



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir Architektūros fakultetas

**Savaime nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo  
technologijų tyrimai**

Magistro baigiamasis studijų projektas

---

**Raimondas Bakutis**

Projekto autorius

**Doc. dr. Algirdas Augonis**

Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir Architektūros fakultetas

# **Savaime nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo technologijų tyrimai**

Magistro baigiamasis studijų projektas

Statybos valdymas (kodas 6211EX007)

---

**Raimondas Bakutis**

Projekto autorius

**Doc. dr. Algirdas Augonis**

Vadovas

**Lekt. Vytautas Sasnauskas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir Architektūros fakultetas

Raimondas Bakutis

## **Savaime nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo technologijų tyrimai**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Raimondo Bakučio, baigiamasis projektas tema „Savaime nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo technologijų tyrimai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)

## *Turinys*

<b>Įvadas</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Literatūros apžvalga</b> .....	<b>13</b>
1.1. Titano dioksidas (TiO <sub>2</sub> ) .....	17
1.2. Klimato ir kitų veiksnių įtaka fasadui. ....	18
1.3. Fasadų tipai ir jų apžvalga.....	19
<b>2. Tyrimo metodika</b> .....	<b>22</b>
2.1. Daugiakriterinio vertinimo modeliai ir metodai .....	22
2.2. Topsis metodas.....	23
2.3. Tyrimui atlikti naudojama įranga ir medžiagos .....	24
<b>3. Eksperimentinė tiriamoji dalis</b> .....	<b>29</b>
3.1. Mėginių paruošimas su smulkinamu TiO <sub>2</sub> .....	30
3.2. Mėginių paruošimas su nano TiO <sub>2</sub> . ....	35
3.3. Oro valymo tyrimas.....	40
<b>4. Daugiakriterinis vertinimas</b> .....	<b>45</b>
4.1. Vertinimo kriterijai.....	45
4.2. Entropijos teorinio reikšmingumo metodas. ....	46
4.3. Fasado dangų vertinimas TOPSIS metodu. ....	48
<b>Išvados</b> .....	<b>53</b>
<b>Literatūros sąrašas</b> .....	<b>55</b>

## *Paveikslų sąrašas*

1 pav. Katalizatoriaus TiO <sub>2</sub> galimybės fotokatalizės procese (sudaryta pagal Rajendra C. Pawar, 2015).....	17
2 pav. Titano dioksidas suskaido vandens molekules į laisvųjų radikalų hidroksilo grupes [18]. ....	18
3 pav. Fasadų eksploatacinis palyginimas su panaudotom nanotechnologijom ir be jų [20].....	19
4 pav. Azoto oksidų skaidymo principas [32]. ....	25
5 pav. Svarstyklės, elektroninės [33].....	25
6 pav. Ultragarstinė homogenizavimo įranga [34]. ....	26
7 pav. Klimatinė kamera su UV apšvietimu [35]. ....	27
8 pav. Dujų analizatorius „IBRID MX6“. ....	27
9 pav. Spalvos kodo nustatymo prietaisas. ....	28
10 pav. Fibrocementinės dailylentės “cedral” mėginys.....	31
11 pav. Sertifikuotos skaitmeninės svarstyklės. ....	31
12 pav. Ultragarstinė homogenizavimo įranga. ....	32
13 pav. Spalvos kodo analizatorius. ....	32
14 pav. Dėmių išdėstymo ant mėginių schema: 1 – sakai, 2 – žiedadulkės, 3 – šilauogės, 4 – suodžiai, 5 – purvas. ....	34
15 pav. Klimatinė kamera su UV apšvietimu.....	34
16 pav. Mėginių fotofiksacija po 4 sav.....	35
17 pav. Tyrimui parinkti fasadų apdailods mėginiai: 1 – “Cedral” fibrocementinė dailylentė, 2 – beasbestinis banguotas lakštas, 3 – kalkių – cemento tinkas, 4 – skarda. ....	36
18 pav. Tyrimui naudojamų mėginių padengimas dažais su skirtingomis nano TiO <sub>2</sub> proporcijomis. ....	36
19 pav. Dėmių išdėstymo ant bandynių su nano TiO <sub>2</sub> schema.....	38
20 pav. Mėginių fotofiksacija po 6 sav.....	38
21 pav. Mėginių palyginimas po 4 sav. Kairėje pusėje naudotas „Cristal 128“ katalizatorius, dešinėje naudotas „Degussa p25“ katalizatorius. ....	40
22 pav. Azoto oksido taršos procentinė išraiška [23].....	40
23 pav. Dujų analizatorius „Ibrid MX6“. ....	41
24 pav. NO <sub>2</sub> dujų skaidymosi analizavimo kamera.....	41
25 pav. NO <sub>2</sub> dujų kitimo grafikas naudojant Cedral fasado dangų mėginius. ....	42
26 pav. NO <sub>2</sub> dujų kitimo grafikas naudojant beasbestinių banguotų lakštų mėginius. ....	43
27 pav. NO <sub>2</sub> dujų kitimo grafikas naudojant kalkių cementinio tinko mėginius.....	44
28 pav. NO <sub>2</sub> dujų kitimo grafikas naudojant skardos mėginius. ....	44
29 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas.....	48

30 pav. Naudingumo laipsniai.....	52
-----------------------------------	----

## *Lentelių sąrašas*

1 lentelė. “Cristal 128” markės techninės charakteristikos. ....	29
2 lentelė. “Degussa p 25” markės techninės charakteristikos .....	30
3 lentelė. Mėginių masių susistemimas po technologinių dažų padengimo procesų, naudojant “Cristal 128” markės TiO <sub>2</sub> . ....	33
4 lentelė. Mėginių masių susistemimas po technologinių dažų padengimo procesų, naudojant “Degussa p25” markės TiO <sub>2</sub> . ....	37
5 lentelė. Nešvarumų skaidymo vertinimo susiteminimas. ....	39
6 lentelė. Duomenys skaidant kenksmingas NO dujas su „Cedral“ mėginiais. ....	42
7 lentelė. Duomenys skaidant kenksmingas NO dujas su beasbestinių banguotų lakštų mėginiais. ....	43
8 lentelė. Duomenys skaidant NO <sub>2</sub> dujas su kalkių – cemento tinko mėginiais. ....	43
9 lentelė. Duomenys skaidant NO <sub>2</sub> dujas su skardos mėginiais. ....	44
10 lentelė. Pradinė kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	46
11 lentelė. Normalizuota kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	46
12 lentelė. Papildoma kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	47
13 lentelė. Entropijos lygiai. ....	47
14 lentelė. Kriterijų kitimo lygiai. ....	47
15 lentelė. Teorinis kriterijų reikšmingumas. ....	48
16 lentelė. Pradinė kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	49
17 lentelė. Normalizuota kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	49
18 lentelė. Svertinė kriterijų ir alternatyvų matrica. ....	50
19 lentelė. Svertinės kriterijų ir alternatyvų matricos ideali teigiama ir neigiama alternatyvos. ....	50
20 lentelė. Idealus teigiamas atstumas. ....	50
21 lentelė. Idealus neigiamas atstumas. ....	51
22 lentelė. $K_{bit}$ reikšmės. ....	51
23 lentelė. Naudingumo laipsnio rezultatai. ....	51

Bakutis, Raimondas. Savaimė nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo technologijų tyrimai. Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Algirdas Augonis; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir Architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Statybos valdymas, Technologijos.

Reikšminiai žodžiai: nusivalantys fasadai, oro valymas, fotokatalizė.

Kaunas, 2019. 58 p.

### ***Santrauka***

TiO<sub>2</sub> (titano dioksidas) - novatoriška medžiaga pasižyminti unikaliomis savybėmis, įterpta į fasadinių dangų ar stogų padengimo medžiagas, veikia kaip katalizatorius fotokatalizės principu, kai danga yra veikiamą UV spindulių. Tokios apdailos dangos kurių gamyboje panaudotas TiO<sub>2</sub>, padeda valyti azoto oksidais (NO<sub>x</sub>) užterštą orą. Taip pat tokie gaminiai skaido ant jų paviršiaus papuolusius nešvarumus bei pačios nusivalo. Šiame darbe numatyta atlikti eksperimentus padengiant gaminio paviršių fotokatalizę sukeliančiomis medžiagomis ir nustatyti nešvarumų ir organikos skaidymo ir oro valymo efektyvumą veikiant bandinius UV spinduliams. Taip pat numatyta atlikti tokių dangų daugiakriterinį įvertinimą.



Bakutis, Raimondas. Technology Research of Self-Cleaning and Air-Cleaning Facade Coatings. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Algirdas Augonis; The Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area: Construction Management, Technology.

Keywords: self-cleaning, air-cleaning, photocatalysis,

Kaunas, 2019. 58 pages.

### *Summary*

TiO<sub>2</sub> (Titanium Dioxide) - an innovative material with unique properties, embedded in facade coatings or roofing materials, acts as a catalyst for photocatalysis principle when exposed to UV rays. Those finishing coatings in which production was used TiO<sub>2</sub>, helps to purify air, which is, polluted with nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>). Also, such products decompose dirt on their surfaces and cleans itself. In this work it is envisaged to carry out experiments on the surface of the product with photocatalytic substances and to determine the efficiency of dirt and organic decomposition and air purification when exposed to UV rays. It is also planned to perform multi-criteria assessment.

## Įvadas

Pastato fasadas – tai lyg pastato veidas, vizitinė kortelė, pirmojo įspūdžio formavimo objektas. Fasadas reprezentuoja statinį, suteikdamas jam išskirtinumą ir patrauklumą. Gražus ir funkcionalus fasadas yra netik geros architektūros, bet ir kokybiškai atlikto darbo bei novatoriškų technologijų ar medžiagų panaudojimo rezultatas. Patikimos ir kokybiškos medžiagos, tinkamai atlikti darbai, suteikia galimybę maksimaliai patenkinti architekto ir kliento norus kartu padidinant pastato ilgaamžiškumą bei estetiką.

Estetika – tai labai subjektyvus dalykas, tačiau skirtingų spalvų fasadai gali turėti skirtingą poveikį bendram pastato vaizdui. Taip pat reikėtų atsižvelgti į tai, jog skirtingos medžiagos gali būti nudažomos ne tomis pačiomis spalvomis. Gausi spalvų gama yra būdinga tinkams, medinėms, plastikinėms ar fibrocementinėms fasadinėms dailylentėms. Tuo tarpu, keramikinės medžiagomis padengtas fasadas dažniau pasižymi ribota spalvų palete [1].

Fasado apdailos medžiagų įvairovė šiai dienai yra labai didelė, todėl dažnu atveju vizualinį išpildymą lemia pastato paskirtis ir tai paskirčiai tinkamiausios taikyti fasado įrengimo sistemos. Pastato išvaizda turėtų būti gerai apgalvota, įvertinti jos estetiniai, funkciniai bei ekonominiai sprendimai [1]. Išorinė pastato dalis yra labiausiai veikiama aplinkos veiksnių, tai klimatinės oro sąlygos, nešvarumai, dulkės, įvairus ore esantys teršalai, todėl labai svarbu, kad fasado apdailos dangos būtų kuo atsparesnės ir lengviau eksploatuojamos. Šis tikslas taptu lengviau pasiekiamas jei fasado dangos taptu savaime nusivalančios ir tuo pat metu orą valančios. Pasaulyje jau yra eksperimentuojama su naujomis fasadų apdailos medžiagomis, kurios fotokatalitinio proceso principu tampa pačios save nusivalančios, kartu ir valančios orą, kadangi naudojamos technologijos padeda valyti azoto oksidais (NOx) užterštą orą.

**Mokslinė problema** - šiuo metu visame pasaulyje didelio susidomėjimo sulaukia novatoriškos medžiagos, kurios pasižymi unikaliomis savybėmis. Viena iš naujovių – specialiomis medžiagomis modifikuotos fasado apdailos statybos gaminių ar stogų paviršiaus dangos, kurios padeda valyti azoto oksidais (NOx) užterštą orą. Taip pat tokie gaminiai skaido ant paviršiaus papuolusius nešvarumus ir organiką, bei pačios nusivalo. Toks efektas pasiekiamas dėl dangų gamyboje panaudotų specialių priedų - katalizatorių (pvz. TiO<sub>2</sub>), kurie veikia fotokatalitinio proceso (fotokatalizės) principu, t.y., veikiant dangą UV spinduliams, nešvarumai ir organika yra sparčiai skaidomi, o azoto oksidai suskaidomi ir paverčiami į nitratų druskas. Šiame darbe numatyta atlikti eksperimentus padengiant gaminio paviršių fotokatalizę sukeliančiomis medžiagomis ir nustatyti nešvarumų ir organikos skaidymo ir oro valymo efektyvumą veikiant bandinius UV spinduliams.

**Tyrimo objektas** – savaime nusivalančių ir orą valančių fasado dangų įrengimo technologijų tyrimai.

**Darbo tikslas** - išanalizuoti lauko fasadų dangas, jų technologijų problemas. Patobulinti fasadines dangas į jų sudėtį įvedant TiO<sub>2</sub> katalizatorių (skirtingus kiekius), kad sistema taptu savaime nusivalanti ir gebėtų skaidyti azoto oksidus, t.y., valytų užterštą orą. Palyginti ankstesnę technologiją su naujesne (patobulinta) apibrėžti jos teikiamą estetinę, eksploatacinę naudą pastatui, gamtai ir visuomenei.

**Darbo uždaviniai :**

- Atlikti literatūros apžvalgą, susipažinti su medžiagomis ir įranga;
- Atlikti eksperimentinius tyrimus smulkinant ir įmaišant katalizatorių į dažus bei paruošti nudažytus mėginius.
- Paruoštus mėginius padengti organinės kilmės pavyzdžiais ir patalpinti į klimatinę kamerą su UV spinduliais, siekiant nustatyti savaiminio nusivalymo efektą;
- Atlikti eksperimentus su azoto oksidus skaidančiais pasigamintais fasadinių dangų pavyzdžiais;
- Atlikti paprastų ir savaime nusivalančių bei orą valančių fasado dangų daugiakriterinį vertinimą;
- Apibendrinti gautus tyrimo rezultatus ir pateikti išvadas;

**Taikomi tyrimo metodai** – atliekama informacijos šaltinių, mokslinių straipsnių analizė. Remiantis atlikta analize numatoma eksperimentinio tyrimo eiga. Eksperimentiniuose tyrimuose katalizatoriaus smulkinimui ir įmaišymui naudojama ultragarsinė homogenizavimo įranga. Savaiminio dangos nusivalymo efektui sukelti naudojama klimatinė kamera su UV apšvietimu, o oro valymui nustatyti papildomai naudojamos azoto dioksido (NO<sub>2</sub>) dujos, kurių koncentracijos pokyčiai matuojami. Dangos dėmių nusivalymo efektas vertinamas tiek vizualiai, tiek spalvos kodo nustatymo prietaisu. Fasado dangų, be ir su savaiminiu nusivalymo ir oro valymo efektu, vertinimas atliekamas naudojant matematinį modelį, t.y., daugiakriterinį įvertinimą pagal kainą, valymo efektyvumą, dangos įrengimo sudėtingumą, dangos ilgaamžiškumą, ekologiškumą ir kitus kriterijus.

**Preliminari darbo struktūra** - Magistro baigiamąjį darbą sudaro įvadas, literatūros apžvalga, naudojamos įrangos ir metodų aprašymas, eksperimentinė tiriamoji dalis, fasadinių dangų daugiakriterinis vertinimas, baigiamosios išvados ir literatūros apžvalga.

**Laukiami rezultatai** - bendradarbiaujant kartu su UAB „Eternit Baltic“ tikimasi patobulinti esamas lauko fasadų dangas, į naudojamų dažų sudėtį įvedus TiO<sub>2</sub> katalizatorių. Tai atliekama siekiant sukurti savaime nusivalančias fasadų dangas, kartu gebančias valyti ir užterštą orą. Pagal gautus rezultatus pateikti tam tikras rekomendacijos susijusias su atliekamo tyrimo technologijų klausimais (katalizatoriaus smulkumas, kiekis, įmaišymo metodai ir t.t.), bei dangų nusivalymo ir aplinkos oro

valymo efekto vertinimu. Atlikus tyrimą gaunami rezultatai, kurie tenkina visuomenės poreikius, aplinkosauginius reikalavimus, leidžia sutaupyti lėšas, išlaiko fasadų estetinį vaizdą ir ilgaamžiškumą.

## 1. Literatūros apžvalga

Pagrindinė problema, su kuria susiduria šiuolaikinė visuomenė ir kelią grėsmę žmonijos sveikatai, yra oro ir vandens tarša. Kasdiena civilinė, pramoninė ir karinė veikla sukuria milžinišką kiekį ekologiškų ir neorganinių teršalų, kurie neišvengiamai patenka į mūsų atmosferą, upes, jūras ir gruntus. Todėl mokslinio straipsnio „TiO<sub>2</sub> as a low cost, multifunctional material“ autoriai teigia, kad TiO<sub>2</sub> yra technologiškai svarbi, natūraliai atsirandanti, pigių medžiagų, naudojamų energijai, aplinkai, sveikatai ir daugeliui kitų programų sudedamoji dalis. Elektrosvario nano membrana, pagaminta iš biologiškai skaidomo polimero ir funkcionalizuoto TiO<sub>2</sub> nano milteliais, galėjo veiksmingai pašalinti arseną (As) iš geriamojo vandens. Titano dioksido turinčios rūdos yra randama visame pasaulyje. TiO<sub>2</sub> pagrindu pagamintos medžiagos yra perspektyvios kaip ličio jonų ir magnio energijos kaupimo neigiami elektrodai jonų baterijos. TiO<sub>2</sub> pasižymi tokiais savybėmis, kaip maža kaina, apsauga nuo Li ir Mg pluošto, greitais įkrovimas / iškrovimas, šiluminis stabilumas, puikus ciklo stabilumas dėl mažo tūrio pokyčių ir gero pajėgumo. TiO<sub>2</sub> pasižymi geromis fotokatalizinėmis savybėmis ir todėl naudojamas kaip antiseptinė ir antibakterinė medžiaga, skirta organinių teršalų ir mikrobu skaidymui (Diasanayake M.A.K.L., G.K.R. Senadeera et.al 2015) [2].

Šiuo metu visame pasaulyje didelio susidomėjimo sulaukia novatoriškos medžiagos, kurios pasižymi unikaliomis savybėmis. Apdailos medžiagų gebėjimas skaidyti ant paviršiaus papuolusius nešvarumus, azoto oksidais (NO<sub>x</sub>) užteršto oro valymas, toks efektas pasiekiamas dėl dangų gamyboje panaudotų specialių priedų – katalizatorių (pvz. TiO<sub>2</sub>), kurie veikia fotokatalitinio proceso (fotokatalizės) principu, t.y., veikiant dangą UV spinduliams. Šie teiginiai ir laboratoriniai tyrimai su nanodalelėmis yra aprašomi moksliniuose straipsniuose.

Moksliniame straipsnyje “Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Water”, autoriai Muhammad Uman ir Hamidi Abdul Aziz aprašo jog puslaidininkė heterogeninė fotokatalizė turi milžinišką potencialą apdoroti teršalus vandenyje ir ore. Šis procesas vadinamas pažangiomis oksidacijomis ( AOP ) ir yra tinkamas daugelio organinių junginių oksidavimui. TiO<sub>2</sub> (titano dioksidas) dažniausiai buvo tiriamas dėl jo sugebėjimo suskaidyti organinius teršalus ir net pasiekti visišką mineralizaciją. Šiomis dienomis fotoelektrolizės taikymo sritis daugiausia orientuota į aplinkosaugos programas, įskaitant vandens, nuotekų valymą ir oro taršos mažinimą [3].

Kompozitinių plėvelių struktūra ir savybės buvo charakterizuojamos: naudojant rentgeno difrakciją, skenuojanti elektroninė mikroskopija, transmisijos elektroninė mikroskopija, termo gravimetrinė analizė, naudojant UV matomosios spektroskopijos ir fotokatalizinio skilimo bandymus. TiO<sub>2</sub> celiuliozės kompozitiniai filmai pasižymėjo geru fotokataliziniu aktyvumu fotodegradacijai, esant silpnai UV spinduliuotės apšvitai, todėl yra svarbus ekologiškas teršalų fotodegradacijos būdas. Tai

buvo nešiojamas fotokatalizatorius, kurį galima lengvai pašalinti iš teršalų tirpalo po panaudojimo, kas veda "žalio" proceso link ( Jian Zeng, Shilin Liu, Jie Cai ir Lina Zhang , 2010m.) [4].

"Preparation of photocatalytic TiO<sub>2</sub> transparent thin film by thermal decomposition of Ti-alkoxide with  $\alpha$ -terpineol as a solvent" šio mokslinio straipsnio autoriai Nobuaki Negishi ir Koji Takeuchi teigia, kad mėginių dengimo procese panaudojant  $\alpha$ -terpineolą kaip labai klampų tirpiklį, norimą TiO<sub>2</sub> sluoksnį pavyko padengti greičiau, nei ankstesniame tyrime sluoksnių padengimui naudotu "sol-gel" metodu. Savo tyrime nustatė, kad labia klampus tirpiklis (terpineolas) sėkmingai suteikia skaidrią ploną plėvelę fotokatalizatoriui. Šis tirpiklis tinkamas dengiamoms dangoms, nes nereaguoja su metalo alkoksidu ir turi gerą giminingumą su stiklo substratais. Plonuose juostose nebuvo jokių įtrukimų po kalcinavimo. Šio padengimo dėka, tikimasi, kad bus galima žymiai sumažinti mėginių dengimo laiką, taip pat procesai susiję su plonų plėvelių formavimu, plėvelės struktūra, įskaitant poringumą ir specifinį paviršių, fotokatalizės aktyvumo įvertinimas oksidaciniam azoto oksido šalinimui nebus pažeidžiami [5].

"Fiber-like TiO<sub>2</sub> Nanomaterials with Different Crystallinity Phases Fabricated via a Green Pathway" moksliniame straipsnyje autoriai Jian Zeng, Ran Li, Shilin Liu ir Lina Zhang teigia, kad pirmą kartą sukurta TiO<sub>2</sub> nanodalelių sintezė po regeneruoto celiuliozės pluošto drėgnoje būsenoje kalcinuojant, esant 400-800 ° C temperatūrai ir pašalinus celiuliozės matricą. Celiuliozės pluoštai pagaminti karbamido vandenyje naudojant sistemą su aušinimu per pramoninę mašiną. Buvo apibūdinti pluoštinių TiO<sub>2</sub> nanomedžiagų ypatybės su skenuojančia elektronine mikroskopija, transmisijos elektronu mikroskopija, rentgeno difrakcija ir fotokatalizinio skilimo bandymais. Rezultatai parodė, kad vidutinis skaidulų skersmuo TiO<sub>2</sub> nanomedžiagos, kurių sudėtyje yra TiO<sub>2</sub> nanodalelės, vidutinis dydis yra nuo 21 iki 37 nm, buvo 7 - 8  $\mu$ m. TiO<sub>2</sub> nanomedžiagos. Tyrimas parodė skirtingas kristališkumo fazes nuo anatazės iki rutilo, priklausomai nuo kalcinavimo temperatūros. Šis darbas suteikė paprastą ir "žalią" kelią įvairių neorganinių nanomedžiagų gamybai su skirtingom kristalų struktūrom, naudojant aktyvą regeneruotos celiuliozės matricą [6].

Moksliniame straipsnyje "TiO<sub>2</sub> / UPE-PMMA mišinių nanokompozitų abliacijos charakteristikos: empirinis ir simuliacinis požiūris" autorius Bahjat B. Kadhim (Department of Physics, College of Science, Al-Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq), aprašo abliacijos savybių tyrimą, sumaišant polimerus ir sustiprinant TiO<sub>2</sub> (titano dioksidas) nanodalelėmis. Nanokompozitams paruošti buvo naudojamas ultragarsinis dispersijos metodas, kuris buvo naudojamas šaltojo liejimo metodu, naudojant standartines sąlygas ir panaudojant "flash" teflono formas [7].

Moksliniame straipsnyje "Transparent thin films of Cu-TiO<sub>2</sub> with visible light photocatalytic activity" autoriai Marcin Janczarek, Anna Zielińska-Jurek, Irmina Markowska ir Jan Hupka aprašo

teiginį kaip stiklo paviršius buvo apdirbtas dengiamom dangomis su plonos Cu-TiO<sub>2</sub> plėvelės ir aukštu skaidrumo lygiu [8].

Tiesioginis neapdorotų nuotekų iš įvairių pramonės šakų ir namų ūkių išleidimas sukelia toksinių teršalų išmetimą į vandens aplinką. Išplėstiniai oksidacijos procesai (AOP) pelnė didelį dėmesį dėl ne biologiškai skaidomų organinių medžiagų mineralizavimo cheminiu oksiduojančiu būdu į aplinką išskiriant nekenksmingus produktus. Ypač, heterogeninė fotokatalizė parodė didelį pažadą vandens valymui ir valymui kelių teršalų medžiagų, į kurias įeina natūraliai atsirandantys toksinai, pesticidai ir kiti žalingi teršalai. Šiame darbe buvo tyrinėjami įvairūs šalinimo būdai, kurie buvo naudojami vandens valymui. Šiame darbe analizuojama pritaikymo alternatyvos, paaiškinta dvejetainių mišrių oksidų dumblo valymo TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> medžiaga, taip pat matyti, kad šios mišrios oksidinės medžiagos padidino sugebėjimus pašalinti daug įvairių teršalų. (Shivatharsiny Rasalingam, Rui Peng, ir Ranjit T. Koodali, 2014) [9].

Moksliniame straipsnyje, autoriai Nobuaki Negishi, Koji Takeuchi ir Takashi Ibusuki, “Preparation of the TiO<sub>2</sub> Thin Film Photocatalyst by the Dip-Coating Process” teigia jog nustatyta, kad azoto oksidai (NO<sub>x</sub>), vienas iš pavojingiausių oro teršalų, yra veiksmingai pašalinami plonasluoksniu fotokatalizatoriumi. Buvo nustatyta fotokatalizinė skaidrių ir nepermatomų plonų plėvelių veikla, kuri priklauso nuo padengimo ploto ir padengimo storio. Didžiausias aktyvumas buvo gautas padengus bandynius apie 1 μm storio [10].

Moksliniame straipsnyje, “Transparent Thin-Film TiO<sub>2</sub> Photocatalysts with High Activity” autoriai M. Catherine Blount, Dong Hyunkim ir John L. Falconer aptaria verčių išmatavimus trumpalaikiuose absorbuoto monolito bandymuose, kur ekologiniai ir trumpalaikiai eksperimentai parodė, kad yra efektyvus būdas įvertinti normas, selektyvumą, paviršių sluoksnius ir mažiau reaktyvių tarpinių medžiagų susidarymą atliekant tą patį eksperimentų rinkinį [11].

Moksliniame projekte buvo išnagrinėta galimybė pasyviai lauko oro valymui naudojant anatazės titano dioksido nanodaleles, kurios fotokatalizuoja atmosferos teršalus, tokius kaip azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) ir lakiuosius organinius junginius (LOJ), vykstatnt oksidacijai. Aktyvūs patalpų oro filtrai, naudojantys šią technologiją, yra parduodami, kad pašalintų netinkamus junginius. Japonijoje tyrimai vyko ilgiau nei dešimtmetį, o Europoje neseniai baigtas didelis daugelio institucijų projektas. Vis dėlto praktinis pasyviojo fotokatalizinio oro valymo įgyvendinimas išlieka prieštaringas. Kai kurie tvirtina, kad tarša gali būti perpus sumažinta taikant paprastas priemones, kiti nėra tuom įsitikinę. Šis projektas išaiškino technologinį potencialą, sutelkdamas dėmesį į išmatuotas katalizinio aktyvumo vertes, t.y., greitį, kuriuo galima išvalyti orą iš tam tikro fotokatalizės ploto. Prieš platinant pasyvios fotokatalitinės oro valymo technologijas, reikalingi plataus masto meteorologiniai modeliavimai,

siekiant patvirtinti diegimo strategijas (Berdahl, P., and H. Akbari, „Evaluation of Titanium Dioxide as a Photocatalyst for Removing Air Pollutants“) [12].

Titano dioksido (TiO<sub>2</sub>) nanodalelės gaminamos dideliu mastu ir plačiai naudojamos įvairiose pramonės šakose pramonė ir medicina. Tyrimai analizuojant žemo dažnio TiO<sub>2</sub>, ūminio, subchroninio ir lėtinio poveikio buvo atliekami laboratoriniams gyvūnams. Rezervuarų ir dirvožemio gyventojai, taip pat augalai ir dumbliai liudija apie jų galimą pavojų sveikatai. Tyrimai parodė, kad ši medžiaga kelia potencialią riziką darbuotojams, gyventojams ir aplinkos biologinei įvairovei. Todėl šiai ekspozicijai reikalinga standartizuota oro ir aplinkos objektų kontrolė (Н.Г. Проданчук, чл.кор. Намну, Г.М. Балан, 2011) [13].

Pastaruoju metu daugelis šalių daug dėmesio skiria oro ir vandens aplinkos fotokatalizinio apdorojimo technologijos plėtrai. Daugeliu atvejų fotokatalizatorius yra nanokristalinis TiO<sub>2</sub> anatazės modifikacijoje, kurio specifinis paviršiaus plotas yra didesnis nei 50 m<sup>2</sup> / g. Jis jungia fotoatakinio stabilumo, ekologinio nekenksmingumo ir aukšto kvanto kiekio fotokatalizinio oksidacijos proceso poveikį UV spinduliuotei. Taip pat žinomas nano dispersinio TiO<sub>2</sub> baktericidinis poveikis įvairiems patogeniniams mikroorganizmams. Šios ir kitos išvalgos aprašomos autorių А. Ю. Степанов, Л. В. Сотникова, А. А. Владимиров, Д.В. Дягилев, Ф.В. Титов, Т.А. Ларичев, moksliniame straipsnyje - “Получение нанокристаллических порошков диоксида титана и исследование их кристаллографических и адсорбционных свойств” [14].

Savo disertacijoje “Математическое моделирование и оптимизация процесса получения наночастиц диоксида титана золь-гель методом” autorius (Костин Андрей Сергеевич) akcentuoja darbo aktualumą, bei teigia, kad nano dalelių sukūrimo užduotis yra ypač svarbi daugeliui mokslo ir technologijų sričių. Nanotechnologijos pagrindu sukurtos medžiagos turi unikalias mechanines, optines, katalizines ir kitas savybes. Taip yra todėl, kad dalelių dydis, kurį jie sudaro, sudaro labai didelį santykį tarp paviršiaus ir tūrio. Didėjantis paviršiaus reiškinių indėlis sukelia medžiagų savybių pokyčius. Nano dalelių gamyboje gaminio kokybės reikalavimai paprastai apima ne tik dalelių dydžio ribos ribojimą, bet ir iš anksto nustatytą medžiagos polidispersiškumo laipsnį. Tai reiškia, kad turi būti kruopščiai parinktos sintezės sąlygos [15].

Titano dioksido (TiO<sub>2</sub>) nanodalelės buvo paruoštos sol-gelio metodu, panaudojant titano tetrachloridą (TiCl<sub>4</sub>) kaip pirmtazę, ir deginamos skirtingomis kalcinavimo temperatūromis (400, 600, 800 ir 1000) ° C. Savitvarkos savybių nustatymui buvo atliekami du svarbūs tyrimai; hidrofiliškumas, matuojant vandens kontaktinį kampą (WCA) ir fotokatalizinis aktyvumas, naudojant kalio permanganatą (KMnO<sub>4</sub>) kaip organinį teršalų modelį. Antra, TiO<sub>2</sub> nanodalelių plonu sluoksniu buvo padengta gręžimo danga. TiO<sub>2</sub> nanodalelių antimikrobinis aktyvumas buvo kiekybiškai



įvertintas prieš dvių tipų bakterijas (*Pseudomonas aeruginosa*) ir (*Staphylococcus aureus*) (Adawiya J.Haider, Riyad HassanAL–Anbari, Ghadah RasimKadhim, and Chafic ToumaSalame, 2017) [16].

### 1.1. Titano dioksidas (TiO<sub>2</sub>)

Titano dioksidas (TiO<sub>2</sub>) dėl savo išskirtinių fizikinių bei cheminių savybių yra plačiai naudojamas fotokatalizės procesuose ir tyrimuose. Dažniausiai naudojamas nanokristalinis miltelių pavidalo TiO<sub>2</sub>. Žinoma, kad norint pasiekti geriausias fotokatalitines savybes reikia didesnio paviršiaus ploto.

Fotokatalizė - tai fotoaktyvi cheminė reakcija, atsirandanti, laisviems radikalams pradėjus veikti, kai tarp junginio ir fotonų, kurių energijos lygis yra pakankamai aukštas, yra kontaktas. Fotokatalizatorius yra puslaidininkis, kuris padidina reakcijos greitį savo buvimu. Fotokatalizė turi platų spektrą, pvz., antibakterinį, dezodoravimo, oro valymo, savarankiško valymo, vandens valymo ir kt. Fotokatalizė yra žalios chemijos kelias, būtent todėl yra dienos (UV spindulių) poreikis (1 pav.) [17].



1 pav. Katalizatoriaus TiO<sub>2</sub> galimybės fotokatalizės procese (sudaryta pagal Rajendra C. Pawar. 2015)

Autorius Богданов К.Ю teigia, kad titano dioksidas, TiO<sub>2</sub> yra labiausiai paplitęs titano junginys žemėje. Titano dioksido milteliai turi akinančią baltą spalvą ir todėl naudojami kaip bazė dažams, popieriui, dantų pastoms ir plastikams gaminti. Titano dioksido miltelių baltumo priežastis yra labai didelis lūžio rodiklis ( $n = 2,7$ ). Titano dioksidas TiO<sub>2</sub> turi labai stiprų katalizinį aktyvumą - jis pagreitina cheminių reakcijų eigą. Esant ultravioletiniams spinduliams, titano dioksidas suskaido vandens molekules į laisvųjų radikalų hidroksilo grupes OH<sup>-</sup> ir superoksido anijonus O<sub>2</sub> (2 pav.).

Gautų laisvųjų radikalų aktyvumas yra toks didelis, kad titano dioksido paviršiuje bet kurie organiniai junginiai išsiskiria į anglies dioksidą ir vandenį. Reikėtų pažymėti, kad tai vyksta tik saulės spindulių pagelbą, kurie, kaip žinoma, yra ultravioletinės dalies (Богданов К.Ю, 2010) [18].



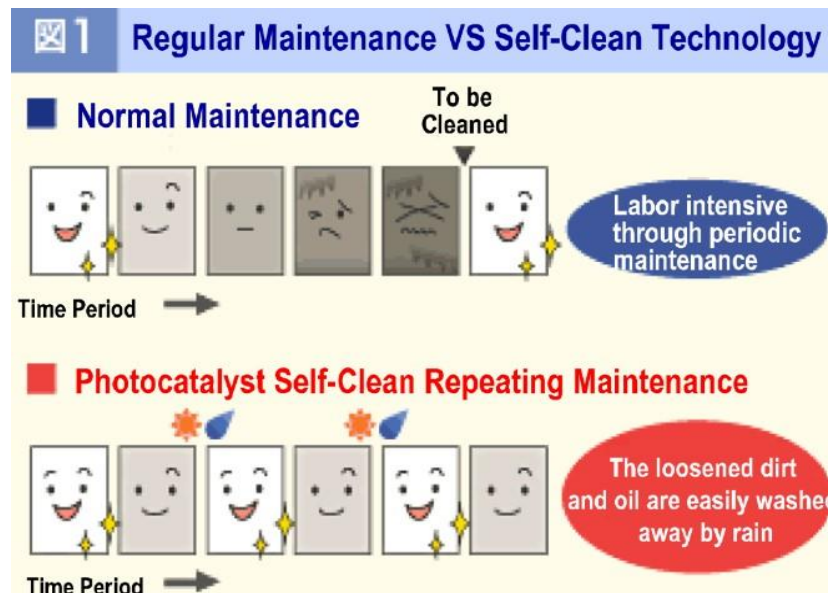
2 pav. Titano dioksidas suskaido vandens molekules į laisvųjų radikalų hidroksilo grupes [18].

## 1.2. Klimato ir kitų veiksnių įtaka fasadui.

Dažnu atveju fasado įrengimo technologiją ir apdailos medžiagų parinkimą lemia pastato paskirtis, jo funkcionalumas, ekonomikos ir estetikos faktoriai. Renkantis fasado apdailos medžiagas yra svarbu įvertinti ir klimatinius veiksnius bei objekto lokacinę padėtį.

Dėl Lietuvos klimatui būdingos gana didelės temperatūros svyravimo amplitudės, apdailos paviršių ardantis klimato poveikis yra didelis. UV spinduliai sienos paviršiuje sukelia fotocheminius pokyčius. Be to, dažytą sienų paviršių neigiamai veikia oro tarša, ant apdailos paviršiaus nusėda suodžiai, dulkės, druskos, mikroorganizmai [19].

Tokie veiksniai pablogina fasado apdailos medžiagų eksploatacines savybes (3 pav.) ir sutrumpina ilgaamžiškumą, ko pasekoje atsiradus pažaidoms nukenčia termoizoliacinis sluoksnis arba pastato konstrukcijos. Fasadų su panaudotom nanotechnologijom ir be jų palyginimas eksploatuojant fasadus (3 pav.).



3 pav. Fasadų eksploatacinis palyginimas su panaudotom nanotechnologijom ir be jų [20].

### 1.3. Fasadų tipai ir jų apžvalga

Fasadai dažniausiai skirstomi į rėminius ir berėmius. Rėminiai fasadai gali būti vėdinami ir nevėdinami. Nuo fasado įrengimo technologijos priklauso ir apdailos medžiagiškumo pasirinkimas.

Lietuvoje publikuojamame leidinyje „Structum“ buvo aprašyta savaime nusiplaunanti, ekologiška danga „Neorock Opto Cera“. Kompanija KMEW gamina dviejų tipų plokštes, kurios skiriasi struktūra: NEOROCKTM ir CERADIRTM. Plokščių savaiminio apsivalymo savybes įtakoja dviejų tipų paviršiai: hidrofilinė („Neorok Powercoat“ ir „Ceradir Powercoat“) arba fotokeraminė („Neorock Opto Cera“) dangos. Abiem atvejais naudojamos nanotechnologijos, kurių pagalba gaminamos plokštės visiškai atitinka griežčiausius pasaulinius statybų pramonės reikalavimus. Fotokeraminės dangos „Neorock Opto Cera“ plokštės paviršius – draugiškas mus supančiai aplinkai, kurioje gausu automobilių išmetamų dujų ir pramoninės veiklos išskiriamų teršalų. Fotokatalitinio proceso metu vyksta šių junginių neutralizavimas iš atmosferos. Kaip ši sistema veikia? Titano dioksido katalizatoriai  $TiO_2$ , kurie naudojami fotokeraminės dangos gamyboje, veikiami UV spindulių suardo azoto ir sieros oksidų junginius iki neutralių, aplinkai nekenksmingų azoto ir sieros rūgšties jonų. Paskaičiuota, kad 170 m<sup>2</sup> namo fasado plokščių su fotokeramine danga valymo sistema prilygsta 12 tuopų oro valymui („Structum“, 2017 m. gegužės 30 d.) [21].

Apžvelgus galimas fasado įrengimo technologijas ir išanalizavus populiariausias apdailos medžiagas, jos pasirenkamos tolimesniam tyrimui atlikti.

### **1.3.1. Vėdinamieji fasadai**

Vėdinamasis fasadas – tai, kai tarp sienos apšiltinimo medžiagos ir apdailos sluoksnio paliekamas tarpas, dėl kurio oras nuolat cirkuliuoja, neleisdamas drėgmei įsigerti į apšiltinamąją medžiagą [1]. Labai svarbus vėdinamų fasadų įrengimo aspektas yra tai, kad juos įrengti galima neatsižvelgiant į metų laiką, mažiau įtakos turi temperatūrų svyravimas, turi geras deformacijos savybes, todėl yra ilgaamžiškesnis nei tinkuojami fasadai. Vėdinamų fasadų apdailos medžiagų įvairovė yra labai didelė ir dažniausiai nėra keliami jokie oro sąlygų reikalavimai. Išorinė fasado apdaila – išorinis sluoksnis, apsaugantis sistemą nuo atmosferos poveikio ir suteikiantis pastatui norimą architektūrinį ir estetinį vaizdą, kurį sudaro [22]:

- keraminės, akmens masės plytelės ir plokštelės;
- natūralaus ar dirbtinio akmens plokštės;
- aukštu slėgiu sulaminuota plokštė - ASP(HPL);
- kompozicinės aliumininės plokštės;
- fibrocementinės plokštės;
- vario lankstiniai;
- plieninės kasetės;
- medinės dailylentės;
- profiliuota skarda ir kt.

### **1.3.2. Nevėdinami fasadai**

Nevėdinami fasadai gali būti tinkuojami, surenkami, elementiniai arba berėmiai. Surenkami fasadai – tai fasadai kurių sudėtiniai elementai pagaminami gamykloje, o surenkami statybų aikštelėje. Apdaila gali būti natūralaus ar dirbtinio akmens, betono, keramikos ar metalo plokštės. Berėmiai fasadai – tai stiklo konstrukcijos, kurių pagrindinė laikančioji dalis yra pats stiklas, kuris montavimo metu jungiamas su kitomis medžiagomis, tokiomis kaip aliuminis, nerūdijantis plienas ir t.t. [24].

Tinkuojamas pastato fasadas – tai sistema dažniausiai susidedanti iš šiltinamosios medžiagos tvirtinamos klijuojant arba tvirtinant smeigėmis prie laikančios konstrukcijos, kuri apsaugo nuo išorinių poveikių, saulės spindulių, drėgmės, cheminių junginių dengiama tinko sluoksniu. Tokio tipo pastato išorinių atitvarų šiltinimas suteikia pastatui geras termoizoliacines savybes, garso izoliacines savybes [25]. Tinkuojami fasadai gali būti įrengiami ir be šiltinimo sluoksnio, tai dažniausiai kultūros paveldo objektai, kuriuos atnaujinant ir atkuriant architektūrinius fasado apdailos elementus siekiama išlaikyti istorinį autentiškumą. Tokiems objektams ypač svarbu kokybiška tinko apdailos

medžiaga, gebanti atlikti kokybišką tinko apsaugą nuo klimatinių oro sąlygų, kadangi tai turi tiesioginę įtaką pastato konstruktyvui.

Tinkuojamo fasado privalumai yra [26]:

- Nesudėtingas montavimas;
- Geras kainos ir kokybės santykis;
- Platus spalvų pasirinkimas;

## 2. Tyrimo metodika

### 2.1. Daugiakriterinio vertinimo modeliai ir metodai

Daugiakriterinio vertinimo modeliai padeda priimti sprendimus atsižvelgiant į daugelį tikslų. Gali būti išskiriami šie pagrindiniai daugiakriterinio vertinimo modelių komponentai [27]:

- Tikslų ir juos atitinkančių rodiklių sistemos sudarymas, jų reikšmingumo nustatymas;
- Atsakų matricos suformavimas ir normalizavimas pritaikant daugiakriterinio sprendimų priėmimo (angl. Multiple Criteria Decision Making - MCDM) metodus;
- Gautų rezultatų interpretavimas ir sprendimų priėmimas;

Daugiakriterinių sprendimų priėmimas leidžia įvertinti sprendimų alternatyvas atsižvelgiant į daugelį tikslų (kriterijų). MCDM problemos (uždaviniai) gali būti skirstomi į dvi plačiausias kategorijas: 1) daugiataikslį sprendimų priėmimą (angl. Multiple Objective Decision Making – MODM) – šioje srityje nagrinėjamos begalinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos; 2) apsisprendimą daugelio rodiklių atžvilgiu (angl. Multiple Attribute Decision Making – MADM) – šioje srityje nagrinėjamos baigtinei sprendinių aibei priklausančios alternatyvos, Sprendimų paieškai taikomi diskrečiojo optimizavimo metodai, daugiamačių atstumų matavimu paremti metodai (SAW, AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ir kt.) [27].

MADM modeliai sudaromi atsižvelgiant į analizės tikslą: gali būti siekiama pasirinkti tinkamiausią vietą statybai, pelningiausią investicijų sritį ir pan. Tikslą atitinkančioms dimensijoms priskiriami jas identifikuojantys rodikliai – taip suformuojama rodiklių sistema. Remiantis rodiklių sistema sudaroma atsakų matrica P [27].

Jos elementai  $x_{ij}$  - atitinka  $i$  - tosios alternatyvos atsaką pagal  $j$  - tąjį kriterijų. Ši matrica pirmiausia turi būti apdorojama vertikaliai (normalizuojamos atitinkamų kriterijų reikšmės), tuomet horizontaliai (įvertinama kiekviena alternatyva). Priklausomai nuo naudojamų metodų, kriterijai gali būti kiekybiniai arba kokybiniai. Taip pat kriterijus galima skirstyti į objektyvius ir subjektyvius. Objektyvūs kriterijai, pavyzdžiui, investicijų kaštai, darbo užmokestis, paprastai išreiškiami piniginiiais ar kitais kiekiniais dydžiais. Subjektyvūs kriterijai dažniausiai yra kokybiniai. Sprendimų priėmimo mokslas siūlo daugelį universalių metodų, leidžiančių įvertinti alternatyvas pagal jų požymius ir bendrus tikslus. Tokia analizė leidžia priimti geriausius kompromisinius sprendimus [28].

Atstumų nuo atskaitos taško skaičiavimu pagrįsti metodai: TOPSIS, COPRAS, VIKOR, MOORA. Rangavimo pagal panašumą į idealųjį sprendinį techniką (Technique for the Order Preference by

Similarity to Ideal Solution – TOPSIS) sukūrė C. Hwang ir K. Yoon 1981 metais [29]. Vėliau šis metodas buvo patobulintas taikant pilkųjų skaičių teoriją [30] ir Mahalanobis metriką [31].

## 2.2. Topsis metodas

Mokslininkai Yoon ir Hwang sukūrė variantų prioritetiškumo nustatymo metodiką, pagrįstą koncepcija, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamai idealaus“ sprendimo. Šis metodas vadinamas variantų racionalumo nustatymo artumo idealiajam taškui metodu (TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Tarkime, kad kiekvieno rodiklio reikšmės nuolat didėja arba nuolat mažėja. Tada galima nustatyti „idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš geriausių rodiklių reikšmių ir „neigiamai idealų“ sprendimą, kuris yra sudarytas iš blogiausių rodiklių reikšmių. Norint taikyti artumo idealiam taškui metodą, būtina sudaryti sprendimų matricą  $P$ , kurioje eilutės žymi nagrinėjamas alternatyvas ( $m$  – alternatyvų skaičius), stulpeliai – efektyvumo rodiklius ( $n$  – efektyvumo rodiklių skaičius), pagal kuriuos vertinamos alternatyvos [29].

$$P = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

(1)

Taikant metodą TOPSIS, sprendimų matrica  $P$  normalizuojama atliekant vektorinę normalizaciją [29]:

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

(2)

Čia:  $x_{ij}$  - atitinka  $i$  - tosios alternatyvos,  $j$  - ojo efektyvumo rodiklio reikšmė;  $m$  – alternatyvų skaičius;  $n$  – rodiklių skaičius.

Tarkime, kad žinomos rodiklių integruoto reikšmingumo reikšmės ( $q$ ) [29]:

$$\bar{P}^* = [\bar{P}] \cdot [\bar{q}_j], (j = \overline{1, n})$$

(3)

Taikant formulę (3), sudaroma svertinė normalizuota matrica  $\bar{P}^*$ . „Idealiai geriausias“ variantas (alternatyva) nustatoma pagal formulę: [11]

$$a^+ = \left\{ \left[ \left( \max_i x_{ij} / j \in J \right) \left( \min_j x_{ij} / j \in J' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\}$$

(4)

Čia:  $j$  – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė;  $J'$  - rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

„Neigiamai idealus“ variantas nustatomas pagal formulę [29]:

$$a^- = \left\{ \left[ \left( \min_i x_{ij} / j \in \underline{J} \right) \left( \max_j x_{ij} / j \in \underline{J}' \right) \right] / i = \overline{1, m} \right\} = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\} \quad (5)$$

Atstumas tarp lyginamojo  $i$  – tojo ir „idealiai geriausio“  $a^+$  varianto nustatomas skaičiuojant atstumą  $n$  – matėje Euklido erdvėje, pagal formulę: [11]

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{ij}^+| \quad (6)$$

O tarp  $i$  – yojo ir „neigiamai idealaus“  $a^-$ , pagal formulę [29]:

$$L_i^- = \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{ij}^-| \quad (7)$$

Paskutiniu TOPSIS metodo žingsniu nustatomas kiekvieno  $i$  – tojo varianto santykinis atstumas iki „idealiai geriausio“ varianto [29]:

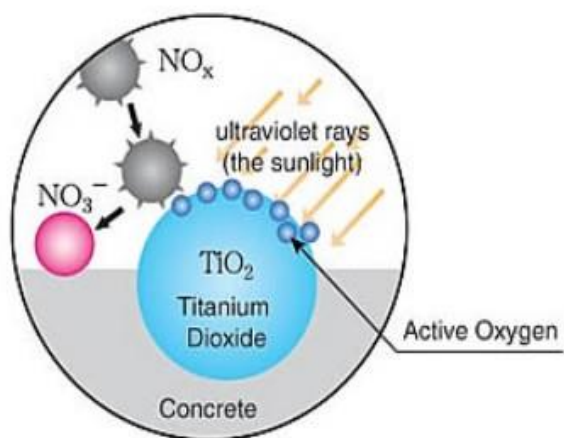
$$K_{bit,i} = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, (i = \overline{1, m}) \quad (8)$$

Kuo  $K_i$  reikšmė artimesnė vienetui, tuo  $i$  – asis variantas artimesnis  $a^+$  t.y., racionalus variantas bus tas, kurio  $K_i$  reikšmė yra didžiausia [29].

### 2.3. Tyrimui atlikti naudojama įranga ir medžiagos

Savaime nusivalančių fasado dangų gamyboje, siekiant patobulinti fasado dangas į jų sudėtį įvedam  $TiO_2$  katalizatorių (skirtingus kiekius), kad sistema taptu savaime nusivalanti ir gebėtų skaidyti azoto oksidus, t.y. valytų užterštą orą (4 pav.).





4 pav. Azoto oksidų skaidymo principas [32].

Remiantis mokslinių straipsnių atlikta analizė, bus naudojamas dviejų markių TiO<sub>2</sub>, miltelių pavidalo „Crystal 128“ markės ir „Degussa 25“ markės nano TiO<sub>2</sub>. Miltelių pavidalo titano dioksidą prieš įmaišant į dažus reikės susmulkinti. Siekiant katalizatorių įmaišyti į dažus jis yra pasveriamas elektroninėm svarstyklėm (5 pav.), smulkinams ir į dažus įmaišomas naudojant ultragarsinę homogenizavimo įrangą (6 pav.).



5 pav. Svarstyklės, elektroninės [33].



6 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga [34].

Paruošus dažų mišinį fasado dangų bandiniais yra dengiami dažais pagal visą technologinį procesą:

- Gruntavimas – mėginiai merkami į 5% grunto vonelę. Mėginių temperatūra ne mažiau 15° C, aplinkos temperatūra ne mažiau 18° C, po 1 min ištraukiama. Procesas kartojamas su kitais mėginiais. Ištraukti mėginiai pastatomi nusivarvėjimui, mėginiai džiovinami 16 – 24val.
- Pirmojo sluoksnio dažymas – kokybiškiausiai dažoma naudojant beorę dažų išpurškimo technologiją. Orine maišykle išmaišomi patalpos temperatūros dažai. Mėginiai sukraunami ant sukamo stalo krūvelėmis vienas ant kito ir dažomi rankiniu purkštuvu. Visų pirma dažomos briaunos, vėliau viršutinis paviršius, nudažytus mėginius nuimant. Teorinė dažų išeiga pirmam sluoksniui 120g/m<sup>2</sup>. Nudažyti mėginių pavyzdžiai dedami džiuoti, kad nesiliestu vienas su kitu, ne mažiau kaip 1 val iki antro dažymo. Įprastas laikas iki antro dažymo yra ne mažiau 6val.
- Antrojo sluoksnio dažymas – procesas analogiškas pirmojo sluoksnio dažymui. Antrojo sluoksnio teorinė dažų išeiga 100 g/m<sup>2</sup>. Dangų paviršiai po antrojo dažymo pasidaro blizgesni. Mėginiai sudedami taip, kad nesiliestu vienas su kitu, iki pakavimo džiovinami 16 -24 valandas. Kokybės aspektu yra vertinamas dažų nutekėjimas, sąnaudos, sluoksnio tolygumas, sukibimas, pūslių susidarymas.

Savaiminio dangos nusivalymo efektui sukelti naudojama klimatinė kamera su UV apšvietimu (7 pav.), į kurią yra patalpinami visi mėginiai su suformuotom dėmėm. Galima temperatūra 25°C-70°C, drėgmės santykiui 20%-90%, CO<sub>2</sub> 0%- 20%. Dangos dėmių nusivalymo efektas vertinamas tiek vizualiai, tiek spalvos kodo nustatymo prietaisu.



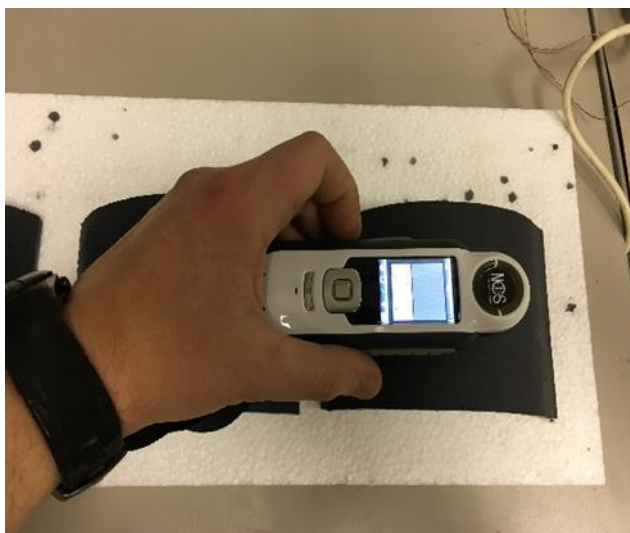
7 pav. Klimatinė kamera su UV apšvietimu [35].

Oro valymo efektui įvertinti papildomai dar bus naudojamos NO<sub>2</sub> dujos, kurių koncentracijos pokyčiai bus matuojami dujų analizatoriumi (8 pav.).



8 pav. Dujų analizatorius „IBRID MX6“.

Dangos dėmių nusivalymo efektas bus vertinamas tiek vizualiai, tiek spalvos kodo nustatymo prietaisu (9 pav.).



9 pav. Spalvos kodo nustatymo prietaisas.

Fasadinių dangų, be ir su savaiminiu nusivalymo ir oro valymo efektu, vertinimas bus atliktas naudojant matematinį modelį, t.y. daugiakriterinį įvertinimą pagal kainą, valymo efektyvumą, dangos įrengimo sudėtingumą, fasado dangos ilgaamžiškumą, ekologiškumą ir kitus kriterijus.

### 3. Eksperimentinė tiriamoji dalis

Šiam tyrimui atlikti yra naudojamas titano dioksidas (TiO<sub>2</sub>) – “Cristal 128” markės, miltelių pavidalo ir nano TiO<sub>2</sub> – “Degussa p25” markės, baltos pudros pavidalo.

Rutilo pigmentinis titano dioksidas “Cristal 128” markės, gautas chlorido technologija, su paviršiumi modifikuotu aliuminio oksidu ir cirkoniu. Tai universali titano dioksido markė, kuri buvo sukurta Saudo Arabijoje įvairiems tikslams, o produktas turi didelių optinių savybių ir patvarumo. “Cristal 128” pasižymi itin aukštu blizgesio išlaikymu, sklaidos gebėjimu, optinėmis savybėmis, tono gilumu ir geru oro atsparumu. Ši titano dioksido markė rekomenduojamas visų tipų dažams, įskaitant architektūrines, pramonines ir eksploatacines dangas vandeninėse ir organinėse sistemose. Tinka naudoti vidaus ir išorės dangoms, milteliniams dažams, kuriuose labai svarbios optinės savybės.

1 lentelė. “Cristal 128” markės techninės charakteristikos.

Savybės	Rodikliai	Bandymo metodas (šalies kurioje buvo atliekami bandymai)
Kiekis TiO <sub>2</sub> (%)	95.5	3 LP 0053
Tankis (kg/l)	4.10	*
Tūrinis tankis (kg/l)	0,76	*
Šešėlio tęstinumas	670	3 LP 0508
Pasiskirstymas	6.25	3 LP 0505
Riebalų absorbcija (g riebalų/100g pigmento)	18.0	3 LP 0519
Vandens absorbcija (g vandens/100g pigmento)	19.0	3 ML 0022
pH vandens ekstrakto	7.25	3 LP 0521
Santykinis pasipriešinimas (Om)	10000	3 LP 0521
Vidutinis dalelių dydis (μm)	0,20	*

“Degussa p25” markės nano dalelių titano dioksidas, ypač smulkus, vidutinis dalelių dydis iki 25 nm., vienas aktyviausių komercinių fotokatalizatorių, tinkantis visų tipų dažams, įskaitant architektūrines, pramonines ir eksploatacines dangas vandeninėse ir organinėse sistemose. Tinka naudoti vidaus ir išorės dangoms, milteliniams dažams, kuriuose labai svarbios optinės savybės.

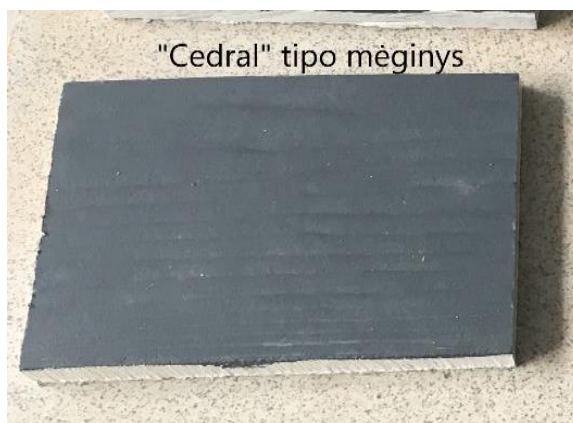
2 lentelė. “Degussa p 25” markės techninės charakteristikos

<b>Product (produktas).</b>	<b>Titanium Oxide Nanopowder (titano dioksido nano pudra)</b>
Stock No (partijos Nr.).	NS6130-03-394
CAS	13463-67-7
HS Code	32061110
Purity (grynumas).	99.9 %
APS (vidutinis dalelių dydis).	25nm
Rutile	20%
Anatase	80%
Molecular Formula (molekulinė formulė).	TiO <sub>2</sub>
Molecular Weight (molekulinis svoris).	79.87 g/mol
Form (forma).	Powder ( pudra)
Color (spalva).	White (balta)
Density (tankumas).	4.26 g/cm <sup>3</sup>
Melting Point (lydimosi temperatūra).	1850 °C
Boiling Point (vyrimo temperatūra).	2972 °C
Solubility (tirpumas).	Insoluble in water, dilute acids (netirpus vandenyje, skiedžia rūgštis)

### 3.1. Mėginių paruošimas su smulkinamu TiO<sub>2</sub>

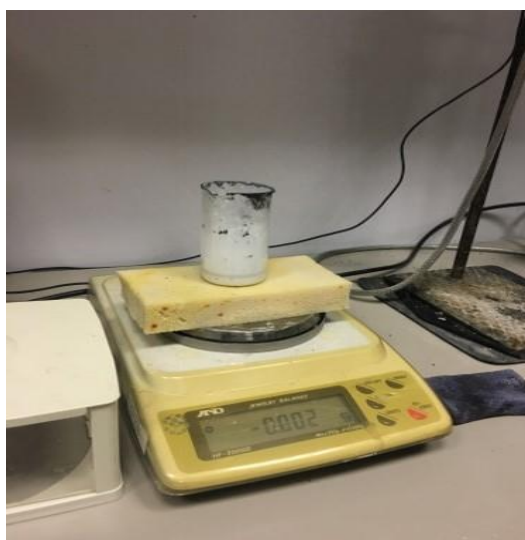
Paruošiami pirmieji mėginiai naudojant “Cristal 128” markės TiO<sub>2</sub>. Bandylių medžiaga pasirinkta UAB “Eternit Baltic” fibrocementinės fasado dailylentės “Cedral” medžio imitacijos (10 pav.) ir “Equitone” lygaus paviršiaus plokštės. Dažai pasirinkti UAB “Eternit Baltic” fasadinių dangų gamoje naudojami alkidiniai dažai, pilko atspalvio. Fasadinių medžiagų mėginiai paimti iš gamyklos nedažyti. Tyrimo metu fasado medžiagų bandiniai yra dengiami dangomis pagal visą technologinį procesą:

- Gruntavimas;
- Pirmojo sluoksnio dažymas;
- Antrojo sluoksnio dažymas;



10 pav. Fibrocementinės dailylentės "cedral" mėginys.

Dažų masės mėginių padengimui ruošiamos su skirtingomis katalizatoriau proporcijomis, atitinkamai įterpiančiomis 4%, 8%, ir 12%  $\text{TiO}_2$ . Katalizatorius ir dažai pasveriami laboratorinėmis, sertifikuotomis, sukalibruotomis svarstyklėmis (11 pav.). Svarbus aspektas yra tai, kad vykdant katalizatoriaus ( $\text{TiO}_2$ ) svėrimą, tai daryti reikia traukos spintoje, dėl ypač smulkių  $\text{TiO}_2$  dalelių.



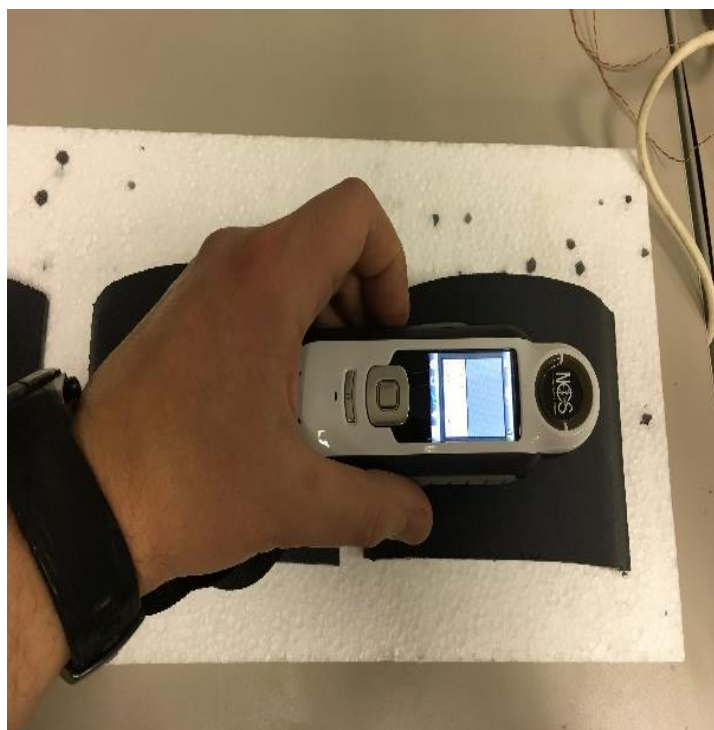
11 pav. Sertifikuotos skaitmeninės svarstyklės.

Pasvėrus ingredientus, katalizatorius yra smulkinamas ir įmaišomas į dažų masę, kuri bus naudojama antrojo sluoksnio dažymui, naudojant ultragarsinę homogenizavimo įrangą (12 pav).



12 pav. Ultragarsinė homogenizavimo įranga.

Parinkti mėginiai yra pasveriami prieš antro sluoksnio dažymą. Atlikus mėginių antro sluoksnio dažymą, mėginiai yra pasveriami, taip užfiksuojant dengiamam plotui panaudotą dažų masę, mėginiai paliekami džiūti. Po 48 valandų mėginiai vėl yra pasveriami svarstyklėmis ir atliekamas spalvos kodo nustatymas, analizatoriaus pagalba (13 pav).



13 pav. Spalvos kodo analizatorius.

Visi duomenys yra susisteminti ir suvedami į lentelę.

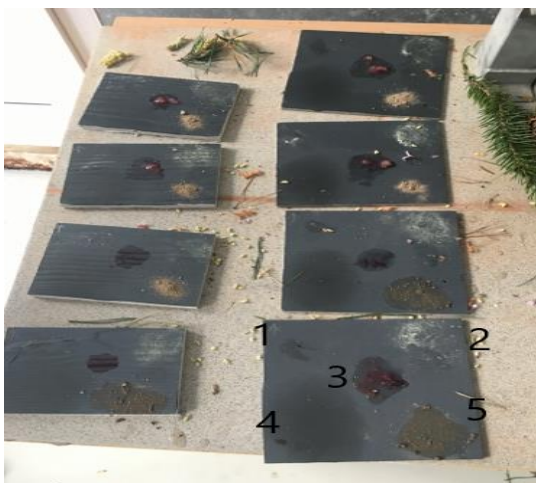


3 lentelė. Mėginių masių susisteminimas po technologinių dažų padengimo procesų, naudojant “Cristal 128” markės TiO<sub>2</sub>.

Eil. Nr.	Mėginio pavadinimas	Mėginio masė (g) po gruntavimo ir pirmo sluoksnio dažymo	Mėginio masė (g) po 2 sluoksnio (dažai su katalizatorium) dažymo.	Mėginio masė (g) po pilno dažų išdžiuvimo.	Mėginio plotas (m <sup>2</sup> )	Mėginio antro dažų sluoksnio išėiga (g/m <sup>2</sup> )	Nustatyta spalvos kodas
	"Cedral" tipo mėginiai						
1	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	180,131	182,256	180,323	0,0129	164,73	S 7502-B
2	<b>4 proc.</b>	178,255	180,532	178,621	0,0129	176,51	S 7502-B
3	<b>8 proc.</b>	174,932	177,180	175,668	0,0131	171,60	S 7005-B20G
4	<b>12 proc.</b>	174,442	176,037	174,810	0,0128	124,61	S 7005-R50B
	"Equitone" tipo mėginiai						
5	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	189,051	190,868	189,784	0,0230	79	S 7502-B
6	<b>4 proc.</b>	160,995	162,330	161,381	0,0199	67,09	S 7502-B
7	<b>8 proc.</b>	160,022	161,352	160,556	0,0194	68,56	S 7005-B20G
8	<b>12 proc.</b>	185,189	186,101	185,553	0,0229	39,83	S 7005-R50B

Atlikus mėginių matavimo susisteminimą, ant mėginių suformuojamos teršalų dėmės (14 pav.)., tyrimui naudoti pasirinkti sekantys teršalai:

- Sakai;
- Žiedadulkės;
- Suodžiai;
- Šilauogės;
- Organiai nešvarumai (purvas);



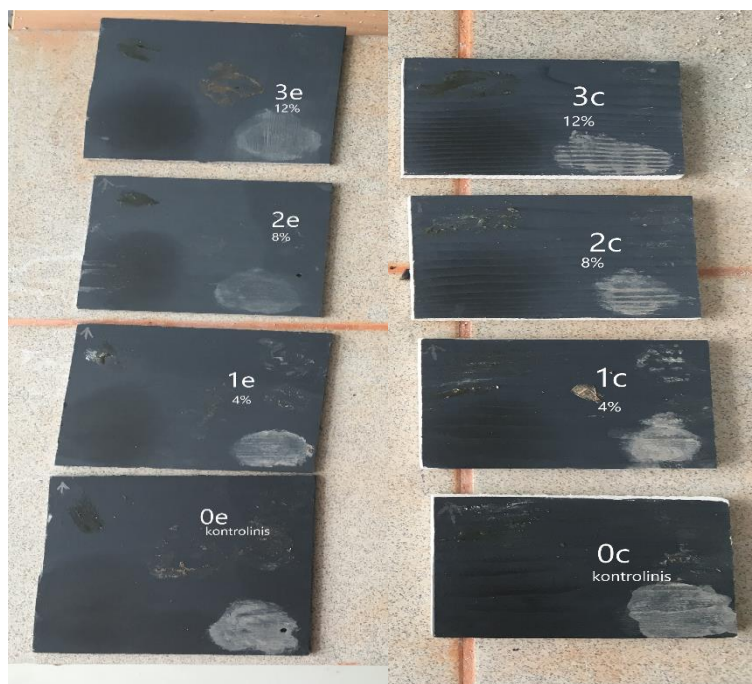
14 pav. Dėmių išsėdystymo ant mėginių schema: 1 – sakai, 2 – žiedadulkės, 3 – šilauogės, 4 – suodžiai, 5 – purvas.

Siekiant imituoti natūralias aplinkos sąlygas ir fiksuoti fotokatalizės procesus, mėginiai talpinami į klimatinę kamerą su UV apšvietimu (15 pav.).



15 pav. Klimatinė kamera su UV apšvietimu.

Vykstant tyrimo procesui stebimas fotokatalizės principas, mėginiai į savaitę 1 kartą yra nuplaunami imituojant kritulius, taip pat atliekama teršalų skaidymo vizualinė stebėseną (16 pav.).



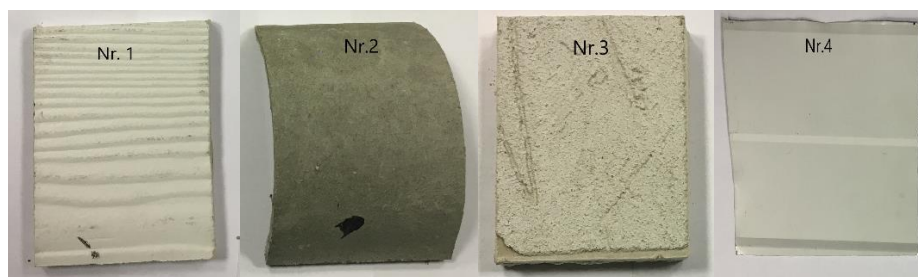
16 pav. Mėginių fotofiksacija po 4 sav.

Pagal vizualinį vertinimą matoma, kad mėginiai su 12 proc ir 8 proc katalizatoriaus dėmės skaido pastebimiau nei kiti mėginiai. Matoma, kad sunkiausiai skaidoma suodžių dėmė Nr.4 (dėmių išdėstymas, 14 pav.), purvo dėmės Nr.5 likučiai taip pat dar yra matomi, sakų likučių Nr.1 ant mėginių 3e ir 3c, beveik nesimato, labai panašus rezultatas ir ant 2e ir 2c, mėginių. Dėmių Nr.2 žiedadulkių ir Nr.3 šilauogių, nusyvalymas pasiektas ant mėginių 3e, 3c, 2e ir 2c.

### 3.2. Mėginių paruošimas su nano TiO<sub>2</sub>.

Naudojant “Degussa p25” markės TiO<sub>2</sub> tyrimui atlikti, atliekamas medžiagų parinkimas (17 pav.). Tai UAB “Eternit Baltic” fibrocementinės fasado dailylentės “Cedral” medžio imitacijos ir beasbestiniai banguoti lakštai. Šioms medžiagoms parinkti UAB “Eternit Baltic” fasadinių dangų gamoje naudojami alkidiniai dažai, pilko atspalvio, analogiški naudoti pirmajam bandiniui. Tyrimui su nano dalelėmis taip pat buvo pasirinkta kalkių – cementinio tinko bandiniai ir plieno skardos bandiniai. Tinko pavyzdžiams buvo panaudota fasadiniai, silikoniniai vandens pagrindo dažai, metalo dažymui buvo panaudoti uretaniniai dažai, tirpiklio pagrindu. Tyrimo metu fasado medžiagų bandiniai yra dengiami dangomis pagal visą technologinį procesą:

- Gruntavimas;
- Pirmojo sluoksnio dažymas;
- Antrojo sluoksnio dažymas;

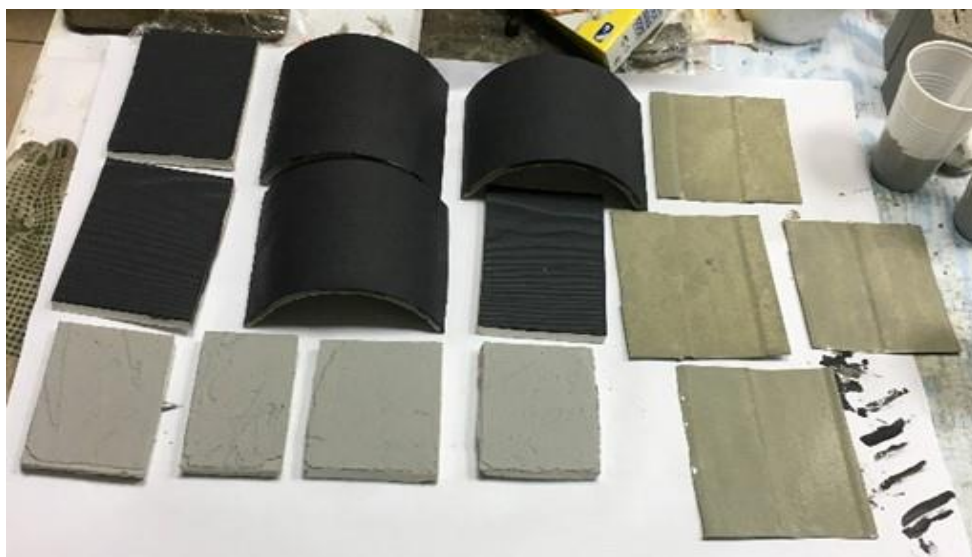


17 pav. Tyrimui parinkti fasadų apdailods mėginiai: 1 – “Cedral” fibrocementinė dailylentė, 2 – beasbestinis banguotas lakštas, 3 – kalkių – cemento tinkas, 4 – skarda.

Dažų masės mėginių padengimui ruošiamos su skirtingomis katalizatoriaus proporcijomis, atitinkamai įterpiant 4%, 8%, ir 12% nano TiO<sub>2</sub>. Katalizatorius ir dažai pasveriami laboratorinėmis, sertifikuotomis, turinčiomis kalibravimo pažymą, svarstyklėmis (11 pav.).

Pasvėrus ingredientus, katalizatorius yra įmaišomas į dažų masę, kuri bus naudojama antrojo sluoksnio dažymui, naudojant ultragarsinę homogenizavimo įrangą (12 pav.). Kadangi tyrimui naudojamas nano dalelių katalizatorius, medžiagos smulkinti nereikia.

Parinkti mėginiai yra pasveriami prieš antro sluoksnio dažymą. Atlikus mėginių antro sluoksnio dažymą (18 pav.), mėginiai yra pasveriami, taip užfiksuojant dengiamam plotui panaudotą dažų masę, mėginiai paliekami džiūti. Po 24 valandų mėginiai vėl yra pasveriami svarstyklėmis ir atliekamas spalvos kodo nustatymas, analizatoriaus pagalba (13 pav.).



18 pav. Tyrimui naudojamų mėginių padengimas dažais su skirtingomis nano TiO<sub>2</sub> proporcijomis.

Visi duomenys yra susisteminti ir suvedami į lentelę.

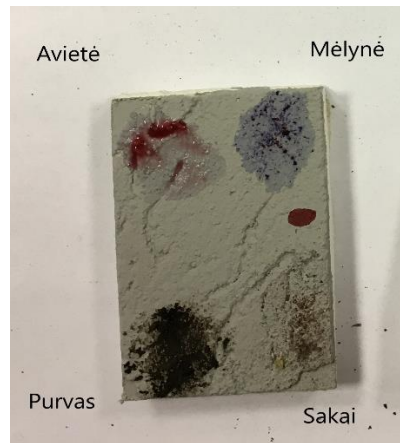
4 lentelė. Mėginių masių susisteminimas po technologinių dažų padengimo procesų, naudojant “Degussa p25” markės TiO<sub>2</sub>.

<i>Eil. Nr.</i>	<i>Mėginio pavadinimas</i>	<i>Mėginio masė (g) prieš dažymą</i>	<i>Mėginio masė (g) po sluoksnio ( dažai su katalizatorium) dažymo.</i>	<i>Mėginio masė (g)po pilno dažų išdžiuvimo.</i>	<i>Mėginio plotas(m2).</i>	<i>Nustatytas spalvos kodas</i>
<b>a.</b>	<b><u>"Cedral" tipo mėginiai</u></b>				<b>0,12x0,087</b>	
<b>1</b>	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	147,921	148,513	148,070	0,01044	S 7502-B
<b>2</b>	<b>4 proc.</b>	144,426	145,136	144,640	0,01044	S 7502-B
<b>3</b>	<b>8 proc.</b>	147,002	147,808	147,262	0,01044	S 7502-B
<b>4</b>	<b>12 proc.</b>	144,720	145,622	145,043	0,01044	S 7502-B
<b>b.</b>	<b><u>Beasbestiniai banguoto tipo mėginiai</u></b>				0,185x0,1	
<b>5</b>	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	186,380	187,706	187,272	0,01850	S 7502-B
<b>6</b>	<b>4 proc.</b>	190,743	192,370	191,890	0,01850	S 7502-B
<b>7</b>	<b>8 proc.</b>	189,773	191,528	190,988	0,01850	S 7502-B
<b>8</b>	<b>12 proc.</b>	190,502	192,215	191,705	0,01850	S 7502-B
<b>c.</b>	<b><u>Kalkių - cemento tinko tipo mėginiai</u></b>				0,09x0,075	
<b>1</b>	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	66,703	68,911	68,341	0,00675	S 3500-N
<b>2</b>	<b>4 proc.</b>	59,416	61,656	61,081	0,00675	S 3500-N
<b>3</b>	<b>8 proc.</b>	79,949	82,764	82,065	0,00675	S 3500-N
<b>4</b>	<b>12 proc.</b>	67,313	69,945	69,302	0,00675	S 3000-N
<b>d.</b>	<b><u>Plieno skardos mėginiai</u></b>				0,15x0,11	
<b>1</b>	<b>K (kontrolinis mėginys be katalizatoriaus)</b>	41,907	42,556	42,402	0,01650	S 4010-Y10R
<b>2</b>	<b>4 proc.</b>	51,056	51,883	51,688	0,01650	S 4010-G90Y
<b>3</b>	<b>8 proc.</b>	43,686	44,422	44,248	0,01650	S 4005-Y20R
<b>4</b>	<b>12 proc.</b>	47,135	48,161	47,924	0,01650	S 4005-G80Y

Atlikus mėginių matavimo susiteminimą, ant mėginių suformuojamos teršalų dėmės (19 pav.). Tyrimui naudoti pasirinkti sekantys teršalai:

- Avietės;
- Mėlynės;
- Sakai;
- Organiai nešvarumai (purvas);

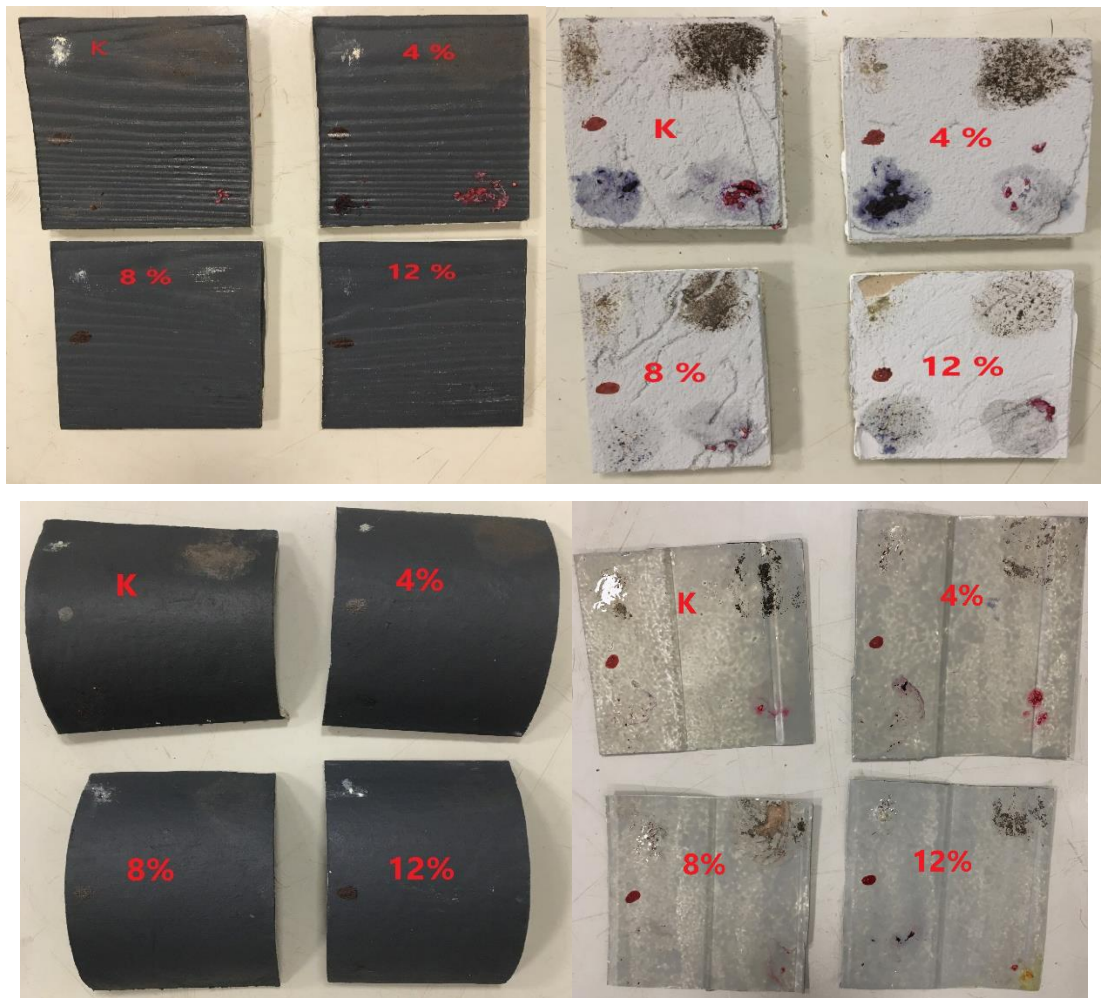




19 pav. Dėmių išdėstymo ant bandynių su nano TiO<sub>2</sub> schema.

Siekiant imituoti natūralias aplinkos sąlygas ir fiksuoti fotokatalizės procesus, mėginiai talpinami į klimatinę kamerą su UV apšvietimu (15 pav.).

Vykstant tyrimo procesui stebimas fotokatalizės principas, mėginiai į savaitę 1 kartą yra nuplaunami imituojant kritulius, taip pat atliekama teršalų skaidymo vizualinė stebėsena (20 pav.).



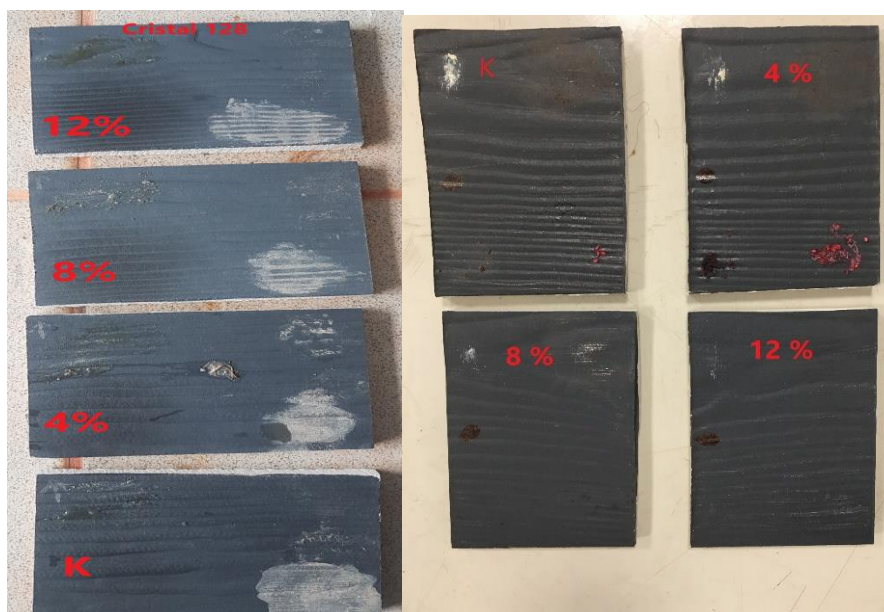
20 pav. Mėginių fotofiksacija po 6 sav.

Pagal vizualinį vertinimą matoma, kad mėginiai su dažų sluoksniu į kurią įterpta 12 proc ir 8 proc katalizatoriaus, dėmes skaido pastebimiau nei kiti mėginiai. Matoma, kad sunkiausiai skaidoma purvo dėmė. Vizualiniai duomenys susiteminami:

5 lentelė. Nešvarumų skaidymo vertinimo susiteminimas.

Nešvarumu skaidymo , vertinimas 10 balų sistemoje po 6 sav.						
Eil. Nr.	Mėginio pavadinimas	Nešvarumo aprašymas	TiO2 kiekis %			
			0	4	8	12
1.	Fibrocementinė dailylentė "Cedral"					
		Avietė	5	5	9	10
		Mėlynė	7	5	9	10
		Purvas	6	6	7	9
		Sakai	5	6	7	9
2.	Banguoti beasbestiniai lakštai					
		Avietė	8	8	9	10
		Mėlynė	8	8	9	9
		Purvas	5	6	8	9
		Sakai	6	6	7	7
3.	Kalkių - cementinio tinkas					
		Avietė	6	7	8	8
		Mėlynė	6	6	8	8
		Purvas	5	6	7	8
		Sakai	5	6	6	8
4.	Skarda					
		Avietė	7	6	8	8
		Mėlynė	7	7	8	9
		Purvas	6	7	7	7
		Sakai	6	7	7	7

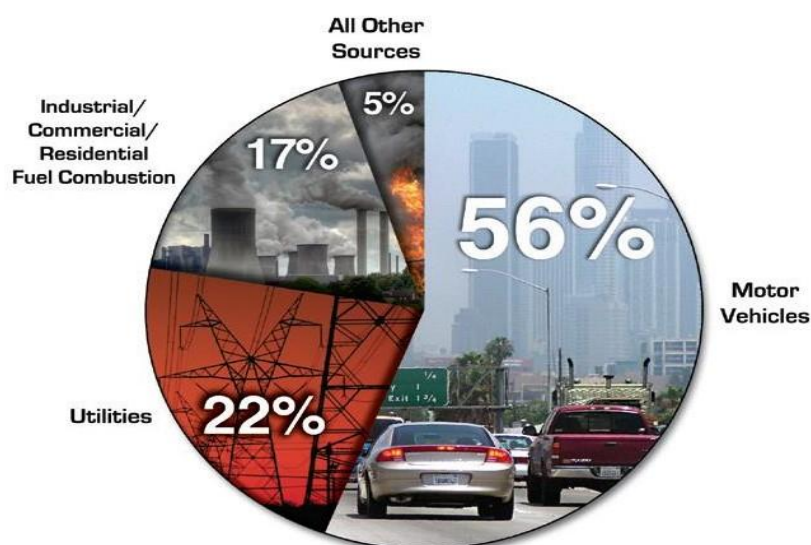
Taip pat pastebėta, kad bandynių nublukimas naudojant skirtingus katalizatorius skiriasi. Bandiniai su nano katalizatoriumi, vertinant vizualiai, per tyrimo laiką nebluko arba bluko labai neženkliai (21 pav.).



21 pav. Mėginių palyginimas po 4 sav. Kairėje pusėje naudotas „Cristal 128“ katalizatorius, dešinėje naudotas „Degussa p25“ katalizatorius.

### 3.3. Oro valymo tyrimas

Siekiant ištirti paruoštų mėginių galimybes skaidyti azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) dujas, buvo pasigaminta uždara, sandari kamera ir adaptuota į klimatinę spintą su UV spindulių apšvietimu. Pagrindiniai azoto oksido (NO<sub>x</sub>) šaltiniai pagal kenksmingų dujų išskyrimą yra: automobiliai 56%, komunalinių paslaugų teikėjai 22%, pramoniniai, komerciniai, gyvenamosios paskirties objektai kurendami kurą 17%, visi kiti objektai 5% (22 pav.).

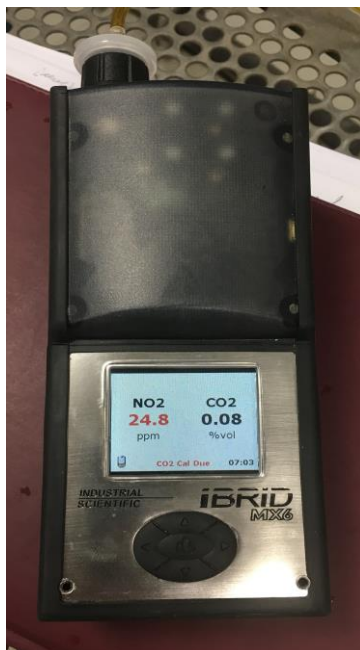


**Sources of Anthropogenic NO<sub>x</sub>**

22 pav. Azoto oksido taršos procentinė išraiška [23].



Tyrimui buvo naudojama azoto rūgštis ( $\text{HNO}_3$ ), kuri buvo įpilta į stiklinį indą ir patalpinta į sandarią kamerą, buvo įjungtas UV apšvietimas, pajungtas dujų analizatorius (23 pav.). Tada į indą su rūgštimi buvo imestas vario reagentas, kuriam reaguojant su  $\text{HNO}_3$ , reakcijos metu išsiskiria  $\text{NO}_2$  dujos. Dujų išsiskyrimui pasiekus piką, duomenys fiksuojami. Taip užfiksuojami duomenys  $\text{NO}_2$  išskaidymo prie UV spindulių.



23 pav. Dujų analizatorius „Ibrid MX6“.

Analizatoriui fiksuojant jog  $\text{NO}_2$  dujų koncentracija nepavojinga, artima nuliui, kartojame visą procesą, prieš tai į kamerą patalpiname mėginį (24 pav.).



24 pav.  $\text{NO}_2$  dujų skaidymosi analizavimo kamera.

Atlikus tyrimus su dangom į kurias įmaišyta 12% nano TiO<sub>2</sub>, buvo pastebėta, kad mėginiams naudotos dažų rūšys, NO<sub>2</sub> skaidymui tiesioginės įtakos neturi, svarbus yra mėginio padengimo plotas.

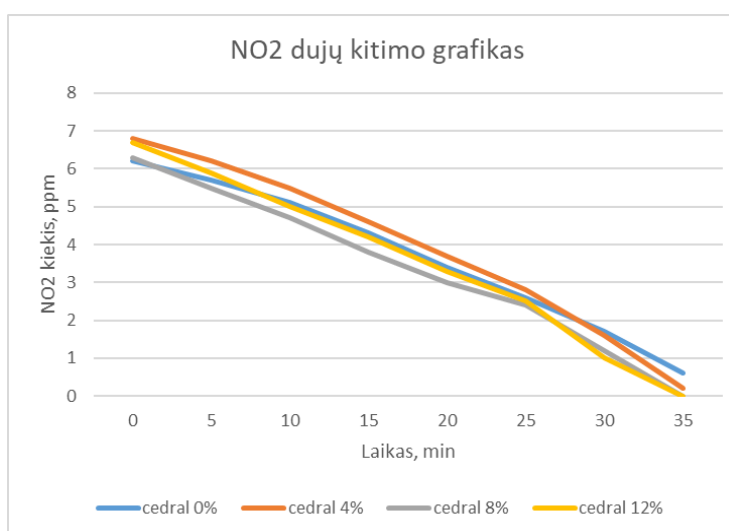
Atlikus matavimus ir susisteminius parodymus, galime pavaizduoti grafiškai NO<sub>2</sub> skaidymą laike, su mėginiais ir be jų, tik su įjungtais UV spinduliais.

Gauti duomenys susiteminami ir pateikiami grafiškai:

- Duomenys su „Cedral“ fasado dangos mėginiais (5 lentelė, 25 pav.);
- Duomenys su beasbestiniais banguotų lakštų mėginiais (6 lentelė, 26 pav.);
- Duomenys su kalkių – cementinio tinko mėginiais (7 lentelė, 27 pav.);
- Duomenys su skardos mėginiais (8 lentelė, 28 pav.);

6 lentelė. Duomenys skaidant kenksmingas NO dujas su „Cedral“ mėginiais.

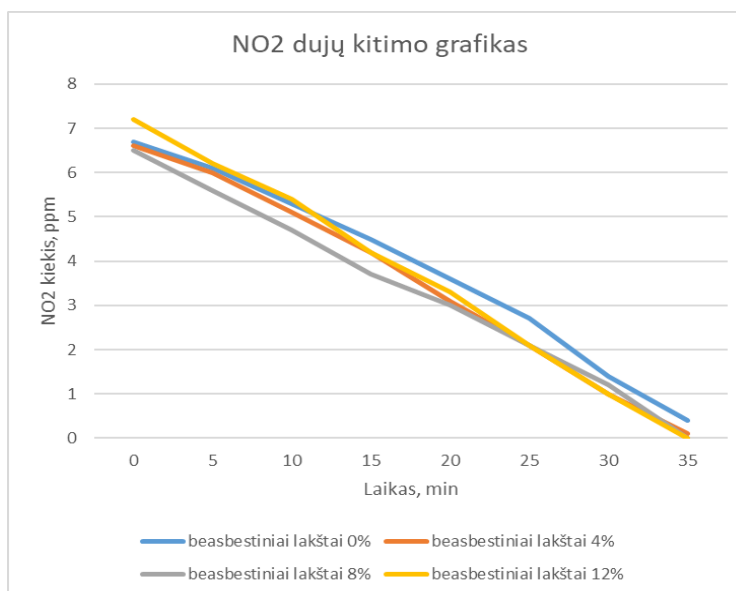
Eil.Nr.	Bandinio pavadinimas		Laikas, min.							
			0	5	10	15	20	25	30	35
1.	Cedral 0%	NO <sub>2</sub> kiekis, ppm	6,2	5,7	5,1	4,3	3,4	2,6	1,7	0,6
2.	Cedral 4%		6,8	6,2	5,5	4,6	3,7	2,8	1,6	0,2
3.	Cedral 8%		6,3	5,5	4,7	3,8	3	2,4	1,2	0
4.	Cedral 12%		6,7	5,9	5	4,2	3,3	2,5	1	0



25 pav. NO<sub>2</sub> dujų kitimo grafikas naudojant Cedral fasado dangų mėginius.

7 lentelė. Duomenys skaidant kenksmingas NO dujas su beasbestinių banguotų lakštų mėginiais.

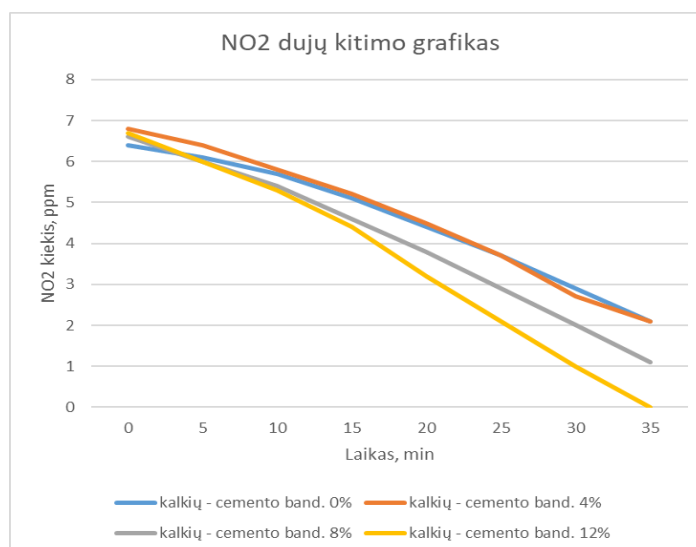
Eil.Nr.	Bandinio pavadinimas		Laikas, min.							
			0	5	10	15	20	25	30	35
1.	beasbestiniai lakštai 0%	NO2 kiekis, ppm	6,7	6,1	5,3	4,5	3,6	2,7	1,4	0,4
2.	beasbestiniai lakštai 4%		6,6	6,0	5,1	4,2	3,1	2,1	1,0	0,1
3.	beasbestiniai lakštai 8%		6,5	5,6	4,7	3,7	3,0	2,1	1,2	0,0
4.	beasbestiniai lakštai 12%		7,2	6,2	5,4	4,2	3,3	2,1	1,0	0,0



26 pav. NO2 dujų kitimo grafikas naudojant beasbestinių banguotų lakštų mėginius.

8 lentelė. Duomenys skaidant NO2 dujas su kalkių – cemento tinko mėginiais.

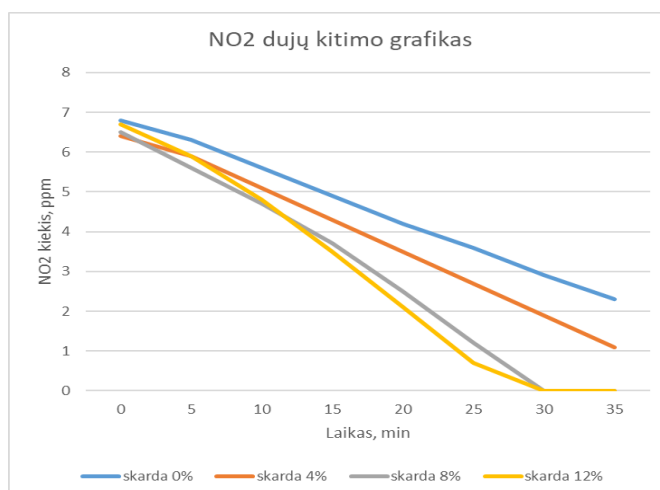
Eil.Nr.	Bandinio pavadinimas		Laikas, min.							
			0	5	10	15	20	25	30	35
1.	kalkių cemento band. 0%	NO2 kiekis, ppm	6,4	6,1	5,7	5,1	4,4	3,7	2,9	2,1
2.	kalkių cemento band. 4%		6,8	6,4	5,8	5,2	4,5	3,7	2,7	2,1
3.	kalkių cemento band. 8%		6,6	6,0	5,4	4,6	3,8	2,9	2,0	1,1
4.	kalkių cemento band. 12%		6,7	6,0	5,3	4,4	3,2	2,1	1,0	0,0



27 pav. NO2 dujų kitimo grafikas naudojant kalkių cementinio tinko mėginius.

9 lentelė. Duomenys skaidant NO2 dujas su skardos mėginiais.

Eil.Nr.	Bandinio pavadinimas	NO2 kiekis, ppm	Laikas, min.							
			0	5	10	15	20	25	30	35
1.	skarda 0%		6,8	6,3	5,6	4,9	4,2	3,6	2,9	2,3
2.	skarda 4%		6,4	5,9	5,1	4,3	3,5	2,7	1,9	1,1
3.	skarda 8%		6,5	5,6	4,7	3,7	2,5	1,2	0,0	0,0
4.	skarda 12%		6,7	5,9	4,8	3,5	2,1	0,7	0,0	0,0



28 pav. NO2 dujų kitimo grafikas naudojant skardos mėginius.

#### 4. Daugiakriterinis vertinimas

Daugiakriteriniam vertinimui atlikti yra parenkamos alternatyvos, dviejų skirtingų fasado įrengimo sistemų apdailos medžiagos. Parenkami tyrime su nano TiO<sub>2</sub> naudotų mėginių dangų tipai, t.y., kalkių – cemento tinko mėginiai, nudažyti fasadiniais silikoniniais dažais ir fibrocementinių dailylentėlių „Cedral“ mėginiai, nudažyti alkidiniais dažais. Viso bus vertinamos aštuonios alternatyvos (a) :

- a1 – fibrocementinės dailylentės „Cedral“ dažytos alkidiniais dažais su 0 % TiO<sub>2</sub> ;
- a2 – fibrocementinės dailylentės „Cedral“ dažytos alkidiniais dažais su 4 % TiO<sub>2</sub> ;
- a3 – fibrocementinės dailylentės „Cedral“ dažytos alkidiniais dažais su 8 % TiO<sub>2</sub> ;
- a4 – fibrocementinės dailylentės „Cedral“ dažytos alkidiniais dažais su 12 % TiO<sub>2</sub> ;
- a5 – kalkių – cemento tinkas, dažytas fasadiniais silikoniniais dažais su 0 % TiO<sub>2</sub> ;
- a6 – kalkių – cemento tinkas, dažytas fasadiniais silikoniniais dažais su 4 % TiO<sub>2</sub> ;
- a7 – kalkių – cemento tinkas, dažytas fasadiniais silikoniniais dažais su 8 % TiO<sub>2</sub> ;
- a8 – kalkių – cemento tinkas, dažytas fasadiniais silikoniniais dažais su 12 % TiO<sub>2</sub> ;

Bus lyginamos vėdinamo ir nevėdinamo fasado sistemų apdailos medžiagos pagal vertinimui parenkamus kriterijus. Vertinimą numatoma atlikti pagal entropijos teorinio reikšmingumo ir TOPSIS vertinimo metodus. Alternatyvoms vertinti parenkami kiekybiniai ir kokybiniai kriterijai.

##### 4.1. Vertinimo kriterijai

Alternatyvoms vertinti parenkami aštuoni kriterijai (K). Kriterijai parinkti ir įvertinti atlikus nekilnojamo turto ir statybų sektoriuje dirbančių specialistų apklausą.

K1. Valymo efektyvumas (balai) – tai fasado dangos priežiūros, per jo gyvavimo laiką eksploatavimo kaštai.

K2. Fasado estetika (balai) – vertinamas fasado estetiškas vaizdas.

K3. Fasado dangos įrengimo sudėtingumas (balai) – kokybinis kriterijus, priklauso nuo darbuotojų kvalifikacijos.

K4. Kaina (eur/m<sup>2</sup>) – tai fasado apdailos medžiagos įrengimo kaina. Į kainą įskaičiuojama darbų, medžiagų ir mechanizmų vertės.

K5. Fasado dangos ilgaamžiškumas (metai) – tai laikotarpis metais, per kurį fasado apdailos sluoksnis nepraranda deklaruojamų eksploatacinių savybių.

K6. Fasado dangos įrengimo priklausomybė nuo sezoniškumo (balai) – vertinama klimatinių oro sąlygų įtaka fasado apdailos dangų įrengimui.

K7. Fasado dangos gebėjimas apsaugoti pastatą nuo išorės poveikio (balai) – vertinama apsauga nuo lietaus, vėjo, saulės spindulių ir kitų oro klimatinių veiksnių.

K8. Fasado dangos ekologiškumas (balai) – vertinama naudojamų medžiagų aplinkosauginiai veiksniai, įtaka gamtai ir žmogui.

#### 4.2. Entropijos teorinio reikšmingumo metodas.

Naudojant entropijos metodą apskaičiuojamas teorinis kriterijų reikšmingumas.

Atliekamas pradinės sprendimų priėmimo matricos sudarymas:

10 lentelė. Pradinė kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	6	8	8	25	35	5	10	7
a2	7	8	8	32,2	35	5	10	7
a3	8	8	9	39,4	38	5	10	9
a4	9	8	9	46,6	45	5	10	10
a5	6	9	6	14	8	9	8	8
a6	6	9	6	21,2	8	9	8	8
a7	7	9	6	28,4	10	9	8	9
a8	8	9	5	35,6	12	9	9	10
Bendra suma	57	68	57	242,4	191	56	73	68
Optimalumas	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX

Atliekamas sprendimų matricos normalizavimas į matricą  $\overline{P}_{ij}$ :

11 lentelė. Normalizuota kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	0,1053	0,1176	0,1404	0,1031	0,1832	0,0893	0,1370	0,1029
a2	0,1228	0,1176	0,1404	0,1328	0,1832	0,0893	0,1370	0,1029
a3	0,1404	0,1176	0,1579	0,1625	0,1990	0,0893	0,1370	0,1324
a4	0,1579	0,1176	0,1579	0,1922	0,2356	0,0893	0,1370	0,1471
a5	0,1053	0,1324	0,1053	0,0578	0,0419	0,1607	0,1096	0,1176
a6	0,1053	0,1324	0,1053	0,0875	0,0419	0,1607	0,1096	0,1176
a7	0,1228	0,1324	0,1053	0,1172	0,0524	0,1607	0,1096	0,1324
a8	0,1404	0,1324	0,0877	0,1469	0,0628	0,1607	0,1233	0,1471

Atliekamas visų rodiklių entropijos lygio  $E_j$  nustatymas:

12 lentelė. Papildoma kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	-0,2370	-0,2518	-0,2756	-0,2343	-0,3110	-0,2157	-0,2723	-0,2340
a2	-0,2575	-0,2518	-0,2756	-0,2682	-0,3110	-0,2157	-0,2723	-0,2340
a3	-0,2756	-0,2518	-0,2914	-0,2953	-0,3212	-0,2157	-0,2723	-0,2677
a4	-0,2914	-0,2518	-0,2914	-0,3170	-0,3406	-0,2157	-0,2723	-0,2819
a5	-0,2370	-0,2677	-0,2370	-0,1647	-0,1329	-0,2938	-0,2423	-0,2518
a6	-0,2370	-0,2677	-0,2370	-0,2131	-0,1329	-0,2938	-0,2423	-0,2518
a7	-0,2575	-0,2677	-0,2370	-0,2512	-0,1544	-0,2938	-0,2423	-0,2677
a8	-0,2756	-0,2677	-0,2135	-0,2817	-0,1739	-0,2938	-0,2581	-0,2819
Bendra suma	-2,0687	-2,0777	-2,0585	-2,0255	-1,8778	-2,0381	-2,0742	-2,0707

Kadangi Entropijos rodiklis kinta [0;1] intervale, tai:

$$0 \leq E_j \leq 1, (j = \overline{1, n})$$

13 lentelė. Entropijos lygiai.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
$E_j$	0,9948	0,9992	0,9899	0,9741	0,9030	0,9801	0,9975	0,9958

Nustatomi rodiklių kitimo lygiai  $d_j$ :

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

14 lentelė. Kriterijų kitimo lygiai.

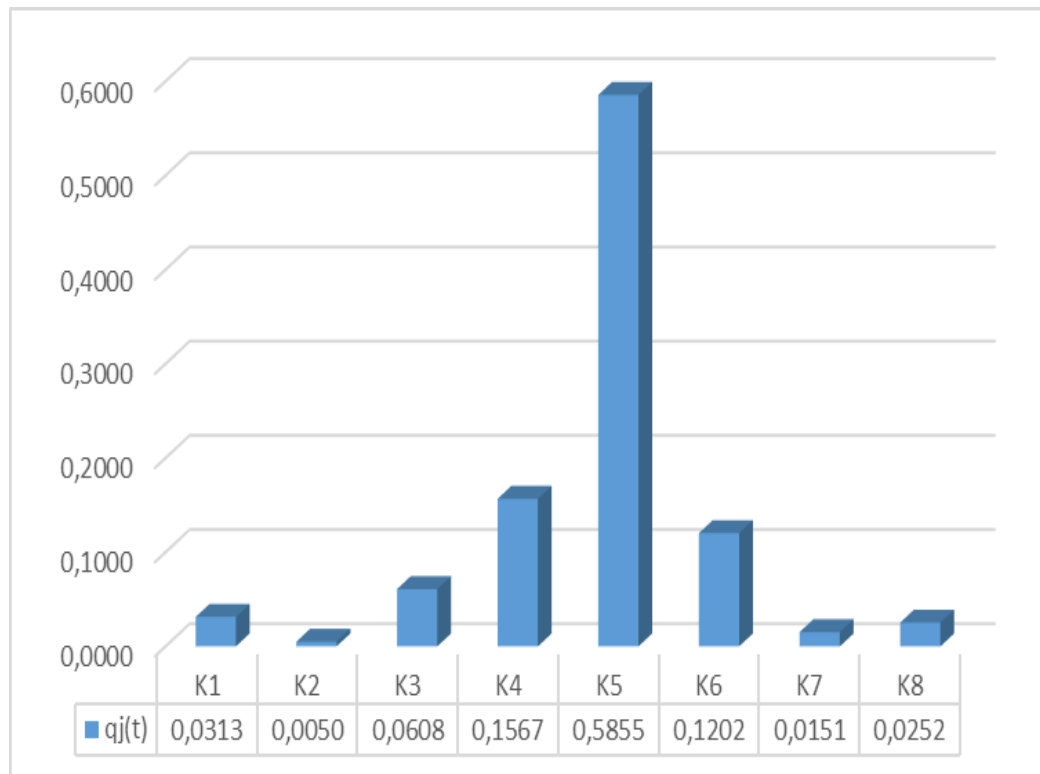
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
$d_j$	0,0052	0,0008	0,0101	0,0259	0,0970	0,0199	0,0025	0,0042

Siekiant apskaičiuoti teorinį rodiklių reikšmingumą, reikia priimti, jog yra vienodai svarbūs visi kriterijai.

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

15 lentelė. Teorinis kriterijų reikšmingumas.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
$q_j(t)$	0,0313	0,0050	0,0608	0,1567	0,5855	0,1202	0,0151	0,0252



29 pav. Teorinis kriterijų reikšmingumas

#### 4.3. Fasado dangų vertinimas TOPSIS metodu.

Sudaroma pradinė sprendinių priėmimo matrica (16 lentelė).



16 lentelė. Pradinė kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	6	8	8	25	35	5	10	7
a2	7	8	8	32,2	35	5	10	7
a3	8	8	9	39,4	38	5	10	9
a4	9	8	9	46,6	45	5	10	10
a5	6	9	6	14	8	9	8	8
a6	6	9	6	21,2	8	9	8	8
a7	7	9	6	28,4	10	9	8	9
a8	8	9	5	35,6	12	9	9	10
Geriausia reikšmė	9	9	5	14	45	5	10	10
Optimalumas	MAX	MAX	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX
Teorinis reikšmingumas	0,0313	0,0050	0,0608	0,1567	0,5855	0,1202	0,0151	0,0252

Pradinė matrica normalizuojama į  $\bar{P}$ .

17 lentelė. Normalizuota kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	0,2945	0,3322	0,3890	0,2777	0,4413	0,2428	0,3855	0,2887
a2	0,3436	0,3322	0,3890	0,3577	0,4413	0,2428	0,3855	0,2887
a3	0,3927	0,3322	0,4376	0,4376	0,4791	0,2428	0,3855	0,3712
a4	0,4418	0,3322	0,4376	0,5176	0,5674	0,2428	0,3855	0,4124
a5	0,2945	0,3737	0,2917	0,1555	0,1009	0,4371	0,3084	0,3299
a6	0,2945	0,3737	0,2917	0,2355	0,1009	0,4371	0,3084	0,3299
a7	0,3436	0,3737	0,2917	0,3155	0,1261	0,4371	0,3084	0,3712
a8	0,3927	0,3737	0,2431	0,3954	0,1513	0,4371	0,3469	0,4124

Kai yra žinomi kriterijų reikšmingumo vektoriai, sudaroma svartinė normalizuota sprendimų matrica. Sudarant svartinę normalizuotą sprendimų matricą, naudosime teorinį kriterijų reikšmingumą (14 lentelė).

18 lentelė. Svertinė kriterijų ir alternatyvų matrica.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
a1	0,0092	0,0104	0,0122	0,0087	0,0138	0,0076	0,0121	0,0090
a2	0,0108	0,0104	0,0122	0,0112	0,0138	0,0076	0,0121	0,0090
a3	0,0123	0,0104	0,0137	0,0137	0,0150	0,0076	0,0121	0,0116
a4	0,0138	0,0104	0,0137	0,0162	0,0178	0,0076	0,0121	0,0129
a5	0,0092	0,0117	0,0091	0,0049	0,0032	0,0137	0,0097	0,0103
a6	0,0092	0,0117	0,0091	0,0074	0,0032	0,0137	0,0097	0,0103
a7	0,0108	0,0117	0,0091	0,0099	0,0039	0,0137	0,0097	0,0116
a8	0,0123	0,0117	0,0076	0,0124	0,0047	0,0137	0,0000	0,0129

Idealios teigiamos ir neigiamos alternatyvos nustatymas.

19 lentelė. Svertinės kriterijų ir alternatyvų matricos ideali teigiama ir neigiama alternatyvos.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Optimalumas	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX
a <sup>+</sup>	0,0092	0,0104	0,0076	0,0162	0,0178	0,0076	0,0121	0,0129
a <sup>-</sup>	0,0138	0,0117	0,0137	0,0049	0,0032	0,0137	0,0000	0,0090

Atlikus idealios teigiamos ir neigiamos alternatyvų nustatymą, nustatom idealų teigiamą ir neigiamą atstumus.

20 lentelė. Idealus teigiamas atstumas.

Variantai	L <sup>+</sup>
a1	0,0199
a2	0,0189
a3	0,0157
a4	0,0107
a5	0,0399
a6	0,0374
a7	0,0343
a8	0,0394

21 lentelė. Idealus neigiamas atstumas.

Variantai	$L^-$
a1	0,0401
a2	0,0411
a3	0,0443
a4	0,0493
a5	0,0201
a6	0,0226
a7	0,0257
a8	0,0206

Atliekamas sąlyginio lyginamų variantų artumo idealiam nustatymas.

$$K_{bit,i} = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}, (i = \overline{1, m})$$

22 lentelė.  $K_{bit}$  reikšmės.

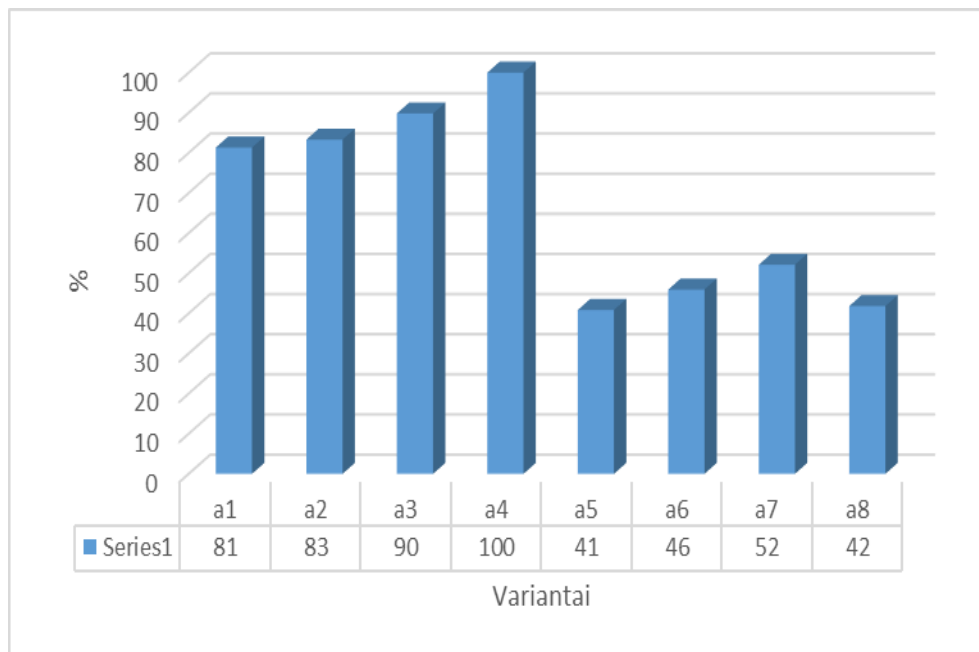
Variantai	$K_{bit}$
a1	0,6682
a2	0,6843
a3	0,7378
a4	0,8216
a5	0,3356
a6	0,3773
a7	0,4282
a8	0,3434

Sprendimas kurio  $K_{bit}$  reikšmė didžiausia, yra geriausias. Pagal gautas reikšmes (21 lentelė) matome, kad remiantis šiuo vertinimo metodu geriausia alternatyva yra a4 („Cedral“ su 12%  $TiO_2$ ).

Naudingumo laipsnis apskaičiuojamas lyginant nagrinėjamas alternatyvos reikšmę ( $K_{bit}$ ), su idealios alternatyvos reikšme.

23 lentelė. Naudingumo laipsnio rezultatai.

Variantai	$N_i, \%$
a1	81
a2	83
a3	90
a4	100
a5	41
a6	46
a7	52
a8	42



30 pav. Naudingumo laipsniai.

Atlikus naudingumo laipsnių skaičiavimus, pagal TOPSIS metodą racionaliausia alternatyva yra a4 – fibrocementinė dailylentė „Cedral“ su 12% nano TiO<sub>2</sub> įterpimu į antrą dažų sluoksnį.

## Išvados

1. Atlikus eksperimentinius tyrimus, smulkinant ir įmaišant katalizatorių į dažus bei paruošiant nudažytus mėginius, į kurių sudėtį buvo įmaišomas katalizatorius 4%, 8% ir 12% proporcijomis, buvo nustatyta, kad 25 nm TiO<sub>2</sub> turėjo ženkliai mažesnę įtaką bazinės spalvos pakitimui, kuris buvo nustatomas spalvos kodo analizatoriumi, lyginant su 200 nm TiO<sub>2</sub> katalizatoriaus įterpimu.
2. Tyrimo eigoje buvo siekiama nustatyti savaiminio nusivalymo efektą, mėginius padengus organinės kilmės pavyzdžiais ir patalpinus į klimatinę spintą su UV spinduliais. Eksperimentiniais tyrimais buvo nustatyta, kad geriausias teršalų valymo savybes turėjo mėginiai, kurie buvo nudažyti dažais su 8% ir 12% įterpto katalizatoriaus proporcijomis.
3. Atlikus eksperimentinius tyrimus su azoto oksidus skaidančiais pasigamintais fasadinių dangų pavyzdžiais, buvo nustatyta, kad mėginiai su įmaišytu TiO<sub>2</sub> geba azoto oksidus skaidyti iki 30% efektyviau nei mėginiai be katalizatoriaus. Taip pat buvo nustatyta, kad efektyviausiai azoto oksidus skaidė didesnio ploto pavyzdžiai su 12 % TiO<sub>2</sub>, nepriklausomai nuo pavyzdžiams panaudotų dažų tipų.
4. Atlikus paprastų ir savaime nusivalančių bei orą valančių fasado dangų daugiakriterinį vertinimą, entropijos teorinio reikšmingumo metodu buvo nustatyta, kad reikšmingiausias kriterijus yra K5 – fasado dangos ilgaamžiškumas, mažiau reikšmingas kriterijus yra K4 – fasado dangos kaina. Remiantis TOPSIS metodo skaičiavimais, kurie buvo atlikti naudojant teorinį kriterijų reikšmingumą, buvo nustatyta racionaliausia fasado dangų alternatyva: Nr.1 – a4 fibrocementinės dailylentės su 12% TiO<sub>2</sub>, Nr.2 – a3 fibrocementinės dailylentės su 8% TiO<sub>2</sub>.
5. Atliekant tiriamų pavyzdžių gebėjimo skaidyti teršalus stebėseną ir vizualinį vertinimą, buvo nustatyta, kad organinės kilmės teršalai buvo skaidomi efektyviau, nei neorganinės. Didžiausias teršalų skaidymo efektyvumas buvo fiksuojamas ant mėginių, nudažytų su 12% įterpto katalizatoriaus proporcijomis.
6. Eksperimentinių tyrimų metu, buvo užfiksuoti pavyzdžių su 8% ir 12% įterpto TiO<sub>2</sub> privalumai skaidant teršalus ir neutralizuojant azoto oksido dujas, lyginant juos su pavyzdžiais be katalizatorių. Tačiau labai svarbu pabrėžti, kad ekonominiu požiūriu dangos su įterptu katalizatoriumi savikaina gali brangti iki 100% dėl mėginiuose naudojamo nano TiO<sub>2</sub> kainos. Todėl siekiant tyrimo metu analizuotas technologijas padaryti ekonomiškai patraukliomis, reikia atlikti daugiau eksperimentinių tyrimų su pigesnėmis TiO<sub>2</sub> markėmis, siekiant atrasti

pigesnį, bet kartu efektyvų variantą. Kita alternatyva siekiant aplinkosauginių tikslų galėtų būti valstybės dotacija technologijų panaudojimui.

## Literatūros sąrašas

1. ALUCOBOND. *Pastato fasadas* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2018-08-10]. Prieiga per: <https://alucobond.lt/fasadas/>
2. DIASANAYAKE M.A.K.L., G.K.R. SENADEERA, H.N.M. SARANGIKA, P.M.P.C. EKANAYAKE, C.A. THOTAWATTAGE, H.K.D.W.M.N.R. DIVARATHNE, J.M.K.W. KUMARI. *TiO<sub>2</sub> as a low cost, multifunctional material*. Department of Physical Sciences and Technology, Sabaragamuwa University of Sri Lanka, Belihul Oya, Sri Lanka [interaktyvus]. P (11-22), 2015. [žiūrėta 2018-03-15]. Prieiga per: <http://www.onepage.sciencercays.com>
3. UMAN MUHAMMAD, HAMIDI ABDUL AZIZ. *Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants in Water*. School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University, Melbourne, Victoria, Australia, School of Civil Engineering, University Sains Malaysia, Engineering Campus, Nibong Tebal, Penang, Malaysia. [interaktyvus]. P (195 – 208) 2013m. [žiūrėta 2018-03-15]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
4. ZENG JIAN, SHILIN LIU, JIE CAI, LINA ZHANG. *TiO<sub>2</sub> Immobilized in Cellulose Matrix for Photocatalytic Degradation of Phenol under Weak UV Light Irradiation*. Department of Chemistry, Wuhan University, Wuhan 430072, China. [interaktyvus]. P (7806-7811), 2010m. [žiūrėta 2018-03-20]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
5. NOBUAKI NEGISHI, KOJI TAKEUCHI. *Preparation of photocatalytic TiO<sub>2</sub> transparent thin film by thermal decomposition of Ti-alkoxide with  $\alpha$ -terpineol as a solvent*. National Institute for Resources and Environment, 16-3 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan. [interaktyvus] P (249-253), 2001m. [žiūrėta 2018-03-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
6. ZENG JIAN, RAN LI, SHILIN LIU, LINA ZHANG. *Fiber-like TiO<sub>2</sub> Nanomaterials with Different Crystallinity Phases Fabricated via a Green Pathway*. Department of Chemistry, Wuhan University, Wuhan 430072, China. [interaktyvus]. P (2074-2079), 2011m. [žiūrėta 2018-03-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
7. KADHIM BAHJAT B. *Ablation Characteristics of TiO<sub>2</sub> / UPE-PMMA Blend Nanocomposites: Empirical and Simulation Approaches*. International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24. [interaktyvus]. P (718-722), Beirut Lebanon, April 2017. [žiūrėta 2018-03-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
8. JANCZAREK MARCIN, ANNA ZIELIŃSKA-JUREK, IRMINA MARKOWSKA, JAN HUPKA. *Transparent thin films of Cu–TiO<sub>2</sub> with visible light photocatalytic activity*. Photochem. Photobiol. Sci., [interaktyvus]. P (591–596), 2015m. [žiūrėta 2018-04-20]. Prieiga per: <https://www.hindawi.com>

9. RASALINGAM SHIVATHARSINY, RUI PENG, RANJIT T. KOODALI. *Removal of Hazardous Pollutants from Wastewaters: Applications of TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Mixed Oxide Materials*. Department of Chemistry, University of South Dakota, Vermillion, SD 57069, USA. [interaktyvus]. 2014. [žiūreta 2018-04-20]. Prieiga per: <https://www.hindawi.com>
10. NEGISHI NOBUAKI, KOJI TAKEUCHI, TAKASHI IBUSUKI. *Preparation of the TiO<sub>2</sub> Thin Film Photocatalyst by the Dip-Coating Process*. National Institute for Resources and Environment, 16-3 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan. [interaktyvus]. P (691–694), 1998m. [žiūreta 2018-07-15]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>
11. BLOUNT M. CATHERINE, DONG HYUNKIM, JOHN L.FALCONER. *Transparent Thin-Film TiO<sub>2</sub> Photocatalysts with High Activity*. Department of Chemical Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309-0424, and Pepcon, Korea. Environ. Sci. Technol. [interaktyvus]. P (2988-2994), 2001m. [žiūreta 2018-07-15]. Prieiga per: <https://pubs.acs.org>
12. BERDAHL, P., AND H. AKBARI. *Evaluation of Titanium Dioxide as a Photocatalyst for Removing Air Pollutants*. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. [interaktyvus]. CEC-500-2007-112, 2008. [žiūreta 2018-07-15]. Prieiga per: <https://www.energy.ca.gov>
13. ПРОДАНЧУК Н.Г., НАМНУ, Г.М. БАЛАН, ПРОФ. *Наночастицы диоксида титана и их потенциальный риск для здоровья и окружающей среды*. Институт экогигиены и токсикологии им. Л.И. Медведя. [interaktyvus]. г. Киев, 2011. [žiūreta 2018-08-08]. Prieiga per: <http://protox.medved.kiev.ua>
14. СТЕПАНОВ А. Ю., Л. В. СОТНИКОВА, А. А. ВЛАДИМИРОВ, Д.В. ДЯГИЛЕВ, Ф.В. ТИТОВ, Т.А. ЛАРИЧЕВ. *Получение нанокристаллических порошков диоксида титана и исследование их кристаллографических и адсорбционных свойств*. Ползуновский вестник № 1. [interaktyvus]. P (292-295), 2013. [žiūreta 2018-08-08]. Prieiga per: <https://studydoc.ru>
15. СЕРГЕЕВИЧ КОСТИН АНДРЕЙ. *Математическое моделирование и оптимизация процесса получения наночастиц диоксида титана золь-гель методом*. Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева. [interaktyvus]. 2015. [žiūreta 2018-08-08]. Prieiga per: <https://docplayer.ru>
16. ADAWIYA J.HAIDER, RIYAD HASSANAL–ANBARI, GHADAH RASIMKADHIM, AND CHAFIC TOUMASALAME. *Exploring potential Environmental applications of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles*. Energy Procedia, Volume 119. [interaktyvus]. July 2017.P(332-345). [žiūreta 2018-08-25]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
17. АМЕТА РАКШИТ, МЕЕНАКШИ S. SOLANKI, SURBHI BENJAMIN, SURESH C. АМЕТА. *Advanced oxidation processes for waste water treatment*. Emerging green chemical



- technology. [interaktyvus]. 2018, P (135 – 175). [žiūrėta 2018-08-25]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com>
18. Богданов К.Ю. *Наночастицы TiO<sub>2</sub> – наномыло и ловушка для ультрафиолета.* [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2018-08-08]. Prieiga per: <http://kbogdanov5.narod.ru>
  19. KNAUF. *Klimato įtaka fasadui.* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018.04.25]. Prieiga per: <http://www.knauf.lt>
  20. Nuotrauka paimta iš [interaktyvus], [žiūrėta 2018-10-22]. Prieiga per: <http://www.greenmillennium.com/cleaning-solution/>
  21. STRUCTUM. *Fasado apdailos plokštės.* [interaktyvus], [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per: <http://www.structum.lt>
  22. ST 121895674.205.20.02.03:2014. *Fasadų įrengimo darbai. Vėdinamų fasadų su mineralinės vatos šilumos izoliacija įrengimas.* [interaktyvus], [žiūrėta 2018-09-22]. Prieiga per: <http://www.statybostaisykles.lt>
  23. Nuotrauk paimta iš [interaktyvus], [žiūrėta 2018-11-25]. Prieiga per: <https://www.science-edu.larc.nasa.gov>
  24. PIRMI LANAGAI. *Fasado sistemas detalizavimas.* [interaktyvus], [žiūrėta 2018-11-25]. Prieiga per: <http://www.pirmilangai.lt>
  25. HELIOPOLIS. *Tinkuojamas fasadas.* [interaktyvus], [žiūrėta 2018-11-25]. Prieiga per: <http://heliopolis.lt>
  26. PAROC. *Statybinės izoliacijos sprendimai.* [interaktyvus], [žiūrėta 2018-04-22]. Prieiga per: <https://www.paroc.lt>
  27. BALEŽENTIS A., BALEŽENTIS, T. *Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: Daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas Lietuvos ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas.* [interaktyvus]. 2011. [žiūrėta 2018-08-08]. Prieiga per: <http://vadyba.asu.lt>
  28. CHURCHMAN, C. W., ACKOFF, R. L., ARNOFF, E. L. *Introduction to Operations Research.* [interaktyvus]. New York, Wiley. 1957. [žiūrėta 2018-08-08]. Prieiga per: <https://www.worldcat.org>
  29. HWANG, C. L., LIN M. J. *Group decision making under multiple criteria: Methods and Applications.* [interaktyvus]. Berlin, Springer-Verlag. 1987 [žiūrėta 2018-08-09]. Prieiga per: <https://www.scirp.org>
  30. LIN, Y.-H., LEE, P.-C., CHANG, T.-P., TING, H.-I. *Multi-attribute group decision making model under the condition of uncertain information.* Automation in Construction. No. 17. [interaktyvus]. 2008. [žiūrėta 2018-08-09]. Prieiga per: <https://www.researchgate.net>
  31. ANTUCHEVIČIENĖ, J., ZAVADSKAS, E. K., ZAKAREVIČIUS, A. *Multiple criteria construction management decisions considering relations between criteria.* Technological

- and Economic Development of Economy. [ineraktyvus]. No. 16, 2010. [žiūrėta 2018-08-09].  
Prieiga per: <https://journals.vgtu.lt>
32. Nuotrauka paimta iš [ineraktyvus], [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per: <https://www.citymetric.com>
33. Nuotrauka paimta iš [ineraktyvus], [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per:  
<https://apcis.ktu.edu/lt/site/katalogas>
34. Nuotrauka paimta iš [ineraktyvus], [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per: <http://lt.cgultrasonic.com>
35. Nuotrauka paimta iš [ineraktyvus], [žiūrėta 2018-12-10]. Prieiga per: <https://apcis.ktu.edu/lt>