultravioletinės spinduliuotės kameros po dar 17 ciklų (5100 minučių), o tai atitinka 130 dienų (šiek tiek daugiau nei 4 mėnesiai) saulės ultravioletinių spindulių kiekį natūralioje aplinkoje. Kameroje, kaip ir įprastai buvo nustatyta temperatūra 21 °C ir drėgmė ~60%. Ištraukti bandiniai vizualiai ir su skaitmeniniu spalvos prietaisu iširti dėl paviršiaus savaiminio nusivalomumo efekto. Teršalų dėmės nežymiai mažėjo, be to ir bluko jų atspalvis (valėsi), kai kurių mėginių spalva taip pat nežymiai pašviesėjo.



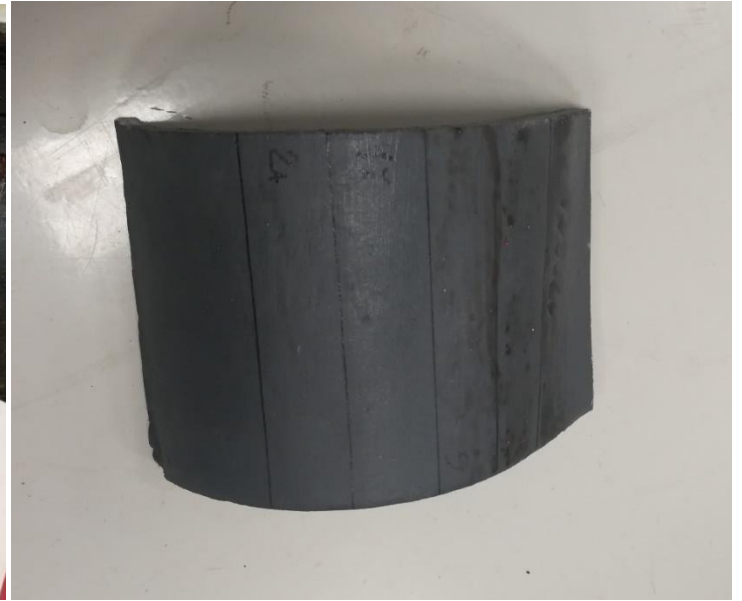
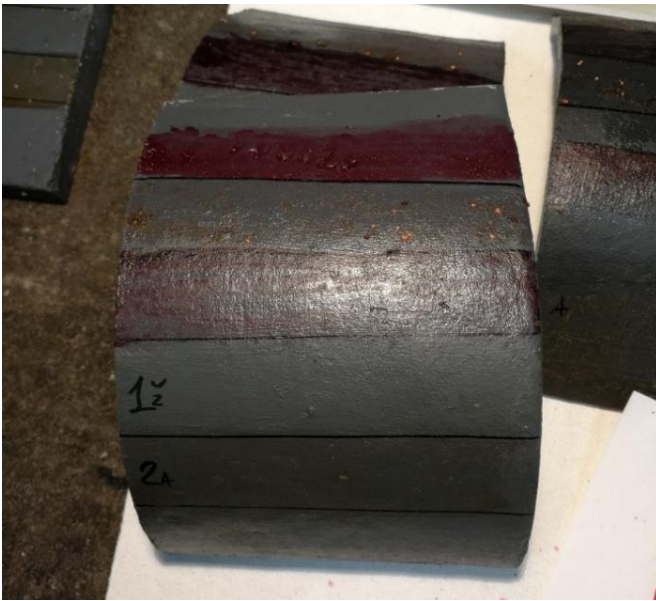
43 pav. Kameros parodymai nustatant bandinių spalvos kodą

Vėliau buvo nuspręsta, kad verta pakartoti vandens apipylimo procesą, nes titano dioksido geriausias efektas ir yra pasiekiamas, kai dangos paviršių veikia drėgmė ir ultravioletinė spinduliuotė. Taigi, tik šį kartą drėkinimo procesą buvo nuspręsta pakartoti daugiau dienų (imituojant lietaus ilgalaikį poveikį). Todėl, septynias dienas iš eilės visi bandiniai buvo apipilami vienodu vandens kiekiu (~ 20ml), o tada dedami atgal į UV spindulių kamerą. Po viso šio proceso matėsi nemaži vizualūs skirtumai, kurių geriausi rezultatai yra pavaizduoti nuotraukose (44 - 46 pav.), o nustatyti spalvos kodai visų bandinių surašyti į 9 ir 10 lenteles.

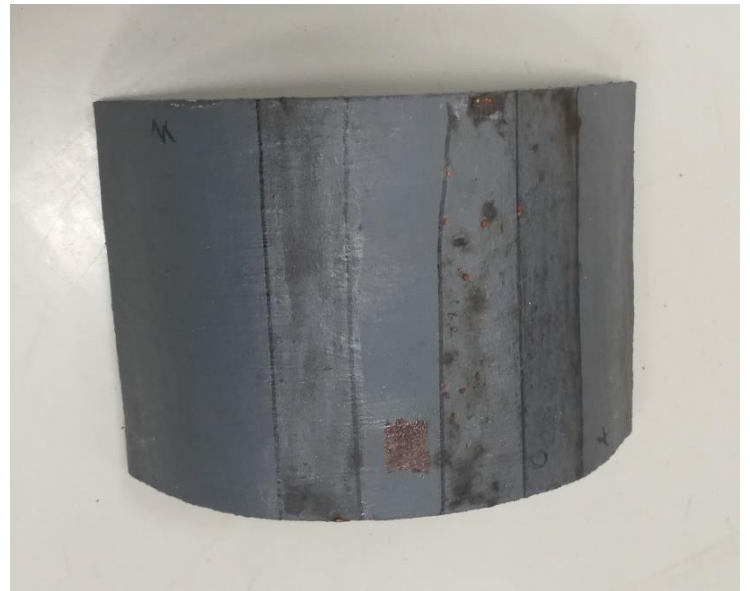
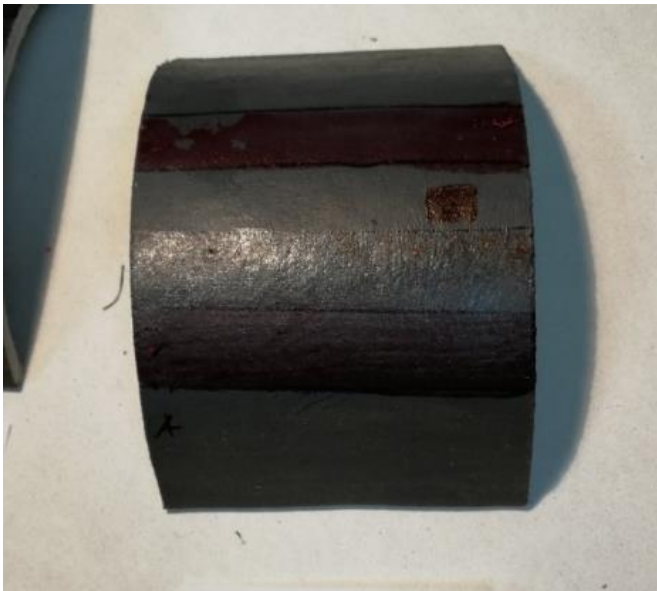
Pirmojo etapo metu padaryti bandiniai iš viso išbuvo 28 ciklus ultravioletinių spindulių kameroje, tai reiškia, kad UV spinduliuotė juos veikė 8400 minučių, kas atitinka ~ 213 dienų (apie 7 mėnesius) UV spinduliuotės poveikį natūralioje aplinkoje.

Antrojo etapo metu padaryti bandiniai iš viso išbuvo 24 ciklus ultravioletinių spindulių kameroje, tai reiškia, kad UV spinduliuotė juos veikė 7200 minučių, kas atitinka ~ 183 dienų (apie 6 mėnesius) UV spinduliuotės poveikį natūralioje aplinkoje.

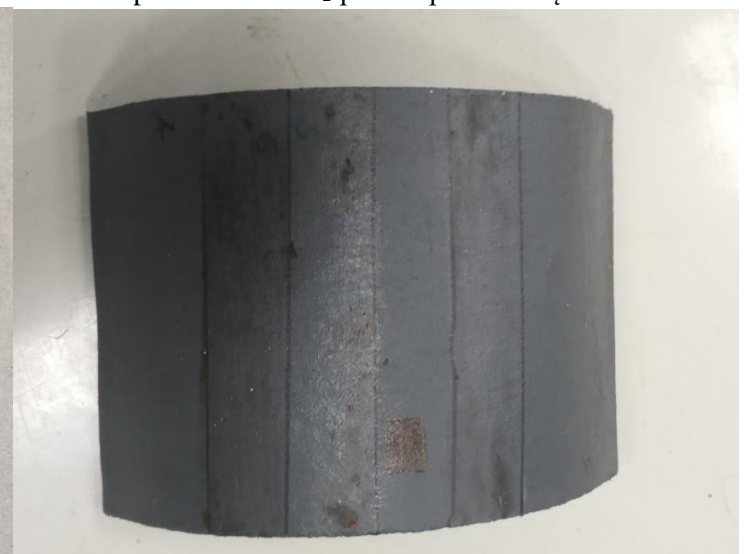
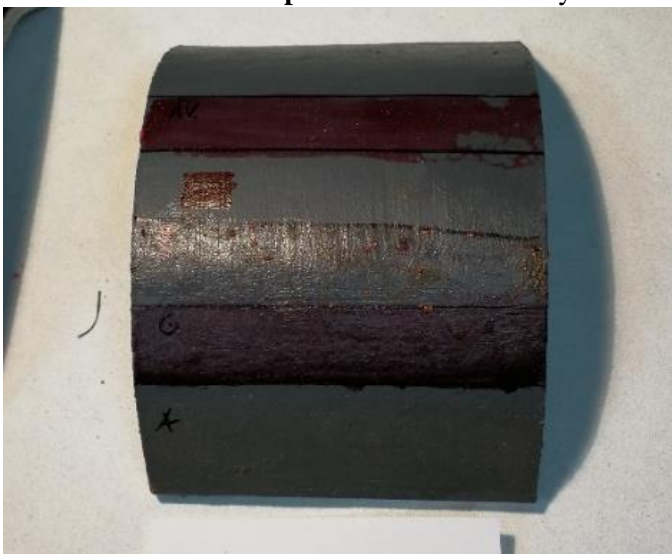
Taip pat, bandymo eigos pabaigoje buvo nuspręsta iširti ar mūsų turimas titano dioksidas dažuose gali būti fototropiškas (stogo dangos paviršiaus grįžtami spalvos pakitimai, kas gali būti būdinga šiam pigmentui). Todėl visus mėginius įdėjome į uždara dėžę, kad bandiniai kelias paras negautų jokios saulės šviesos (ultravioletinių spindulių). Prieš ir po bandinių įdėjimo į dėžę nustatėme mėginių paviršiaus spalvos kodus. Jokių pakitimų nepastebėjome, tai galime daryti išvada, kad šie dažai sumaišyti su titano dioksidu nėra fototropiški.



44 pav. Pirmasis bandinys: 10% pramoninio TiO_2 (maišyta ultragarsu) prieš ir po 28 ciklų



45 pav. Ketvirtasis bandinys: 5% nesmulkinto pramoninio TiO_2 prieš ir po 28 ciklų



46 pav. Penktasis bandinys: 10% nesmulkinto pramoninio TiO_2 prieš ir po 28 ciklų

9 lentelė. Pirmo etapo mėginių kitimo procesas pagal spalvos kodus.

| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Žymeklis | Lakas |
| 1 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 8000 – N | S 8000 – N | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8005 – R20B | S 8005 – R50B | S 8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | S 7502 – B |
| 4 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 7502 – R | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 7005 – B20G | S 8010 – Y90R | S 7502 – B |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 6502 - N | S 7502 - R | S 7005 – R80B |
| 6 bandinys | S 8005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 6020 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - B | S 7502 - R | S 7005 – R80B |
| Mėginiai po 4 ciklų UV spinduliuotės kameroje (1 mėnesio UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | | | | | |
| 1 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 7500 – N | S 7010 – R50B | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 | S 7502 | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8005 – R50B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8502 – R | Neliko |
| 4 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 8010 – Y90R | Neliko |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7000 – N | S 7005 – R50B | S 7020 - R | Neliko |
| 6 bandinys | S 6005 – R80B | S 7005 – R50B | S 6502 – B | S 6502 – B | S 7000 – N | S 6502 – B | S 7020 - R | Neliko |
| Mėginiai po 28 ciklų UV spinduliuotės kameroje (7 mėnesių UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | | | | | |
| 1 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7500 – N | Neliko | Neliko | - | - |
| 2 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – R | S 7502 – B | S 7500 – N | S 7502 – B | S 7005 – B20G | - | - |
| 3 bandinys | S 7502 – B | S 8500 – N | S 8000 – N | S 8005 – R80B | S 8000 – N | S 7502 – B | S 8005 – Y80R | Neliko |
| 4 bandinys | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7502 – B | S 7500 - N | S 7502 – B | S 7502 – B | S 8005 – Y80R | Neliko |
| 5 bandinys | S 7005 – R50B | S 7502 – R | S 7500 – N | S 7005 – R50B | S 7500 – N | S 7005 – B20G | S 7020 – Y90R | Neliko |
| 6 bandinys | S 6005 – R80B | S 7000 – N | S 6502 – B | S 6005 – R80B | S 6502 – B | S 7005 – R80B | S 7010 – R10B | Neliko |

10 lentelė. Antrojo etapo mėginių kitimo procesas pagal spalvos kodus

| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Anglis | Burokas |
| Antrojo etapo naujai paruoštų bandinių spalvos kodai | | | | | | | | |
| 7 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 8010 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 8 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 7502 – G | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 9 bandinys | S 7005 – R80B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 8000 – N | S 8000 - N | S 7010 – R50B |
| 10 bandinys | S 6005 – R80B | S 8005 – R20B | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - N | S 7502 - B | S 7005 – R50B |
| 11 bandinys | S 7005 – R50B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7020 – R10B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 7502 - B | S 7005 – R50B |
| 12 bandinys | S 7502 - B | S 7010 – R30B | S 7005 – R50B | S 7020 – R10B | S 7500 – N | S 8000 – N | S 8500 - N | S 7010 – R50B |
| 13 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 7500 – N | S 8000 – N | S 8500 - N | S 7005 – R50B |
| 14 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B | S 7000 – N | S 6502 - N | S 8500 | S 8005 – R50B |
| Mėginiai po 24 ciklų UV spinduliuotės kameroje (6 mėnesių UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | | | | | |
| 7 bandinys | S 7502 - B | S 8500 – N | S 8000 – N | S 8005 – R50B | S 8000 – N | S 7005 – R50B | S 8500 - N | S 7005 – R80B |
| 8 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 7502–B | S 7500 – N | S 8000 – N | S 8000 - N | S 7005 – R50B |
| 9 bandinys | S 7005 – R50B | S 7502 – B | S 8000 – N | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 8000 - N | S 6502 –B |
| 10 bandinys | S 6502 –B | S 8000 – N | S 7502 –B | S 8000 – N | S 8000 – N | S 7500 – N | S 7502 - B | S 6005 – R80B |
| 11 bandinys | S 6005 – R80B | S 7500 – N | S 7005 – R50B | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 7502 - B | S 6005 – R80B |
| 12 bandinys | S 7005 – R50B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 8005 – R50B | S 7500 – N | S 7005 – R50B | S 8000 - N | S 7005 – R20G |
| 13 bandinys | S 7502 - B | S 8000 – N | S 8500 – N | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 8000 – N | S 8000 - N | S 7005 – R80B |
| 14 bandinys | S 7502 - B | S 8500 – N | S 8500 – N | S 8000 – N | S 8000 – N | S 7500 – N | S 8000 - N | S 7005 – R80B |

3.2.4. Savaiminio paviršiaus nusivalomumo tyrimo apibendrinimas

Ekspimento metu buvo atliekami bandymai su beasbestiniais stogo lakštais, padengtais silikatiniais dažais. Dažų sudėtyje buvo įmaišytas titano dioksido pigmentas. Mėginiai skyrėsi pigmento tipu (maistinis, pramoninis), pigmento smulkumu (skaidytas ultragarsu arba ne), maišymo su dažais būdu (mechaniškai (ranka) ar ultragarsu) ir titano dioksido koncentracija dažuose. Bandymo metu tirtas paviršiaus savaiminio nusivalomumo klausimas, naudojant organinius ir neorganinius teršalus.

Geriausius rezultatus parodė pirmasis bandinys (skirtumas pavaizduotas 44 pav.), kurio buvo įmaišyta 10% į dažų masę, maišyta – ultragarsu. Pagal 9 lentelės spalvos kodo rodmenis matyti, kad beveik visų teršalų nustatytas spalvos kodas yra toks pat, kaip pačio bandinio paviršiaus spalvos kodas, o tai rodo teršalų dėmių savaiminį nusivalymą.

Skirtumas tarp maistinio ir pramoninio titano dioksido tipo buvo nežymus. Bandiniai su pramoniniu pigmentu parodė šiek tiek geresnius nusivalomumo rezultatus.

Skirtumą tarp titano dioksido smulkumo galima išvelgti. Bandiniai su ultragarsu neskaidytu pigmentu, (pirmojo etapo bandiniai 9 lentelė) parodė geresnius rezultatus ir vizualiai ir pagal nustatytus spalvos kodus. Nors buvo rasti moksliniai straipsniai, kurie aprašė (paminėti literatūrinėje apžvalgoje), kad titano dioksido dalelių smulkumas turi įtakos jo teikiamoms savybėms, tačiau pasigilinus plačiau į juos, buvo išsiaiškinta, kad pigmento skaidymas turi būti atliekamas tik tam tikrose skysčių terpėse, kitu atveju, galbūt kaip ir šio tyrimo atveju, gali būti pažeista jo dalelių struktūra.

Skirtumas tarp titano dioksido maišymo būdo į dažų masę buvo pastebėtas. Galima teigti, kad pirmasis bandinys pasirodė geriausiai būtent dėl šios priežasties. Tai rodo, kaip ir buvo aprašoma literatūrinėje apžvalgoje, kad kuo geresnis pigmento pasiskirstymas dažuose, tuo jo savybės geriau pasireiškia dėl tolygesnio pasiskirstymo dangos paviršiuje, ypač jeigu pigmentas yra suskaidytas į mažesnes daleles.

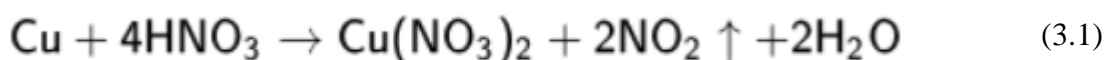
Bandiniai su 10% ir didesne titano dioksido koncentracija, parodė neblogus rezultatus taip pat, tačiau pridėtas TiO_2 (t.y. kai koncentracija didesnė nei 10%) pradeda keisti bandinio spalvą (šviesėja, nes titano dioksido milteliai yra baltos spalvos, kaip 6, 10, bei 11 bandinys).

Taip pat, verta paminėti, kad didžiausi skirtumai paviršiaus savaiminio nusivalomumo tyrime buvo pastebėti, kai gaminiai buvo apipilti vandeniu. Galima teigti, kad vandens poveikis (lietus) šiai titano dioksido savybei daro nemažą tiesioginę įtaką, gerinančią nusivalomumo efektą.

3.3. Oro taršos skaidymo tyrimas

3.3.1. Pasiruošimas tyrimui

Šio tyrimo metu bus bandoma išsiaiškinti kaip titano dioksidas su dažų sluoksniu ant beasbestinės stogo dangos paviršiaus veikia azoto dujas (NO_x). Norint ištirti oro taršos skaidymo efektą, buvo padaryta uždara, sandari kamera į kurią yra adaptuotas ultravioletinių spindulių apšvietimas. Į kamerą bus dedamas bandinys, o šalia jo kolba su azoto rūgštim ir vario smulkiu gabaliuku (masė ~ 0,008g). Tada kolboje vyks cheminė reakcija:



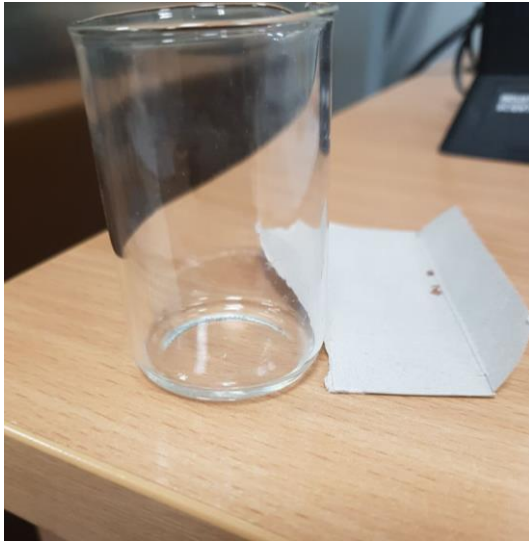
Tokios cheminės reakcijos metu išsiskirs azoto dujos, kurios ir bus reikalingos šiam tyrimui. Taip pat, šio etapo metu bus bandoma palyginti ir skirtingas dažų užpurškimo technologijas, tai padės išsiaiškinti, ar skirtinga purškimo technologija turi įtakos oro taršos skaidymo efektui.



47 pav. Azoto dujų kamera su UV apšvietimo lempomis



48 pav. Vario svėrimas azoto dujoms gauti



49 pav. Kairėje paruošta kolba su azoto rūgštim ir variu. Dešinėje – vaizdas po įvykusios reakcijos

Taip pat buvo galvojama, kai kuriuos bandinius padengti antru dažų sluoksniu su vienoda titano dioksido koncentracija. Tikslas - išsiaiškinti, ar storesnis dažų sluoksnis su titano dioksidu turės įtakos oro taršos skaidyme. Tačiau, radus tam tikrus mokslinius šaltinius, paaiškėjo, kad šį efektą atlieka titano dioksido dalelės esančios tik ant dangos paviršiaus. Tai reiškia, kad antro sluoksnio dažų dalelės tiesiog uždengs pirmo dažų sluoksnio daleles – o tai oro taršos skaidymo efekto nepagerins.

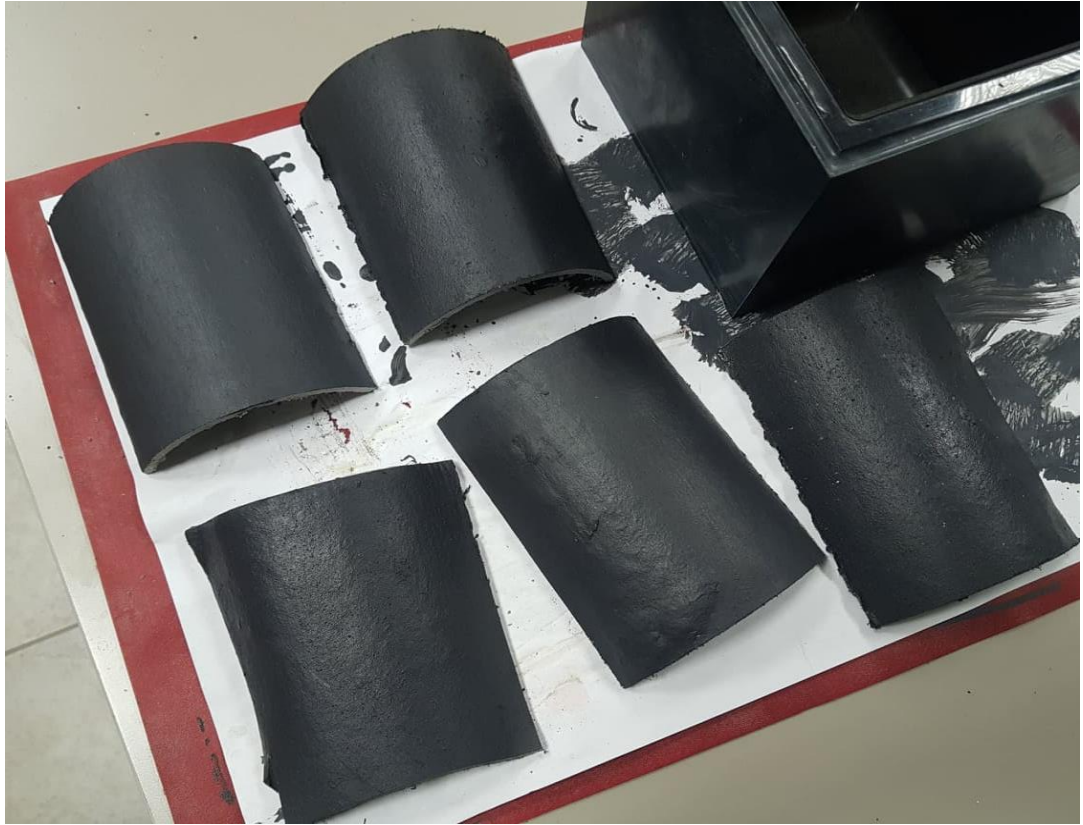
Taigi oro taršos skaidymo efektas bus tiriamas su aštuoniais bandiniais. Keli bandiniai bus paimti iš anksčiau paruoštų mėginių. Likę bus nudažyti su elektriniu rankiniu purkštuvu. Naujai padarytų dažų masėje titano dioksido milteliai buvo maišomi mechaniniu būdu (ranka). Visi tiriami mėginiai ir jų specifikacija surašyti 11 ir 12 lentelėse:

11 lentelė. Tyrime naudojami mėginiai

| Dažyti bandiniai | Purkšti bandiniai |
|--|---|
| 1) Kontrolinis | 5) Kontrolinis |
| 2) Smulkintas pramoninis su 5% koncentracija | 6) Nesmulkintas pramoninis su 10% koncentracija |
| 3) Smulkintas pramoninis su 10% koncentracija | 7) Smulkintas pramoninis su 10% koncentracija |
| 4) Nesmulkintas maistinis su 10% koncentracija | 8) Nesmulkintas maistinis su 10% koncentracija |

12 lentelė. Bandinių specifikacija

| Bandinio Nr. | TiO ₂ rūšis | Konc., % | Bandinio masė prieš dažymą, g | Bandinio masė po dažymo, g | Bandinio plotas, m ² | Dažų išeiga, g/m ² | TiO ₂ išeiga, g/m ² |
|--------------|------------------------|----------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|
| 1 bandinys | Kontrolinis | 0 | 161,346 | 163,658 | 0,021 | 111,154 | 0,000 |
| 2 bandinys | Pramoninis | 5 | 164,439 | 166,536 | 0,024 | 89,234 | 4,462 |
| 3 bandinys | Pramoninis | 10 | 158,275 | 160,272 | 0,020 | 99,850 | 9,985 |
| 4 bandinys | Maistinis | 10 | 250,523 | 254,500 | 0,041 | 97,000 | 9,700 |
| 5 bandinys | Kontrolinis | 0 | 243,421 | 246,682 | 0,039 | 83,615 | 0,000 |
| 6 bandinys | Pramoninis | 10 | 244,191 | 247,171 | 0,040 | 74,500 | 7,450 |
| 7 bandinys | Pramoninis | 10 | 242,376 | 245,519 | 0,039 | 80,590 | 8,059 |
| 8 bandinys | Maistinis | 10 | 240,746 | 243,701 | 0,038 | 77,763 | 7,776 |



50 pav. Nupurkšti eksperimento bandiniai

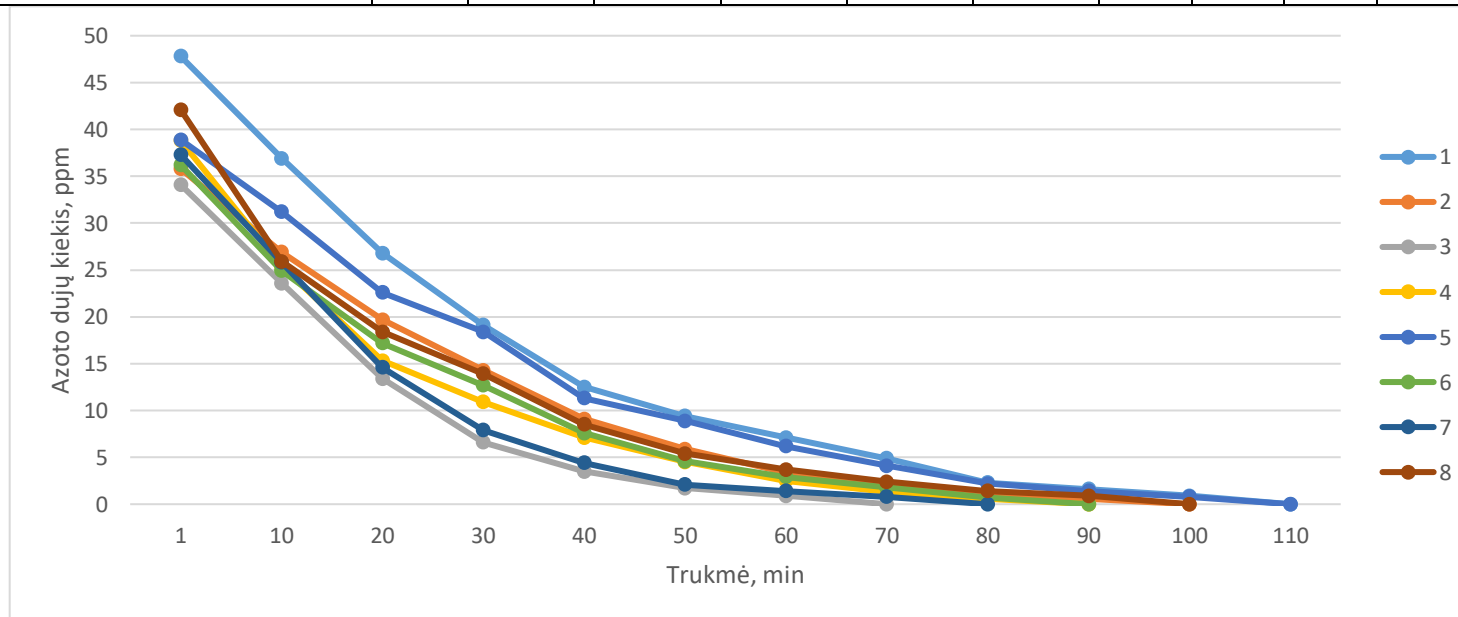
3.3.2. Tyrimo procesas

Visi mėginiai prieš šį tyrimą buvo įdėti į ultravioletinių spindulių kamerą bent vienai parai, kad būtų suaktyvintos titano dioksido dalelės dangos paviršiuje. Tyrimo metu jie dedami į kameros vidų, kartu su vario ir rūgšties kolba. Prie kameros su ultravioletiniais spinduliais pridedamas ir azoto dujų matuoklis, kurio rodmenis užsirašysim pagal tam tikrus laiko intervalus (10 min). Po tyrimo turėtų paaiškėti skirtumai tarp dažymo technologijos, titano dioksido koncentracijos dažuose ir pačio titano dioksido tipo. Gauti rezultatai pateikti grafike 51 pav. ir 13 lentelėje.

Taip pat, visi nupurkšti bandiniai buvo ištepti organiniais teršalais, naudotais prieš tai darytam tyrime. Deja, juos ultravioletinėje spindulių kameroje palaikėm tik 11 ciklą, t.y. bandinių paviršių ultravioletinė spinduliuotė veikė 3300 minučių, o tai atitinka 84 dienas (beveik 3 mėnesių) ultravioletinių spindulių kiekį natūralioje aplinkoje. Kameroje, kaip ir prieš tai darytuose tyrimuose, vyravo 21 °C temperatūra ir ~60% drėgnumas. Kadangi buvo iširta, jog vandens poveikis paviršiaus nusivalomumui daro nemažą įtaką, tai šie bandiniai buvo pradėti laistyti iš kart po pirmųjų ciklą. Po 11 ciklą išimtiems bandiniams buvo nustatomas paviršiaus spalvos kodas. Nustatyti spalvos kodai pateikti 14 lentelėje.

13 lentelė. Oro taršos skaidymo rezultatai

| Bandinio Nr. | Bandinio pavadinimas | NO ₂ , ppm | Trukmė, min | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| 1 | Dažytas kontrolinis | NO ₂ , ppm | 47,8 | 36,9 | 26,8 | 19,1 | 12,5 | 9,4 | 7,1 | 4,9 | 2,3 | 1,6 | 0,9 | 0 |
| 2 | Dažytas smulkintas pramoninis 5% | | 35,8 | 26,9 | 19,7 | 14,3 | 9,1 | 5,9 | 3,4 | 2,2 | 1 | 0,6 | 0 | |
| 3 | Dažytas smulkintas pramoninis 10% | | 34,1 | 23,6 | 13,4 | 6,6 | 3,5 | 1,7 | 0,9 | 0 | | | | |
| 4 | Dažytas nesmulkintas maistinis 10% | | 38,8 | 25,4 | 15,3 | 10,9 | 7,1 | 4,5 | 2,5 | 1,3 | 0,6 | 0 | | |
| 5 | Purkštas kontrolinis | | 38,9 | 31,2 | 22,6 | 18,4 | 11,3 | 8,9 | 6,2 | 4,1 | 2,2 | 1,4 | 0,8 | 0 |
| 6 | Purkštas nesmulkintas pramoninis 10% | | 36,2 | 24,9 | 17,2 | 12,7 | 7,6 | 4,6 | 2,9 | 1,8 | 0,7 | 0 | | |
| 7 | Purkštas smulkintas pramoninis 10% | | 37,3 | 25,8 | 14,6 | 7,9 | 4,4 | 2,1 | 1,4 | 0,8 | 0 | | | |
| 8 | Purkštas nesmulkintas maistinis 10% | | 42,1 | 25,9 | 18,4 | 13,9 | 8,5 | 5,4 | 3,7 | 2,4 | 1,4 | 0,9 | 0 | |



51 pav. Azoto dujų kiekio kitimo grafikas

14 lentelė. Nupurkštų bandinių spalvų kodai

| Bandinio Nr. | Bandinio spalva | Teršalų tipas | | |
|--|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė |
| 5 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B |
| 6 bandinys | S 7005 – R50B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | 8010 – R10B |
| 7 bandinys | S 7005 – R80B | S 7010 – R30B | S 8005 – R50B | 7010 – R30B |
| 8 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 7502 – R | S 8010 – R10B |
| Mėginiai po 11 ciklų UV kameroje (3 mėn. UV spindulių kiekis natūralioje aplinkoje) | | | | |
| 5 bandinys | S 7502 - B | S 8005 – R20B | S 8000 – N | S 7010 – R30B |
| 6 bandinys | S 7502 - B | S 7502 – R | S 8000 – N | S 7500 - N |
| 7 bandinys | S 7005 – R80B | S 8500 – N | S 7500 – N | S 7500 - N |
| 8 bandinys | S 7502 - B | S 7502 – B | S 7005 – R50B | S 7500 - N |

3.3.3. Tyrimo apibendrinimas

Skirtumas tarp dviejų tirtų dažų padengimo technologijos nebuvo pastebėtas. Nors išeiga, purškiant dažus, į kvadratinį metrą, tuo pačiu ir titano dioksido kiekis, ir gavosi mažesnė, nei dažoma voleliu/teptuku, bet pigmento savybės, kaip oro taršos skaidymas ar savaiminio nusivalomumo tyrimas neparodė jokių ryškių, didelių skirtumų.

Oro taršos skaidymo tyrime geriausią rezultatą parodė 3 bandinys (13 lentelė), kuris yra paimtas iš seniau dažytų bandinių (9 lentelės pirmasis bandinys). Tai tas pats bandinys, kuris ir paviršiaus savaiminio nusivalomumo tyrime rodė stipriausius rezultatus (43 pav.). Azoto dujos esančios kameroje su šiuo mėginiu išsiskaidė greičiausiai, t.y. per 70 minučių trukmę. Gali būti, kad šiam rezultatui taip pat darė įtaką pigmento maišymo būdas į dažus – ultragarsu, kas davė geresnį titano dioksido dalelių pasiskirstymą paviršiuje, o tai – geresnį rezultatą nei kitų mėginių.

Visų mėginių rezultatai, remiantis azoto dujų kiekio kitimo grafiku (51 pav.), oro taršos skaidyme yra santykinai panašūs tarpusavyje. Nors abu kontroliniai bandiniai šį procesą atliko lėčiausiai – per 110 minučių.

4. Tyrimo daugiakriterinis vertinimas

Šioje dalyje įvertinsim darytus tyrimus ir jų gautus rezultatus. Suskaičiuosim jų reikšmingumą, o vėliau panaudoję „TOPSIS“ daugiakriterinį vertinimo metodą išsiaiškinsim, kurie beasbestinės stogo dangos mėginiai bus naudingiausi pagal darytus tyrimus ir turimą informaciją..

4.1. Savaiminio paviršiaus nusivalomumo vertinimas

15 lentelė. Teršalų savaiminio paviršiaus nusivalymo vertinimas

| Bandinio Nr. | Konc % | Teršalų tipas | | | | | | | | | Galutinis įvertinimas |
|--------------|--------|---------------|----------|--------|--------|------|----------|-------|--------|---------|-----------------------|
| | | Gervuogė | Šilauogė | Avietė | Arbata | Žolė | Žymeklis | Lakas | Anglis | Burokas | |
| 1 bandinys | 10 | 9 | 10 | 9 | 10 | 10 | - | - | - | - | 10 |
| 2 bandinys | 10 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | - | - | - | - | 8 |
| 3 bandinys | 0 | 5 | 6 | 7 | 7 | 6 | 4 | 10 | - | - | 6 |
| 4 bandinys | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 5 | 10 | - | - | 7 |
| 5 bandinys | 10 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 5 | 10 | - | - | 8 |
| 6 bandinys | 15 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 5 | 10 | - | - | 8 |
| 7 bandinys | 5 | 6 | 7 | 6 | 8 | 7 | - | - | 4 | 10 | 7 |
| 8 bandinys | 10 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | - | - | 4 | 10 | 7 |
| 9 bandinys | 12 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | - | - | 4 | 10 | 7 |
| 10 bandinys | 15 | 8 | 8 | 7 | 9 | 9 | - | - | 5 | 10 | 8 |
| 11 bandinys | 18 | 9 | 8 | 8 | 9 | 9 | - | - | 5 | 10 | 8 |
| 12 bandinys | 5 | 6 | 6 | 6 | 8 | 7 | - | - | 4 | 10 | 7 |
| 13 bandinys | 10 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | - | - | 5 | 10 | 7 |
| 14 bandinys | 0 | 4 | 6 | 5 | 7 | 6 | - | - | 3 | 8 | 6 |
| 15 bandinys | 10 | 7 | 8 | 7 | - | - | - | - | 3 | 8 | 7 |
| 16 bandinys | 0 | 5 | 5 | 4 | - | - | - | - | - | - | 5 |
| 17 bandinys | 10 | 8 | 8 | 7 | - | - | - | - | - | - | 8 |
| 18 bandinys | 10 | 8 | 7 | 6 | - | - | - | - | - | - | 7 |
| 19 bandinys | 10 | 7 | 7 | 6 | - | - | - | - | - | - | 7 |

Remiantis vizualiniu vertinimu matome, kad 1 bandinio (43 pav.) paviršiaus savaiminio nusivalomumo efektas yra stipriausias. Pirmasis mėginys, tai pramoninis titano dioksidas, smulkintas ir maišytas į dažus pasinaudojant ultragarso sistemą, o koncentracija dažuose yra 10%.

4.2. Kriterijų reikšmingumo nustatymas

Norit surasti teorinį kriterijų reikšmingumą reikės naudoti entropijos metodą. Skaičiuojant šiuo metodu visas dėmesys kreipiamas į turimą ir gautą informaciją apie tyrinėjamus bandinius ir vertinimo kriterijų gautas skaitines reikšmes. Prieš naudojant šį reikšmingumo modelį, pirmiausia reikia nusistatyti alternatyvas (analizuojamus bandinius) ir parinkti kelis kriterijus, nusakančius apie beasbestinės dangos svarbiausias savybes.

16 lentelė. Alternatyvų sąrašas

| Alternatyvos Nr. | Bandinio aprašymas |
|-------------------------|--|
| A1 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% pramoninio, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ultragarsu, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A2 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% maistinio, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas emulsijos pavidalu, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A3 | Beasbestinės stogo dangos lakštas be titano dioksido. Dažai ant paviršiaus tepami teptuku. |
| A4 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 5% pramoniniu, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A5 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% pramoniniu, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A6 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 15% pramoniniu, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A7 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 5% pramoniniu, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A8 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% pramoniniu, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A9 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 12% pramoniniu, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A10 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 15% pramoniniu, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A11 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 18% pramoniniu, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A12 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 5% maistinio, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A13 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% maistinio, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A14 | Beasbestinės stogo dangos lakštas be titano dioksido. Dažai ant paviršiaus tepami teptuku. |
| A15 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% maistinio, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus tepamas teptuku. |
| A16 | Beasbestinės stogo dangos lakštas be titano dioksido. Dažai ant paviršiaus purškiamas el. įrankiu. |
| A17 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% pramoninio, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus purškiamas el. įrankiu. |
| A18 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% pramoninio, smulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas ranka, o ant paviršiaus purškiamas el. įrankiu. |
| A19 | Beasbestinės stogo dangos lakštas su 10% maistinio, nesmulkinto titano dioksido koncentracija, kuris į dažus buvo maišomas emulsijos pavidalu, o ant paviršiaus purškiamas el. įrankiu |

17 lentelė. Kriterijų lentelė

| Kriterijų Nr. | Kriterijų aprašymas | Matavimo vnt. |
|---------------|--|--------------------|
| K1 | Valymo efektyvumas, tai stogo dangos priežiūra | Balais |
| K2 | Kaina, tai bendra suma medžiagų, darbų ir mechanizmų. | Eur/m ² |
| K3 | Dangos ilgaamžiškumas, tai laikotarpis, per kurį, stogo danga nepraranda deklaruojamų savybių. | Metais |
| K4 | Stogo dangos privalumas apsaugoti nuo išorinių veiksnių | Balais |
| K5 | Ekologiškumas, tai medžiagos ir dangos įtaka žmogui ir gamtai. | Balais |
| K6 | Dangos padengimo sudėtingumas | Balais |
| K7 | Dangos padengimo laikotarpis | h/m ² |

Stogo dangos kaina (Eur/m²) ir laiko trukmė, per kurią danga bus padengta (h) bus paimta ir paskaičiuota pagal sąmatą. Laiko trukmė apskaičiuota ir nurodyta 18 lentelėje.

18 lentelė. Darbų trukmė

| Eil. Nr. | Darbo pavadinimas | Darbo apimtis | | Darbo sąnaudos, žm.d. | | Darbininkai | | Pamainų skaičius | Darbo atlikimo trukmė | | Normų vykdymas, % |
|----------|---|--------------------|--------|-----------------------|-------|-------------|-----|------------------|-----------------------|-------|-------------------|
| | | mato vnt. | kiekis | Norm. | Plan. | Spec. | Sk. | | norminė, dienomis | Plan. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | Stogo dažymas | | | | | | | | | | |
| 1 | Pastatų stogų paviršiaus dažymas silikatiniais dažais vienu sluoksniu voleliu | 100 m ² | 1 | 5,625 | 4,5 | Dažytojas | 1 | 1 | 5,63 | 4,5 | 125 |
| 1 | Pastatų stogų paviršiaus dažymas silikatiniais dažais vienu sluoksniu purkštuvu | 100 m ² | 1 | 3,125 | 2,5 | Dažytojas | 1 | 1 | 3,13 | 2,5 | 125 |

Iš 18 lentelės matyti, kad darbas su purkštuvu, vienodam stogo plotui padengti užtrunka beveik dvigubai mažiau laiko, nei dažant voleliu (ar teptuku).

Toliau bus atliekamas skaičiavimas kriterijų reikšmingumui gauti. Tai bus daroma pagal entropijos metodą. Taigi sudaroma alternatyvų ir kriterijų pradinė duomenų matrica (19 lentelė).

19 lentelė. Pradinė alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 10 | 101,86 | 45 | 10 | 10 | 10 | 0,36 |
| A2 | 8 | 29,65 | 40 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A3 | 6 | 27,47 | 35 | 7 | 6 | 10 | 0,36 |
| A4 | 7 | 42,41 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A5 | 8 | 55,89 | 40 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A6 | 8 | 72,01 | 43 | 10 | 8 | 10 | 0,36 |
| A7 | 7 | 54,06 | 36 | 7 | 7 | 10 | 0,36 |
| A8 | 7 | 95,31 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A9 | 7 | 114,06 | 39 | 9 | 7 | 10 | 0,36 |
| A10 | 8 | 109,12 | 41 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A11 | 8 | 156,03 | 44 | 10 | 8 | 10 | 0,36 |
| A12 | 7 | 28,32 | 36 | 7 | 7 | 10 | 0,36 |
| A13 | 7 | 29,04 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A14 | 6 | 27,47 | 35 | 7 | 6 | 10 | 0,36 |
| A15 | 7 | 28,25 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A16 | 5 | 27,10 | 35 | 7 | 5 | 5 | 0,2 |
| A17 | 8 | 49,30 | 39 | 9 | 8 | 5 | 0,2 |
| A18 | 7 | 75,13 | 39 | 9 | 7 | 5 | 0,2 |
| A19 | 7 | 27,72 | 38 | 8 | 7 | 5 | 0,2 |
| Suma | 138 | 1150,20 | 737 | 159 | 138 | 170 | 6,2 |
| Optimalumas | MAX | MIN | MAX | MAX | MAX | MIN | MIN |

Toliau reikės atlikti matricos MAX - MIN reikšmių normalizavimą, MIN reikšmes reikės pakeisti joms atvirkštinėms, kad būtų galima normalizuoti pačią matricą. Tai bus daroma pagal formulę (4.1), o gauti rezultatai surašyti 20 lentelėje.

$$\overline{x_{ij}} = \frac{1}{x_{ij}} \quad (4.1)$$

20 lentelė. Alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 10 | 0,00982 | 45 | 10 | 10 | 0,1 | 2,778 |
| A2 | 8 | 0,03373 | 40 | 9 | 8 | 0,1 | 2,778 |
| A3 | 6 | 0,03640 | 35 | 7 | 6 | 0,1 | 2,778 |
| A4 | 7 | 0,02358 | 38 | 8 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A5 | 8 | 0,01789 | 40 | 9 | 8 | 0,1 | 2,778 |
| A6 | 8 | 0,01389 | 43 | 10 | 8 | 0,1 | 2,778 |
| A7 | 7 | 0,01850 | 36 | 7 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A8 | 7 | 0,01049 | 38 | 8 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A9 | 7 | 0,00877 | 39 | 9 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A10 | 8 | 0,00916 | 41 | 9 | 8 | 0,1 | 2,778 |
| A11 | 8 | 0,00641 | 44 | 10 | 8 | 0,1 | 2,778 |
| A12 | 7 | 0,03531 | 36 | 7 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A13 | 7 | 0,03444 | 38 | 8 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A14 | 6 | 0,03640 | 35 | 7 | 6 | 0,1 | 2,778 |
| A15 | 7 | 0,03540 | 38 | 8 | 7 | 0,1 | 2,778 |
| A16 | 5 | 0,03690 | 35 | 7 | 5 | 0,2 | 5,000 |
| A17 | 8 | 0,02028 | 39 | 9 | 8 | 0,2 | 5,000 |
| A18 | 7 | 0,01331 | 39 | 9 | 7 | 0,2 | 5,000 |
| A19 | 7 | 0,03607 | 38 | 8 | 7 | 0,2 | 5,000 |
| Suma | 138 | 0,43677 | 737 | 159 | 138 | 2,3 | 61,667 |
| Optimalumas | MAX | MIN | MAX | MAX | MAX | MIN | MIN |

Dabar visi rodmenys iš 20 lentelės galės būti normalizuojami pagal formulę (4.2). Čia kiekviena atskira matricos reikšmė yra dalijama iš to paties kriterijaus visų alternatyvų sumos. Surastos naujos matricos reikšmės yra pateiktos 21 lentelėje.

$$P_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (4.2)$$

21 lentelė. Normalizuota alternatyvų ir kriterijų lentelė

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 0,0725 | 0,0225 | 0,0611 | 0,0627 | 0,0725 | 0,0435 | 0,0450 |
| A2 | 0,0580 | 0,0772 | 0,0543 | 0,0557 | 0,0580 | 0,0435 | 0,0450 |
| A3 | 0,0435 | 0,0833 | 0,0475 | 0,0439 | 0,0435 | 0,0435 | 0,0450 |
| A4 | 0,0507 | 0,0540 | 0,0516 | 0,0530 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A5 | 0,0580 | 0,0410 | 0,0543 | 0,0557 | 0,0580 | 0,0435 | 0,0450 |
| A6 | 0,0580 | 0,0318 | 0,0583 | 0,0599 | 0,0580 | 0,0435 | 0,0450 |
| A7 | 0,0507 | 0,0424 | 0,0488 | 0,0439 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A8 | 0,0507 | 0,0240 | 0,0516 | 0,0530 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A9 | 0,0507 | 0,0201 | 0,0529 | 0,0544 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A10 | 0,0580 | 0,0210 | 0,0556 | 0,0571 | 0,0580 | 0,0435 | 0,0450 |
| A11 | 0,0580 | 0,0147 | 0,0597 | 0,0613 | 0,0580 | 0,0435 | 0,0450 |
| A12 | 0,0507 | 0,0809 | 0,0488 | 0,0439 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A13 | 0,0507 | 0,0789 | 0,0516 | 0,0530 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A14 | 0,0435 | 0,0833 | 0,0475 | 0,0439 | 0,0435 | 0,0435 | 0,0450 |
| A15 | 0,0507 | 0,0811 | 0,0516 | 0,0530 | 0,0507 | 0,0435 | 0,0450 |
| A16 | 0,0362 | 0,0845 | 0,0475 | 0,0439 | 0,0362 | 0,0870 | 0,0811 |
| A17 | 0,0580 | 0,0464 | 0,0529 | 0,0544 | 0,0580 | 0,0870 | 0,0811 |
| A18 | 0,0507 | 0,0305 | 0,0529 | 0,0544 | 0,0507 | 0,0870 | 0,0811 |
| A19 | 0,0507 | 0,0826 | 0,0516 | 0,0530 | 0,0507 | 0,0870 | 0,0811 |
| Vidurkis | 0,0526 | 0,0525 | 0,0525 | 0,0526 | 0,0526 | 0,0526 | 0,0525 |

Kitame žingsnyje bus skaičiuojama pagalbinė duomenų matrica, kurios duomenys yra gaunami sudauginus kiekvieną atskirą normalizuotos matricos reikšmę su jos logaritmu. Formulė pagal kurią bus skaičiuojama (4.3), o gauti duomenys yra surašyti sekančioje 22 lentelėje:

$$\bar{P} = P_{ij} * \ln P_{ij} \quad (4.3)$$

22 lentelė. Pagalbinė alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | -0,1902 | -0,0853 | -0,1707 | -0,1737 | -0,1902 | -0,1363 | -0,1396 |
| A2 | -0,1651 | -0,1978 | -0,1581 | -0,1609 | -0,1651 | -0,1363 | -0,1396 |
| A3 | -0,1363 | -0,2071 | -0,1447 | -0,1372 | -0,1363 | -0,1363 | -0,1396 |
| A4 | -0,1512 | -0,1576 | -0,1529 | -0,1556 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A5 | -0,1651 | -0,1309 | -0,1581 | -0,1609 | -0,1651 | -0,1363 | -0,1396 |
| A6 | -0,1651 | -0,1096 | -0,1658 | -0,1687 | -0,1651 | -0,1363 | -0,1396 |
| A7 | -0,1512 | -0,1339 | -0,1475 | -0,1372 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A8 | -0,1512 | -0,0896 | -0,1529 | -0,1556 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A9 | -0,1512 | -0,0785 | -0,1555 | -0,1583 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A10 | -0,1651 | -0,0811 | -0,1607 | -0,1636 | -0,1651 | -0,1363 | -0,1396 |
| A11 | -0,1651 | -0,0619 | -0,1683 | -0,1712 | -0,1651 | -0,1363 | -0,1396 |
| A12 | -0,1512 | -0,2034 | -0,1475 | -0,1372 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A13 | -0,1512 | -0,2003 | -0,1529 | -0,1556 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A14 | -0,1363 | -0,2071 | -0,1447 | -0,1372 | -0,1363 | -0,1363 | -0,1396 |
| A15 | -0,1512 | -0,2037 | -0,1529 | -0,1556 | -0,1512 | -0,1363 | -0,1396 |
| A16 | -0,1202 | -0,2088 | -0,1447 | -0,1372 | -0,1202 | -0,2124 | -0,2037 |
| A17 | -0,1651 | -0,1426 | -0,1555 | -0,1583 | -0,1651 | -0,2124 | -0,2037 |
| A18 | -0,1512 | -0,1064 | -0,1555 | -0,1583 | -0,1512 | -0,2124 | -0,2037 |
| A19 | -0,1512 | -0,2060 | -0,1529 | -0,1556 | -0,1512 | -0,2124 | -0,2037 |
| Suma | -2,9346 | -2,8113 | -2,9418 | -2,9381 | -2,9346 | -2,8944 | -2,9095 |

Turint pagalbinę matricą bus galima nustatyti kiekvieno šio rodiklio efektyvumo entropijos lygį. Entropijos lygio reikšmė suskaičiuojama sudauginus pagalbinės matricos atskiro kriterijaus sumą su normalizuotos matricos atvirkštine logaritmo atskiro kriterijaus vidurkio reikšme. Formulė pagal kurią bus atliekami skaičiavimai (4.4), o gauti rezultatai pateikti 23 lentelėje.

$$E_j = -k * \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad \text{čia } k = \frac{1}{\ln m} \quad (4.4)$$

23 lentelė. Entropijos lygio reikšmės

| Kriterijus | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| E_j | 0,997 | 0,955 | 0,999 | 0,998 | 0,997 | 0,983 | 0,988 |

Entropijos reikšmė yra kintanti intervale [0,1].

$$0 \leq E_j \leq 1, \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (4.5)$$

Pagal 23 lentelės gautus duomenis bus surandamas entropijos reikšmės kitimo lygis su formule (4.6), o surasti duomenys surašyti į 24 lentelę.

$$d_j = 1 - E_j, (j = \overline{1, n}) \quad (4.6)$$

24 lentelė. Kitimo lygio reikšmės

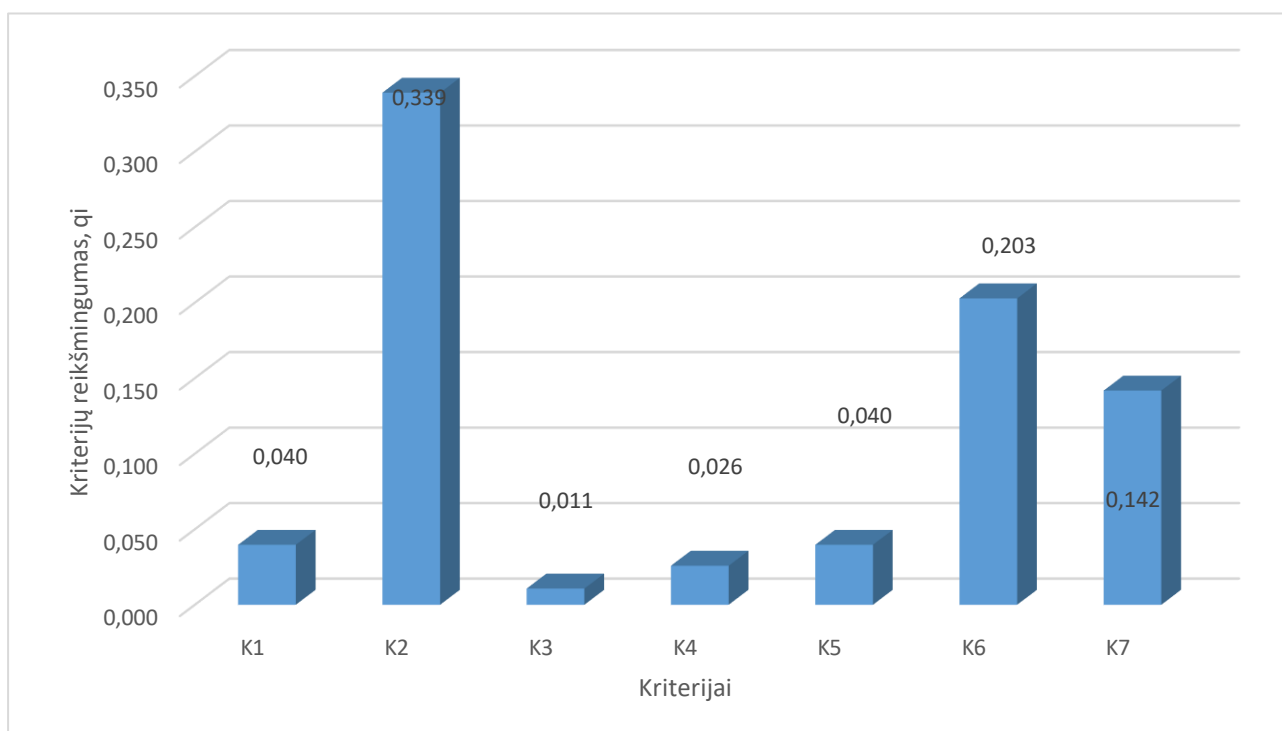
| Kriterijus | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d_j | 0,003 | 0,045 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,017 | 0,012 |
| Suma | 0,084 | | | | | | |

Teorinį kriterijų reikšmingumo rezultatą gaunant, reikia priimti, kad visi šio vertinimo nustatyti kriterijai yra santykinai svarbūs stogo dangos atžvilgiu. Tada, kitimo lygio reikšmę padalinę iš visų kitimo lygių reikšmių sumos gausime visų kriterijų reikšmingumą. Skaičiavimai atlikti pagal formulę (4.7), o suskaičiuoti duomenys pateikti 25 lentelėje.

$$q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, (j = \overline{1, n}) \quad (4.7)$$

25 lentelė. Teorinis kriterijų reikšmingumas

| Kriterijus | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| q_j | 0,040 | 0,339 | 0,011 | 0,026 | 0,040 | 0,203 | 0,142 |



52 pav. Teorinio kriterijų reikšmingumo grafikas

Iš gautų rezultatų, kurie pavaizduoti grafike, matome, kad reikšmingiausias kriterijus yra antrasis – stogo dangos padengimo kaina.

4.3. Daugiakriterinis vertinimas “TOPSIS” metodu

Pirmas žingsnis, taikant šį metodą, pasidaryti pradinę duomenų (alternatyvų ir kriterijų) matricą.

26 lentelė. Pradinė alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|-------------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|------|
| A1 | 10 | 101,86 | 45 | 10 | 10 | 10 | 0,36 |
| A2 | 8 | 29,65 | 40 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A3 | 6 | 27,47 | 35 | 7 | 6 | 10 | 0,36 |
| A4 | 7 | 42,41 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A5 | 8 | 55,89 | 40 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A6 | 8 | 72,01 | 43 | 10 | 8 | 10 | 0,36 |
| A7 | 7 | 54,06 | 36 | 7 | 7 | 10 | 0,36 |
| A8 | 7 | 95,31 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A9 | 7 | 114,06 | 39 | 9 | 7 | 10 | 0,36 |
| A10 | 8 | 109,12 | 41 | 9 | 8 | 10 | 0,36 |
| A11 | 8 | 156,03 | 44 | 10 | 8 | 10 | 0,36 |
| A12 | 7 | 28,32 | 36 | 7 | 7 | 10 | 0,36 |
| A13 | 7 | 29,04 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A14 | 6 | 27,47 | 35 | 7 | 6 | 10 | 0,36 |
| A15 | 7 | 28,25 | 38 | 8 | 7 | 10 | 0,36 |
| A16 | 5 | 27,10 | 35 | 7 | 5 | 5 | 0,2 |
| A17 | 8 | 49,30 | 39 | 9 | 8 | 5 | 0,2 |
| A18 | 7 | 75,13 | 39 | 9 | 7 | 5 | 0,2 |
| A19 | 7 | 27,72 | 38 | 8 | 7 | 5 | 0,2 |
| Suma | 138 | 1150,20 | 737 | 159 | 138 | 170 | 6,2 |
| Optimalumas | MAX | MIN | MAX | MAX | MAX | MIN | MIN |

Padaryta pradinė matrica dabar turi būti normalizuojama. Tai bus gauta, kai pradinės matricos kiekvieną reikšmę padalinsim iš jos stulpelio kvadratinių reikšmių sumos šaknies. Skaičiavimui atlikti bus naudojama formulė (4.8), o gauti duomenys surašyti į 27 lentelę.

$$P_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \bar{x}_{ij}^2}}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \quad (4.8)$$

27 lentelė. Normalizuota alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 0,3128 | 0,0877 | 0,2654 | 0,2717 | 0,3128 | 0,1796 | 0,1891 |
| A2 | 0,2502 | 0,3012 | 0,2359 | 0,2415 | 0,2502 | 0,1796 | 0,1891 |
| A3 | 0,1877 | 0,3250 | 0,2065 | 0,1902 | 0,1877 | 0,1796 | 0,1891 |
| A4 | 0,2190 | 0,2105 | 0,2241 | 0,2294 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A5 | 0,2502 | 0,1597 | 0,2359 | 0,2415 | 0,2502 | 0,1796 | 0,1891 |
| A6 | 0,2502 | 0,1240 | 0,2536 | 0,2596 | 0,2502 | 0,1796 | 0,1891 |
| A7 | 0,2190 | 0,1651 | 0,2123 | 0,1902 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A8 | 0,2190 | 0,0937 | 0,2241 | 0,2294 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A9 | 0,2190 | 0,0783 | 0,2300 | 0,2355 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A10 | 0,2502 | 0,0818 | 0,2418 | 0,2475 | 0,2502 | 0,1796 | 0,1891 |
| A11 | 0,2502 | 0,0572 | 0,2595 | 0,2656 | 0,2502 | 0,1796 | 0,1891 |
| A12 | 0,2190 | 0,3153 | 0,2123 | 0,1902 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A13 | 0,2190 | 0,3075 | 0,2241 | 0,2294 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A14 | 0,1877 | 0,3250 | 0,2065 | 0,1902 | 0,1877 | 0,1796 | 0,1891 |
| A15 | 0,2190 | 0,3161 | 0,2241 | 0,2294 | 0,2190 | 0,1796 | 0,1891 |
| A16 | 0,1564 | 0,3294 | 0,2065 | 0,1902 | 0,1564 | 0,3592 | 0,3404 |
| A17 | 0,2502 | 0,1811 | 0,2300 | 0,2355 | 0,2502 | 0,3592 | 0,3404 |
| A18 | 0,2190 | 0,1188 | 0,2300 | 0,2355 | 0,2190 | 0,3592 | 0,3404 |
| A19 | 0,2190 | 0,3221 | 0,2241 | 0,2294 | 0,2190 | 0,3592 | 0,3404 |

Pasinaudojus gautais teorinio reikšmingumo rezultatais (27 lentelė), bus apskaičiuota svertinė normalizuota matrica. Ją gausim, kai sudauginsim normalizuotos matricos kiekvieną atskirą reikšmę su jos kriterijaus teorinio reikšmingumo reikšme. Rezultatai bus randami pagal (4.9) formulę, o gautos reikšmės surašytos į 28 lentelę.

$$\overline{P}^* = [\overline{P}] * [q_j^*] \quad (4.9)$$

28 lentelė. Svertinė alternatyvų ir kriterijų matrica

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1 | 0,0124 | 0,0297 | 0,0028 | 0,0070 | 0,0124 | 0,0364 | 0,0268 |
| A2 | 0,0099 | 0,1021 | 0,0025 | 0,0062 | 0,0099 | 0,0364 | 0,0268 |
| A3 | 0,0074 | 0,1102 | 0,0022 | 0,0049 | 0,0074 | 0,0364 | 0,0268 |
| A4 | 0,0087 | 0,0714 | 0,0024 | 0,0059 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A5 | 0,0099 | 0,0542 | 0,0025 | 0,0062 | 0,0099 | 0,0364 | 0,0268 |
| A6 | 0,0099 | 0,0420 | 0,0027 | 0,0067 | 0,0099 | 0,0364 | 0,0268 |
| A7 | 0,0087 | 0,0560 | 0,0023 | 0,0049 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A8 | 0,0087 | 0,0318 | 0,0024 | 0,0059 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A9 | 0,0087 | 0,0265 | 0,0025 | 0,0061 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A10 | 0,0099 | 0,0277 | 0,0026 | 0,0064 | 0,0099 | 0,0364 | 0,0268 |
| A11 | 0,0099 | 0,0194 | 0,0028 | 0,0069 | 0,0099 | 0,0364 | 0,0268 |
| A12 | 0,0087 | 0,1069 | 0,0023 | 0,0049 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A13 | 0,0087 | 0,1042 | 0,0024 | 0,0059 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A14 | 0,0074 | 0,1102 | 0,0022 | 0,0049 | 0,0074 | 0,0364 | 0,0268 |
| A15 | 0,0087 | 0,1072 | 0,0024 | 0,0059 | 0,0087 | 0,0364 | 0,0268 |
| A16 | 0,0062 | 0,1117 | 0,0022 | 0,0049 | 0,0062 | 0,0729 | 0,0483 |
| A17 | 0,0099 | 0,0614 | 0,0025 | 0,0061 | 0,0099 | 0,0729 | 0,0483 |
| A18 | 0,0087 | 0,0403 | 0,0025 | 0,0061 | 0,0087 | 0,0729 | 0,0483 |
| A19 | 0,0087 | 0,1092 | 0,0024 | 0,0059 | 0,0087 | 0,0729 | 0,0483 |

Su matricos duomenimis, pateiktais 28 lentelėje, bus galima surasti idealiai geriausią ir blogiausią reikšmės variantą. Jie yra lygūs didžiausiai ir mažiausiai reikšmei pagal atskirų kriterijų aibę. Tai nusako (4.10 ir 4.11) formulės. Išrinktos reikšmės surašytos į 29 lentelę.

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{\overline{a_1}, \overline{a_2}, \dots, \overline{a_n}\} \quad (4.10)$$

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J') | i = \overline{1, m}\} = \{\overline{a_1}, \overline{a_2}, \dots, \overline{a_n}\} \quad (4.11)$$

29 lentelė. Svertinės normalizuotos matricos duomenų geriausi ir blogiausi taškai

| Kriterijus | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Optimalumas | MAX | MIN | MAX | MAX | MAX | MIN | MIN |
| A⁺ | 0,0124 | 0,1117 | 0,0028 | 0,0070 | 0,0124 | 0,0729 | 0,0483 |
| A⁻ | 0,0062 | 0,0194 | 0,0022 | 0,0049 | 0,0062 | 0,0364 | 0,0268 |

Turint šiuos duomenis galima apskaičiuoti atstumą tarp idealiai geriausio ir idealiai blogiausio varianto. Atstumai randami pagal (4.12 ir 4.13) formules. Suskaičiuot rezultatai pateikti 30 ir 31 lentelėse.

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^+)^2}, (i = \overline{1, m}), \quad (4.12)$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - a_j^-)^2}, (i = \overline{1, m}), \quad (4.13)$$

30 lentelė. Skirtumai tarp idealiai teigiamų ir neigiamų variantų (1-10 alternatyvos)

| Alternatyva | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| L ⁺ | 0,0922 | 0,0435 | 0,0429 | 0,0587 | 0,0715 | 0,0816 | 0,0702 | 0,0906 | 0,0952 | 0,0941 |
| L ⁻ | 0,0137 | 0,0829 | 0,0908 | 0,0521 | 0,0352 | 0,0233 | 0,0368 | 0,0129 | 0,0080 | 0,0100 |

31 lentelė. Skirtumai tarp idealiai teigiamų ir neigiamų variantų (11-19 alternatyvos)

| Alternatyva | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 | A16 | A17 | A18 | A19 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| L ⁺ | 0,1016 | 0,0429 | 0,0433 | 0,0429 | 0,0429 | 0,0090 | 0,0504 | 0,0716 | 0,0060 |
| L ⁻ | 0,0056 | 0,0876 | 0,0849 | 0,0908 | 0,0878 | 0,1015 | 0,0598 | 0,0473 | 0,0993 |

Turint variantų taškų skirtumus gali būti nustatomas kiekvienos alternatyvos atstumas iki idealaus taško. Skaičiavimai atliekami pagal (4.14) formulę. Gauti rezultatai surašyti į 32 ir 33 lenteles.

$$K_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, i = \overline{1, m}, \text{ kai } K_i \in [0, 1]. \quad (4.14)$$

32 lentelė. Santykinis atstumas iki idealaus taško (1-10 alternatyvos)

| Alternatyva | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K _i | 0,1295 | 0,6558 | 0,6789 | 0,4704 | 0,3298 | 0,2223 | 0,3438 | 0,1246 | 0,0779 | 0,0959 |

33 lentelė. Santykinis atstumas iki idealaus taško (11-19 alternatyvos)

| Alternatyva | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 | A16 | A17 | A18 | A19 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K _i | 0,0527 | 0,6710 | 0,6625 | 0,6789 | 0,6721 | 0,9181 | 0,5427 | 0,3978 | 0,9435 |

Iš gautų duomenų matyti, kad K_i reikšmė kinta intervale [0;1]. Tai rodo, kad idealiai teigiamas variantas esą arčiau vieneto, o idealiai neigiamas variantas – arčiau nulio. Taigi, galiausiai bus surandamas naudingumo laipsnis, kuris padės nustatyti geriausią variantą iš pateiktų stogo dangų visų alternatyvų. Naudingumo laipsnis skaičiuojamas pagal formulę (4.15), o gauti rezultatai pateikti 34 ir 35 lentelėse.

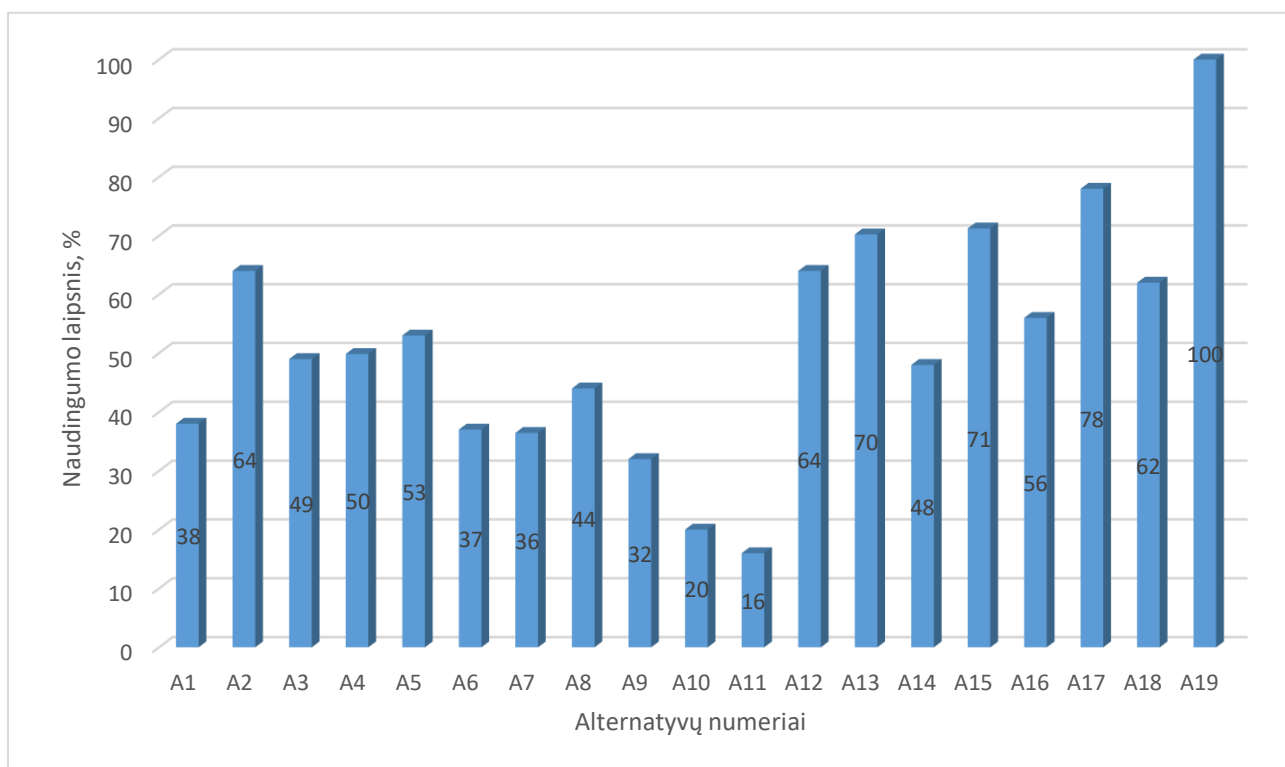
$$N_i = \frac{K_i}{K_{imax}} * 100 \% \quad (4.15)$$

34 lentelė. Naudingumo laipsnis (1-10 alternatyvos)

| Alternatyva | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| K _i | 38 | 64 | 49 | 50 | 53 | 37 | 36 | 44 | 32 | 20 |

35 lentelė. Naudingumo laipsnis (11-19 alternatyvos)

| Alternatyva | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 | A16 | A17 | A18 | A19 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| K_i | 16 | 64 | 70 | 48 | 71 | 56 | 78 | 62 | 100 |



53 pav. Alternatyvų naudingumo grafikas pagal pasirinktus kriterijus

4.4. Apibendrinimas

Daugiakriterinis vertinimas buvo atliktas pagal daugiataksių „TOPSIS“ skaičiavimo metodą. Visi tyrime nudažyti stogo dangos mėginiai buvo pasirinkti, kaip galimos alternatyvos, kurių savybes aprašė pasirinkti septyni kriterijai.

Naudojantis entropijos metodu buvo surastas reikšmingiausias kriterijus – stogo dangos padengimo kaina (52 pav.).

Atlikus visus reikiamus skaičiavimus pagal „TOPSIS“ metodą, buvo išsiaiškinta, kad naudingiausia alternatyva yra Nr. 19 (53 pav.). Tai bandinys, kuris buvo nupurkštas dažais su 10% koncentracija maistinio titano dioksido. Mažiausią naudą teikia Nr. 11, nes jame buvo didžiausia titano dioksido koncentracija, kas žymiai pakėlė bandinio kainą, o geriausių rezultatų tyrimuose neparodė.

Išvados

1. Atlikus tyrimus, smulkinant ir įmaišant titano dioksidą į dažus ir jais nudažant bandinius, buvo nustatyta vizualiai ir su skaitmeniniu spalvos kodų skaitikliu, kad nudažyti bandiniai su katalizatoriaus koncentracija didesne nei 10% įtakoja bazinės spalvos pakitimą. Su vis didesne koncentracija mėginių paviršius šviesėja.
2. Atlikus eksperimentą galima nustatyti savaiminio paviršiaus nusivalomumo efekto rezultatus, kurie rodo, kad mėginiai padengti su 10% titano dioksido koncentracija, kuris į dažų masę buvo maišomas ultragarsu parodė geriausias teršalų nusivalymo savybes. Ypač didelis efektas matėsi, kai bandiniai buvo apliejami vandeniu.
3. Atlikus tyrimus ir gautais oro taršos (azoto dioksidų) skaidymo rezultatus, buvo nustatyta, kad mėginiai su katalizatoriaus priemaiša, kurio dažuose buvo 10% koncentracija, o į dažus jis buvo maišomas ultragarsu, azoto oksidus išskaidė 30% sparčiau (per 70 minučių), nei mėginiai be titano dioksido priemaišų (per 110 minučių).
4. Atlikus eksperimentą skirtumas tarp maistinio ir pramoninio titano dioksido nebuvo labai žymus. Pramoniniu titano dioksidu padengti mėginiai rodė panašius efektų rezultatus visuose darytuose tyrimuose.
5. Atlikus eksperimentą skirtumas tarp įmaišymo į dažų masę buvo pastebimas. Titano dioksidas įmaišytas į dažų masę ultragarsinio įrenginio pagalba parodė geriausias rezultatus visuose tyrimuose. Tai rodo, kad tolygesnis katalizatoriaus dalelių pasiskirstymas dažų sluoksnio paviršiuje, turi įtakos jo savybių efektyvumui.
6. Eksperimento metu, buvo išsiaiškinta, kad titano dioksido dalelės smulkintos tam tikroje skysčių terpėje gali pagerinti jo savybių efektyvumą. Deja, šio tyrimo metu, mes skaidymą atlikom sumaišę titano dioksidą vandenyje ir pasinaudoję ultragarsinės sistemos įrenginiu, kas tikriausiai pakenkė katalizatoriaus kristalinei gardelei, nes bandiniai, kuriuose buvo įmaišytas mūsų skaidytas titano dioksidas, parodė šiek tiek prastesnius rezultatus, nei mėginiai su neskaidytu pigmentu.
7. Atlikus eksperimentą skirtumas tarp skirtingos padengimo technologijos (purškimas ir tepimas volelio) tyrimų rezultatuose nebuvo pastebėtas. Nors, padengimo technologija paprastesnė, nustatyta dažų išeiga ant mėginių taip pat gavosi mažesnė. Laiko trukmės atžvilgiu, tokį patį stogo dangos plotą būtų galima dvigubai sparčiau padengti nei dažant voleliu.
8. Atlikus daugiakriterinį vertinimą ir pasinaudojus entropijos reikšmingumo metodu, buvo nustatyta, kad kriterijus K2 (stogo dangos įrengimo kaina) buvo reikšmingiausias. Remiantis reikšmingumo metodu gautais atsakymais ir pasinaudojus „TOPSIS“ daugiakriterinio metodo skaičiavimais, buvo nustatyta, kad naudingiausia stogo dangų alternatyva yra Nr. 19 (mėginys su 10% maistinio tipo titano dioksido koncentracija, kuri ant stogo dangos lakšto buvo padengta purškimo technologija). Mažiausią naudingumo laipsnį turi bandinys Nr. 11 (mėginys, padengtas dažais su skaidytu, pramoniniu ir 18% koncentracija titano dioksido).

Literatūros sąrašas

1. Prasad, K., Pinjari, D. V., Pandit, A. B., & Mhaske, S. T. (2010). Synthesis of titanium dioxide by ultrasound assisted sol–gel technique: effect of amplitude (power density) variation. *Ultrasonics sonochemistry*, 17(4), 697-703.
2. Prasad, K., Pinjari, D. V., Pandit, A. B., & Mhaske, S. T. (2010). Phase transformation of nanostructured titanium dioxide from anatase-to-rutile via combined ultrasound assisted sol–gel technique. *Ultrasonics sonochemistry*, 17(2), 409-415.
3. Liang, H., Ueno, A., & Shinohara, K. (2000). UV protection effectiveness of plastic particles coated with titanium dioxide by rotational impact blending. *Chemical Engineering Research and Design*, 78(1), 49-54.
4. Qi, J., Ye, Y. Y., Wu, J. J., Wang, H. T., & Li, F. T. (2013). Dispersion and stability of titanium dioxide nanoparticles in aqueous suspension: effects of ultrasonication and concentration. *Water Science and Technology*, 67(1), 147-151.
5. Rutkoviėnė, V. M., & Sabienė, N. (2011). Aplinkos tarša.
Prieiga per internetą: http://dSPACE.lzuu.lt/bitstream/1/548/1/Aplinkos%20tarsa.%20Rutkoviene,%20Sabiene_1.pdf
6. Julsgaard, M., Christensen, L. A., Gibson, P. R., Gearry, R. B., Fallingborg, J., Hvas, C. L., ... & Grosen, A. (2016). Concentrations of adalimumab and infliximab in mothers and newborns, and effects on infection. *Gastroenterology*, 151(1), 110-119.
7. Diasanayake, M. A. K. L., Senadeera, G. K. R., Sarangika, H. N. M., Ekanayake, P. M. P. C., Thotawattage, C. A., Divarathne, H. K. D. W. M. N. R., & Kumari, J. M. K. W. (2016). TiO₂ as a low cost, multi functional material. *Materials Today: Proceedings*, 3, S40-S47.
8. Berdahl, P., Akbari, H., Levinson, R., & Miller, W. A. (2008). Weathering of roofing materials—an overview. *Construction and Building Materials*, 22(4), 423-433.
9. Gerikienė¹, V., & Kučinskienė, J. Žaliųjų stogų ir sienų panaudojimas aplinkos optimizavime.
Prieiga per internetą: http://www.zak.lt/mokslo_darbai/2011_117_123.pdf
10. Lašas, S. (2014). Informacijos apie plokščiuosius eksploatuojamus stogus trūkumo analizė ir duomenų bazės kūrimas (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University).
11. Kovaitis, V. Eksploatuojamų stogų racionalaus varianto parinkimas (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University).
Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:8730059>
12. Stogų dangos.(2012).
Prieiga per internetą: http://www.supernamai.lt/stogu_konstrukcija_%E2%80%93stogu_tipai/
13. Zhang, K., Li, H., Fu, D., Zhou, F., & Chen, M. (2011). Characteristics of heavy metal pollution in runoff from three different types of roofs. *Huanjing Kexue Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae*, 31(4), 724-730.
14. Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and urban planning*, 77(3), 217-226.

15. Gualtieri, A. F., Cavenati, C., Zanatto, I., Meloni, M., Elmi, G., & Gualtieri, M. L. (2008). The transformation sequence of cement–asbestos slates up to 1200 C and safe recycling of the reaction product in stoneware tile mixtures. *Journal of hazardous materials*, 152(2), 563-570.
16. Talib, R., Ahmad, A. G., & Sulieman, M. Z. (2015). Classification of factors contributing to roof leaking focusing on clay tile roof and asbestos roof on Malaysia heritage buildings. *Advances in Environmental Biology*, 9(5), 11-14.
17. Yuan, L., Han, A., Ye, M., Chen, X., Ding, C., & Yao, L. (2018). Preparation, characterization and thermal performance evaluation of coating colored with NIR reflective pigments: BiVO₄ coated mica-titanium oxide. *Solar Energy*, 163, 453-460.
18. Gacek, M., Brown, N. E., Peet, J. H., Giardella, L., & Yu, T. (2019). U.S. Patent Application No. 16/238,657.
19. Ahmed, R. M., & Alibaba, H. Z. (2016). An Evaluation of Green roofing in Buildings. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(1), 366-373.
20. Moon, D. R., Heard, D. E., Ingham, T., Chipperfield, M., Seakins, P. W., Baeza Romero, M. T. T., & Taverna, G. S. (2016, December). Heterogeneous production and loss of HO_x by airborne TiO₂ particles and implications for climate change mitigation strategies. In AGU Fall Meeting Abstracts.
21. Paolini, R., Borroni, D., Pedferri, M., & Diamanti, M. V. (2018). Self-cleaning building materials: The multifaceted effects of titanium dioxide. *Construction and Building Materials*, 182, 126-133.
22. Dorow-Gerspach, D., Mergel, D., & Wuttig, M. (2017). TiO₂: a study of electrical, dielectric and structural features as a route towards understanding a novel transparent conductive oxide (No. RWTH-2017-04720). Fachgruppe Physik.
23. Hassan, M. M., Mohammad, L. N., Cooper III, S. B., & Dylla, H. (2011). Evaluation of nano–titanium dioxide additive on asphalt binder aging properties. *Transportation Research Record*, 2207(1), 11-15.
24. Frazer, L. (2001). Titanium dioxide: environmental white knight?. *Environmental health perspectives*, 109(4), A174-A177.
Prieiga per internetą: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.109-a174>
25. Titanium Element Facts.(2012).
Prieiga per internetą: <http://www.chemicool.com/elements/titanium.html>
26. Čyviienė, J., Navickas, E., Milčius, D., & Laukaitis, G. (2009). Titanium oxide thin films synthesis by pulsed–DC magnetron sputtering. *Vacuum*, 83, S91-S94.
27. Diebold, U. (2003). The surface science of titanium dioxide. *Surface science reports*, 48(5-8), 53-229.
Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167572902001000>
28. Fernández-Rodríguez, H., Alonso, E., & Jose Cocero, M. (2011). Synthesis of Doped Nanoparticles in Supercritical CO₂.
Prieiga per internetą: <http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:9eApF6aHb4J:scholar.google.com>

+SYNTHESIS+OF+DOPED+NANOPARTICLES+IN+SUPERCRITICAL+CO2&hl=lt&as_sdt=0,5

29. Fujishima, A., Rao, T. N., & Tryk, D. A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry reviews*, 1(1), 1-21.
30. Avasarala, B. K., Tirukkovalluri, S. R., & Bojja, S. (2016). Magnesium doped titania for photocatalytic degradation of dyes in visible light. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, 6(1).
31. Neubert, S., Mitoraj, D., Shevlin, S. A., Pulisova, P., Heimann, M., Du, Y., ... & Macyk, W. (2016). Highly efficient rutile TiO₂ photocatalysts with single Cu (II) and Fe (III) surface catalytic sites. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(8), 3127-3138.
32. Thompson, T. L., & Yates, J. T. (2006). Surface science studies of the photoactivation of TiO₂ new photochemical processes. *Chemical Reviews*, 106(10), 4428-4453.
33. Qin, L. Z., Liang, H., Liao, B., Liu, A. D., Wu, X. Y., & Sun, J. (2013). Photocatalytic performance of Fe-, Ni-, or Cu-ion implanted TiO₂ films under UV light, visible light and sunlight irradiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 307, 385-390.
34. Schneider, J., Matsuoka, M., Takeuchi, M., Zhang, J., Horiuchi, Y., Anpo, M., & Bahnemann, D. W. (2014). Understanding TiO₂ photocatalysis: mechanisms and materials. *Chemical reviews*, 114(19), 9919-9986.
35. Stratton, J., & Goodwin, G. (2010). U.S. Patent No. 7,776,954. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US7776954B2/en>
36. Abrahao, R. T., Postal, V., Paiva, J. L., & Guardani, R. (2013). Wettability study for pigmentary titanium dioxide. *Journal of Coatings Technology and Research*, 10(6), 829-840.
37. Titano dioksidas.
Prieiga per internetą: https://www.muilovirtuve.lt/kiti-produktai/175-titano-dioksidas-20g-50g-100g.html#/26-dydis-100g_plastik_maiselis
38. Suda, S., & Komazaki, Y. (1991). The effective thermal conductivity of a metalhydride bed packed in a multiple-waved sheet metal structure. *Journal of the Less Common Metals*, 172, 1130-1137.
39. Svarstyklės, elektroninės GR-202 Nr.14210265.
Prieiga per internetą: https://apcis.ktu.edu/lt/site/katalogas?cat_id=115&more=6487&type=1
40. Ultragarsinė zondo sklaidos įranga.
Prieiga per internetą: <http://lt.cgultrasonic.com/ultrasonic-sonochemistry-machine/ultrasonic-dispersion-machine/ultrasonic-probe-dispersion-equipment.html>
41. Klimatinė kamera su CO₂ ir NO dujų padavimu.
Prieiga per internetą: https://apcis.ktu.edu/lt/site/katalogas?cat_id=115&more=9274&type=1
42. Naujos dujų koncentracijos ir sudėties matavimo technologijos.
Prieiga per internetą: https://www.ase-lt.lt/industrial_scientific/
43. Rutkovienė, V. M., & Sabienė, N. (2011). Aplinkos tarša.

- Prieiga per internetą: http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/548/1/Aplinkos%20tarsa.%20Rutkoviene.%20Sabiene_1.pdf
44. Baublys, J., Miškinis, V., & Morkvėnas, A. (2011). Lietuvos energetikos darna su gamta. *energetika*, 57(2).
 45. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
 46. MacCrimmon, K. R. (1968). Decisionmaking among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach (No. RM-4823-ARPA). RAND CORP SANTA MONICA CA.
 47. Ginevičius, R. (1998). E. Zavadskas, A. Kaklauskas. PASTATŲ SISTEMOTECHNINIS ĮVERUNIMAS. V.: Technika, 1996. 275 p. *Statyba*, 4(1), 91-91.
 48. Chen, X., & Selloni, A. (2014). Introduction: titanium dioxide (TiO₂) nanomaterials.
 49. Atlas at a glance.
Prieiga per internetą: <https://www.atlas-mts.com/>
 50. Prieiga per internetą: http://lifeprojektai.lt/renginiai/tvarus-judejimas-mieste-klimatas-oras-sveikata/4.-a.rogoza_poveikis-sveikatai.pdf/@@inline-view
 51. Užteršto oro įtaka žmogaus sveikatai.
Prieiga per internetą: <https://www.etaplus.lt/uztersto-oro-itaka-zmogaus-sveikatai>
 52. Prieiga per internetą: https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/f58c3ad0544711e98bc2ba0c0453c004?jfwid=12nbarz_wxy
 53. Diasanayake, M. A. K. L., Senadeera, G. K. R., Sarangika, H. N. M., Ekanayake, P. M. P. C., Thotawattage, C. A., Divarathne, H. K. D. W. M. N. R., & Kumari, J. M. K. W. (2016). TiO₂ as a low cost, multi functional material. *Materials Today: Proceedings*, 3, S40-S47.
 54. Prieiga per internetą: <http://www.statybostaisykles.lt>
 55. Prieiga per internetą: <https://www.paroc.lt>
 56. Collier, Z. A., Wang, D., Vogel, J. T., Tatham, E. K., & Linkov, I. (2013). Sustainable roofing technology under multiple constraints: a decision-analytical approach. *Environment Systems and Decisions*, 33(2), 261-271.
 57. Šivickas, M. Stogų daugiakriterės analizės sprendimų paramos sistema (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University).
 58. Kovaitis, V. Eksploatuojamų stogų racionalaus varianto parinkimas (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University). Kovaitis, V. Eksploatuojamų stogų racionalaus varianto parinkimas (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University).
 59. Matuzevičius, E. (2014). Eksploatuojamų stogų įrengimo technologijų ir patikimumui poveikį darančių veiksnių analizė (Doctoral dissertation, Vilnius Gediminas Technical University).
 60. Prieiga per internetą: <http://www.statybunaujienos.lt>
 61. Prieiga per internetą: <https://structum.lt>
 62. Simanavičienė, R. (2011). Kiekybinių daigiatikslų sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė (Doctoral dissertation, VGTU leidykla „Technika“).
 63. Prieiga per internetą: <http://www.lsd.lt/index.php?-1179421641>

SUDERINTA: _____ TŪKST.LT.

TVIRTINU: _____ TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2012 M. MĖN. D.

2012 M. MĖN. D.

LOKALINĖ SĄMATA

Sudaryta pagal 2019.03 kainas

Statinių grupė 334 ds1**Statiny 1 1****Žiniaraštis 1 1**

2019.12.19

Suma žiniaraščiui 2746.7 EUR

| Sąm. eil. | Darbo, resursų pavadinimas | Mato vienetas | Norma | Kiekis | Kaina EUR | Iš viso EUR |
|-----------|---|------------------|------------------|--------|----------------------------|----------------|
| 1 | 1 | | | | | |
| 1 | N15P-1401 | 100m2 | | 1,0 | | |
| | Pastatų stogų paviršiaus dažymas silikatiniais dažais vienu sluoksniu voleliu k9=1.15 | | | | | |
| | Darbo sąn. kateg. 4.5 | žm.val. | 45,0 | 45,0 | 85,8 | 386,1 |
| | 230153 Silikatiniai dažai | kg | 289,0 | 289,0 | 47,3 | 1367,0 |
| | 489244 Smulkūs mechanizmai su el. varikliu | maš.val | 1,5 | 1,5 | 5,2 | 0,8 |
| | N15P-1401 Darbo užm. 38.61 | Medžiagos 136.70 | Mechanizmai 0.08 | | | Iš viso 175.39 |
| | Iš viso skyriuje 1 Darbo užm. 39 | Medžiagos 137 | Mechanizmai | | | Iš viso 176 |
| | Viso žiniaraštyje 1 Darbo užm. 39 | Medžiagos 137 | Mechanizmai | | | Iš viso 176 |
| | Papildomų medžiagų vertė 3.00% | | | 4 | | |
| | Papildomų mechanizmų vertė 3.00% | | | | | |
| | Sezoniniai darbai 15.00% (39) | | 6 | | | |
| | Specifiniai darbai 17.00% | | | | | |
| | Papildomas darbo užmokestis 8.00%(39+6) | | 4 | | | |
| | Viso: | | 49 | 141 | | 190 |
| | Soc.draudimo išlaidos 1.79%(39+6+4) | | 1 | | | |
| | Statinio statybos išlaidos | Viso: | 50 | 141 | | 191 |
| | Statybvietės išlaidos 8.00% | | | | | 15 |
| | Iš viso tiesioginės išlaidos | | | | | 206 |
| | Pridėtinės išlaidos 20.90%(39+6+4) | | | | | 10 |
| | Pelnas 5.00%(206+10) | | | | | 11 |
| | Iš viso netiesioginės išlaidos | | | | | 21 |
| | | | | | Bendra vertė be PVM | 2270 |
| | Pridėtinės vertės mokestis 21.00% | | | | | 476,7 |
| | | | | | Bendra vertė su PVM | 2746,7 |

Sudarė :

/Pavardė/

SUDERINTA: _____ TŪKST.LT.

TVIRTINU: _____ TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2012 M. MĖN. D.

2012 M. MĖN. D.

LOKALINĖ SĄMATA

Sudaryta pagal 2019.03 kainas

Statinių grupė 332 1**Statinys 1 1****Žiniaraštis 1 1**

2019.12.19

Suma žiniaraščiui 2710.4 EUR

| Sąm. eil. | Darbo, resursų pavadinimas | Mato vienetas | Norma | Kiekis | Kaina EUR | Iš viso EUR |
|-------------------|---|---------------|-------|---------------|----------------------------|----------------|
| 1 | 1 | | | | | |
| 1 | N15P-1401 | 100m2 | | 1,0 | | |
| | Pastatų stogų paviršiaus dažymas silikatiniais dažais vienu sluoksniu purkštuvu k9=1.15 | | | | | |
| | Darbo sąn. kateg. 5.0 | žm.val. | 25,0 | 25,0 | 89,6 | 224,0 |
| | 230153 Silikatiniai dažai | kg | 324,0 | 324,0 | 47,3 | 1532,5 |
| | 489244 Smulkūs mechanizmai su el. varikliu | maš.val | 1,6 | 1,6 | 5,2 | 0,8 |
| | 489246 Mažosios mechanizacijos priemonės su elektros varikliu | maš.val | 23,0 | 23,0 | 30,6 | 70,4 |
| | N15P-1401 Darbo užm. 22.40 Medžiagos 153.25 Mechanizmai 7.12 | | | | | Iš viso 182.77 |
| Iš viso skyriuje | 1 Darbo užm. 22 | Medžiagos 153 | | Mechanizmai 7 | | Iš viso 182 |
| Viso žiniaraštyje | 1 Darbo užm. 22 | Medžiagos 153 | | Mechanizmai 7 | | Iš viso 182 |
| | Papildomų medžiagų vertė 3.00% | | | 5 | | |
| | Papildomų mechanizmų vertė 3.00% | | | | | |
| | Sezoniniai darbai 15.00% (22) | | | 3 | | |
| | Specifiniai darbai 17.00% | | | | | |
| | Papildomas darbo užmokestis 8.00%(22+3) | | | 2 | | |
| | Viso: | | 27 | 158 | 7 | 192 |
| | Soc.draudimo išlaidos 1.79%(22+3+2) | | | | | |
| | Statinio statybos išlaidos | Viso: | 27 | 158 | 7 | 192 |
| | Statybviētės išlaidos 8.00% | | | | | 15 |
| | Iš viso tiesioginės išlaidos | | | | | 207 |
| | Pridėtinės išlaidos 20.90%(22+3+2) | | | | | 6 |
| | Pelnas 5.00%(207+6) | | | | | 11 |
| | Iš viso netiesioginės išlaidos | | | | | 17 |
| | | | | | Bendra vertė be PVM | 2240 |
| | Pridėtinės vertės mokestis 21.00% | | | | | 470,4 |
| | | | | | Bendra vertė su PVM | 2710,4 |

Sudarė :

/Pavardė/