

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

PAULIUS SKĖRYS

Mechanikos inžinerijos studijų programos studentas

**MODERNIZUOTOS SUNKIASVORIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ  
DAŽYMO KAMEROS VĖDINIMO NAŠUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

Doc. dr. D. Čikotienė

ŠIAULIAI, 2019

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

**TVIRTINU**

Instituto vadovė

Dr. Lina Garšvienė

2019 06

**MODERNIZUOTOS SUNKIASVORIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ  
DAŽYMO KAMEROS VĖDINIMO NAŠUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Vadovas**

Doc. dr. D. Čikotienė

2019-06

**Recenzentas**

ŠU

Regionų plėtros instituto

Doc. dr. S. Rimovskis

2019-06

**Atliko**

MM-17 gr. stud.

P. Skėrys

2019-06

ŠIAULIAI, 2019

TVIRTINU  
Inžinerinių studijų programų komiteto pirmininkas  
\_\_\_\_\_ Dainius Balbonas  
2018 m. gruodžio mėn. 11 d.

## MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

Išduota magistrantui: Pauliui Skėriui

Darbo tema: Modernizuotos sunkiasvorių transporto priemonių dažymo kameros vėdinimo našumo tyrimas

Patvirtinta katedros posėdžio protokolu Nr. INZK-3-18.

### 1. Darbo tikslas

Išanalizuoti dažymo kamerų tipus ir pasirinkus optimaliausią, dažymo kamerą pritaikyti sunkiasvorių transportų dažymui, atliekant skaičiavimus ir simuliacijas.

### 2. Darbo struktūra

1. Įvadas.
2. Literatūros apie dažymo kamerų klasifikavimą, jų funkcijas, apžvalga.
3. Tiriama proceso analizė, kameros tipo parinkimas, kameros parametrų įvertinimas, modernizavimo galimybių įvertinimas ir kainos skaičiavimas.
4. Tyrimo rezultatai: modernizuotos grindų konstrukcijos medžiagų parinkimas, stipruminiai skaičiavimai, simuliuojant grindų apkrovą, oro srautų greičių tyrimai.
5. Išvados.
6. Literatūros sąrašas.

Darbo pateikimo terminas 2019 m. gegužės mėn. 31 d.

Užduotį gavau \_\_\_\_\_ Paulius Skėrys \_\_\_\_\_ 2018-12-11  
(magistranto vardas, pavardė) (parašas, data)

Vadovas \_\_\_\_\_ Dalia Čikotienė \_\_\_\_\_ 2018-12-11  
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas, data)

Skėrys P. Research of modernized heavy vehicle painting booth air flow performance: Master's Work in Mechanical Engineering / supervisor doc. dr. D. Ćikotienė; Šiauliai University, Research Institute, 2019, 41 p.

### **SUMMARY**

Companies that are offering custom services often require special equipment. Although painting booths look universal, they are classified in to many types and should be selected based on specific company needs. This article analyses which type of painting booth fits company X best and what modifications needed to perfectly fit production.

Most suitable painting booth were selected. Criteria have been set to be modified by adapting the booth to heavy transport but maintaining efficient air flows. New flooring was designed, strength and air flow calculations were performed. Calculations of the economic benefits of modifications are presented in the work.

**Keywords:** paint booth, downdraft, air flow, modernization.

Skėrys P. Modernizuotos sunkiasvorių transporto priemonių dažymo kameros vėdinimo našumo tyrimas: Mechanikos inžinerijos magistro darbas / mokslinis vadovas doc. dr. D. Čikotienė; Šiaulių universitetas, Regionų plėtros institutas, 2019, 41 p.

### **SANTRAUKA**

Įmonėms, teikiančioms nestandartines paslaugas, dažnai reikia specialios įrangos. Nors iš pirmo žvilgsnio dažymo kameros atrodo universalios, jos klasifikuojamos į daug skirtingų tipų ir turi būti pasirinktos pagal konkrečios įmonės poreikius. Šiame darbe nagrinėjama įmonei X tinkamiausia dažymo kamera, jos modifikacijos pagal įmonės produkciją, optimizavimas.

Atliktas labiausiai tinkančios dažymo kameros parinkimas. Nustatyti kriterijai, kuriuos reikia modifikuoti, pritaikant kamerą sunkiasvoriui transportui bet išsaugant efektyvius oro srautus. Suprojektuota nauja grindų danga, atlikti stipruminiai ir oro srauto skaičiavimai. Darbe pateikiami modifikacijų ekonominio naudingumo skaičiavimai, gretinami kameros pirkimo ir gamybos variantai.

**Prasminiai žodžiai:** dažymo kamera, apatinis ištraukimas, oro srautai, modernizacija.

## TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....	8
IŽANGA.....	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	11
2. TYRIMO APŽVALGA .....	21
3. TYRIMO REZULTATAI.....	27
4. IŠVADOS.....	37
PUBLIKACIJOS, PRANEŠIMAI.....	38
LITERATŪRA .....	39

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Dažymo kamerų tipų vertinimas pagal kriterijus.....	21
2.2 lentelė. Koeficientų svarbos vertės.....	22
2.3 lentelė. Apibendrintojo kriterijaus reikšmės.....	22
2.4 lentelė. Apatinio ištraukimo dažymo kameros parametrai.....	24
2.5 lentelė. Dažymo kameros gamybai reikiamos medžiagos ir įranga.....	26
3.1 lentelė. Plieno S355 mechaninės savybės.....	27
3.2 lentelė. Rekomenduojami oro judėjimo greičiai apatinio ištraukimo kameroje.....	32

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Skersinio ištraukimo kamera .....	14
1.2 pav. Šoninio ištraukimo kamera .....	14
1.3 pav. Apatinio ištraukimo kamera.....	15
1.4 pav. Atviro priekio kamera.....	16
1.5 pav. Atbulinio ištraukimo kamera .....	16
1.6 pav. Apatinio ištraukimo paruošimo stotelė.....	19
1.7 pav. Pusiau apatinio ištraukimo paruošimo stotelė .....	19
1.8 pav. Dažų maišymo patalpa.....	19
2.1 pav. Apatinio ištraukimo dažymo kameros išorė .....	23
2.2 pav. Apatinio ištraukimo dažymo kameros vidus .....	23
3.1 pav. Grindų plokštė .....	27
3.2 pav. Grindų plokštės eskizas .....	28
3.3 pav. Grindų karkasas .....	29
3.4 pav. Grindų plokštės įtvirtinimas bandymo metu.....	29
3.5 pav. Grindų plokštės apkrova bandymo metu .....	30
3.6 pav. Grindų plokštės bandymo rezultatai (poslinkiai).....	30
3.7 pav. Grindų plokštės bandymo rezultatai (įtempiai) .....	31
3.8 pav. Dažymo kameros eskizas.....	32
3.8 pav. Ištraukimo ventiliatorius.....	33
3.9 pav. Įpūtimo ventiliatorius.....	33
3.10 pav. Oro srautų greičių bandymo parametrai (lubos).....	34
3.11 pav. Oro srautų greičių bandymo parametrai (grindys).....	34
3.12 pav. Oro srautai dažymo kameroje modifikuotomis grindimis .....	35
3.13 pav. Oro srauto greitis dažymo kameros skerspjūvyje .....	35
3.14 pav. Atsiperkamumo grafikas.....	36



## IŽANGA

Šiame magistro baigiamajame darbe bus atliekamas apatinio ištraukimo dažymo kameros tyrimas ir optimizavimas. Nustatomas optimalus dažymo kameros grindų tipas sunkiasvoriui transportui, išlaikant oro ištraukimo efektyvumą.

Aukščiausia dažymo kokybė pasiekama apatinio ištraukimo dažymo kameroje. Tokios kameros dažniausiai naudojamos tik lengviesiems automobiliams. Kadangi dažymo kameros ilgis gali siekti 8 ar daugiau metrų, aukštos kokybės dažymu galėtų pasinaudoti net prailginti mikroautobusai ar sunkvežimiai, bet juos riboja masė. Apatinio ištraukimo kameros grindys turi būti pralaidžios orui, nes jos veikia kaip dulkių siurblys: traukia nešvarų orą, jį filtruoja, o dulkės ir nešvarumai lieka prilipusios prie grindų. Tačiau standartinė tokių grindų danga išlaiko maksimalų 500 kg svorį viename taške. Tai reiškia, kad didžiausias galimas automobilio svoris negali siekti 2 tonų. Vidutinis mikroautobusas viršija šią ribą [12].

Sukūrus grindis, kurios atlaikytų didesnę apkrovą, bet liktų pralaidžios orui, būtų įmanoma aptarnauti daug platesnę automobilių rinką. Taip pat sunkiojo transporto remontui taikomas didesnis valandinis įkainis, taigi tokios modifikacijos kamerasi atsipirktų ir atneštų papildomo pelno.

### **Tyrimo objektas.**

Apatinio ištraukimo dažymo kameros grindų konstrukcija.

### **Tyrimo tikslas.**

Išanalizuoti dažymo kamerų tipus ir pasirinkus optimaliausią, dažymo kamerą pritaikyti sunkiasvorių transporto priemonių dažymui, atliekant skaičiavimus ir simuliacijas.

### **Tyrimo uždaviniai.**

1. Išnagrinėti dažymo kamerų tipus ir veikimo principus.
2. Suprojektuoti optimaliausią dažymo kameros grindų konstrukciją *Autodesk Inventor 2020* programa.
3. *Autodesk Inventor 2020* programa paskaičiuoti optimalios grindų konstrukcijos stiprį.
4. *Solidworks 2019* programa paskaičiuoti dažymo kameros oro srautų greičius ir atlikti simuliaciją.
5. Apdoroti ekonominius ir našumo rodiklius ir atlikti lyginamąją jų analizę.

### **Teorinė darbo reikšmė.**

Magistro baigiamajame darbe naudojamos 3D modeliavimo programos *Autodesk Inventor 2020* bei *Solidworks 2019*, tiriami įmonės X duomenys. Nagrinėjami dažymo kamerų tipai ir ieškomas optimaliausias apatinio ištraukimo dažymo kameros grindų konstrukcijos sprendimas.

### **Praktinė darbo reikšmė.**

Darbe pateiktas galimas modernizacijos būdas leidžia priimti sprendimą modifikuojant standartinę dažymo kamerą arba projektuojant ir gaminant savadarbę. Rezultatai aktualūs, nes pateikia realius kaštus, atsiperkamumą ir visą modernizavimo procesą, todėl tiriamą įmonę galės pasinaudoti tyrimo rezultatais.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Pagrindinė dažymo kameros funkcija yra sumažinti tikimybę sprogimų ir užsiliepsnojimo atvejams, nes dirbama su labai degiais produktais. Antroji funkcija – apsaugoti darbuotoją nuo kenksmingų medžiagų [28, 29]. Tam labai padeda respiratoriai, apsauginiai drabužiai, pirštinės. Dažymo kameros neįmanoma sukurti taip, kad ji 100 % apsaugotų dažytoją nuo sąlyčio su perteklinėmis dažų dalelėmis. Dažnais atvejais, operatoriui dažų purkštuvą tenka laikyti arti savęs, taip dar padidinant riziką. [27]

Dažymo kameros klasifikuojamos pagal naudojamus elektrinės įrangos tipus ir kitus įmanomus užsidegimo šaltinius. Pirma klasė apibrėžia degias dujas ir garus. Antra klasė – degias dulkes. Pirmas ir antras skyriai nusako lokacijas, kuriose tos dujos, garai ir dulkės yra apdorojami. Pirmos klasės, pirmo skyriaus apibrėžta erdvė yra dažymo kameros viduje, ventiliacijos vamzdžiuose. Ši atmosfera klasifikuojama kaip labai sprogia. Joje negali būti jokių elektrinių prietaisų. Pirmos klasės, antro skyriaus atmosfera yra pačioje dažymo kameroje. Šioje vietoje visi elektriniai prietaisai turi atitikti tam tikrą sandarumo klasę ir neskleisti kibirkščių normaliomis sąlygomis [5].

Dažymo kameros suprojektuotos taip, kad surinktų kietąsias daleles emisijose. Efektyvumo matavimai nusako kaip efektyviai dažymo kamera ir filtrų sistema surenka kietąsias daleles [18].

Efektyvumas gali būti padidintas pakeitus įrangą (perdavimo efektyvumas), dažančiąją medžiagą (kietųjų dalelių kiekis dažuose) ir oro srautą ( $m^3$ ), nekeičiant pačios dažymo kameros dizaino [15]. Pavyzdžiui jei dažytojas pakeistų paprastą purškimo įrangą į HVLP (didelio tūrio, mažo slėgio) – didesnis perdavimo efektyvumas sumažintų grūdėtumą [24].

Dažymo kamera susideda iš darbo vietos – kur vyksta pats detalės ar objekto dažymas, išmetamo oro kameros, kuri renka kietąsias daleles ir valo orą, išmetamojo oro ventiliatoriaus su varikliu bei išmetamojo oro ventiliacijos vamzdžių, vedančių į pastato išorę. Dažymo kameros yra kategorizuojamos pagal metodą, kuriuo surenka perteklines dažų daleles ir oro tėkmės kryptį kameroje. Kiekviena kategorija turi ir subkategorijų [4].

Pirmoji kategorija - sausų filtrų kameros. Kaip ir kiekvieno tipo dažymo kameros pagrindinis tikslas yra užteršto oro filtravimas ir dažų dalelių surinkimas. Standartinė kamera sukurta veikti taip, kad oro greitis būtų apie 0,2–0,65 m/s. Kamera suteikia izoliuotą aplinką dažymo temperatūrai, neleidžia užterštam orui pasklisti po aplinką, nukreipia visas dažų daleles į filtrus [16].

Sausų filtrų sistemos puikiai tinka mažesniems dažymo kiekiams, medžiagoms, kurios lieka šlapios, pavyzdžiui emaliui, dažams vandens pagrindu. Taip pat medžiagoms, kurios chemiškai nereaguoja viena su kita.

Sausų filtrų naudojimas reikalauja nuolatinio suplanuoto filtrų keitimo, periodiško tikrinimo. Patikrinimo metu radus užkištus filtrus reikia nedelsiant pakeisti naujais. Panaudoti filtrai turi būti perduoti atliekas tvarkančioms kompanijoms ir neutralizuoti. Ištraukimo oro srauto matuoklis turėtų būti standartinis įrankis kiekvienoje sausų filtrų kameroje. Jis sukurtas informuoti darbuotojus, kai filtrai užsikemša ir juos būtina keisti.

Yra keli sausų filtrų tipai naudojimui dažymo kameroje. Kvadratinio pado tipas galimas įvairių klasių bei išmatavimų. Ritinio tipas irgi gali būti įvairių išmatavimų. Taip pat ritinio tipo filtrai paklojami ant grindų kaip dideli stačiakampiai filtrai. Ritinio tipo filtrų nederėtų painioti su nenutrūkstamo ritinio filtrais, kurie būna suvynioti iš ilgų vijų. Kai šie filtrai prisipildo, gali būti išvalyti rankiniu ar automatiniu būdu [13].

Taip pat yra kartoninių plokštelių ir lengvojo tankio stirofomo filtrų. Tačiau sauso valymo išmetimo sistemos vis rečiau naudojamos pramonėje. Jos dažniausiai sutinkamos kaip papildomos, naudojamos su kitokiais filtrais. Sauso filtro kameroje yra du filtravimo tipai: kliudymo ir koštuvo, abu turintys savų plusų ir minusų.

Kliudymo tipo filtravimo mechanizmas sukuria aukštą sukuriavimą oro sraute, kai oras juda per filtrą. Sunkesnės dažų dalelės yra nubloškiamos ir sulaikomos skirtingose filtro gyliuose. Kliudymo filtrų būna metalo plokštėse, gofruotų, putų polistirolu. Metalinės plokštės turi didelę surinkimo galimybę, bet jų išmetamas oras prastesnis. Taip pat jų naudingumas santykinai mažesnis. Šio tipo filtrai naudingiausi kai gamyba vyksta su pertraukomis, arba kai naudojami prieš kitus filtrus, kad sumažinti filtrų keitimo dažnį. Gofruoti filtrai taip pat gali surinkti daug nuosėdų ir nėra labai efektyvūs. Putų polistirolu filtrai gali surinkti daug nuosėdų ir yra pakankamai efektyvūs [8].

Koštuvo tipo filtrai naudojami kaip antriniai. Jie veikia koštuvo principu – užterštas oras eina per filtrą, smulkios dalelės pereina kiaurai, o stambesnės, pavyzdžiui nuosėdos ar dažų likučiai, pasilieka filtre. Didžiausias šių filtrų minusas yra tai, kad nuosėdos renkasi tik filtro priekyje, todėl filtrai užsipildo greičiau. Jie labai efektyvūs, tačiau turi nedidelę surinkimo galimybę [6].

Naudojant abiejų tipų filtrus kartu gaunamas geriausias rezultatas. Teisingai parinkus filtrus ir dažų formulę, galima pasiekti 99,5 % efektyvumą su puikiomis surinkimo galimybėmis [26].

Antroji kategorija – kameros su vandens filtrais. Šios kameros gali naudoti pompas arba būti be pompų. Kameros, turinčios žemo statinio slėgio pompas su recirkuliacijos vožtuvais ir vamzdžiais yra dažniausiai sutinkamos plaunamos kameros. Aukšto statinio slėgio pompos dažniausiai sutinkamos automobilių gamyklose, nes turi didesnę surinkimo efektyvumą lyginant su standartinėmis plaunamomis kameromis. Jos turi atitikti numatytą standartą. Efektyvumas nustatomas bandymo būdu. Kameros be pompos taip pat sutinkamos dviejų rūšių – aukšto ir žemo slėgio. Aukšto slėgio kameroje, vandenį kelia oro srovė išmetimo kanalu, tada vanduo krenta

žemyn sudarydamas užuolaidą. Žemo slėgio kameros be pompos turi vandens talpą apačioje, o dalelių surinkimas priklauso nuo oro krypties pasikeitimo.

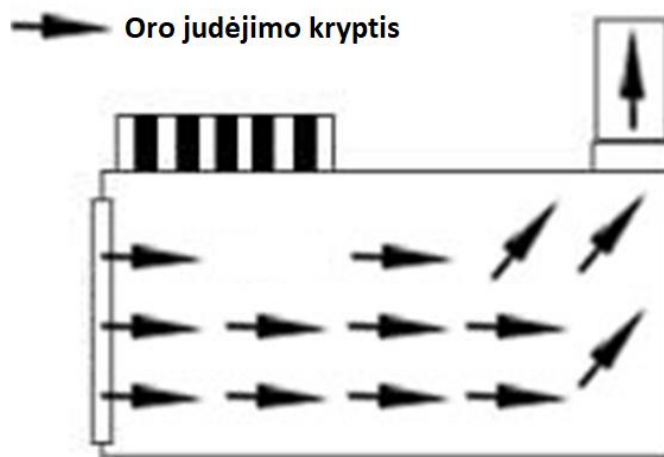
Vandeniui plaunamose kamerose oras, įtrauktas į išsiurbimo vamzdyną, pučiamas per vandens užuolaidą, kur atsiskiria sunkesnės dažų dalelės ir yra nusodinamos. Tada oras eina per purkštukus, kur nuplaunamas dar kartą. Sukeltuose sukuriuose oras išcentrine jėga išstumia vandens ir kietąsias daleles, kurios surenkamos nuosėdų inde [22].

Šios kameros puikiai tinka operacijoms su dideliais dažymo apkrovimais, visų tipų dažams, įskaitant gruntus, lakus, emalius ir kitas dangas. Taip pat konvejerinėms operacijoms, automatiniam purškimo mechanizmom. Šių kamerų mechanizmas išstumia skysčius iš daugumos dažų ir juos atskiedžia iki itin smulkių dalelių. Nuotekos tampa nedegios, nelipnios ir dažniausiai nekenksmingos.

Neigiamos šio tipo kameros funkcijos yra priežiūros laikas, palaikymo išlaidos, atliekų šalinimo išlaidos. Tačiau įdiegus atliekų pašalinimo sistemą šios problemos gerokai sumažinamos. Ši sistema išsausina atliekas, taip sumažindama jų tūrį, o kai kurios sistemos atliekas išvalo tiek, kad jos klasifikuojamos kaip nekenksmingos [11].

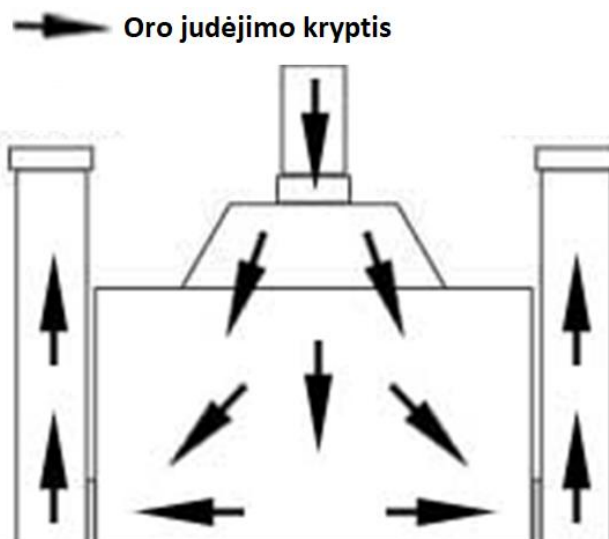
Kameros taip pat klasifikuojamos pagal dulkių ar kitų kietųjų dalelių, esančių ore, ištraukimą. Yra keli pagrindiniai kamerų tipai: skersinio ištraukimo, šoninio ištraukimo, apatinio ištraukimo, atviro priekio, atbulinio ištraukimo. Kiekvienas tipas turi savų pliusų ir savų minusų ir vertinimas, kurį tipą pasirinkti, turėtų būti atliktas pagal konkrečias gamybos apimtis ir dažomus objektus [20].

Skersinio ištraukimo kamera įpučia orą per kameros priekį ir išmeta panaudotą orą kameros gale (1.1 paveikslas). Panaudotas oras prakeliauja per filtravimo sistemą. Pagrindinis šios kameros privalumas yra žema kaina – šio tipo kamera daug pigesnė nei apatinio ištraukimo kamera. Taip pat dažniausiai ją būna paprasta sumontuoti, nes nereikia atlikti jokių betonavimo darbų. Naudojant įpučiamo oro paruošimo stotelę, gali būti pasiekama nebloga dažymo kokybė. Tačiau jeigu reikia itin aukštos darbų kokybės, skersinio ištraukimo kamera niekada neprilygs apatinio ištraukimo kamerai. Čia oras yra traukiamas iš kameros priekio į galą, per visą dažomą objektą, tad atsiranda didelė tikimybė dulkių nusėdimui objekto gale. Taip pat šis tipas netinkamas dažyti kelis objektus vieną paskui kitą, nes dulkės nusės ant vėliau dažomų detalių.



1.1 pav. Skersinio ištraukimo kamera

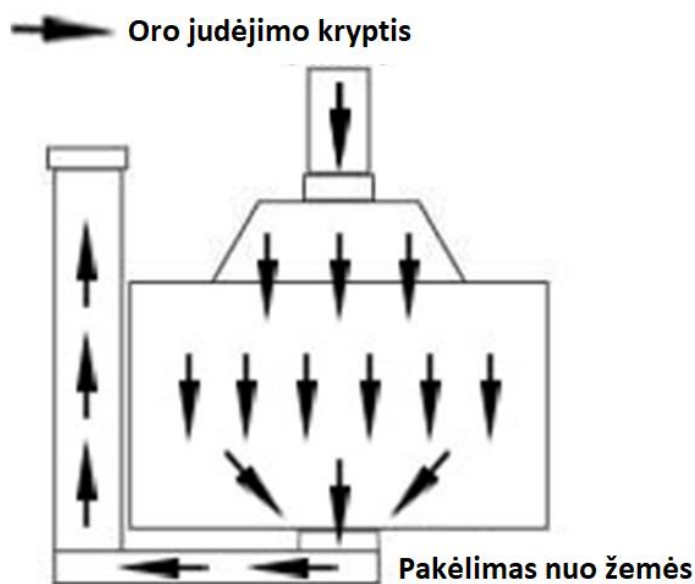
Šoninio ištraukimo kameros įpučia orą per filtrą esanti lubose ir ištraukia panaudotą orą per šoninių sienų apačioje esančias ertmes (1.2 paveikslas). Tokia konstrukcija suteikia didelį efektyvumą, dažymo kokybę beveik siekia apatinio ištraukimo kameros ir montuojant kamerą nereikia pakeltos konstrukcijos. Nors atrodo, kad tai tobulas sprendimas visiems atvejams, ši rūšis taip pat turi ir neigiamų savybių. Reikalingi labai ilgi oro padavimo ir išmetimo vamzdiniai, kas gali kainuoti brangiau, nei įrengti apatinio ištraukimo kamerą. Pavyzdžiui, šoninio ištraukimo kamerali reikės dvigubai daugiau ortakių, nei tokio pat dydžio skersinio ar apatinio ištraukimo kameros. Taip pat kiekvienas papildomas ortakis yra grėsmė bendram patalpos sandarumui ir atsparumui išorės veiksniams. Tokioje kameroje užterštas oras į ištraukimo kanalą skrieja prieš pat dažytoją, kas gali trukdyti ir erzinti, sukelia didelę riziką sveikatos problemoms ir gali kenkti galutinei produkto kokybei, ypač jei dažytojas mažiau įgudęs [2, 3].



1.2 pav. Šoninio ištraukimo kamera [4]

Apatinio ištraukimo dažymo kameros orą įpučia per lubas ir ištraukia per grindis į išmetimo vamzdyną (1.3 paveikslas). Šio tipo kameros užtikrina aukščiausią įmanomą kokybę. Tai

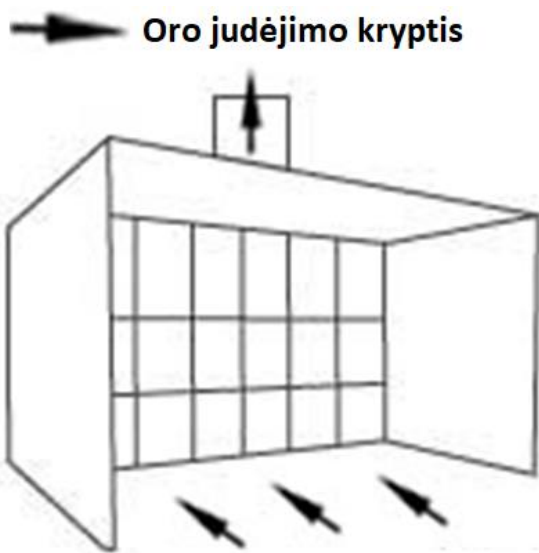
dažniausiai sutinkamas variantas aukšto lygio automobilių dirbtuvėse. Bene didžiausias šio tipo dažymo kameros minusas yra tas, kad jai įrengti reikia pakelti grindis arba grindyse padaryti duobę. Tokie darbai yra brangūs ir sudėtingi. Taip pat reikia, kad cechas kuriame bus statoma kamera turėtų aukštesnes lubas. Apatinio ištraukimo kameros suteikia aukščiausią dažymo kokybę dažant kelis objektus vienu metu, nes oras ištraukiamas tiesiai į apačią nuo kiekvieno jų. Šio tipo kameros dažniausiai būna brangesnės pastatyti ir įrengti. Apatinio ištraukimo kameros ne taip efektyviai veikia su labai dideliais objektais, nes juos sunku teisingai pozicijuoti kameros viduryje, kur ištraukimas efektyviausias [11].



1.3 pav. Apatinio ištraukimo kamera [4]

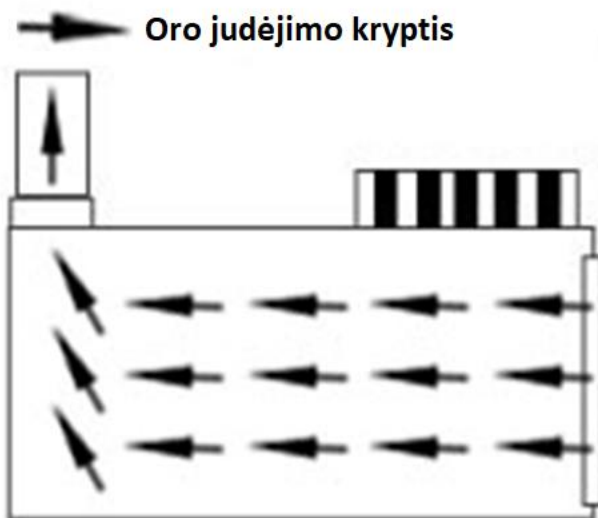
Yra ir alternatyvių dažymo kameros tipų, pavyzdžiui, atviro priekio arba atbulinio ištraukimo.

Atviro priekio kameros susideda iš lubų, dviejų sienų ir galinės ištraukimo sienelės (1.4 paveikslas). Oras įeina per atvirą kameros priekį, ir yra ištraukiamas per galinę sieną, kur įtaisyti filtrai. Šio tipo kameros dažnai sutinkamos medžio dirbtuvėse, gamyklose, prastesnėse automobilių remonto dirbtuvėse. Jos pigesnės ir paprasčiau įrengiamos, tačiau išgaunama dažymo kokybė yra žema.



1.4 pav. Atviro priekio kamera [4]

Atbulinio ištraukimo kameroje užterštas oras pašalinamas per vamzdyną šalia įvažiavimo durų, o švarus oras įeina per galinę sieną (1.5 paveikslas). Tai leidžia nešvarumus esančius šalia įvažiavimo tiesiai įtraukti į ištraukimo kanalą. Šio tipo kameroje ištraukimas ypač geras šalia kameros durų, kas neleidžia papildomoms dulkėms patekti į kamerą [19].



1.5 pav. Atbulinio ištraukimo kamera [4]

Kiekvienai situacijai pasirinkti tinkamą kamerą ir jos dydį reikia atsakingai. Labai svarbu turėti žinių apie patalpas, jų dydį, paskirtį, ir apie gamybos procesus, kad būtų įmanoma pasirinkti tinkamą įrangą.

1. Priežiūra. Visos dažymo kameros reikalauja reguliarios priežiūros, kad veiktų optimaliai. Pirmiausia reikia nuspręsti priežiūros komandos galimybes. Pagal tai, kiek priežiūros galima skirti kamerai, pasirenkamas ir įrangos sudėtingumas.



2. Biudžetas. Būtina įvertinti įmonės finansines galimybes. Radus optimalų lėšų ir būtinų kameros funkcijų santykį galima išsirinkti efektyviausią kameros oro ištraukimo mechanizmą, pasirinkti kokio tipo kamera labiausiai tinka atlikti darbui.

Taip pat labai svarbu suprasti kokios kokybės dažymo reikia bei kokios gamybos apimtys. Išsiaiškinus šiuos reikalavimus lengva pasirinkti tinkamą kameros oro ištraukimo tipą, filtracijos metodą [9].

Nuo to, kokios rūšies medžiagas purškiamos, priklauso filtrų ir ištraukimo metodas, kad būtų pašalintos perteklinės purškalo dalelės iš oro. Dažų dalelės geriausiai nusėda sausuose filtruose, todėl jie naudojami daugumoje kamerų. Tačiau jei naudojamos skirtingos medžiagos, būtina pasidomėti jų tarpusavio sąveikas, nes nusėdusios skirtingos dalelės filtre gali sureaguoti ir akimirksniu sukelti gaisrą [25].

Vandens sistemos naudojamos tada, kai gamybos apimtys itin didelės ir purškiama labai dideliais kiekiais.

Filtrų pasirinkimas tiesiogiai lemia ir atlikto darbo kokybę. Darbo kokybės reikalavimai kasdien vis kyla, nes vartotojai tampa vis išrankesni. Kad iškart būtų gautas pakankamai kokybiškas dažymo rezultatas būtina suderinti visą dažymo procesą.

Dažymo kameros suprojektavimo tipas yra vienas iš pagrindinių veiksnių. Oro judėjimo kryptis, filtracija, oro masių greitis, balansas yra labai svarbūs pasiekti norimam kokybės lygiui. Neslėginės kryžminio ištraukimo dažymo kameros būtų žemiausioje, o slėginė apatinio ištraukimo kamera – aukščiausioje pozicijoje pagal dažymo kokybę.

Be abejo, dažymas dažymo kameroje yra tik viena iš dažymo proceso dalių. Reikia nepamiršti ir kitų etapų siekiant tam tikro kokybės lygio. Tam turi daug įtakos paruošimas dažymui, nuriebinimas ir bendra dažomo objekto švara, dažymo kameros priežiūra, suslėgto oro sistemos kokybė, dažų purkštuvo kokybė, dažytojo apranga. Galutinis rezultatas yra tiesiogiai priklausomas nuo viso proceso [22].

Nuspręsti kokio dydžio kamera reikalinga yra antras žingsnis renkantis tinkamą įrangą. Dydis priklauso nuo vietos ir operacijos tipo. Tinkamai parinktas kameros dydis ne automatiniam dažymui yra ypač svarbus, nes tai leis dažytojui laisvai judėti, priklaupiti, pasisukti ir nesuvaržys rankų judesių, kurie labai svarbūs aukštos kokybės rezultatui pasiekti. Automatinėse operacijose tinkamas dydis leis robotui veikti efektyviai. Jeigu į kamerą objektus transportuoja konvejeriai, kameros dydis turi atitikti konvejerio greitį.

Minimalius ir maksimalius dažymo kameros matmenis apibrėžia detalės, kurios bus dažomos. Būtinasis bent vieno metro tarpas nuo visų objekto kraštų iki kameros sienų. Jeigu kameroje dirba keli operatoriai, būtinasis atstumas tarp jų darbo vietų – 2 metrai. Tokie atstumai leidžia objektą nudažyti iš visų pusių. Būtinasis aukštis nuo aukščiausio objekto taško iki kameros

lubų – 0,6 m. Dažymo objektas turi būti reikiamame aukštyje – jei jis dažomas iš apačios, tuomet turi būti pakeltas tiek, kad dažytojas patogiai galėtų padengti tas vietas. Jeigu detales į kamerą tiekia konvejeris, kameroje turi būti įrengtos konvejerio angos. Angos dydis turi būti mažiausiai 0,15 m nutolęs nuo visų konvejerio tiekiamo objekto kraštinių.

Paskutinis žingsnis projektuojant dažymo kamerą yra oro judėjimo greičio ir tūrio nustatymas. Kameros turi būti pastatytos taip, kad netrukdytų orui lengvai patekti iš ir į kameros oro vamzdynus. Atviro priekio kamera turėtų būti mažiausiai savo aukščiui lygiu atstumu nutolusi nuo artimiausios sienos. Jeigu tai neįmanoma, reikia įrenginėti papildomas oro padavimo sistemas [17].

Dažymo kameras reikia minimalaus oro ištraukimo greičio, matuojamu linijiniais metrais per sekundę, kad ištrauktų užterštą orą nuo dažymo objekto ir dažytojo į išmetimo vamzdyną ir filtravimo elementus. Nepakankamas ištraukiamo oro greitis gali pakenkti gaminio kokybei, kelti riziką dažytojo sveikatai [10].

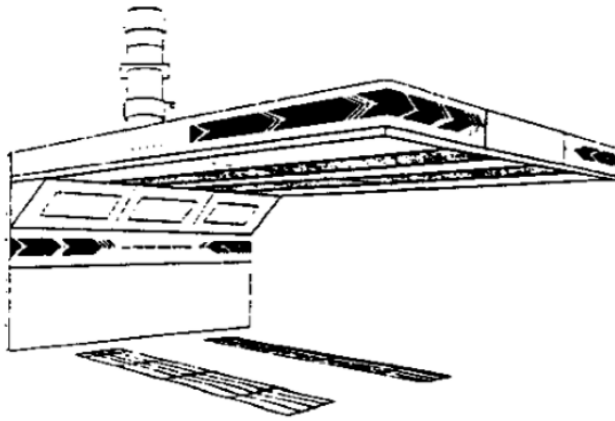
Ištraukiamo oro greitis priklauso nuo ištraukimo ventiliatoriaus. Standartinės kameros dažniausiai būna sukomplektuotos su tinkama ištraukimo sistema ir atitinka minimalius kokybės bei saugumo standartus. Ištraukimo reikalavimai apskaičiuojami įvertinus realius statinius slėgius, įskaitant oro srauto varžą atsiradusią dėl įeinančio oro nuostolių, užsikimšusių filtrų, vamzdynų [14].

Statinis slėgis yra varžos kiekis, kurį orui reikia įveikti judant iš taško A į tašką B. Statinis slėgis dažymo kameroje atsiranda dvejose zonose: įpūtimo ir išmetimo filtruose bei išmetimo vamzdyne. Kiekvieno filtro statinis slėgis yra nustatomas pagal tai, kiek oro tas filtras praleidžia. Pavyzdžiui, oro įpūtimo filtrai apatinio ištraukimo kameroje yra tankesni ir praleidžia mažiau oro nei analogiški filtrai skersinio ištraukimo kameroje. Todėl apatinio ištraukimo kameroje įpūtimo filtrai sukuria didesnę statinį slėgį [7].

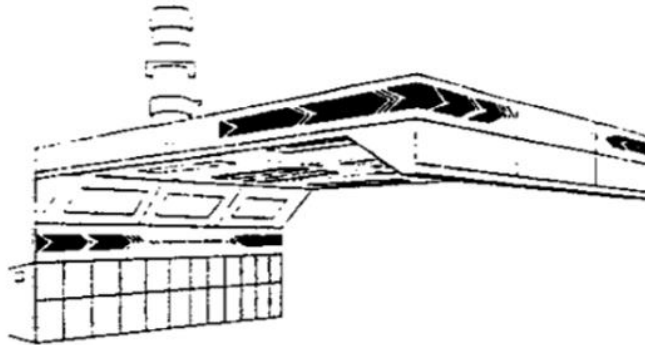
Laikui bėgant įpūtimo ir ištraukimo filtrai kemšasi ir oro srautas, galintis praeiti per filtrą per laiko vienetą, mažėja. Kai oro srautas apribojamas, filtro statinis slėgis ir oro srauto varža auga. Oro įpūtimo ir išmetimo vamzdynai taip pat turi įtakos statiniam slėgiui.

Oro tūris ir greitis krenta kai vamzdynuose atsiranda alkūnės, perėjimai, išsišakojimai ir ilgos sekcijos. Alkūnėse, atsiradus kampams, padidėja oro srauto varža. Perėjimai ir išsišakojimai taip pat sukelia statinį slėgį vamzdyne. Vamzdynai turi būti kuo paprastesni ir trumpesni.

Didesnės dažymo įmonės turi ne vien dažymo kameras, bet ir detalių paruošimo stoteles. Tai tokia darbo vieta, kuri ištraukia šlifavimo dulkes ir nešvarumus nuo pat darbo paviršiaus, gražindama aplinkai švarų orą. Taip pat tokioje darbo vietoje galimi nedideli dažymo darbai, nes ištraukimas veikia kaip dažymo kamera – sumažina oro sukuriavimą purškiant paviršių dažais ar gruntu. Būna apatinio (1.6 pav.) arba pusiau apatinio (1.7 pav.) ištraukimo paruošimo stotelės.



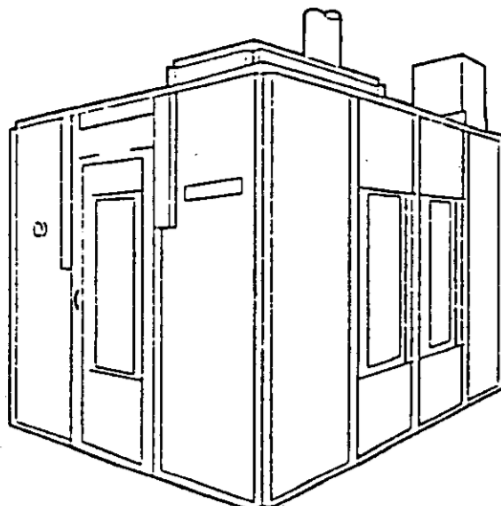
1.6 pav. Apatinio ištraukimo paruošimo stotelė



1.7 pav. Pusiau apatinio ištraukimo paruošimo stotelė

Tokios darbo vietos privalumai akivaizdūs – švaresnė paruošimo darbo vieta, didesnis produktyvumas, mažesnės šlifavimo medžiagų kainos (šlifuojant paviršių, nuo kurio ištraukiamos dulkės, šlifavimo medžiagos dėvisi mažiau). Taip pat mažesnės šildymo ir vėdinimo sąnaudos, nes vietoj ventiliacijos iš išorės, oras esantis patalpoje valosi ir recirkuliuoja [1].

Kitas svarbus dažyklos įrenginys – dažų maišymo patalpa (1.8 pav.). Ji suprojektuota taip, kad būtų šviesi, švari ir puikiai ventiliuojama, kad sukurtų palankiausias sąlygas dažų ir kitų medžiagų paruošimui ir maišymui. Tai tarsi maža dažymo kamera, užtikrinanti saugią bei švarią darbo aplinką [31].



1.8 pav. Dažų maišymo patalpa

Dažų maišymo patalpos apatinio ištraukimo ventiliacijos sistema traukia orą iš visos patalpos per pirmo lygio filtrą surinkti stambiams nešvarumams ir dulkėms. Tada oras keliauja į patalpos viršų, kur, perėjęs per lubose įtaisytus filtrus tampa švarus ir vėl grįžta į patalpą.

## 2. TYRIMO APŽVALGA

Iš literatūros analizės žinoma, kad pagrindinės standartinės dažymo kameros būna 5 tipų:

1. skersinio ištraukimo kamera;
2. šoninio ištraukimo kamera;
3. apatinio ištraukimo kamera;
4. atviro priekio kamera;
5. atbulinio ištraukimo kamera.

Kiekvienas kameros tipas yra skirtingas, sukurtas vis kitokiai produkcijai, todėl turi savų privalumų ir turi būti parenkamas priklausomai nuo gamybos tipo.

Norint palyginti kameros tipus vieną su kitu ir išsirinkti tinkamiausią, reikia nustatyti vertinimo kriterijus, kurie svarbūs įmonei. Įvertinant darbo tipą ir kokybės reikalavimus, priskiriami tokie kriterijai:

1. dažymo kameros kaina ( $X_1$ ) – visa kameros komponentų ir įrengimo kaina;
2. konstrukcijos paprastumas ( $X_2$ ) – kuo paprastesnė konstrukcija, tuo geresnė dažymo kamera;
3. nudažyto objekto paviršiaus kokybė ( $X_3$ ) – kokią aukščiausią dažymo kokybę įmanoma pasiekti;
4. visos dažymo kameros dydis ( $X_4$ ) – reikiamas patalpos plotas visai kameros sistemai;
5. energijos suvartojimas ( $X_5$ ) – energijos kiekis, kurį vartoja įjungta dažymo kamera.

2.1 lentelėje pateikti kiekvieno kameros tipo vertinimo rezultatai. Kuo labiau tipas atitinka kriterijų, tuo didesnę vertinimo balą gauna. Maksimalus vertinimas – vienas balas. Jeigu visi vertinimo kriterijai vienodos svarbos - tinkamiausias kameros tipas yra surinkęs daugiausiai balų. Tačiau kriterijų svarba skiriasi, todėl įvedamas koeficientas  $a_x$ , vertinantis kriterijaus svarbą. Svarbos koeficientai pateikti 2.2 lentelėje.

2.1 lentelė

Dažymo kamerų tipų vertinimas pagal kriterijus

Kriterijus \ Tipas	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Skersinio ištraukimo	1	0.8	0.4	1	0.6
Šoninio ištraukimo	0.8	0.6	0.6	0.8	0.8
Apatinio ištraukimo	0.8	0.6	1	0.6	1
Atviro priekio	1	1	0.3	1	0.6
Atbulinio ištraukimo	1	0.8	0.3	1	0.6

Koeficientų svarbos vertės

Koeficientas	Svarbos vertė
X <sub>1</sub>	1
X <sub>2</sub>	0,4
X <sub>3</sub>	1
X <sub>4</sub>	0,8
X <sub>5</sub>	1

Dabar galima apskaičiuoti apibendrintąjį sprendimo kriterijų  $W$ . Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W = \sum_{i=1}^n a_{xi} \cdot X_i ;$$

čia  $W$  – apibendrintasis sprendimo kriterijus;

$a_{xi}$  – svorio koeficiento reikšmė;

$X_i$  – kriterijus;

$n$  – variantų skaičius.

Rezultatai pateikti 2.3 lentelėje.

Apibendrintojo kriterijaus reikšmės

Tipas	Apibendrintojo kriterijaus reikšmė
Skersinio ištraukimo	3,12
Šoninio ištraukimo	3,08
Apatinio ištraukimo	3,52
Atviro priekio	3,2
Atbulinio ištraukimo	3,06

Žinoma, pagrindinis tokio vertinimo trūkumas yra didelis žmogiškasis faktorius t. y. kriterijų parinkimas, vertinimas, jų reikšmingumo nustatymas priklauso nuo vertintojo žinių, kompetencijos, patirties. Tačiau toks būdas gerokai pranašesnis už visiškai euristinį sprendimų priėmimo metodą. Taip pat toks sprendimo būdas parenka tinkamiausią dažymo kamerą būtent mūsų tyrinėjamai įmonei.

Atsižvelgiant į pateiktus variantus, įmonei X tinkamiausia dažymo kamera – apatinio ištraukimo.

2.1 paveiksle pavaizduota standartinės apatinio ištraukimo dažymo kameros išorė.



2.1 pav. Apatinio ištraukimo dažymo kameros išorė

Apatinio ištraukimo dažymo kameros vidus pavaizduotas 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Apatinio ištraukimo dažymo kameros vidus

Standartinės apatinio ištraukimo dažymo kameros parametrai pateikti 2.4 lentelėje.

Apatinio ištraukimo dažymo kameros parametrai

Pagrindiniai duomenys	- Išorės matmenys: 7 000 x 5 250 x 4 180 mm - Vidaus matmenys: 6 900 x 3 900 x 3 500 mm - Pagrindinės durys: 3 200 x 2 700 mm (su rankena) - Darbuotojų durys: 800 x 2 000 mm (su rankena) - Bendra galia: 14.5 kW; 380V/50Hz
Sienos ir lubos	- 50 mm storio EPS putplasčio izoliacija tarp plieno plokščių
Grindys	- Dvi eilės cinkuotų grotelių arba pilnai grotuotos grindys, maksimali apkrova 500 kg ratui
Šildymo sistema	- Degiklis: <i>Riello G20</i> (Itališkas) - Dyzelinė šildymo sistema, 1 vnt., 200 000 kcal/h - Dyzelinio kuro sąnaudos: 8–18 kg / valanda (esant teigiamai oro temperatūrai) - Šilumokaitis (nerūdijančio plieno), 1 vnt. - Darbinės 50–80 °C temperatūros pasiekimas per 5–10 min. Ventiliacija - Pagal užsakymą galimas dujinis degiklis
Filtravimo sistema	- Pagrindinis filtras, 1 vnt. > 83 % - Oro intako filtras, 1 vnt. > 97 % - Oro išmetimo filtras, 1 vnt. > 70 %
Oro sistema	- Oro įpūtimo ventiliatoriai, 2 vnt., centrifūginiai su 4 kW varikliais, pajėgumas: 24 000 m <sup>3</sup> /h - Oro ištraukimo ventiliatorius, 1 vnt., centrifūginis su 5,5 kW varikliu, pajėgumas 18 000 m <sup>3</sup> /h
Apšvietimas	- Lubinės lempos, 32 vnt. po 16 W, LED - Šoninės lempos, 32 vnt. po 16 W, LED
Valdymo blokas	- 1 vnt., purškimo jungiklis, šildymo jungiklis, šviesos jungiklis, avarinis stabdymas, ir kt.

Įmonė X – nauja automobilių kėbulų remonto įmonė, įkurta prieš 2 metus. Įmonės pagrindinė veikla – draudiminių autoįvykių administravimas, kėbulų geometrijos atstatymo, virinimo, rūdžių šalinimo darbai, automobilių remontas po avarių, paruošimas dažymui ir dažymas.

Įmonėje šiuo metu dirba 4 darbuotojai. Jie dirba 40 val. per savaitę. Kiekvienas jų puikiai sugeba suvirinimo, paruošimo dažymui, dažymo darbus. Tokie darbuotojai sumažina prastovų tikimybę, palengviną darbų planavimą. Nesant vienam iš darbuotojų, jo darbus gali atlikti kitas, tuo metu laisvesnis darbuotojas. Įmonė X per mėnesį gali pilnai perdažyti nuo 4 iki 12 automobilių, priklausomai nuo užsakymų dydžių ir darbų sudėtingumo, arba 100–150 atskirtų automobilių detalių.

Įmonė įsikūrusi 180m<sup>2</sup> patalpose, iš kurių 130 m<sup>2</sup> paruošimo cechais, o likęs plotas skirtas dažymo kamerali, sandėliui ir ūkinėms reikmėms. Patalpose prieš tai buvo įrengtas baseinas, tad jos pasižymi itin gera ventiliacija, aukštomis 5,5 metrų lubomis. Tai didelis privalumas dirbant su kenksmingomis medžiagomis. Įrengti 2 vartai, kurių aukštis 4metrai. Aukštos lubos ir dideli vartai suteikia galimybę dirbti su krovininiais automobiliais. Šaltuoju sezonu patalpos šildomos kietu kuru arba dujomis, nes pastatas prijungtas prie miesto dujotiekio.

Įmonė X siekia tapti populiariausiu lengvųjų automobilių ir smulkių krovininių automobilių servisu šiaurės Lietuvoje, teikiančiu tik aukščiausios kokybės paslaugas.



Pasirinkta kamera pakankamai didelė ir tinkama aptarnauti net sunkiasvoriam transportui, tačiau dėl silpnų grindų to padaryti negalima. Todėl tokios kameros dažniausiai naudojamos tik lengviesiems automobiliams. Tačiau aukštos kokybės dažymu galėtų pasinaudoti net prailginti mikroautobusai ar sunkvežimiai.

Apatinio ištraukimo kameros grindys turi būti pralaidžios orui, nes jos veikia kaip dulkių siurblys: traukia nešvarų orą, jį filtruoja, o dulkės ir nešvarumai lieka prilipusios prie grindų. Tačiau standartinė tokių grindų danga išlaiko maksimalų 500 kg svorį viename taške. Tai reiškia, kad didžiausias galimas automobilio svoris negali viršyti 2 tonų. Tokių apribojimų netenkina vidutiniai mikroautobusai – jų masė viršija šią ribą.

Sukūrus grindis, kurios atlaikytų didesnę apkrovą, bet būtų pralaidžios orui, būtų įmanoma aptarnauti daug platesnę automobilių rinką. Taip pat sunkiojo transporto remontui taikomas didesnis valandinis įkainis, taigi tokios kameros modifikacijos atsipirktų ir sukurtų papildomo pelno.

Yra trys galimi būdai įsigyti dažymo kamerą: pirkti naują, pirkti dėvėtą arba suprojektuoti ir pastatyti kamerą pagal užsakymą.

Naujos dažymo kameros kaina 25 tūkst. eurų. Garantija 2 metai. Taip pat šiai kamerai reikia atlikti grindų ir ventiliavimo sistemos patobulinimo darbus, kad būtų galima aptarnauti sunkiasvorius automobilius.

Modifikuotos grindys bus sudarytos iš atskirų plokščių, kurių vienos savikaina sieks 145 eurų. Visam kameros plotui reikės 25 plokščių. Todėl bendra grindų savikaina bus 3 625 eurai.

Grindys bus statomos ant plieninio karkaso. Medžiagos karkaso gamybai kainuoja 400 eurų. Pjaustymo, suvirinimo ir sumontavimo darbai kainuoja 800 eurų. Taigi grindų kaina siekia 4 825 eurų. Ventiliatorių kaina yra 800 eurų. Visų modifikacijų bendra kaina siekia 5 620 eurų.

Naujos dažymo kameros su modifikacijomis kaina 30 620 eurų.

Galima pirkti dėvėtą dažymo kamerą. Vidutiniškai 10 metų dėvėtos kameros kaina siekia 15 000 eurų. Už 60 % kainos galima gauti pilnai veikiančią įrankį. Tačiau tokios kameros pirkimas yra labai rizikingas – nežinomas degiklių ir ventiliatorių nusidėvėjimas, nebegalioja garantija, galimi gedimai. Kiekviena prastova gali atnešti įmonei nuostolių ir pabloginti reputaciją, jeigu bus atšaukiami užsakymai. Kartą išardyta ir vėl surinkta kamera gali būti nesandari, kas lems prastesnę negu numatyta užteršto oro ištraukimą. Dažymo kameros būklę nustatyti apžiūros metu prieš perkant yra sudėtinga ir defektai gali pasimatyti tik pradėjus naudoti. Taip pat šiai kamerai reikia atlikti grindų bei ventiliavimo sistemos patobulinimo darbus, kad būtų galima aptarnauti sunkiasvorius automobilius. Dažymo kameros su modifikacijomis kaina 20 620 eurų

Dar viena alternatyva yra suprojektuoti ir pastatyti kamerą pagal individualų užsakymą. Žinoma, tam reikia inžinierinių gabumų, medžiagų ir laiko, tačiau pagaminama kamera būtų

specialiai pritaikyta įmonės X gaminamai produkcijai – reikiamo dydžio, tinkamomis grindimis, pakankamo galingumo vėdinimo sistema.

Kadangi nežinome, kiek kainuos individualiai gaminama kamera, reikia atlikti skaičiavimus, kuriais bus nustatyti gamybos bei medžiagų kaštai.

Pirmiausia reikia suprojektuoti visa dažymo kamerą. Projektavimas užtruks savaitę. Parenkamas reikiamas ilgis, plotis ir aukštis. Remiantis 2.4 lentele, standartiniai kameros vidaus išmatavimai yra pakankami, norint įsivaryti nedidelius sunkvežimius ar mikroautobusus, tačiau dažyti gali būti sudėtinga ir nepatogu, todėl vidaus matmenys padidinami iki 7 500x4 000x4 000 mm. Grindų karkasas bus plieninės konstrukcijos, sienos – gipso kartono su mineraline vata. Tokios medžiagos atsparios aukštomis temperatūroms, kas yra itin svarbu dirbant su degiomis medžiagomis.

Pasirenkama, kad kamera bus statoma įmonėje dirbančių darbuotojų. Medžiagų parinkimas ir įsigijimas sukurs vienkartinės darbuotojų laiko sąnaudas, kurių vertė 400 eurų. Kameros statybos darbai įmonei kainuos 3 024 eurų.

2.5 lentelėje pateikta reikiamų medžiagų kainos.

2.5 lentelė

Dažymo kameros gamybai reikiamos medžiagos ir įranga

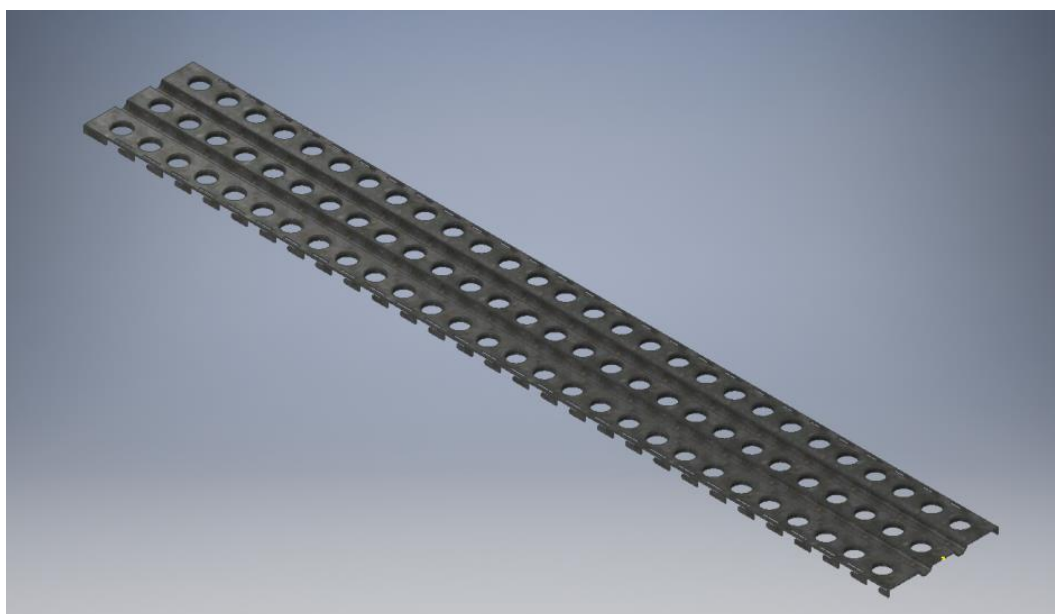
Medžiagos ir įranga	Kaina, Eur
Karkaso vamzdžiai 40x40x2, 150 m	400
Izoliacinė medžiaga 25 m <sup>2</sup>	120
Sienų plokštės 50 m <sup>2</sup>	400
Apšvietimas	400
Elektros instaliacijos ir tvirtinimo medžiagos	200
Ortakių sistema	2 000
Išsiurbimo ir įpūtimo ventiliatoriai	2 000
Dujų degiklis	1 000
Filtrai	300
Grindų danga	3 625
Iš viso:	10 445

Visa dažymo kameros gamybos kaina yra 13 869 eurai. Taigi individuali kameros gamyba yra 55 proc. pigesnė nei naujos kameros pirkimas ir 33 proc. pigesnė nei naudotos kameros pirkimas. Todėl tolesnis tyrimas bus su pasirinkta projektuojama dažymo kamera.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

Pasirinkta projektuoti ir gaminti dažymo kamerą pagal individualų projektą. Sienos, lubos, durys, ventiliatoriai, šildymo degiklis, ortakiai, elektronika yra standartinės detalės, todėl jų įsigijimas nesukels problemų. Labiausiai modifikuota ir nestandartinė detalė yra grindys. Vietoj standartinių grindų iš tinklo, reikia sumodeliuoti ir pagaminti metalo lankstinius su kiaurymėmis, kurie būtų pralaidūs orui ir daug atsparesni mechaninėms deformacijoms.

Sukurta grindų alternatyva – grindys iš skylėtų plieno plokščių (3.1 pav.). Skylės plokštėse 60 mm skersmens ir jos išdėstytos trimis eilėmis viena paskui kitą, siekiant išgauti kuo didesnę ir tolygesnę ištraukimo plotą bei nesusilpninti konstrukcijos. Jos įlenktos į vidų, kad būtų standesnė konstrukcija ir būtų mažesni įlinkiai, atsiradus apkrovai. Viena plokštės pusė turi pailgas stačiakampes kiaurymes, o kita – kabliukus. Taip sudėjus plokštę prie plokštės yra sujungiama vientisa grindų konstrukcija.



3.1 pav. Grindų plokštė

Jeigu grindys linguoja, galima pagaminti panašią konstrukciją plokščių priekiu bei galui, tačiau mūsų atveju tai yra nebūtina, nes po grindimis bus naudojamas tvirtas plieninis karkasas.

Pasirinkta grindų plokštės medžiaga – plienas S355. 3.1 lentelėje pateikiami šios medžiagos atsparumo koeficientai, takumo riba.

3.1 lentelė

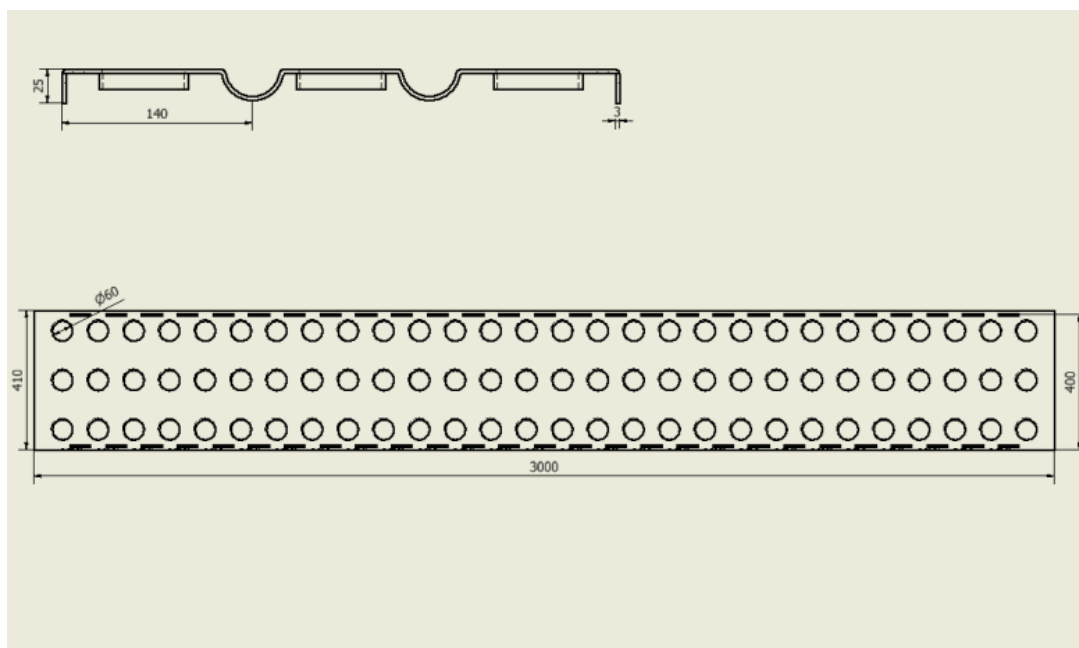
Plieno S355 mechaninės savybės

Mechaninė savybė	Simbolis	Vienetai	Vertė
Stiprumo riba	$\sigma_u$	MPa	500
Takumo riba	$\sigma_y$	MPa	350

Tokia medžiaga pasirinkta dėl stiprumo ir pakankamai mažos kainos, lyginant su nerūdijančio plieno ar aliuminio analogais. Kadangi kameroje visi nešvarumai bus pritraukiami prie

filto per plokščių tarpelius ir santykinė oro drėgmė žema, atsiradusi smulki korozija netrukdyt išgauti gerus dažymo rezultatus. Taip pat plokščių neverta cinkuoti ar kitaip padengti antikorozinėmis dangomis, nes jos atsitiktiniu būdu per laiką pasidengs grunto, dažų ir lako sluoksniu.

Gaminamos plokštės ilgis yra 3 000 mm, plotis – 400 mm. Storis – 3 mm. Vienos grindų plokštės eskizas pateiktas 3.2 paveiksle. Pakeisti filtrus po tokiomis grindimis bus sudėtingiau, nes vienos plokštės masė yra 31,38 kg ir norint išardyti grindis reikės jas išnerti po vieną. Tačiau grindinius dažymo kameros ištraukimo filtrus keisti reikia sąlyginai retai (dirbant pilnu apkrovimu, grindų filtras būna tinkamas eksploatacijai iki trijų mėnesių, priklausomai nuo naudojamų dažų, lako ir grunto tipo), tad ši problema nėra aktuali.

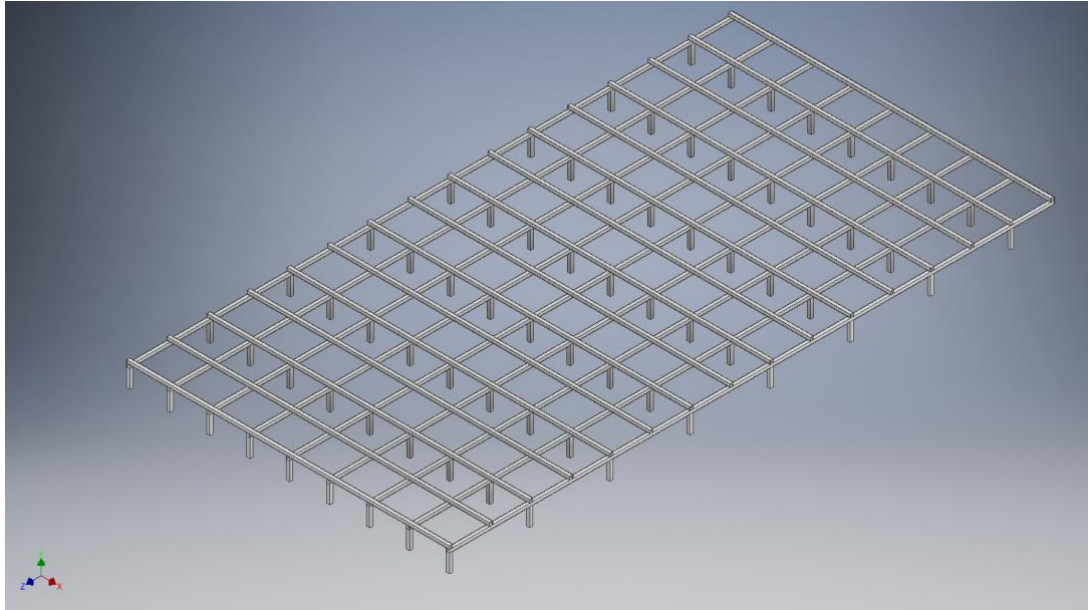


3.2 pav. Grindų plokštės eskizas

Norint įsitikinti ar grindys yra pakankamai stiprios būsimai sunkiasvorių automobilių apkrovai, reikia atlikti grindų plokštės teorinį stipruminį bandymą. Tai bus atliekama su *Autodesk Inventor Professional 2020* programa [21].

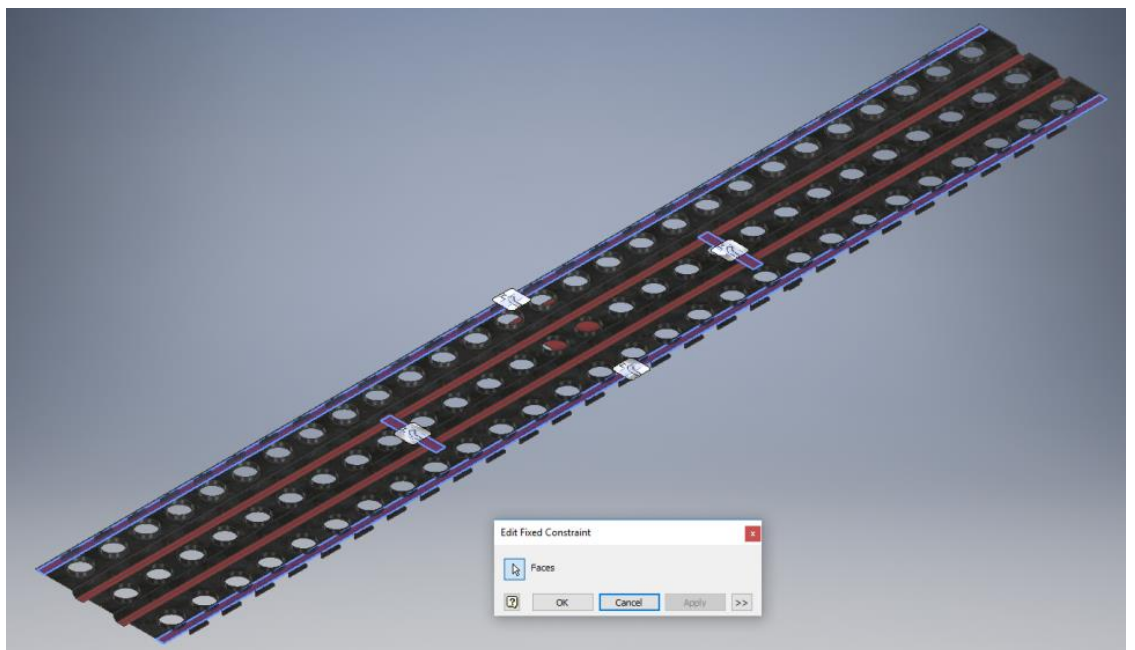
Kadangi plokštė susineria ir susikabina šonuose esančiais kabliukais, tai bandymo metu įtvirtinsime plokštę šonuose standžiai, nes ji negali judėti. Taip bus sukurtas atitinkamo realybės, kai plokštės nejudamai bus įtvirtintos viena su kita.

Kadangi plokštė yra net 3 metrų ilgio, vien sukabinta šonuose ji nebus tvirta, tad bus sukurtas karkasas, ant kurio dės grindys. Tam naudojami 40x40x2 mm, S355 plieniniai vamzdžiai, kurių bendras ilgis 148 metrai. Karkasas pavaizduotas 3.3 paveiksle.



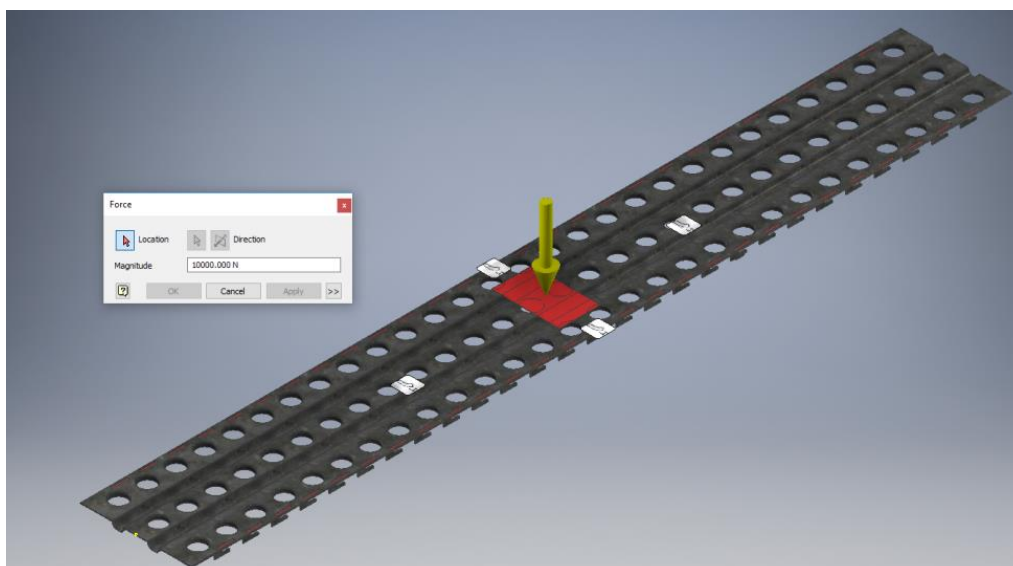
3.3 pav. Grindų karkasas

Todėl grindų plokštė įtvirtinama dar dviejuose taškuose per vidurį. Šioje vietoje taip pat pasirenkamas fiksuotas įtvirtinimas, nes plokštė nejuda (3.4 pav.).



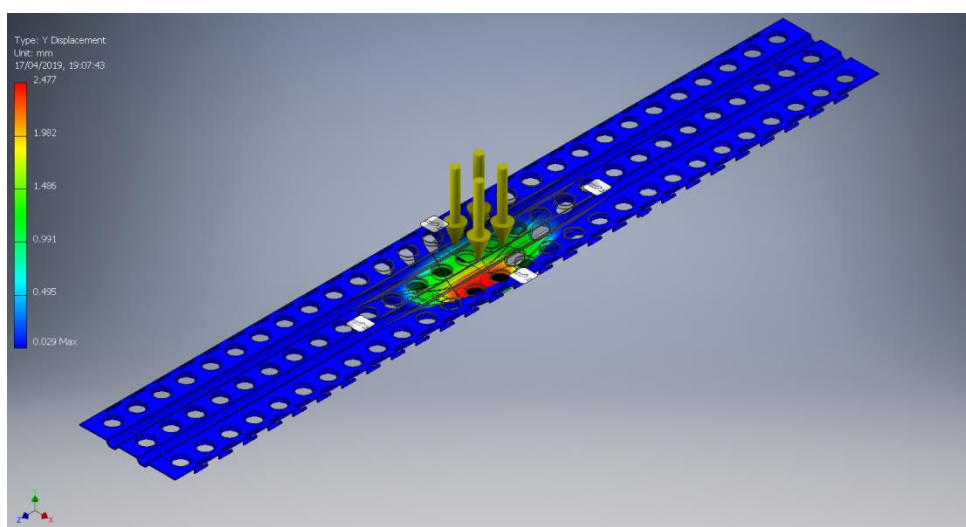
3.4 pav. Grindų plokštės įtvirtinimas bandymo metu

Simuliuosime, kad ant plokštės vidurio stovi automobilio ratas. Kadangi šių grindų tikslas yra išlaikyti sunkiasvorį automobilį, tad vienos plokštės centre bus 1 000 kg apkrova – ketvirtadalis sunkiasvorio automobilio masės. Plotas, kuriame veiks ši apkrova yra padangos lietimasis su grindimis. Priimsime, kad padangos plotis yra 250 mm, o ilgis 150 mm. Programoje parenkame 10 kN apkrovą (3.5 pav.). Tai yra dvigubai daugiau nei standartinės dažymo kameros grindų atlaikoma apkrova.



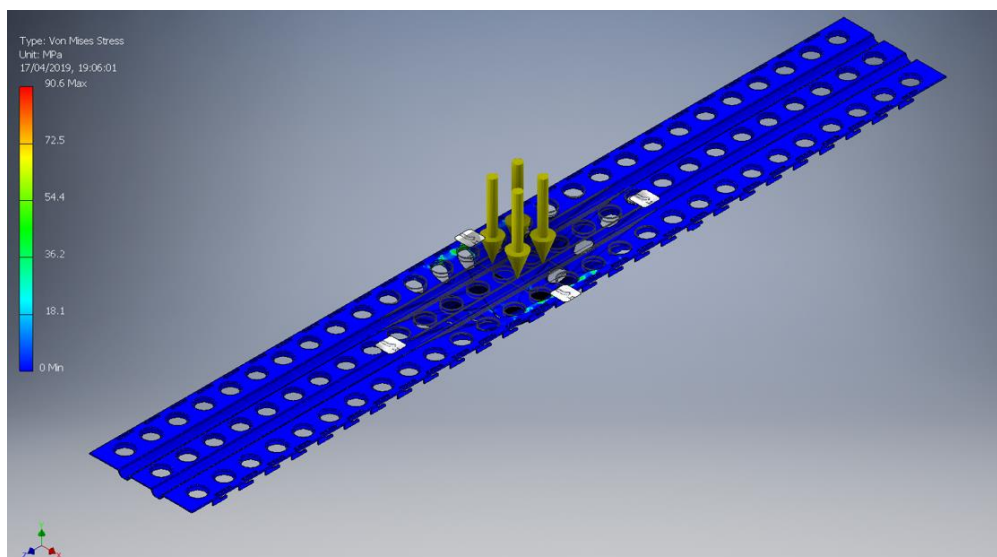
3.5 pav. Grindų plokštės apkrova bandymo metu

Gauti skaičiavimų rezultatai pateikiami 3.6 paveiksle. Paveiksle pateiktas poslinkių vizualus rezultatas – maksimalus plokštės įlinkis tik 2,4 mm. Tokia reikšmė nežymi ir leistina, nes nuėmus apkrovą deformacija dingsta ir plokštė grįžta į normalią padėtį.



3.6 pav. Grindų plokštės bandymo rezultatai (poslinkiai)

Kitas svarbus rezultatas yra įtempiai. Von Mizės įtempių grafike matyti, kad gautas maksimalus įtempis šio bandymo metu siekia 90,6 MPa (3.7 pav.). Tai yra kelis kartus mažiau už leistiną maksimalų įtempį šiai medžiagai. Turime 4 kartus didesnę atsargos koeficientą.



3.7 pav. Grindų plokštės bandymo rezultatai (įtempiai)

Suprojektuota detalė atitinka stiprumui keliamus reikalavimus, yra lengvai surenkama ir išardoma kameros priežiūrai bei nebrangiai pagaminama.

Svarbu yra ne tik stiprumo reikalavimų atitikimas, bet ir kameros veiksmingumas ištraukiant užterštą orą iš patalpos. Dažymui naudojamos medžiagos yra kenksmingos aplinkai ir žmogaus sveikatai. Darbuotojas privalo dėvėti apsauginę kaukę su filtrais, nes dažymo kameroje esančios kenksmingos dalelės gali būti įvairių ligų sukėlėjos. Todėl viena iš svarbiausių dažymo kameros funkcijų yra apsaugoti dažytojų sveikatą nuo kenksmingų dalelių ir dulkių, esančių ore bei neleisti nešvarumams nusėsti ant dažomo paviršiaus [30]. Norint tai užtikrinti reikia kameroje sudaryti pakankamą oro srauto judėjimo greitį.

Dažymo kamera veikia geriausiai, kai viduje sukuriamas viršslėgis. Šis reiškinys gaunamas, kai įpučiama daugiau oro nei ištraukiama. Tuomet atidarius dažymo kameros duris į vidų nepatenka papildomos dulkės ir nešvarumai iš paruošimo cecho. Taigi reikia tinkamai parinkti ištraukimo ir įputimo įrangą.

Pirmiausia parenkamas ištraukimo ventiliatorius. Jo našumas parenkamas pagal reikalingą oro debitą kameroje. Debitas apskaičiuojamas šia formule

$$Q = A \cdot \vec{v};$$

čia  $Q$  – debitas;

$A$  – skerspjūvio plotas, statmenas oro judėjimo kryptčiai;

$\vec{v}$  – oro judėjimo greitis.

Apatinio ištraukimo kameroje skerspjūvio plotas yra grindų plotas, nes oras juda statmenai iš lubų į grindis.



Rekomenduojamas oro judėjimo greitis dažymo kameroje parenkamas iš 3.2 lentelės ir priklauso nuo kameros tipo ir dažomų objektų. Ši lentelė tinkama tik apatinio ištraukimo kameroms – kitokio ištraukimo kamerose reikalingi kitokie oro judėjimo greičiai.

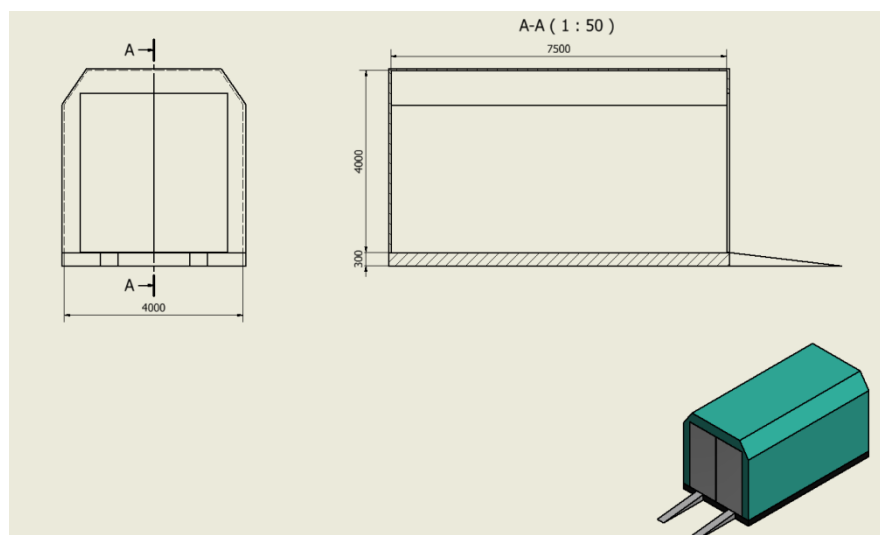
3.2 lentelė

Rekomenduojami oro judėjimo greičiai apatinio ištraukimo kameroje

Oro judėjimo greitis (m/s)	Kameros tipas ir dažomi objektai
0,18–0,3	Viršslėginė kamera, automobiliai
0,25–0,51	Viršslėginė kamera, didelių gabaritų objektai
0,38–0,51	Viršslėginė kamera, didelių ir mažų gabaritų objektai
0,38–0,64	Beslėgė kamera

X įmonėje projektuojama viršslėgė kamera, kurios paskirtis – automobilių dažymas, todėl oro judėjimo greitis turi būti 0,18–0,3 m/s.

Projektuojamos kameros vidaus plotis yra 4 metrai, aukštis yra 4 metrai ir ilgis yra 7,5 metro. 3.8 paveiksle pateiktas kameros eskizas.

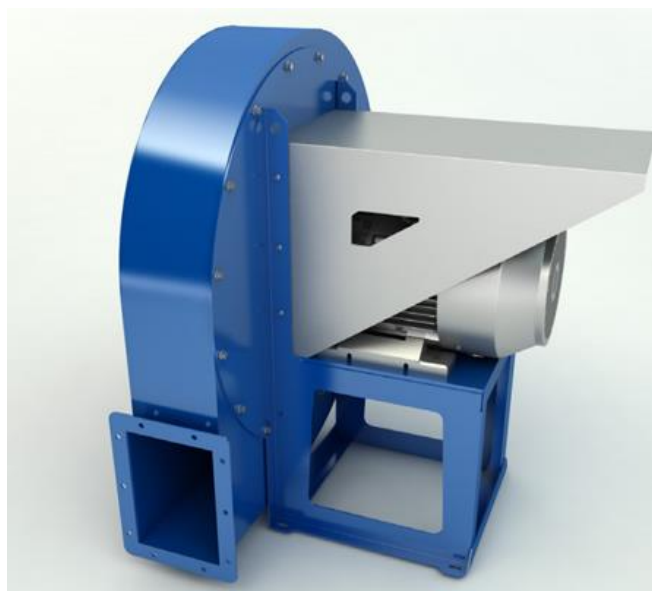


3.8 pav. Dažymo kameros eskizas

Kameros lubos abėjuose šonuose yra nuolaidžios, pakreiptos kampu nuo sienos, nes tose vietose įrengtas apšvietimas. Kampu krentanti šviesa nuo šviestuvų apšviečia paviršių natūraliau ir sukuria mažiau atspindžių bei šešėlių.

Reikalingas kameros ištraukimo ventiliatoriaus našumas apie 19 440–32 400 m<sup>3</sup>/h. Pasirenkamas 11 kW sraigtinis ventiliatorius kurio našumas 24 200 m<sup>3</sup>/h, o slėgis 1 870 Pa (3.9 pav.).



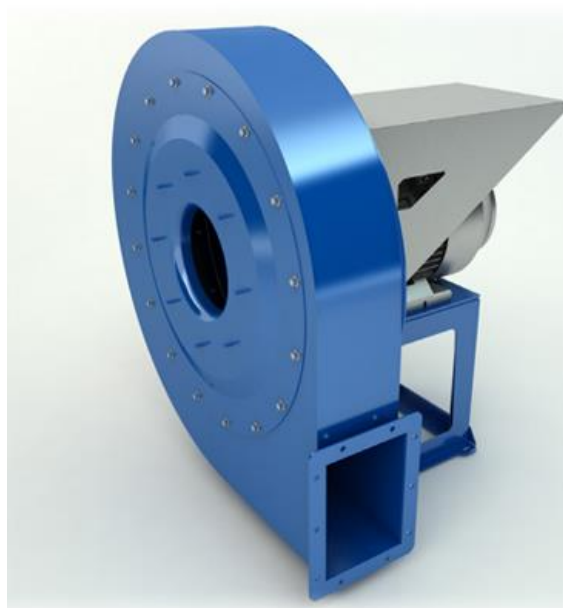


### Parametrai

Išorės max temperatūra (C):	-20 +40
Galia (kW):	11
Įtampa (V):	400V, 50Hz
Srovė (A):	21.06
Apsisukimai (x/min):	965
Našumas (m <sup>3</sup> /h):	24200
Slėgis (max Pa):	1870
Svoris (kg):	587
Triukšmo lygis (dB):	73
Srauto max temperatūra (C):	-20 +60
Variklio IP :	IP55

3.8 pav. Ištraukimo ventiliatorius

Turint šiuos duomenis, parenkamas įpūtimo ventiliatorius, kuris turi būti galingesnis, kad susidarytų viršslėgis. Todėl pasirenkamas sraigtinis įpūtimo ventiliatorius, kurio našumas 27 600 m<sup>3</sup>/h, o slėgis 2 100 Pa (3.9 pav.).



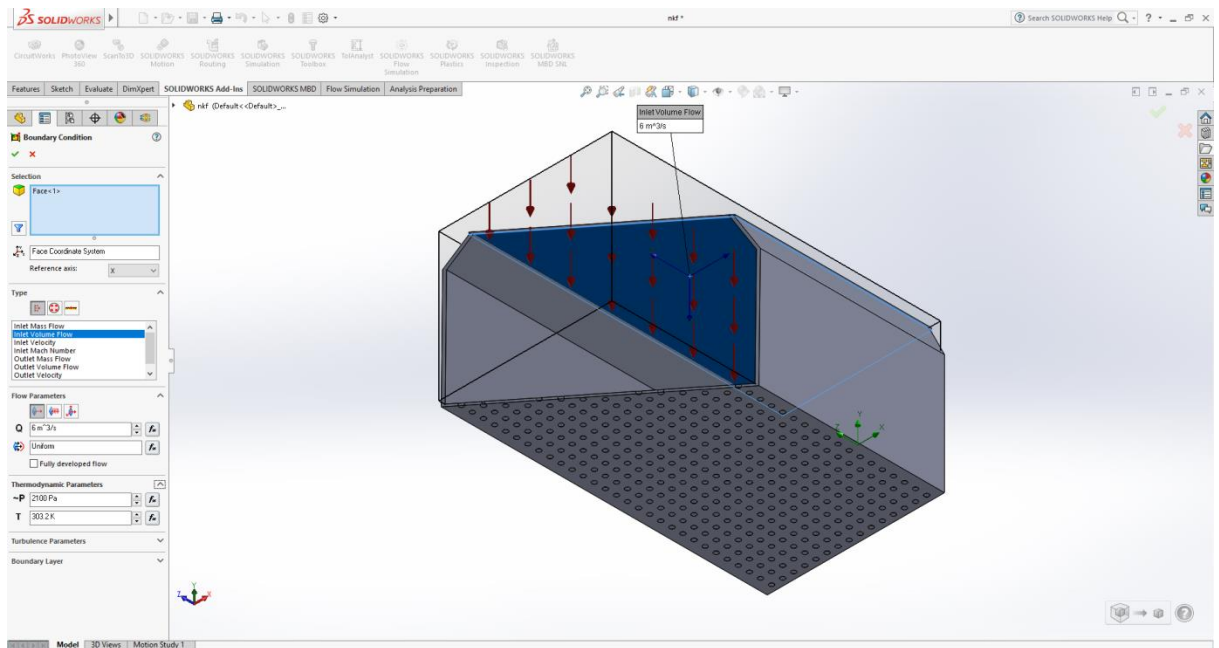
### Parametrai

Išorės max temperatūra (C):	-20 +40
Galia (kW):	15
Įtampa (V):	400V, 50Hz
Srovė (A):	29.08
Apsisukimai (x/min):	965
Našumas (m <sup>3</sup> /h):	27600
Slėgis (max Pa):	2100
Svoris (kg):	825
Triukšmo lygis (dB):	75
Srauto max temperatūra (C):	-20 +60
Variklio IP :	IP55

3.9 pav. Įpūtimo ventiliatorius

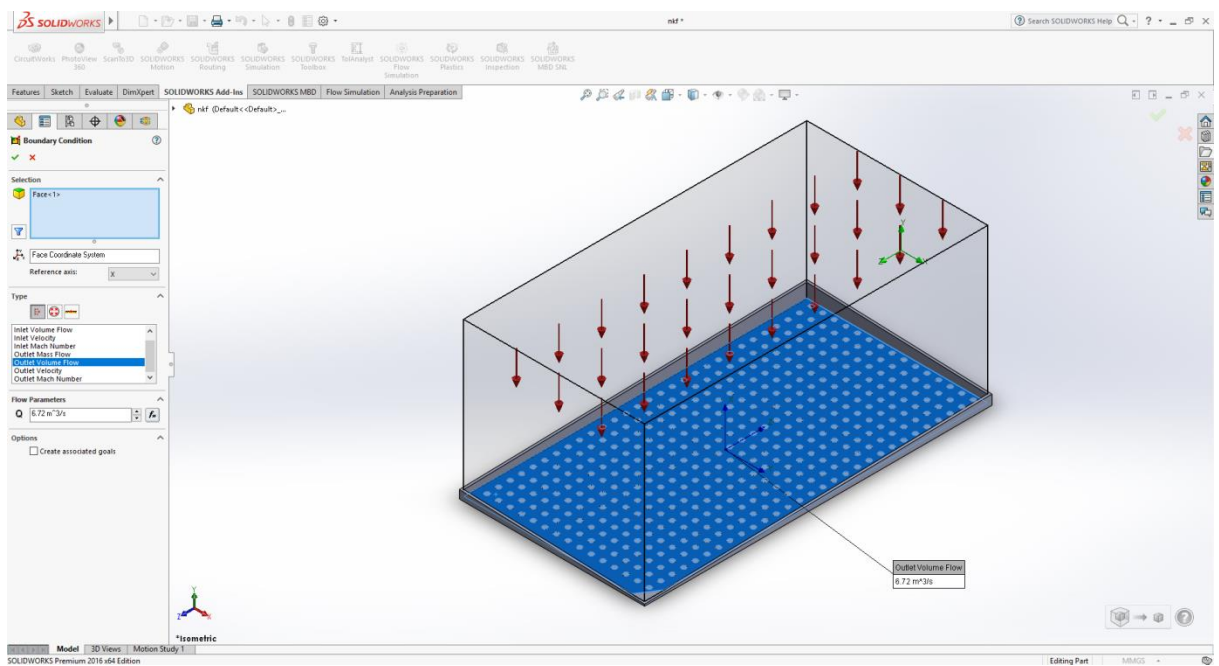
Toliau atliekamas dažymo kameros oro srautų greičių bandymas Solidworks programa. Bandymo tikslas – įsitikinti ar parinkti įpūtimo ir ištraukimo ventiliatoriai sukuria pakankamą ir ne per didelį oro greitį kameroje. Taip pat simuliacijos būdu nustatyti ar neatsiranda oro turbulencija, ar srovės nesūkurioja.

Pirmiausia pažymimas lubinis filtras, kuris sukuria vienodą oro pasiskirstymą visame plote. Tam paviršiui įvedami oro srauto debito, oro slėgio, bei temperatūros parametrai. 30 °C temperatūra sukurama pašildžius orą degikliu dažymo metu (3.10 pav.) [23].



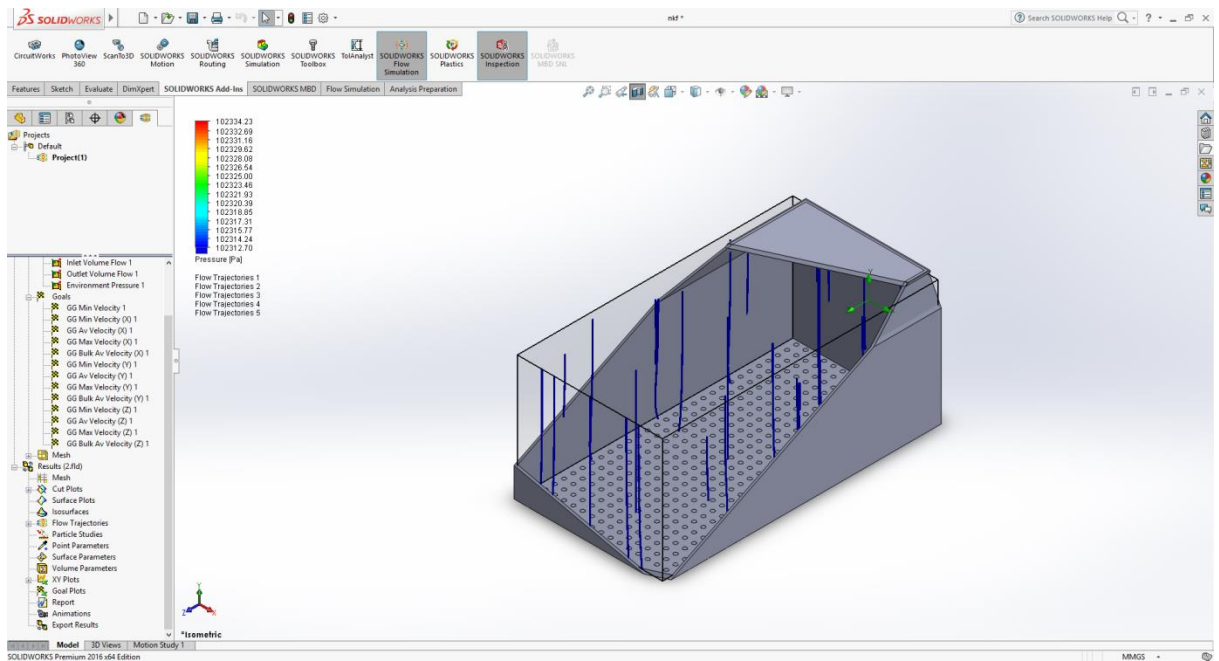
3.10 pav. Oro srautų greičių bandymo parametrai (lubos)

Simuliuojant oro išėjimą, pažymima kiekviena grindų skylutė – tai oro ištraukimo angos. Nustatymuose parenkamas debitas pagal ištraukimo ventiliatorių (3.11 pav.).



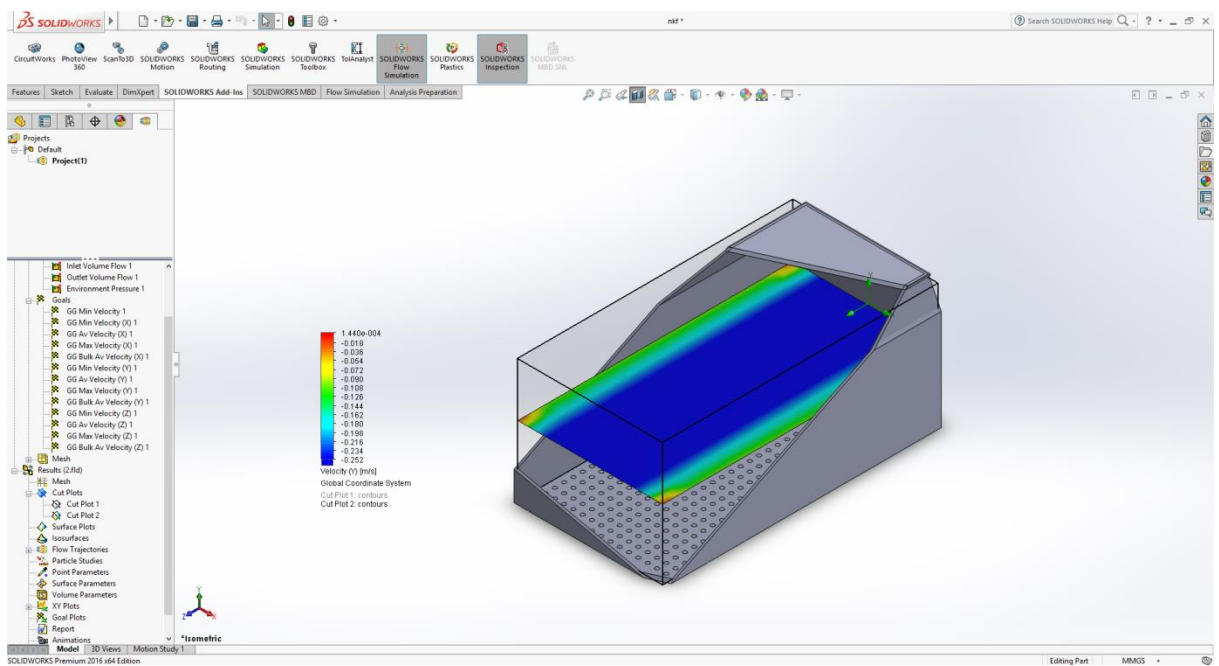
3.11 pav. Oro srautų greičių bandymo parametrai (grindys)

Gaunami rezultatai pateikti 3.12 paveiksle. Sūkuriai nesusidaro, vadinasi parinkti ventiliatoriai tinka projektuojamai kamerai. Oro srautai iš lubų keliauja tiesiai į apačią be jokio sūkuriavimo.



3.12 pav. Oro srautai dažymo kameroje modifikuotomis grindimis

Reikia patikrinti ar susidaro tinkamas oro srauto greitis dažymo kameros skerspjūvyje. Rezultatai pateikti 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Oro srauto greitis dažymo kameros skerspjūvyje

Optimalus oro srauto greitis dažymo kameros darbiniam plote yra apie 0,25 m/s. Srautas šiek tiek sumažėja kameros kampuose ir prie pat grindų, tačiau tai neaktualu, nes dažomas objektas visada pozicionuojamas kameros centre ir yra pakilęs mažiausiai 50 cm nuo žemės, kad būtų įmanoma nudažyti purkštuvu.

Atlikus tyrimus ir simuliacijas Solidworks programa, įsitikinama, kad kamera suprojektuota teisingai, oro srautai pakankami.

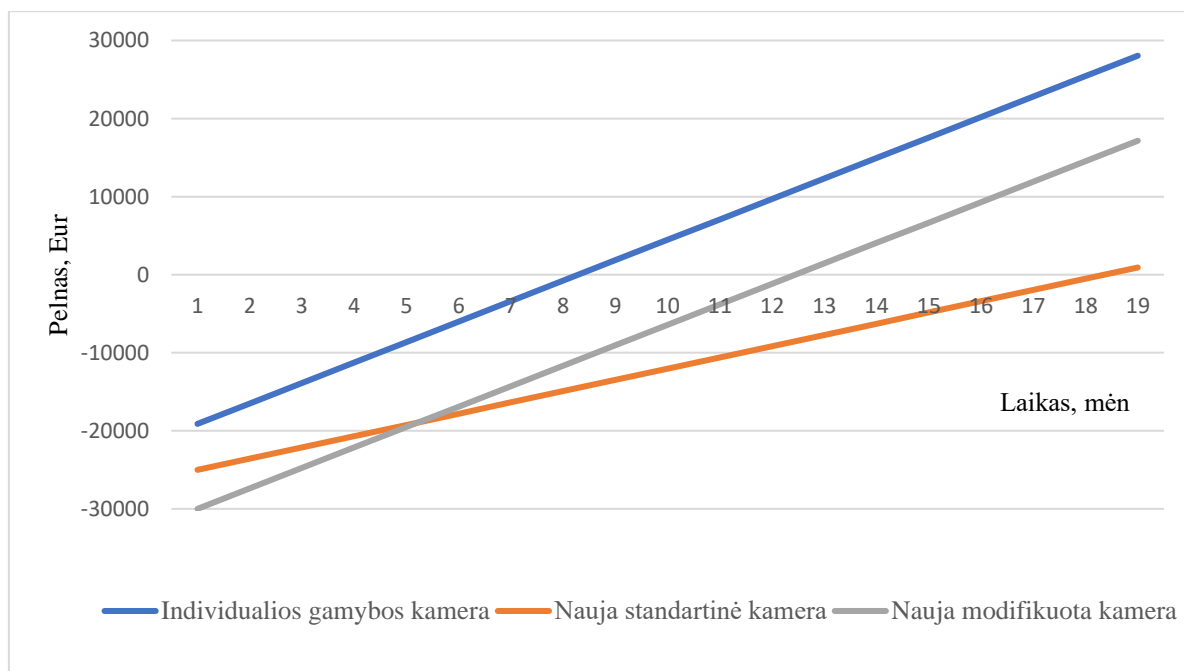
Tikslinga paskaičiuoti kiek šis modernizuotas kameros variantas bus pelningesnis nei standartinės kameros įsigijimas ir naudojimas.

Vidutinis valandinis darbo įkainis automobilių kėbulų servisuose yra 20 eurų. Vidutinis valandinis įkainis sunkvežimių kėbulų servisuose yra 25 eurai.

Tarkime, kad lengvųjų ir krovininių automobilių santykis per mėnesį bus 1:1. Per mėnesį 4 darbuotojai išdirba vidutiniškai 672 val. Taigi per mėnesį lengvuosius automobilius tvarkys 336 valandas ir gaus 6 720 eurų pajamų, o likusias valandas remontuos sunkvežimius ir gaus 8 400 eurų pajamų. Išlaidos medžiagoms, atlyginimams, nuomai ir kitoms reikmėms siekia 12 500 eurų per mėnesį, taigi pelnas bus 2 620 eurų.

Jau skaičiuota, kad individualios kameros gamyba kainuos 13 869 eurus. Du mėnesius vyks kameros statybos darbai, tad jokio pelno šiuo laikotarpiu nebus gaunama. Todėl pelno, kuris būtų gautas dirbant, suma bus priskaičiuota išlaidoms. Visos išlaidos siekia 19 109 eurus. Ši suma atsiperka per 7,3 mėnesio, jei skiriamas visas pelnas šiai investicijai.

Turint standartinę kamerą, visos darbo valandos bus skirtos tik lengviesiems automobiliams, todėl pajamos bus 13 440 eurų. Išlaidos bus kiek mažesnės, nes standartinė kamera bus mažesnė ir ne tokia galinga. Taigi išlaidos bus 12 000 eurų, o tokiu atveju pelnas sieks 1 400 eurų per mėnesį. Standartinė nauja kamera kainuoja 25 000 eurų. Ši suma atsiperks per 17,8 mėnesio. Ši informacija grafiškai atvaizduota 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Atsiperkamumo grafikas

Taigi pasirinkimas statyti savo dažymo kamerą yra efektyvus ekonomiškai, nes pati kamera pigesnė, o pelnas, aptarnaujant ne vien lengvuosius automobilius, bus didesnis.

#### 4. IŠVADOS

1. Įmonei X tinkamiausias dažymo kameros tipas yra apatinio ištraukimo.
2. Nustatyta, kad finansiškai naudingiausias būdas įsigyti dažymo kamerą yra projektuoti ir pasigaminti individualią dažymo kamerą. Tai 55 proc. pigiau nei naujos kameros pirkimas ir 33 proc. pigiau nei naudotos kameros pirkimas.
3. Atlikta specialių dažymo kameros grindų sunkiajam transportui stipruminiai bandymai programa *Autodesk Inventor 2020*. Kameros grindų konstrukcija tinkama ir atitinka keliamus reikalavimus.
4. Atliktas suprojektuotos dažymo kameros oro srauto greičio bandymas ir simuliacija programa *Solidworks 2019*.
5. Individualios dažymo kameros naudojimas būtų pelningesnis ir atsipirktų beveik 2.5 karto greičiau nei perkant standartinę dažymo kamerą ir remontuojant tik lengvuosius automobilius.

## PUBLIKACIJOS, PRANEŠIMAI

2018-09-20 priimtas straipsnis *Review and evaluation of different paint booths depending on their air flow* „Jaunųjų mokslininkų darbų žurnalui“;

2019-05-16 dalyvauta jaunųjų tyrėjų tarptautinėje mokslinėje konferencijoje “Jaunasis tyrėjas išmaniajai visuomenei” ir skaitytas pranešimas *Apatinio ištraukimo dažymo kameros tyrimas ir optimizavimas*;

2019-05-17 dalyvauta tarptautinėje jaunųjų mokslininkų konferencijoje “Industrial engineering 2019” ir skaitytas pranešimas *Research and optimisation of downdraft painting booth*.

## LITERATŪRA

1. Duffy J. E., Scharff R., Auto body repair technology, Cengage Learning, NY, 2003.
2. Heldt R., Grigoleit J., Sougioltzis V., Bucknell T. A., 2016 06 28, Compact paint booth, JAV patentas nr. US9375746B2.
3. Jegust B., Berner D., Groll A., Bosch A., 2017 04 27, System for painting objects, in particular vehicle bodies, JAV patentas nr. US20170113240A1.
4. Saito R., Hara H., 2018 11 01, Painting booth, JAV patentas nr. US20180311696A1.
5. Akafuah N. K., Poozesh S., Salaimah A., Patrick G., Lawler K., Saito K., Evolution of the Automotive Body Coating Process – A review, 2016, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2079-6412/6/2/24>
6. Anand S., Howarth J., Automotive finishing: Improving filtration in the automotive paint shop, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-11-23]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(13\)70032-6](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(13)70032-6)
7. Aquino R., What you might not know about spray booth air control: Many variables, including levels of supply air vs. exhaust air, factor into a balanced, well-functioning system, 2007, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(07\)80586-1](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(07)80586-1)
8. Axelsson D., Design and Development of a Spray Booth, 2008, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A18241&dswid=6890>
9. Bejan A., Brosseau L. M., Parker D. L., Exposure Assessment in Auto Collision Repair Shops, 2011, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.585117>
10. Brosseau L. M., Bejan A., Parker D. L., Skan M., Xi M., Workplace Safety and Health Programs, Practices, and Conditions in Auto Collision Repair Businesses, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/15459624.2013.866714>
11. Global Finishing Solutions, Spray booths, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(10\)80235-1](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(10)80235-1)
12. Goyer N., Performance of Painting Booths Equipped with Down-Draft Ventilation, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-11-23]. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15428119591017097>
13. Guerrero C.A., Wang J., Li J., Arinez J., Biller S., Huang N., Xiao G., Production system design to achieve energy savings in an automotive paint shop, 2011, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-11-22]. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2010.535042>



14. Hasan N. H., Said M. R., Leman A. M., Design of Local Exhaust Ventilation for Spray Booths: Proposed Study, 2012, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [http://eprints.utm.edu.my/6631/1/ARPN\\_Vol\\_2\\_No\\_6\\_July\\_2012.pdf](http://eprints.utm.edu.my/6631/1/ARPN_Vol_2_No_6_July_2012.pdf)
15. Hautalampi T., Henriks-Eckerman M., Koskela H., Saarinen P., Ventilation and Industrial Hygienic Measures to Reduce Chemical Exposure in Car Repair Painting Shops, 2007, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7235.pdf>
16. Iida T., Mitani H., Sato M., Development of Paint Booth: “New Paint Mist Collection Method”, 2016, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-27]. Prieiga per internetą: [https://www.jstor.org/stable/26269140?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/26269140?seq=1#page_scan_tab_contents)
17. Ju F., Li J., Xiao G., Arinez J., Quality flow model in automotive paint shops, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.824629>
18. Kawakami, C., Saloio, R., and Sidekerskis, R., High Solids Technology for Automotive Paint, 2014, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.4271/2014-36-0301>
19. Kelly C., Automotive Paint Technology Into The 21st Century, 2009, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <http://issinstitute.org.au/wp-content/media/2011/04/ISS-FEL-REPORT-C-KELLY-low-res.pdf>
20. Kolle S, Davis S., Collision Repair Technology, 2009, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per internetą: <http://www.sos.ms.gov/ACCcode/00000460c.pdf>
21. Konieczny J., Heckman J., Meyer G., Manyen M., Rabens M., Shimizu C., Automotive Spray Paint Simulation, 2008, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-89639-5\\_95](https://doi.org/10.1007/978-3-540-89639-5_95)
22. Mishra S., Rizvi I. A., Study of different painting process improvement in automotive industry, 2018, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ijrmee.org/index.php/ijrmee/article/view/151/151>
23. Nikończuk P., Study of Heat Recovery in Spray Booths, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-11-23]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(13\)70284-8](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(13)70284-8)
24. Ogonowski Z., Drying control system for spray booth with optimization of fuel consumption, 2011, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.038>
25. Prendi L., Henshaw P., Tam E. K. L., Automotive coatings with improved environmental performance, 2006, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/00207230600802098>



26. Rao P. P., Gopinath A., Energy Savings in Automotive Paint Ovens: A New Concept of Shroud on the Carriers, 2013, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-01]. Prieiga per internetą: <http://manufacturingscience.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1721766>
27. Shunxing Z., Control of Polluted Air from Paint Booth, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-TLGY200610009.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-TLGY200610009.htm)
28. Soos D., Automotive paint spray booth safety — How a paint booth makes a dangerous operation less so, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5637833>
29. Taylor J. R., O’Shaughnessy P. T., Reynolds S. J., Estimating Personal Exposures Based on Mass Balance Material Usage Rates: Validation of a Ventilation Model in a Spray Paint Booth, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2018-11-23]. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459620490432132>
30. Toda K., What Is Spray Coating?, 2012, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5095-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5095-1_2)
31. Whittaker S. G., Reeb-Whittaker C., Characterizing the Health and Safety Needs of the Collision Repair Industry, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-05-05]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1080/15459620902775609>