

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Artūras Poška**

**SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS METODO TYRIMAS  
KONSTRUOJANT IR GAMINANT PLASTMASINES DETALES**

Magistro baigiamasis darbas

**Vadovas – prof. habil. dr. A. Bargelis**

ŠIAULIAI 2012

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS METODO TYRIMAS  
KONSTRUOJANT IR GAMINANT PLASTMASINES DETALES  
CONSIDERATION OF RAPID PROTOTYPING METHOD FOR  
DESIGN AND MANUFACTURING THE PLASTIC PARTS**

Magistro baigiamasis darbas

**Autorius – stud. Artūras Poška (MM-10 gr.)**

**Vadovas – prof. habil. dr. A. Bargelis**

**Recenzentas – doc. D. Čikotienė**

**Katedros vedėjas – doc. dr. A. Sabaliauskas**

ŠIAULIAI 2012

# TURINYS

SANTRAUKA .....	5
SUMMARY .....	6
LENTELIŲ SAŖAŠAS .....	7
PAVEIKSLŲ SAŖAŠAS .....	8
ĮVADAS.....	9
1. GAMINIO PROTOTIPAS.....	10
1.1. Prototipų rūšys .....	10
1.2. Prototipo vaidmuo .....	12
1.3. Spartaus prototipo kūrimo eiga.....	13
1.4. Trys gamybos fazės, privedančios prie greitojo prototipo.....	14
1.5. Pirmoji fazė: prototipo vadovas.....	15
1.6. Antroji fazė: programa ar virtualus prototipas.....	16
1.7. Trečioji fazė: greitas prototipas .....	16
2. SPARTAUS PROTOTIPO GAMYBOS BŪDAI .....	17
2.1. Įvestis.....	18
2.2. Medžiaga .....	19
2.3. Taikymas.....	19
2.4. Spartaus prototipo pranašumai .....	19
2.5. Tiesioginė nauda .....	19
2.5.1. Nauda produkto projektavimui.....	21
2.5.2. Nauda apdirbimui ir gamybos inžinieriui .....	22
2.6. Netiesioginė nauda .....	22
2.6.1. Nauda rinkodarai .....	22
2.6.1. Nauda vartotojui .....	23
2.7. Sparčios prototipų gamybos technologijos plėtros problemos .....	23
3. SPARČIŲ PROTOTIPŲ SISTEMŲ KLASIFIKACIJA .....	24
3.1. RP gamyba naudojant skysčius .....	24
3.2. RP gamyba naudojant kietąsias medžiagas .....	25
3.3. RP gamyba naudojant miltelius .....	26
4. PAGRINDINIAI SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS METODAI.....	26
4.1. Stereolitografija .....	27

4.2. Selektyvus kietinimas lazeriu (SLS) .....	29
4.3. Lydžios masės formavimas (FDM) .....	30
4.4. Popieriaus ar plastiko lakštų sluoksniavimas .....	32
4.5. 3D spausdinimas.....	34
5. SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS ŽINGSNIAI .....	35
5.1. RP paslaugas galima pirkti ir internetu.....	38
6. EKSPERIMENTINĖ – TIRIAMOJI DALIS .....	39
6.1. Sparčios prototipų gamybos (RP) lydžios masės formavimo metodo praktinis tyrimas.....	39
6.2. Darbai .....	42
6.3. Gamyba.....	48
6.4. Modelio paruošimas naudojimui .....	48
6.5. Spartaus prototipo gamybos laiko ir sanaudų nustatymo metodika .....	49
IŠVADOS .....	59
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	60
PRIEDAI .....	61

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**Artūras Poška. Sparčios prototypų gamybos metodo tyrimas konstruojant ir gaminant plastmasines detales. Galutinis darbo vadovas/mokslinių tyrimų patarėjas prof. habil. Dr. A Bargelis.**

**SANTRAUKA**

Šio darbo pagrindą sudaro prototipai ir jų analizė nuo apibrėžimo iki sudedamųjų dalių. Tai yra labai aktuali tema, kadangi kiekvienai kompanijai ar institucijai, kuriant tiek kompiuterinius, tiek realias prekes ir paslaugas, prototipų kūrimas yra neatsiejama produkto vystymosi dalis. Šiame darbe nagrinėjama ne tik dabartinė prototipų situacija, bet ir istorinė jų raida ir šio darbo išskirtinis bruožas yra spartaus prototipo analizė, kuri parodo, kad spartusis prototipas atneša tiek tiesioginės, tiek ir netiesioginės naudos. Darbe pateikiama informacija yra itin svarbi dirbantiems produktų vystymosi srityse ir tiems, kas ne tik užsiima darbu su prototipais, bet ir papildomai domisi jais.

**ŠIAULIAI UNIVERSITY  
FAKULTY OF TECHNOLOGY  
DEPARTAMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Artūras Poška. Consideration of rapid prototyping method for design and manufacturing the plastic parts. Master final work/research advisor prof. habil. Dr. A Bargelis.**

**SUMMARY**

This assignment consists of the analysis of prototypes from the description to their components. This is a very important issue because every company or institution which that creates software, products or services includes prototype development into their product development. In this assignment prototypes are being analysed not only from the current perspective but also from the historical viewpoint. This assignment mainly analyses the rapid prototype and reveals that it has both direct and indirect benefits. The information provided is very important for those who work in product development and those who not only work with prototypes but also are interested in this issue.

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Greitų prototipų ir susietų technologijų raida.....	14
1.2 lentelė. Paralelė tarp geometrinio modelio ir prototipo.....	14
6.1 lentelė. Duomenys apie medžiagas.....	49
6.2 lentelė. Valandiniai įkainiai.....	49
6.3 lentelė. Skaičiavimų suvestinė gaminant FDM įrenginiu Dimension BST 768.....	55
6.4 lentelė. Skaičiavimų suvestinė gaminant pūtimo mašina LITO 4/3.....	58

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Protitopų tipai apibūdinti pagal tris aspektus.....	12
2.1 pav. Prototipo ratas.....	18
2.2 pav. Projektinis laikas ir produkto sunkumas per 25 metų laikotarpį.....	20
2.3 pav. RP technologijų integracijos rezultatai.....	21
4.1 pav. Stereolitografijos proceso principinė schema.....	28
4.2 pav. Selektivaus kietinimo lazeriu proceso principinė schema.....	29
4.3 pav. Lydžios masės formavimo proceso principinė schema.....	31
4.4 pav. LOM proceso veikimo principinė schema.....	33
4.5 pav. 3D spausdintuvas.....	35
6.1 pav. 25l talpos 3D CAD modelis.....	39
6.2 pav. 25l talpos STL failas.....	40
6.3 pav. 0,5l talpos 3D CAD modelis.....	41
6.4 pav. 0,5l talpos STL failas.....	42
6.5 pav. 3l talpos 3D CAD modelis.....	43
6.6 pav. 3l talpos STL failas.....	44
6.7 pav. FDM (lydžios masės formavimo) įrenginys Dimension BST 768.....	46
6.8 pav. Programos CatalystEX pagrindinis langas.....	47
6.9 pav. Pūtimo mašina LITO 4/3.....	55
6.10 pav. PET ruošiniai.....	56



## IVADAS

Pasaulio rinka per pastaruosius metus labai patobulėjo. Milžiniškais žingsniais žengia į priekį, todėl pastaruosiu metu tapo labai svarbu, kad naujai sukurta prekė kuo greičiau pasiektų vartotoją. Norint kad produktas rinką pasiektų kuo greičiau daugelis procesų: projekto apimtis, testas, gamyba ir produktas rinkoje, buvo labai suspausti tiek laiko, tiek materialių išteklių atžvilgiu. Kad veiksmingai naudoti tokius išteklius reikia naujų įrankių ir naujo požiūrio į juos. Daugiausiai tai būna technologiniai pokyčiai, kuriuose paprastai dalyvauja kompiuteriai. Būtent šie per pastaruosius kelis dešimtmečius sparčiausiai vystėsi.

Kuriant produktą laiko stoka buvo pagrindinis veiksnys, nustatantis vystymosi kryptį ir sėkmę naujos metodikos bei technologijos, kurie ir didino veiklą. Jie taip pat turi ir tiesioginį poveikį naujų produktų kūrimo procese.

Darbo tikslas: 3D CAD modeliavimo sistema sukurti modelį bei jo STL failą. Susipažinti su programine įranga skirta dirbti su lydžios masės įrenginiais. Mokėti tinkamai paruošti įrangą darbui. Stebėti modelio gamybos etapus lydžios masės formavimo metodu. Baigus modelio gamybą pašalinti pagalbines medžiagas bei paruošti modelį naudojimui. Sužinoti kas tai yra sparti prototipų gamyba (*angliškai Rapid Prototyping*), kokie naudojami būdai jų privalumai ir trūkumai, kokios naudojamos medžiagos ir kur yra panaudojami šių metodų privalumai. Taip pat susipažinti su sparčia technologinės įrangos technologija (*angliškai Rapid Tooling*), kuri leidžia daug anksčiau turėti reikalingą technologinę įrangą naudojamą smulkiaserijinei ar masinei gamybai. Sudaryti lydžios masės formavimo (FDM) metodo, sparčios gamybos technologiją, naujų gamybių prototipams.

Darbo uždaviniai:

- Sukurti prototipų 3D CAD modelius ir jų STL failus.
- Sudaryti sparčios prototipų gamybos technologiją (FDM) įrenginiui.
- Sudaryti spartaus prototipo gamybos laiko ir sanaudų nustatymo metodika.

# 1. GAMINIO PROTOTIPAS

Prototipas – svarbi ir esminė produkto kūrimo dalis. Tačiau bet kokioje projekto praktikoje, žodis „prototipas“ yra dažniausiai artimas daiktui, kurį projektuotojai ir dizaineriai kurs. Daugumoje žodynų šis žodis apibrėžiamas daiktavardžiu. Štai kaip terminų žodyne pateikiamas prototipo apibrėžimas - prototipas yra pirmas ar originalus kažko pavyzdys, kas buvo ar bus nukopijuotas ar išvystytas; tai yra pavyzdinė ar parengiamoji versija.

Tačiau projektavime tai dažniausiai reiškia daugiau nei įrankį. Jis dažniausiai naudojamas kaip veiksmazodis, pavyzdžiui: prototipas mašininio projektavimo įvertinimui arba kaip būvdardis, pavyzdžiui: kuriamas prototipas spausdinimo plokštės.

Dažniausiai prototipas apibrėžiamas kaip pirmasis egzempliorius, pavyzdys, pagal ką daromi visi vėlesni su juo susiję gaminiai. Ši apibrėžimo sąvoka naudojama technikoje. Tai labai bendras apibrėžimas. Šis labai bendras apibrėžimas nukrypsta nuo įprastų prototipų savybių. Jis apima visas prototipų rūšis, panaudotas produkto kūrime, išskyrus tokius objektus kaip: matematiniai modeliai, putų modeliai, pieštuko apmatai ir žinoma funkcinis fizinis produktų suderinimas. Prototipas yra procesas įgyvendinantis šiuos prototipus. Šis prototipas gali svyruoti nuo tiesioginės vykdymo programos iki realizuoto funkcionalaus prototipo.

## 1.1. Prototipų rūšys

Bendras prototipo apibrėžimas turi tris aspektus:

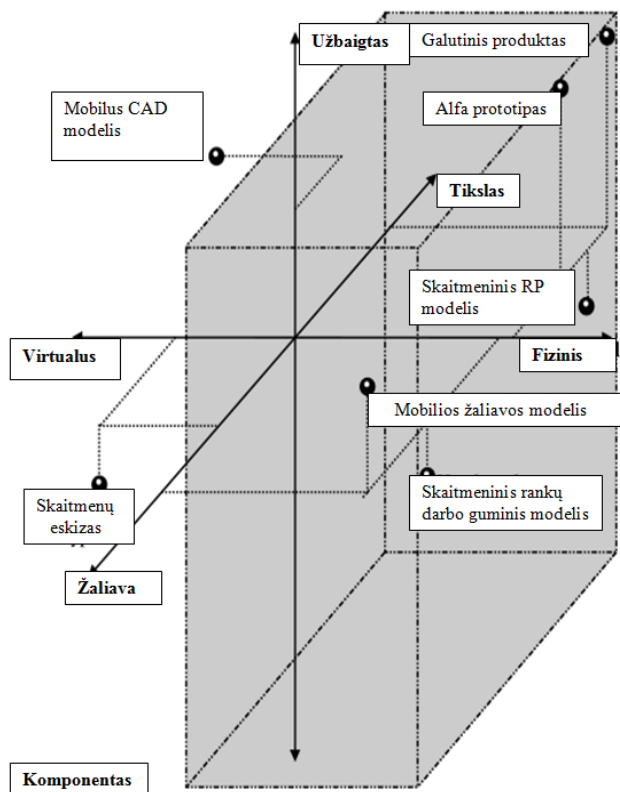
1. prototipo virtualus išpildymas; naudojant 3D CAD modelius.
2. prototipo reali forma; iš virtualaus tapimas į realų;
3. prototipo suderinimo laipsnis; nuo neapdorotų iki tikslių produktų.

Įgyvendinimo aspektą prototipas apima įvairių prototipų iš gatavų produktų arba sistemų prototipų kūrimo dalis, arba produktų komponentą. Baigtas prototipas, kaip rodo jo pavadinimas, modelių dauguma, charakteristikų produktas. Jis paprastai išpildo visą skalę, taip pat yra visiškai funkcionalus. Vienas iš prototipų pavyzdžių yra skiriama grupė kruopščiai atrinktų asmenų turinčių tam tikrų interesų, kurie vadinami tikslinėmis grupėmis, išnagrinėja ir nustato iškilusias problemas prieš produkto galutinį įgyvendinimą. Kita vertus, yra prototipų, kurie būtini norint studijuoti ar tirti konkrečias problemas, kurios susijusios su viena iš sudedamųjų dalių, agregatų ar tiesiog pirma sąvoka produktas, kuris reikalauja labai daug dėmesio. Vienas iš tokių pavyzdžių yra prototipas – bandymo platforma, kuri naudojama siekiant rasti komfortišką sėdėjimo

padėti biuro kėdei, kad būtų sumažinta stuburo sužalojimo rizika po kiekvieno ilgo sėdėjimo ant šios kėdės. Dauguma dalių ir komponentų yra išbandomi su tam tikra bandomąją burlaivio įranga ar tiesiog bandomąja platforma.

Antras prototipo aspektas atsižvelgia į prototipo įgyvendinimą. Viename gale virtualūs prototipai, kurie siejasi su neapčiuopiamais prototipais, pavyzdžiui matematinis modelis kontrolės sistemos. Tokie prototipai įprastai yra studijuojami ir analizuojami. Išvados yra paremtos prielaida, principu ar mokslu, kuris buvo suprantamas iki to laiko. Pavyzdys: vizualizacija oro srovės per lėktuvo sparną, kad nustatytų pakėlimą ir užsitiesų sparnas per viršgaisrinį skrydį. Toks prototipas dažnai naudojamas, kai fizinis prototipas yra per didelis, užima labai daug laiko jį sukurti ar yra labai brangus. Svarbiausias šių prototipų trūkumas yra toks, kad jie pagrįsti einamuoju supratimu ir tokiu būdu nesugeba numatyti nenuspėjamų atvejų. Tai yra labai blogai ir visiškai netinkama tam, kad būtų pašalinta nelaukta problema. Fizinis modelis, iš kitos pusės, yra apčiuopiama produkto dalis, paprastai naudojama išbandymui ir testavimui. Tokių prototipų pavyzdžiai apima natūralaus dydžio maketą, kuris yra kaip tikras produktas, tik kad neturi jo numatomų funkcijų. Toks prototipas gali būti panaudotas tik estetiniam ir žmogaus faktorių įvertinimui.

Trečiasis aspektas apima prototipo proceso derinimą su gamyba. Viena vertus, modelis gali būti netikslaus pavaizdavimo, kaip putos modelis, panaudotas pirmiausiai, kad studijuotų bendrą formą ir matmenis produkto pradinėje išsivystymo stadijoje. Kai kurie netikslūs prototipai galbūt net neatrodo kaip galutiniai produktai, tačiau jie yra panaudoti, kad išbandytų ir studijuotų tam tikras produkto išsivystymo problemas. Antra, prototipas gali būti tiksli produkto kopija, kuri modeliuoja kiekvienus produkto aspektus, pavyzdžiui prototipui prieš gamybą, kuris yra panaudotas, ne tik kad patenkintų klientą, bet taip pat ir atkreipiantis dėmesį į pramonines svarstomas problemas. Tokie “tikslūs” prototipai ypač svarbūs produkto gamybos proceso paskutinėje stadijoje. 1 paveikslas rodo įvairias prototipų rūšis. Kiekviena iš trijų ašių atstovauja vienam prototipo apibūdintam aspektui. Ši iliustracija parodo tik kad prototipai gali būti apibūdinti pagal šiuos tris aspektus. Įvairiapusiškumas ir diapozonas skirtingų prototipų, nuo užbaigtų sistemų į atskirus komponentus, kurie gali būti pagaminti RP apytikslio skaičiaus skirtinguose laispniuose, daro tai svarbiu įrankiu prototipo produkto gamybos procese. Pridedant pagrindinį pranašumą, greičio pristatyme, tapo svarbiu prototipo komponentu, kuris nebus ignoruojamas.



1.1 pav. Prototopų tipai apibūdinti pagal tris aspektus

## 1.2. Prototipo vaidmuo

Produkto gamybos procese yra keli prototipų vaidmenys. Jie apima:

1. eksperimentavimą ir studijavimą;
2. testavimą ir tikrinimą;
3. komunikaciją ir sąveiką;
4. sintezę ir integraciją;
5. planavimą ir žymėjimą;

Produkto gamybos komandai prototipai gali būti panaudoti mąstymui, planavimui, eksperimentavimui ir mokymosi procesams projektuojamame produkte. Į klausimus ir abejones dėl tam tikrų projekto problemų gali atkreipti dėmesį kurdami ir studijuodami prototipą. Pavyzdžiui, biuro kėdės tinkamos alkūnės palaikymo projektavime, keli fiziniai tokių alkūnės palaikymų prototipai gali būti pastatyti, kad pasimokyti apie alkūnės laikymo “jautrumą”, įvykdant tipiškas užduotis su šia kėde.

Prototipai taip pat gali būti panaudoti minčių ir sąvokų tikrinimui, siejančių produkto gamybą. Pavyzdžiui, skaitymo akinių sulankstymas, sąvokos ir mintys gali būti išbandytos, kuriant fizinį prototipą, kad būtų įrodytos idėjos ir taip pat, kad būtų galima pamatyti kaip dirba pats mechanizmas.

Prototipas taip pat atitinka paskirtį sekančios informacijos ir rodančių minčių, ne tik produkto gamybos komandos viduje, bet taip pat ir vadybai, ir klientui (ar viduje ar išorėje). Niekas nėra aiškiau paaiškinama ar komunikacijai minties fizinis prototipas, kur numatoma auditorija gali turėti pilną regimojo ir lytėjimo produkto jausmo patirtį. Trimatis pavaizdavimas yra geresnis negu dvimatis. Pavyzdžiui, fizinis nešiojamojo telefono prototipas gali būti pristatytas rūpestingai išrinktiems klientams. Klientai gali pasimėginti, paliesti telefoną, taip duodami grįžtamąjį ryšį išsivystymo komandai, tokiu būdu aprūpindami vertingą informaciją komandą, kad pagerintų jos projektą.

Prototipas gali taip pat būti panaudotas, kad sintetintų visą produkto sąvoką, suburdamas įvairius komponentus irasamblėją, kad garantuotų, jog jie dirbs išvien. Tai labai padeda produkto integracijoje, kurioje pasirodo bet kokios problemos, susietos su sujungimu produktu. Pavyzdys yra užbaigtas ar visapusiškas funkcinis prototipas asmeninio skaitmeninio padėjėjo (PDA). Sudėdami prototipą, į visus projekto aspektus, apimdami gamybą ir asamblėjos svarstomas problemas turime atkreipti dėmesį, tokiu būdu įgalindami skirtingus funkcinius produkto išsivystymo komandos narius suprasti įvairias problemas, jungtas su produkto sujungimu.

Prototipai taip pat tarnauja, kad padėtų produkto gamybos procese ir yra paprastai naudojami kaip žymekliai galo ar pradžios įvairių fazių išsivystymo pastangų. Kiekvienas prototipas paprastai žymi baigimą tam tikros gamybos fazės, ir su deramu planavimu, gamybos sąrašas gali būti pakeistas. Tipiškai daugelyje kompanijų, gamybos projekto tęsimas dažnai priklauso nuo prototipų pasisekimo, kad aprūpintų impulsą vadybai, kad išsiveržtų į priekį su juo. Turi būti pažymima, kad daugelyje kompanijų, prototipai nedaro būtino padavimo visi šitie veiksmai atliekami tuo pačiu metu, bet jie yra tikra būtinybė bet kokiame produkto išsivystymo laipsnyje.

Prototipai, sukurti su greitomis prototipų technologijomis, tarnaus labiausiai, jei ne visi šitie veiksniai. Būdami tikslūs fiziniai prototipai, kurie gali būti sukurti su greičiu, daugelis šitų veiksmų gali būti įvykdyti skūbiai ir efektyviai, ir kartu su kitais produktyvumo įrankiais, pavyzdžiui: kompiuterių panaudojimas projektavimui, pakartotinai su tikslumu.

### **1.3. Spartaus prototipo kūrimo eiga**

Greito prototipo vystymasis yra artimai sujungtas su kompiuterių vystymusi pramonėje. Mažėjanti kompiuterių kaina, ypač asmeninių ir mini kompiuterių, pakeitė būdą, kuriuo gamykla dirba. Kompiuterių naudojimo padidėjimas paskatino pažangą daugelyje sričių, kurios susijusios su kompiuteriais, apimdamos kompiuterizuoto projektavimo (kompiuterių panaudojimas

projektavimui) (CAD), automatizuotos gamybos (CAM) ir kompiuterių skaitmeninio valdymo (CNC) staklės. Ypač, RP sistemų pasirodymas galbūt nebuvo galimas be CAD. Tačiau, nuo atsargaus patikrinimo gausių RP sistemų, esamų šiandien, gali būti lengvai išvedama, kad be CAD, daug kitų technologijų ir pažangos kituose srityse, tokiuose kaip pramoninės sistemos ir medžiagos, taip pat buvo svarbios RP sistemų išsivystymui. 1 lentelėje pateikiama technologijų, susietų su RP, raida.

1.1 lentelė. Greitų prototipų ir susietų technologijų raida

<b>Metai</b>	<b>Technologija</b>
1770	Mechanizacija
1946	Pirmasis kompiuteris
1952	Pirmosios skaitmeninės kontrilinės staklės (NC)
1960	Pirmasis komercinis lazeris
1961	Pirmasis komercinis robotas
1963	Pirmoji interaktyvi grafinė sistema (ankstyva CAD versija)
1988	Pirmoji komercinė greitojo prototipo sistema

#### 1.4. Trys gamybos fazės, privedančios prie greitojo prototipo

Prototipų ar modelio sukūrimas tradicine prasme yra sena praktika. Ketinimas turėti fizinį prototipą yra projekto realizavimas. Tokiu būdu, prototipas yra paprastai reikalingas prieš pilnos produkto gamybos pradžią. Prototipų gaminimas yra daugelyje formų — materialiam pašalinime, juodžemyje, prisijungiančiame su klijais ir taip toliau ir su daugeliu materialų tipų — aliuminiu, cinku, mediena, ir taip toliau.

Prototipo procesai praėjo tris išsivystymo fazes, paskutinės dvi pasirodė tikrai prieš 20 metų. Fizinį modelių prototipai auga per trečią fazę. Paralelė tarp kompiuterių modeliavimo proceso ir prototipo proceso gali būti nubrėžta, tai matyti 2 lentelėje. Toliau apibūdinsime visas trys fazes.

1.2 lentelė. Paralelė tarp geometrinio modelio ir prototipo

<b>Geometrinis modelis</b>	<b>Prototipas</b>
1. Pirmoji fazė. 2D kontūras	1. Pirmoji fazė. Rankinis prototipas <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Daug šimtmečių naudota tradicinė</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pradėtas 1960-ųjų viduryje</li> <li>• Kelios tiesios linijos gali reikšti: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Žiedinės trasos kelią PCB</li> <li>◆ Suplanuoto mechaninio komponento vaizdą</li> </ul> </li> <li>• „Natūrali“ sudarymo technika</li> </ul>	<p>praktika</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prototipai yra kaip kvalifikuoti amatai: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tradicinis ir rankinis</li> <li>• Prototipas pagrįstas medžiaga</li> </ul> </li> <li>▪ „Natūrali“ prototipo technika</li> </ul>
<p>2. Antroji fazė. 3D kreivė ir paviršinis modeliavimas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pradėtas 1970-ųjų viduryje</li> <li>▪ Sudėtingumas</li> <li>▪ Daugiau informacijos apie tikslią formą, surūšiuotą pagal dydį ir paviršiaus dalių kontūrą</li> </ul>	<p>2. Antroji fazė. Programa ar virtualus prototipas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pradėtas 1970-ųjų viduryje</li> <li>▪ Sudėtingumas</li> <li>▪ Virtualus prototipas gali būti pabrėžtas, imituotas ir išbandytas, su tiksliomis mechaninėmis ir kitomis ypatybėmis</li> </ul>
<p>3. Trečioji fazė. Glaudus modeliavimas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pradėtas 1980-ųjų pradžioje</li> <li>▪ Kraštai, paviršiai ir duobės yra sujungti, taip kad sudarytų vieningą visumą</li> <li>▪ Kompiuteris gali nustatyti objekto vidų ir išorę. Dar svarbiau, kad jis gali patikrinti visus pėdsakus objekte, lengvai rasti visus susikertančius paviršius ir kraštus</li> <li>▪ Daugiau dviprasmiškas, tačiau tikslus</li> </ul>	<p>3. Trečioji fazė. Greitas prototipas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pradėtas 1980-ųjų viduryje</li> <li>▪ Nauda kieto prototipo, padaryto per labai trumpą laikotarpį yra jo pagrindinis pranašumas (remiasi CAD modeliavimu)</li> <li>▪ Kietas prototipas gali būti taip pat panaudotas apribotam išbandymui</li> <li>▪ Prototipas gali taip pat dalyvauti ir produktų gamyboje</li> </ul>

### 1.5. Pirmoji fazė: rankinis prototipas

Prototipų kūrimas prasidėjo anksti, kadangi žmonės pradėjo kurti įrankius, kurie jiems padėtų. Tačiau, prototipas atsižvelgiant į produktus, kurie, kaip manoma, yra pirma prototipo išsivystymo fazė, prasidėjo prieš kelis šimtmečius. Šioje ankstyvoje fazėje, prototipai tipiška nėra labai pažengę, ir prototipų gaminimas vidutiniškai užtrunka apie keturias savaites, priklausomai nuo lygmens sunkumo.

## **1.6. Antroji fazė: programa ar virtualus prototipas**

Kaip CAD/CAE/CAM paraiška tampa plačiai paplitusios, pradžioje 1980-ųjų pradėjo vystytis antroji prototipo fazė — programa ar virtualus prototipas. Virtualus prototipas yra naujos reikšmės, kadangi daugiau kompiuterių įrankių tampa pasiekiami — kompiuterių modeliai gali būti pabrėžti, išbandyti, analizuoti ir pakeisti, tarytum jie būtų fiziniai prototipai. Pavyzdžiui, įtampos ir įtampos analizė gali būti tiksliai numatyta ant produkto dėl gebėjimo apibrėžti tikslius materialius požymius ir ypatybes. Su tokiais įrankiais ant kompiuterio, keli projektų kartojimai gali būti lengvai atlikti, keisdami kompiuterių modelių parametrus.

Taip pat, produktai ir kaip tokie prototipai yra linkę tapti palyginti sudėtingesni — apie dukart sudėtingesni nei anksčiau. Atitinkamai, laikas, reikalingas padaryti fizinį modelį, yra linkęs padidėti apytiksliai iki 16 savaičių, kadangi fizinių prototipų pastatas vis dar priklauso nuo amatų pagrįstų metodų, nors įžanga geresnių tikslumo mašinų kaip CNC mašinos padeda.

Net su pasirodymu greito prototipo trečioje fazėje, yra vis dar stiprus palaikymas virtualaus prototipo. Apsauga teigia, kad yra vis dar neišvengiamas apribojimas greitam prototipui. Jie apima materialų apribojimą (ar dėl išlaidų ar vartojant medžiagas, nepanašias į numatomos dalies), nesugebėjimas įvykdyti, kas - jei scenarijai ir tikimybė, kad beveik jokie patikimi duomenys negali būti rinkti iš greito prototipo, kad įvykdytų baigtinio elemento analizę (FEA). Specialiai kinematikos/dynamikos analizėje, jis apibūdino programą, kuri gali atskirti fizines ypatybes daugelio skirtingų medžiagų, tokias kaip plienas, ledas, plastikas, molis ar bet kokią padarytą pagal užsakymą įsivaizduojama medžiaga ir įvykdyti kinematikos ir judėjimo analizę, tarytum dirbantis prototipas egzistavo. Nepaisant tokių virtualaus prototipų jėgų, yra viena silpnybė, kad tokie programiniai prototipai negali būti išbandyti reiškiniai, kuris nėra lauktas ar sudarytas kompiuterio programoje. Nėra jokios garantijos, kad virtualus prototipas yra problema.

## **1.7. Trečioji fazė: greitas prototipas**

Greitas prototipas tai fizinių dalių, dar kitaip žinomas kaip kietas laisvos formos gaminimas ar stalinė gamyba, ar sluoksnių pramoninė technologija, atstovauja trečiai fazei prototipų vystymėsi. Šios greitos prototipų metodologijos serijos išradimas yra apibūdintas kaip “vandenskyros atvejis” dėl didžiulių laiko santaupų, specialiai sudėtingiems modeliams. Nors dalys (atskiri komponentai) yra palyginti tris kartus sudėtingesnės kaip dalys, padarytos 1970-aisiais, laikas, reikalingas padaryti tokią dalį dabar vidurkis tikrai trys savaitės. Nuo 1988, pasirodė daugiau kaip dvidešimt skirtingų greitų prototipų technikų.

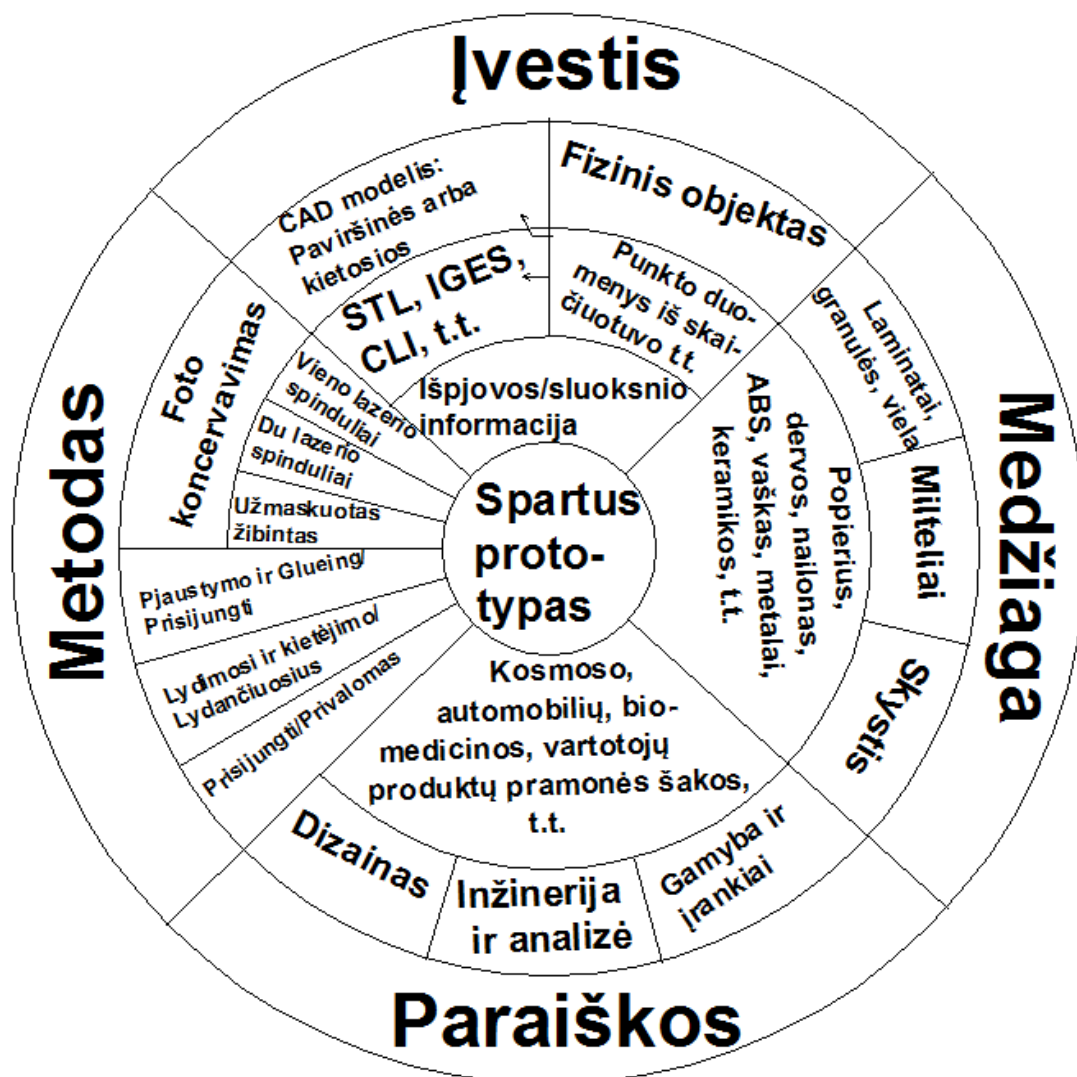


## 2. SPARTAUS PROTOTIPO GAMYBOS BŪDAI

Bendras visai skirtingai RP technikai yra pagrindinis metodas, kurį jie priima, kuris gali būti apibūdintas taip:

1. Modelis ar komponentas yra modeliuoti ant CAD/CAM sistema. Modeliui, kuris atstovauja fizinei daliai, kuri bus sukurta, turi atstovauti kaip uždaryti paviršiai, kurie nedviprasmiškai apibrėžia apsuptą apimtį. Tai reiškia, kad duomenys turi apibrėžti vidų, lauką ir modelio sieną. Šis reikalavimas taps likęs be darbo, jei panaudota modeliavimo technika bus kietas modeliavimas. Remiantis panaudota technika, galiojantis kietas modelis bus automatiškai apsuptas apimtimi. Šis reikalavimas garantuoja, kad visi horizontalūs skersiniai pjūviai, kurie yra būtini RP yra uždaryti kreivės, kad sukurtų kietą objektą.
2. Kietas ar paviršinis modelis, kuris būtų pastatytas, yra paskui paverstas į formatą, dubliavo "STL" (STereoLithography) rinkmenos formatas, kuris atsiranda iš 3D sistemų. STL rinkmenos formatas artėja prie paviršių modelio prie daugiakampių. Labai išlenkti paviršiai turi naudoti daug daugiakampių, kas reiškia, kad STL rinkmenos išlenktoms dalims gali būti labai didelės. Tačiau, yra kai kurios greitos prototipų sistemos, kurios taip pat priima IGES duomenys, jei tai yra teisingo "skonio".
3. Kompiuterio programa analizuoja STL rinkmeną, kuri apibrėžia modelį, kuris bus gamintas, ir "pjausto" modelį į skersinius pjūvius. Pikti skyriai yra metodiškai atgaivinti per kietėjimą ar skysčių ar miltelių ir paskui sukombinuoti, kad suformuotų 3D modelį. Kita galimybė yra tokia, kad skersiniai pjūviai yra jau ploni, kieti sluoksnėjimai, ir šitie ploni sluoksnėjimai yra suklijuoti su klėjais, kad suformuotų 3D modelį. Kiti panašūs metodai gali taip pat būti naudoti, kad pastatytų modelį.

Iš esmės, RP išsivystymas gali būti pamatytas keturiuose pirminiuose rajonuose. Greitas prototipo ratas 2 paveiksle pavaizduoja šituos keturis pagrindinius greito prototipo aspektus. Jie yra: įvestis (Input), metodas (Method), medžiaga (Material) ir paraiškos (Applications).



2.1 pav. Prototipo ratas

## 2.1. Įvestis

Įvestis siejasi su elektronine informacija, kuri yra reikalinga apibūdinti fizinį objektą su 3D duomenimis. Yra du galimi pradiniai taškai — kompiuterių modelis ar fizinis modelis. Kompiuterių modelis, sukurtas CAD sistemos, gali būti ar paviršiniu modeliu ar kietu modeliu. Ant kitos pusės, 3D duomenys nuo fizinio modelio nėra visai paprasti. Jis reikalauja duomenų surinkimo per metodą, kuris vadinamas atvirkštiniu inžinerijos metodu. Atvirkštiniame projektavime, platus įrangos diapazonas gali būti panaudotas, tokie kaip CMM (koordinatės matavimo mašina) ar lazerinis skaitmeninis keitiklis, kad sugautų duomenų punktus fizinio modelio ir "atstatytų" tai CAD sistemoje.

## **2.2. Medžiaga**

Medžiagos pradinė padėtis gali būti kietuoju kūnu, skysčiu ar miltelių pavidalu. Kietajame kūne, tai gali būti įvairios formos, tokios kaip granulės, laidas ar laminatai. Einamosios diapazono medžiagos apima popierių, nailoną, vašką, sakus, metalus ir keramikos gaminius.

## **2.3. Taikymas**

Dauguma RP dalių yra baigtos ar pataisytos anksčiau, negu jie bus panaudoti jų numatomoms paraiškoms. Paraiškos gali būti sugrupuotos į: projektą, projektavimą, analizę, planavimą, rankinį apdirbimą ir gamybą. Platus pramonės šakų diapazonas gali turėti naudos iš RP, ir jie apima, bet nėra apriboti aerokosminės pramonės, savaeigių, biomedicininį, vartotojų, elektrinių ir elektronikos produktų.

## **2.4. Spartaus prototipo pranašumai**

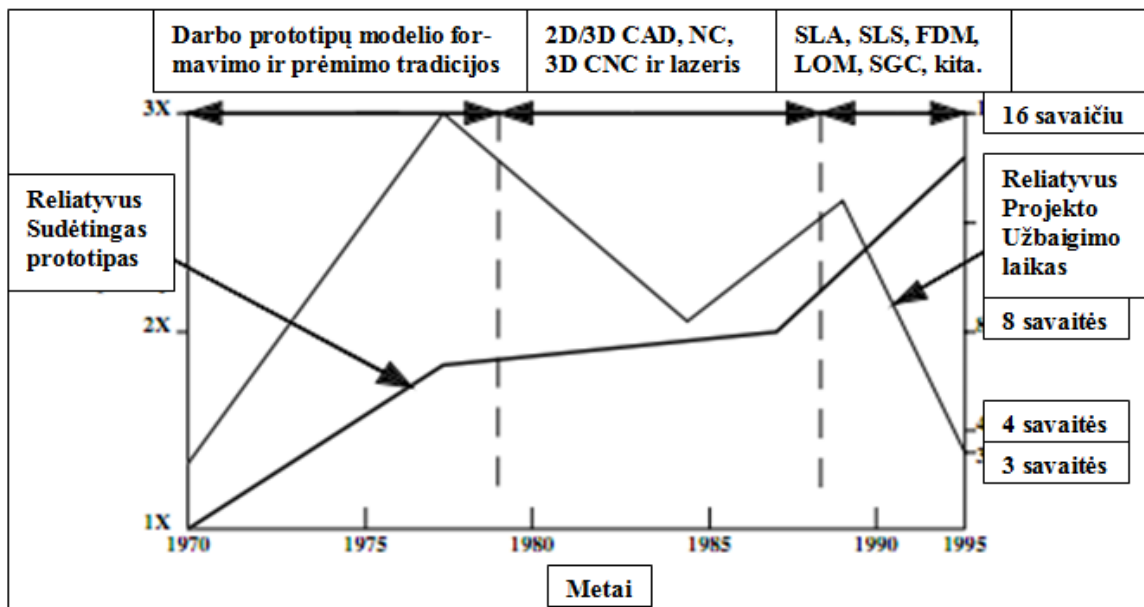
Šiandien automatizavo RP sistemos gali tiesiogiai pagaminti funkcines dalis mažuose gamybos kiekiuose. Dalys, pagamintos tokiu būdu paprastai, turi tikslumą, ir paviršius nereikalauja papildomo mašininio apdorojimo. Tačiau, kai kurios pažangios sistemos sugeba pagaminti artimas kokybiškas rankinio apdirbimo dalis, kurios yra šalia ar yra paskutinė forma. Pagamintos dalys, su tinkamu apdirbimu, turės materialias kokybes ir ypatybes šalia galutinio produkto. Svarbiau yra laikas, per kurį pagamina bet kokią dalį — vieną kartą projekto duomenys yra pasiekiami — tai gali būti labai greitas, ir gali užtrukti kelias valandas.

RP sistemų nauda yra didžiulė ir gali būti suskirstyta kategorijomis į tiesioginę ir netiesioginę naudą.

## **2.5. Tiesioginė nauda**

Kompanija naudodama RP sistemą gauna didžiulę naudą. Kompanija gauna galimybę eksperimentuoti su fiziniais objektais, kurie yra bet kokio sudėtingumo, per gana trumpą laiką. Pastebėta, kad per pastaruosius 25 metus, rinkoje realizuojamų produktų padidėjo sudėtingumas, pavidalas ir forma. Pavyzdžiui, palyginkime estetiškai gražų šiuolaikinį automobilį su 1970-ųjų. Dėl

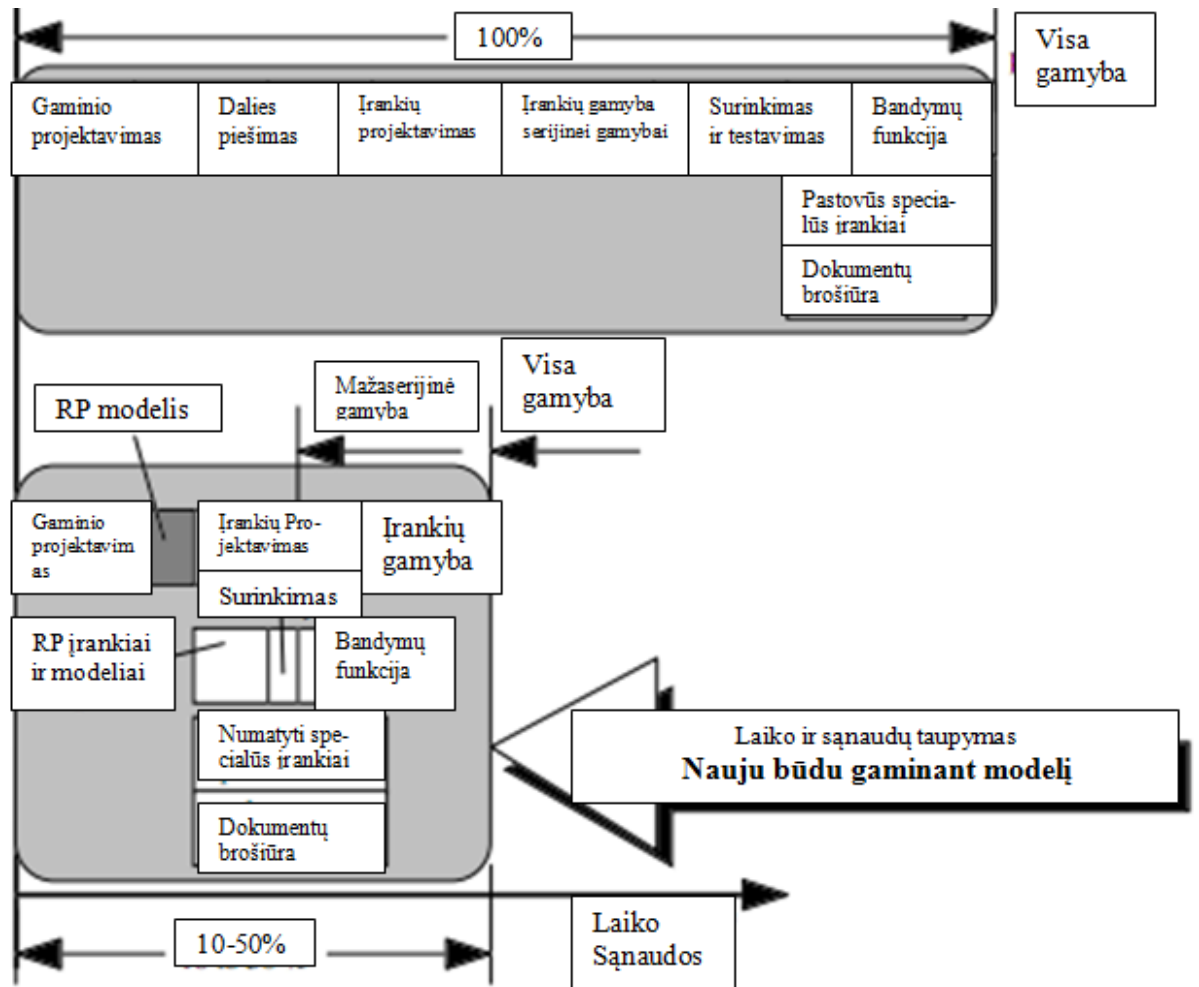
sąlyginio sudėtingumuo nuo 1 iki 3 kaip matyti 2.2 paveiksle. Pastebime, kad nuo 1970 m. kai sudėtingumo lygis buvo 1, o štai 1980 m. lygis pakilo iki 2, o 1990 m. iki 3.



2.2 pav. Projektinis laikas ir produkto sunkumas per 25 metų laikotarpį

Įdomu ir ironiška, tai, kad reliatyvūs projektiniai baigimo laikai nebuvo drastiškai padidinti. Pradžioje, nuo apytiksliai 4 savaičių projektinio baigimo laiko pagrindo 1970 m., tai padidėjo iki 16 savaičių 1980 m. Tačiau, su CAD/CAM ir CNC technologijų naudojimu, projektinis baigimo laikas mažėja iki 8 savaičių. Galų gale, RP sistemos leido projektų vadybininkui toliau sumažinti baigimo laiką iki 3 savaičių 1995 m.

Asmeniui kompanijoje, nauda gali būti įvairi ir turėti skirtingus poveikius. Tai priklauso nuo vaidmens, kurį jie vaidina kompanijoje. Pilna bet kokio produkto gamyba apima platų veiksmo spektrą. Kochan ir Chua apibūdina poveikį RP technologijų viso spektro produkto išsivystymo ir apdirbimo įsisąmoninimą. Veiksmas, reikalingas pilnai tradicinio modelio gamybai, yra pavaizduotas viršuje. Apačioje yra RP modelis. Priklausomai nuo gamybos dydžio, laiko, kaina galėjo svyruoti nuo 50 % iki 90 %!



2.3 pav. RP technologijų integracijos rezultatai

### 2.5.1. Nauda produkto projektavimui

Produkto projektuotojai gali padidinti sudėtingumą, kuris turi nereikšmingą poveikį įvykdymo laikui ir kainai. Gali būti pritaikyta daugiau organinių, suformuotų formų dėl funkcinių ar estetinių priežasčių. Gamindami jie gali optimizuoti dalį projekto, kad atitiktų kliento reikalavimus, su mažais apribojimais. Be to, jie gali sumažinti dalių skaičių, kombinuodami ypatybes vienos dalies dalyse, kurios yra anksčiau padarytos iš kelių, dėl blogo įrankio pritaikymo neįgaliesiems ar reikalingumo sumažinti mašininį apdorojimą ir eikvojimą. Su mažiau dalių, laiku praleistu analizei, detalizuodami sraigto duobes ir piešimą, labai sumažintas. Taip pat bus mažiau suvaržymų dalių dizaino formų, neatsižvelgiant į projekto kampuotumą, atsiskyrimo linijas arba kitus tokius apribojimus. Jie gali sumažinti medžiagą ir optimizuoti jėgos/svorio santykius neatsižvelgdami į mašininio apdorojimo kainą. Pagaliau, jie gali sumažinti daug darbo reikalaujančias diskusijas ir pramoninių galimybių įvertinimus.

### **2.5.2. Nauda apdirbimui ir gamybos inžinieriui**

Svarbiausias aspektas yra kainoje. Pramoninis inžinierius gali sumažinti projekto gamybą ir rankinio apdirbimo patikrinimą. Jis gali realizuoti naujų produktų pelną daug greičiau. Jis tai pat gali sumažinti detalių kiekį, taip sumažindamas pirkimo ir inventorizacijos išlaidas.

Gamintojas gali sumažinti darbo gamybos turinį, kadangi iš dalies specifinis kūrimas ir programavimas yra pašalinami, mašininio apdorojimo/liejimo darbo jėga yra sumažinta ir surinkimas yra taip pat sumažintas. Sumažintos medžiagų atliekos, atliekų šalinimo išlaidos, medžiagų transportavimo išlaidos, žaliavų atsargų savikainos ir užbaigtos gamybos dalių (padaroma tik tiek kiek reikia, todėl sumažinti saugojimo reikalavimai), gali prisidėti prie žemų pridėtinųjų išlaidų. Mažiau inventoriaus atsisakoma dėl projekto pakeitimų ar apviliančių pardavimų.

Be to, gamintojas gali supaprastinti pirkimą, kadangi vieneto kaina yra beveik nepriklausoma nuo kiekio, todėl, tiksliai tiek, kiek yra būtini trumpalaikiam reikalingumui, yra užsakyti. Įkainis keičiasi nedaug tarp aprūpinimo, kadangi gaminimas yra automatinis ir standartizuotas. Vienas gali įsigyti vieną bendrosios paskirties mašiną, o ne daug specialiosios paskirties, taip sumažinamas kapitalas ir jo priežiūros išlaidos, reikia mažiau specializuotų ūkio subjektų ir mažiau mokymų. Mažesnės gamybos priemonės reikalauja mažiau gamybos planavimo. Be to galima sumažinti apžiūrą, atmesti normą leistinų nuokrypių, reikalingą dalių sujungimui. Galima išvengti projekto klaidų (vietoje „to ką projektuojame, yra tai ka gauname“), skubiai pakeisti projekto matmenis, spręsti nuokrypius ir pasiekti didesnę darbo našumą, kadangi įrankio dėvėjimas yra pašalintas. Galiausiai, galima sumažinti atsarginių dalių prekių atsargas (pagaminkite atsargą pagal pareikalavimą, net atgyvenusiems produktams).

## **2.6. Netiesioginė nauda**

Netiesioginė nauda gali tai pat būti gauta iš projekto ir gamybos skyrių. Rinkodara taip pat kaip ir klientai turės naudos iš RP technologijų panaudojimo.

### **2.6.1. Nauda rinkodarai**

Rinkoje ji kelia naujus gebėjimus ir galimybes. Tai labai sutrumpina laiką kol produktas pasiekia rinką, to priežastys yra:

1. nėra jokio reikalingumo numatyti klientų poreikių ir rinkos dinamikos, kelerius metus į priekį;
2. produktai, kurie tenkina klientų poreikius daug glaudžiau susiję ir patobulinti;

3. produktų kaina atitinka technologijas;
4. nauji produktai ištestuojami ir ekonomiškiau parduodami.

Rinkodara taip pat gali keisti gamybos pajėgumą pagal rinkos paklausą, realiu laiku ir su maža įtaka pačiai gamybai. Kiekvienas gamintojas gali pasiūlyti produkto įvairovę bei išnagrinėti rinką, tačiau šiuo metu tai yra per maža rinkos niša, kad pasiteisintų rankinio apdirbimo kainos, kuri susideda iš pusės gamybos kainos ir padarytos pagal užsakymą kainos. Kiekvienas gali išplėsti gamybą ir skubiai įsilieti į užsienio rinką.

### **2.6.2. Nauda vartotojui**

Vartotojas gali įsigyti produktą, kuris tenkina jo norus. Pirma, yra daug platesnės pasiūlymo įvairovės, vadinasi didesnės galimybės ir išsirinkti. Antra, kiekvienas gali įsigyti gaminį (taip prisidėdamas prie projekto), kadangi yra įperkami visi produktai iki užsakymo. Be to, vartotojas gali nupirkti produktus žemesnėmis kainomis, kadangi gamintojų santaupos neviršys išlaidų.

### **2.7. Sparčios prototipų gamybos technologijos plėtros problemos**

Pagrindinis RP technologijos plėtros stabdys šiuo metu yra daugelio inžinierių nesuvokimas, jog šis detalės gamybos sluoksnis po sluoksnio procesas gali būti visiškai įgyvendintas baigiant apdirbti detales be kitų papildomų operacijų. Dauguma žmonių, stebėdami šiuos procesus, negali įsivaizduoti, kaip jie galėtų būti įdiegti į serijinės gamybos sistemą. Tačiau geriausios kompanijos RP technologiją jau naudoja įvairių korpusinių detalių serijinei gamybai iš plastmasių ir metalų. Jos jau pajuto šių procesų pranašumus ir skiria vis daugiau dėmesio jų tobulinimui. Daug pastangų dedama ieškant naujų įvairesnių savybių medžiagų, nes šiuo metu naudojamas tik stiklo dalelyčių prisotintas nailonas (milteliams sukepinti lazeriu) ir ABS plastmasės (termoplastinėms medžiagoms sukepinti). Tai aktualu ir stereolitografijos procesams, nes dabar naudojamas polipropilenas daugeliu atvejų negali patenkinti vartotojų poreikių. RP technologijoms jau yra sukurta efektyvesnių medžiagų ir greitai jos pasirodys rinkoje.

Antroji RP technologijų tobulinimo kryptis – detalių gamybos spartinimas. Nors per pastaruosius dešimt metų šie procesai paspartėjo dvigubai, tačiau jie dar labai atsilieka nuo dabar naudojamų tradicinių plastmasinių detalių liejimo formose procesų. Dabar RP technologijų įrenginiai per tam tikrą laiką gali atlikti tik vieną operaciją, tuo tarpu tradicinės gamybos įrenginiai vienu metu gali atlikti daug įvairių veiksmų. Be to, RP technologijų įrenginiai daugiau negu 50 %

laiko prastovi laukdami darbo, nes ilgai sugaištama ruošiant papildomus procesus pagrindiniam procesui, įskaitant ir gaminių konstravimą bei perkonstravimą.

### **3. SPARČIŲ PROTOTIPŲ SISTEMŲ KLASIFIKACIJA**

Yra labai daug būdų klasifikuoti gausias RP sistemas rinoje, tačiau vienas iš geresnių klasifikavimo būdų yra RP sistemų klasifikavimas pagal pradines medžiagas, t.y. medžiagas, su kuriomis prototipas visas ar tik dalis jo yra sukuriamas. Pagal šį būdą visos RP sistemos lengvai suskirstomos į šias kategorijas:

1. RP gamyba naudojant skysčius;
2. RP gamyba naudojant kietąsias medžiagas;
3. RP gamyba naudojant miltelius;

#### **3.1. RP gamyba naudojant skysčius**

Skysčiu pagrindu RP sistemos turi pradinę formą, jo medžiagos skystoje terpėje. Gamybos metu yra žinoma kaip skystį paversti kietuoju kūnu. Dėl polimerizacijos keli sluoksniai yra pridėti taip, kad 3D dalies geometrija palaipsniui įgauna formas.

Tokios RP sistemos sudaro šias kategorijas:

1. 3D sistemų stereolitografijos aparatai (SLA);
2. Kubiniai, turintys tvirtą pagrindą (SGC) - ;
3. Sony kietoji kūrimo sistema (SCS);
4. CMET kietasis kūnas ultravioletiniam lazeriniam spausdintuvui (SOUP);
5. Autostrade elektroninės strėlės;
6. Teijin Seiki Soliform Sistema;
7. Meiko greitų prototipų sistema papuošalų pramonei;
8. Denken SLP;
9. Mitsui COLAMM;
10. Fockele & Schwarze's LMS;
11. Lengvas formavimas;
12. Aaroflex;
13. Greitasis šaldymas;



14. Du lazeriniai spinduliai;

15. Mikrogaminimas;

Kaip jau pastebime iliustruotame spartaus prototipo rate (2.1 pav.) trys metodai yra galimi tik po „foto-gydymo“ metodo. Vienas lazerinio spindulio metodas yra plačiausiai panaudotas ir apima visas ankščiau išvardintas RP sistemas, tačiau yra išimtis šioms: kubiniai, turintys tvirtą pagrindą, lengvas formavimas, greitas šaldymas ir du lazeriniai spinduliai. Kubiniai, turintys tvirtą pagrindą ir lengvo formavimo sistemos naudoja kaukėtos lempos metodą, kadangi dviejų lazerių metodas vis dar nėra paverstas komercija. Greitas šaldymas apima išaldyma vandens lašelių, panašiai į būdą kaip FDM prototipo kurimą.

### **3.2 RP gamyba naudojant kietąsias medžiagas**

Išskyrus miltelius, kietuoju kūnu pagrįstos RP sistemos yra skirtos, kad apimtų visas formas medžiagų kietajame kūne. Šiame kontekste, kieta forma gali apimti laido, ritinio, laminatų ir granulių formas. Tokios RP sistemos patenka į šį apibrėžimą:

- Popieriaus ar plastiko lakštų sluoksniavimas (LOM);
- Lydzios masės formavimas (FDM);
- Kira Korporacija knygų laminavimo technologijos (PLT);
- 3D sistemų multireaktyvinis sistemų modeliavimas (MJM);
- Solidscape ModelMaker ir PatternMaster;
- Beijing Yinhua kietojo kūno pjaustymo gamyba (SSM), lydytas šampavimo modeliavimas (MEM) ir Multifunkcinės RPM sistemos (M-RPM);
- CAM-LEM CL 100;
- Ennex Corporation's Offset Fabbbers.

Kalbėdami apie RP ratą (2.1 pav.) du metodai yra galimi kietuoju kūnu pagrįstoms RP sistemoms. RP sistemos popieriaus ar plastiko lakštų sluoksniavimas (LOM), Kira Korporacija knygų laminavimo technologijos (PLT), 3D sistemų multireaktyvinis sistemų modeliavimas (MJM) priklauso klįjavimo/sujungiamos ir išpjaustymo metodams, kai tuo tarpu lydimo ir sutvirtinimo metodui priklauso šios RP sistemos: lydzios masės formavimas (FDM), Solidscape ModelMaker ir PatternMaster, Beijing Yinhua kietojo kūno pjaustymo gamyba (SSM), Ennex Corporation's Offset Fabbbers.

### 3.3 RP gamyba naudojant miltelius

Milteliai yra kietojo kūno dalis, kitaip tariant, jie laikomi taip pat kietuoju kūnu. Tačiau, tai sukuriama kaip kategorija už kietojo kūno pagrįstų RP sistemų, kad reikštų miltelius panašioje į grūdų formą. Tokios RP sistemos patenka į šį apibrėžimą:

- ▲ Selektvus kietinimas lazeriu (SLS);
- ▲ EOS's EOSIN sistemos;
- ▲ 3D spausdinimas (3DP);
- ▲ Lęšio formavimas (LENS);
- ▲ Soligen Shell Gamyba (DSPC);
- ▲ Fraunhofer daugiafazis reaktyvinis kietėjimas (MJS);
- ▲ Acram elektroninio signalo lydymas (EBM);
- ▲ Aeromet korporacijos Lasform technologija;
- ▲ Tikslioji optinė gamyba (DMD);
- ▲ Generio RP sistemos (GS);
- ▲ Therics Inc. Theriform technologija;

Visos išvardintos RP sistemos naudoja jungimo/įrišimo metodą. Jungimo/įrišimo metodas skiriasi anksčiau minėtoms sistemoms, kuriose yra naudojamas lazeris, kai kiti naudoja segtuvą/klijus, kad pasiektų prisijungiantį padarinį.

## 4. PAGRINDINIAI SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS METODAI

Dabartiniu metu plačiausiai naudojami šie greitos detalių-prototipų gamybos technologijos metodai:

- Stereolitografija (SL)
- Selektvus kietinimas lazeriu (SLS)
- Lydzios masės formavimas (FDM)
- Popieriaus ar plastiko lakštų sluoksninavimas (LOM)
- 3D spausdinimas (3DP)

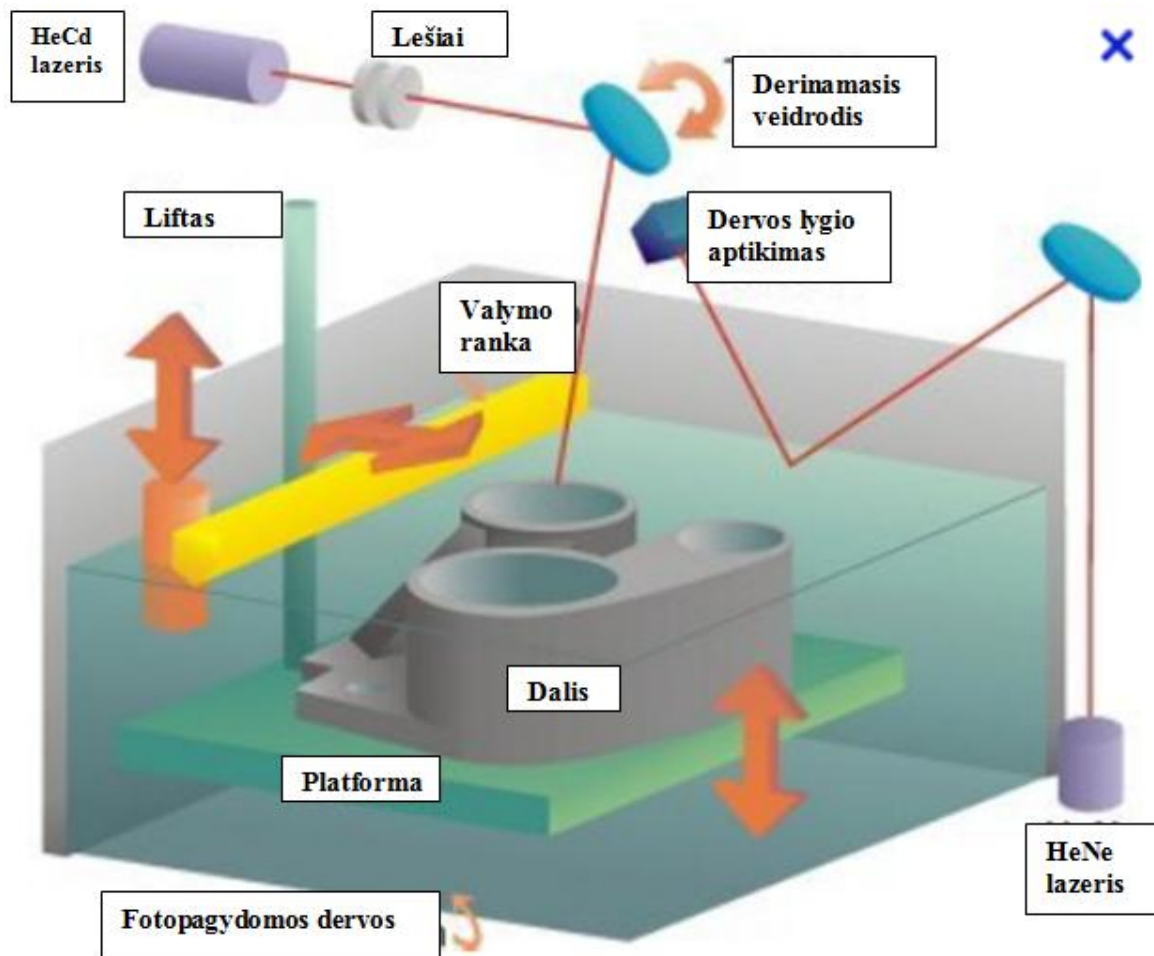
Kaip jau anksčiau minėjome yra daugybė technologijų, kurios yra kuriamos arba užmiršamos senesnės, kurios neatitiko lūkesčių. Kitos technologijos buvo sukurtos įvairių įmonių arba tyrimo institutų, bet taip ir nepritaikytos, dėl savo netobulumo arba yra naudojamos smulkių

grupių arba individų. Taip pat paskutiniu metu atsirado naujų įrenginių, kurie dar neturi tokio populiarumo, kaip paminėtos technologijų įrenginiai.

#### 4.1 Stereolitografija

Stereolitografija – tai labiausiai paplitęs procesas ir sparčios prototipų gamybos pradininkas. Patentas stereolitografijos procesui buvo išduotas 1986m. firmai “3D Systems”.

Stereolithografijos proceso esmė – specialiame įrenginyje lazerio ultravioletinis spindulys (UV šviesa), judėdamas 3D CAD sistemos sukurtu detalės profiliu, kietina šviesai jautrią skystą akrilinę ar epoksidinę dervą esančią talpykloje. Dėl šviesos absorbcijos ir spindulio nuostolių ši reakcija vyksta tik paviršiuje. Detalės gaminamos ant lifto platformos, kuri nuleidžia detalę į talpyklą su derva gyliu, lygiu vieno sluoksnio storiumi. Kad būtų suformuotas kiekvienas sluoksnis lazerio spindulys vedžiojamas paviršiumi, atliekamas taip vadinamas skenavimas, kai lazerio spindulys galvanometriniiais skeneriais yra kreipiamas pirmiausia apšviečiant detalės kraštus, o vėliau užbrūkšniuojami vidiniai paviršiai, kurie bus kieti. Skenavimo greitis priklauso nuo kietinamos medžiagos ir sluoksnio storio tai trunka nuo kelių sekundžių. Spindulys suformuoja modelio pjūvį X – Y plokštumoje. Po kiekvienos lazerio spindulio eigos, detalė panardinama giliau už sluoksnio storį ir iškeliami iki sluoksnio storio, tada įrenginys patikrina ir išlygina sukietinamo sluoksnio storį virš gaminamos detalės, peiliu nuvalydamas nuo jo dervos perteklių, taip yra užtikrinamas vienodas sluoksnio storis ir lygesnis modelio paviršius. Šie veiksmai kartojami sluoksnis po sluoksnio tol, kol pagaminama detalė. Lazerine stereolitografija galima padaryti nedideles detalės iškyšas nenaudojant jokių pagalbinių konstrukcijų. Dideli kyšantys elementai reikalauja prilaikymo, ypač pirmieji sluoksniai, nes jie gali lūžti ar deformuotis, detalei leidžiantis žemyn, į skystį. Pagalbinės sistemos elementai paprastai daromi kaip plonas tinklelis, kuris lengvai pašalinamas pagaminus detalę.



4.1 pav. Stereolitografijos proceso principinė schema.

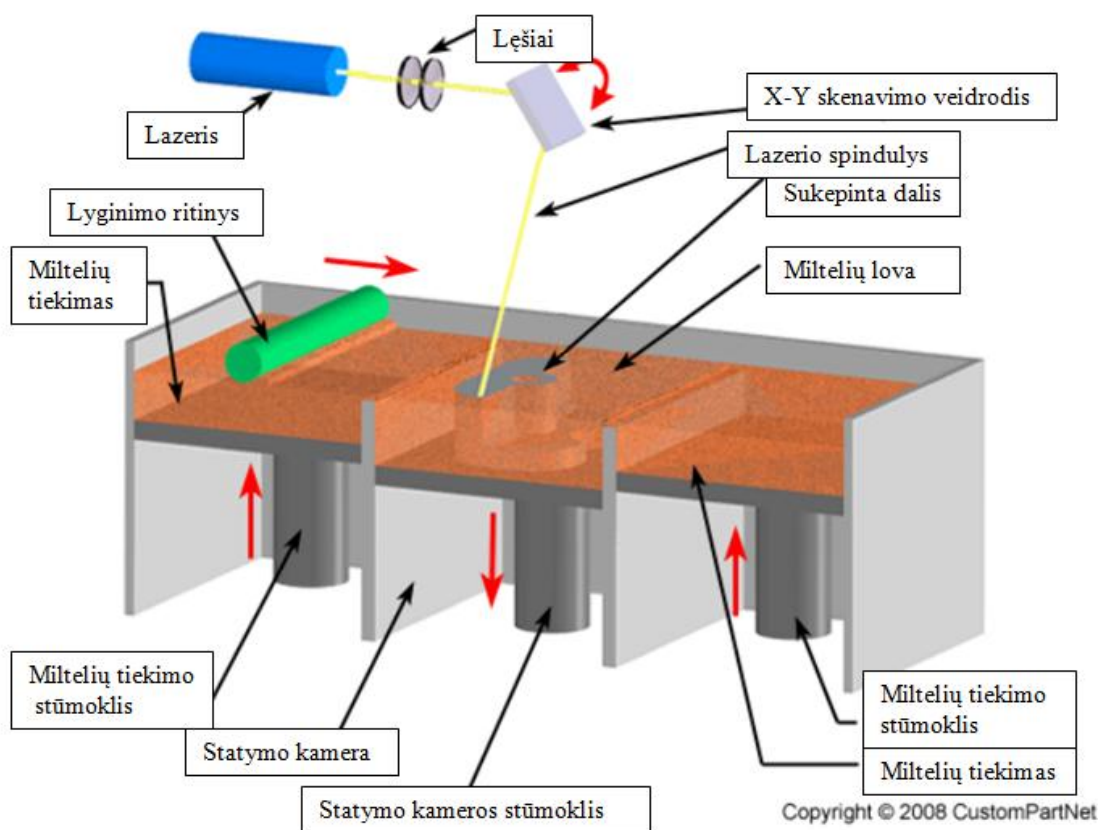
SL proceso privalumai, kad juo gaunamas paviršius panašus į gaunamą NC frezavimu, tai yra patvirtinta daugiau kaip 1000 įrenginių visame pasaulyje ir šie įrenginiai yra greiti ir tikslūs. SL sistemomis gaunamas tikslumas  $\pm 100\mu\text{m}$  ir galima pasiekti sluoksnį 0.25mm storio. Kad išnaudoti dervą pilnai ir sutrumpinti gamybos laiką galima gaminti keletą detalių iš karto. Trūkumai tai, kad medžiaga yra brangi ir toksiška, nemalonus kvapo ir turi būti saugoma nuo šviesos, kad išvengtų prieš laikės polimerizacijos, taip pat nėra didelio dervų pasirinkimo. Detalės gali būti trapios ir permatomos ir joms reikalingos palaikymo sistemos, kurias pašalinus lieka pažeistas paviršius. Talpoje esančios dervos keitimas yra ilgas ir brangus.

Šiuo metodu gaminamos detalės galime naudoti:

- Vizualizavimui, konstrukcijai įvertinti, funkcinei paskirčiai gaminyje.
- Smulkioms detalių partijoms.
- Liejimo formos pagaminimui.
- Kaip išlydomus modelius.
- Sparčioje įrankių gamyboje.

## 4.2 Selektyvus kietinimas lazeriu (SLS)

Selektyvaus lazerinio kietinimo (angl. selective laser sintering, trump. SLS) metu gaminami 3D objektai sukepinant medžiagos miltelius CO<sub>2</sub> lazeriu. Šiuo atveju skirtingai nuo stereolitografijos lazeris yra ne šviesos šaltinis, o šilumos šaltinis. Patekdamas ant plono miltelių sluoksnio, lazerio spindulys išlydo ir tokiu būdu sukepiną jo daleles ir formuoja kietą masę, atitinkančią detalės geometriją. Platformą nuleidus žemyn yra tolygiai užberiamas sekantis sluoksnis, kuris lazerio spinduliu sukepinamas ir prilipinamas prie anksčiau sukepinto. Šis procesas kartojamas daug kartų, kol pagaminama detalė.



4.2 pav. Selektyvus kietinimo lazeriu proceso principinė schema.

Sukietinamos medžiagos yra poliamidas, nailono kompozitai, poliesteris, smėlis ir kai kurių metalų (vario, cinko ir kt.) milteliai. Šios medžiagos yra pigesnės lyginant su SL dervomis, taip pat jos netoksiškos ir saugios ir gali būti sukietintos su palyginus mažos galios lazeriais (10-20W). Šiuo metu atliekami tyrimai, kurie leistų sulydyti dvi skirtingas medžiagas, pvz. keramiką ir metalą. Dideliu šio proceso privalumu yra tai, kad gaminant detalę nereikalingos taip vadinamos pagalbinės sistemos. SLS proceso metu, tokios pagalbinės sistemos nereikalingos, kadangi

sukietinimas atliekamas vienalytėje masėje. Baigus gaminti detalę, ji įrenginyje ataušinama iki kambario temperatūros. Pagaminus modelį užtenka tik išberti likusius miltelius iš vidinių ertmių ir detalė gali būti naudojama tolimesniems darbams. Lazerinio sukepinimo įrenginys turi papildomus šildytuvus, kurie pakelia miltelių temperatūrą beveik iki jų sukepinimo, todėl lazerio energija reikalinga tik daromo objekto masei formuoti. Proceso stabilumui ir patikimumui užtikrinti įrenginio darbo zonoje sudaromas vakuumas. Lazeris sumoduliuotas taip, kad tik sulipdomos tos dalelės, kurios yra tiesioginiame kontakte su lazerio spinduliu. Šiuo būdu gali būti pagamintos detalės iki 720x380x380 mm, o jose išskirti konstrukciniai elementai iki 0,2 mm dydžio. Miltelių kietinimo lazeriu metodu padarytų detalių panaudojimo sritis analogiška SL metodui bei įrangos gamybai. Šiuo būdu pagamintas detales galima apdirbti mechaniniais apdirbimo būdais, frezavimas, gręžimas šlifavimas ir t.t.

SLS medžiagos yra pigesnės nei SL dervos, netoksiškos ir saugios ir gali būti sukietintos palyginus negalingu lazeriu. Bet pagaminus detales šiuo būdu reikia ilgokai palaukti, kol baigsis aušinimo ciklas ir tik tada išimti detales. Pavyzdžiui nailono kompozito detalėms reikia nuo 6 iki 8 valandų atvėsimui. Šiose sistemose naudojamos medžiagos yra jautrios skirtingiems kaitinimo ir lazerio parametrų ir kiekvienai medžiagai reikia skirtingų nustatymų. Tam atlikti gali reikėti daug laiko, o taip pat gali iškilti sunkumų. SLS proceso trūkumas, kad surinkti milteliai turi būti sijojami, kad įsitikinti gumuliukų nebuvimu, nes jie gali neigiamai paveikti proceso tikslumą. Sistemai taip pat reikalinga azoto atmosfera, kurioje sukietinamos medžiagos.

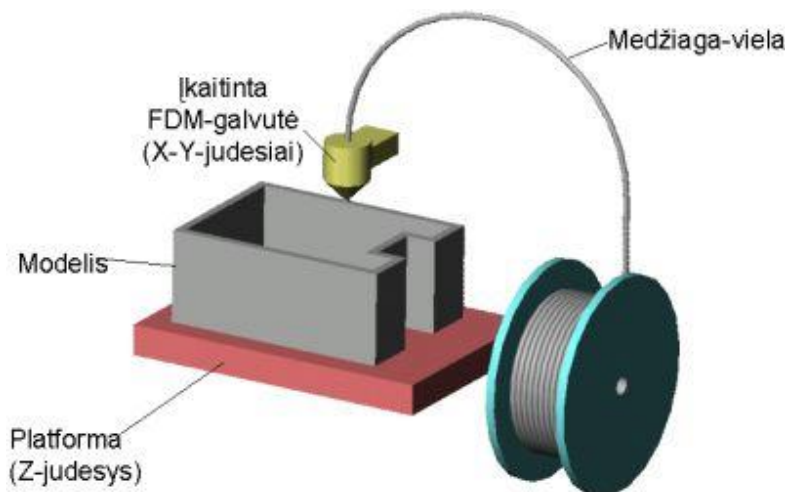
Šiuo metodu gaminami:

- Plastmasinės ar metalinės detalės, modeliai ir prototipai.
- Sudėtingi metalinių įrankių įdėklai.
- Tvirtos detalės.
- Detalės turinčios smulkių konstrukcinių elementų.
- Smulkias plastmasinių ar metalinių detalių partijas.

### **4.3 Lydzios masės formavimas (FDM)**

Lydžios masės formavimo (angl. Fused Deposition Modelling sutr. FDM) metodu yra sluoksniais sudedama išlydyta polimerinė vija. Termoplastinė modeliuojama medžiaga iš ritės vija, kurios storis apie 1.8mm yra paduodama į ekstruzinę įkaitusią galvutę, kurios temperatūra yra

kontroliuojama, joje vija įkaista iki pusiau skystos būsenos, temperatūros kuri yra 0.5C didesnė už medžiagos lydymosi temperatūrą. Tokiu būdu ji sukietėja per 0.1s po ekstruzijos. Išspaudžianti galvutė, užlieja medžiagą labai plonais sluoksniais ant nejudančio pagrindo. Galvutė išspaudžia medžiagą labai dideliu tikslumu. Sekantys sluoksniai, taip pat dedami ant ankstesnių, sukietėja ir susijungia vienas su kitu. FDM procese yra naudojamos dvi ekstruzijos galvutės, viena pagrindinei medžiagai, kita pagalbinėms sistemoms. Priklausomai nuo pagrindinės sistemos skiriasi sluoksnio storis. Pagrindinė medžiaga skiriasi nuo pagalbinės ir yra lengvai atskiriama sistema BASS™, tai pat yra tokios pagalbinių sistemų medžiagos, kurios tirpsta vandenyje, ši medžiaga yra vadinama WaterWorks™. Naudojant WaterWorks™ pagamintas modelis su pagalbinėmis sistemomis yra įmerkiamas į skystį, kuris ištirpdo pagalbinę medžiagą ir lieka švarus turintis lygius paviršius modelis.



4.3 pav. Lydzios masės formavimo proceso principinė schema

FDM procesas buvo sukurtas 1988 metais, jį sukūrė S. Crump, kuris tais pačiais metais įkūrė kompanija Stratasys. Nuo tada kompanija pagamino daugiau nei 1000 įrenginių. Pirmasis įrenginys 3D MODELER buvo pristatytas 1992m. Dabartiniu metu Stratasys gamina sekančias FDM sistemas: Dimension ir ProdigyPlus skiriasi tik sluoksnio storio pasirinkimu (0.178 iki 0.33mm), abejomis galima pagaminti detales iki 203x203x305mm, Vantage 355x254x254mm, Titan 406x355x406mm ir Maxum 600x500x600mm šia sistema galima gaminti mažiausio (0.125mm) sluoksnio storio detales. Visos šios sistemos turi 2 galvutes, vieną pagrindinei medžiagai ir kitą pagalbinėms sistemoms.

FDM metodas taikomas greitam detalių-prototipų darymui iš ABS plastmasės ir polikarbonatų, jos gali būti įvairios spalvos, dažniausiai būna baltos, taip pat galima naudoti ir

išlydomą vašką. Šis metodas naudojamas konstravimo klaidų paieškai, bei detalės alternatyvoms greitai generuoti ir įvertinti. Šiuo metodu galima gaminti nedidelių matmenų detales iš ABS plastmasės ir detales skirtas funkcinei paskirčiai. Dažnai šis metodas naudojamas liejimo formoms gaminti pagal prototipo etaloną.

FDM sistemų privalumas, kad šios sistemos gali būti įrengtos biure, kadangi medžiagos yra pigios, netoksiškos, bekvapės ir atsparios aplinkos poveikiui. Galima panaudoti daug medžiagų, kurias išvardinom anksčiau. Šiuo metodu pagamintos detalės yra labai patvarios.

Šio proceso trūkumai detalių paviršiaus šiurkštumas, kuris yra prastesnis negu gaminant SL metodu. Tai yra todėl, kad jis yra tiesiogiai priklausomas nuo išlydomos vielos storio. Iki šiol nėra išspręsta problema, kaip pagaminti mažas vertikales skylės, nes medžiagos ekstruzija, negali būti greitai sustabdyta.

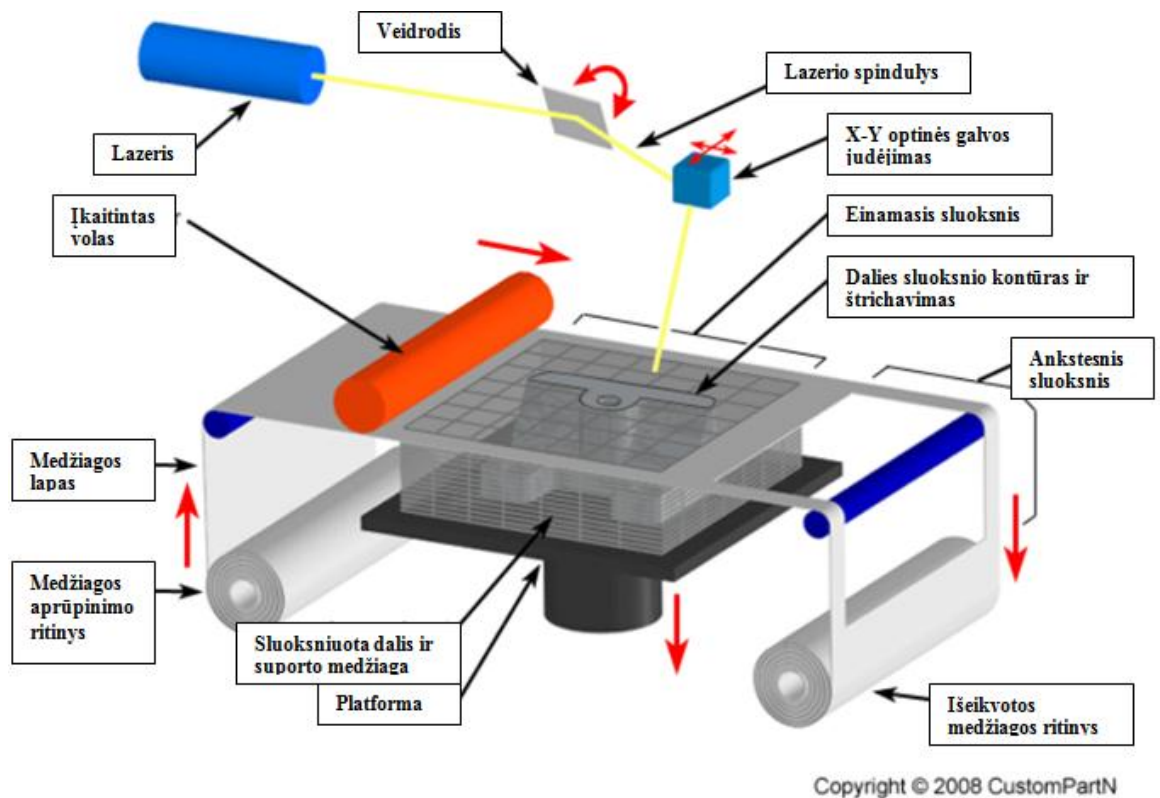
Šiuo metodu gaminami:

- Plastmasinės detalės, modeliai ir prototipai.
- Tvirtos detalės.
- Detalės turinčios smulkių konstrukcinių elementų.
- Smulkias plastmasinių ar metalinių detalių partijas.
- 

#### **4.4 Popieriaus ar plastiko lakštų sluoksniavimas**

Popieriaus ir plastiko lakštų sluoksniavimo metodu gaminiai - prototipai daromi iš aukščiau minėtų medžiagų. Yra dvi sluoksniavimo proceso atmainos, tai laminuoto objekto gamyba ir popieriaus laminavimo technologija. LOM proceso metu popierius yra pjaustomas lazeriu. Kiekviename sluoksnyje išpjaunamas detalės kontūras pagal CAD duomenis, prieš tai sluoksnius suklijavus kaitinant bei slegiant karštu velenėliu. Medžiaga, kuri yra paruošta klijavimui, paduodama iš rulono, nuleidus platformą su gaminiu žemyn. Popierius, kuris lieka po proceso, yra vyniojamas ant velenėlio. Sistema naudoja 25 arba 50 vatų CO2 lazerį.





4.4 pav. LOM proceso veikimo principinė schema.

Prototipe esančios tuštumos susmulkinamos į smulkius gabalėlius ir vėliau, baigus procesą, iš jų iškrapštomos; tai padaryti nėra lengva, nes reikia daug rankinio darbo, bet proceso metu ši medžiaga yra kaip pagalbinės sistemos. Kai kuriose zonose turi būti naudojamas smulkesnis pjaustymas, kad užtikrinti lengvesnį nereikiamos medžiagos pašalinimą. Taip pat gali būti reikalinga sustabdyti procesą, kad išimti medžiagą iš sunkiai prieinamų vietų. Kai detalės yra užbaigtos jos turi būti padengiamos užpurškiant silikoniniu skysčiu ar epoksidine smala, kad išvengti popierinio prototipo išsikraipymo dėl vandens absorbcijos. Gautą prototipą, kuris būna tokio kietumo kaip medis, galima šlifuoti, poliruoti arba dažyti.

LOM privalumas tas, kad galima naudoti įvairias palyginus pigias medžiagas, detalės gali būti pagamintos iš popieriaus, arba brangesnių medžiagų tokių kaip plastikas arba stiklo pluošto keramikos. detalės gali būti didelės lyginant su kitais sparčios prototipų gamybos metodais. Kadangi detalės yra panašios į detales iš medžio, kai yra užbaigtos, todėl gana populiaros tarp modelių gamintojų. Kita stipri savybė yra proceso greitis, kadangi apvedžiojama tik detalės išorė, šis procesas maždaug 5-10 kartų greitesnis negu kiti.

Trūkumai tai būtinybė apdirbti pagamintas detales, kas atitinkamai paveikia paviršių kokybę. Taip pat sunku gaminti tuščiavidures detales, nes sunku išimti medžiagą iš vidaus. Kiti šios technologijos trūkumai tai, kad yra didelis atliekų kiekis, detalės turi būti užbaigiamos žmogaus

darbu, detalės tvirtumas nepalankiai veikiamas klijų ir folijos sluoksniavimu. Kadangi lazeris pjauna medžiagą, yra ugnies pavojus, tai reiškia, kad įrenginiai turi būti aprūpinti inertinių dujų gesintuvais.

Popieriaus laminavimo technologija (PLT) yra labai panaši į LOM. PLT proceso metu į darbo zona iš bunkerio yra paduodami specialiu įrenginiu pertepti klijais atskiri popieriaus lapai, kurie prikljuojami prie gaminamo gaminio panaudojant kaitinimo įrenginį, tada kompiuterio valdomu peiliu išpjaunamas naujas detalės kontūro sluoksnis. Procesas yra kartojamas, kol pagaminama detalė. Čia taip pat esančios tuštumos susmulkinamos į smulkius gabalėlius ir vėliau, baigus procesą, iš jų iškrapštomos. Detalės sutvirtinama apipurškiant epoksidine derva.

Šiais procesais galima gaminti sudėtingos formos prototipus, kurie naudojami konstruktorinių klaidų paieškai bei didesnio kiekio detalėms gaminti vakuuminiu liejimu, kai liejimo formos modeliui tarnauja šiuo būdu pagamintas etalonas.

Šiuo metodu gaminami:

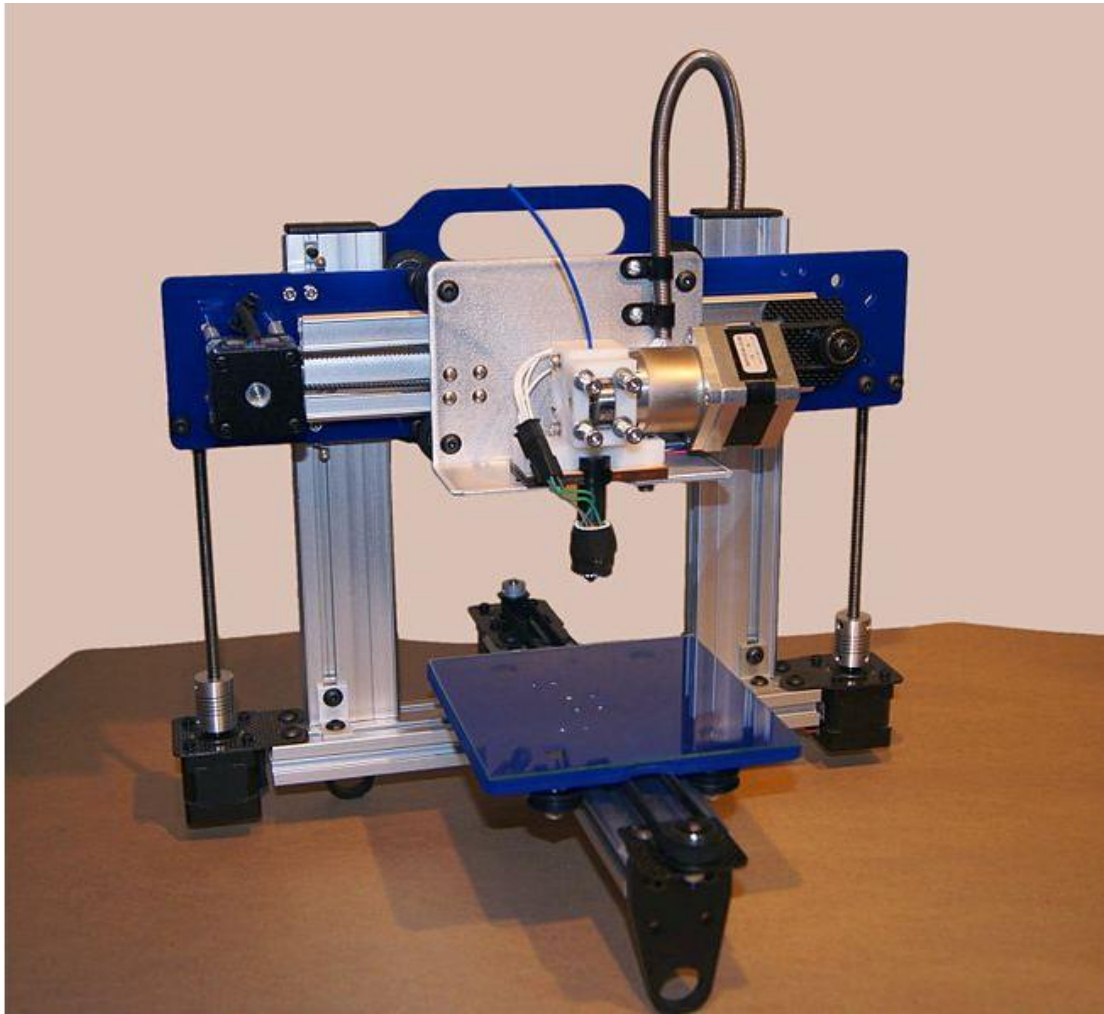
- Plastmasinės detalės, modeliai ir prototipai.
- Tvirtos detalės.
- Detalės turinčios smulkių konstrukcinių elementų.
- Smulkias plastmasinių ar metalinių detalių partijas.

#### **4.5 3D spausdinimas**

3D spausdinimo metodas yra pagrįstas paprasto rašalinio spausdintuvo darbo principu. Medžiaga yra išpurškiama viena ar keliomis čiurkšlėmis priklausomai nuo spausdinimo galvutės parametų. Nusėdinama ant daromo prototipo paviršiaus medžiaga susijungia su jau esančia medžiaga užpurkšta anksčiau ir nuleista žemyn, taip sluoksnis po sluoksnio pagal užduotus CAD duomenis yra suformuojama detalė.

3D spausdintuvais pagaminti prototipai nėra didelio tikslumo ir tvirtumo. Šie metodai naudojami konstravimo klaidų paieškai bei detalės alternatyvoms greitai sugeneruoti ir įvertinti. Šiuo metodu kai kuriomis technologijomis padaryti prototipai gali būti naudojami plieninėms detalėms lieti formose pagal išlydomus modelius.

3D spausdintuvai yra labiausiai prieinami, dėl savo kainos, greičio ir todėl, kad jiems nereikalingos specialios patalpos, jie gali būti konstruktorių biure. Be to jie nenaudoja pavojingų medžiagų ir procesų.



4.5 pav. 3D spausdintuvas

## 5. SPARČIOS PROTOTIPŲ GAMYBOS ŽINGSNIAI

Visi sparčios prototipų gamybos procesai turi šiuos pagrindinius žingsnius:

1. 3D CAD modelio sukūrimas
2. Duomenų konvertavimas/perdavimas
3. Tikrinimas/pasiruošimas
4. Detalės gamyba/gamybos procesas
5. Postprocesas

Pirmas RP&M žingsnis yra identiškas visoms skirtingoms sistemoms ir apima trijų koordinatinių objekto modelio sukūrimą, panaudojant 3D CAD modeliavimo sistemas ar 2D skanavimo įrenginį. Svarbiausidalykai yra šie:

1. Visiškas RP&M procesas yra pradedamas nuo CAD modelio
2. Patyręs CAD inžinierius/konstruktorius.
3. Gera 3D CAD sistema yra viena iš sėkmės garantų.

Visais atvejais duomenimis turi būti aprašytas modelis, kurio paviršiai sudaro uždara 3D tūrį, be jokių kiaurymių, nulinio storio paviršių ar daugiau kaip dviejų paviršių susikirtimo palei bendras kraštines. Formaliai, modelis yra tinkamas, jeigu sistema gali kiekvienam unikaliam taškui trimatėje erdvėje nustatyti, kur jis yra, ar jis yra objekto paviršių viduje ar išorėje.

Antrasis žingsnis yra duomenų perdavimas/konvertavimas. 3D modeliavimo paketai geometrinius duomenis išsaugo skirtingomis technologijomis ir skirtingais duomenų formatais. Šių formatų nevienodumas apsunkina duomenų apsikeitimą tarp skirtingų modeliavimo sistemų ir toliau sekančių CAM procesų. Problemos išsprendimui, gali būti panaudoti du būdai, tiesioginis ir netiesioginis. Tiesioginis problemos sprendimas, sukurti interfeisą tarp bet kurių dviejų sistemų, šis būdas yra nepraktiškas. Antrame sprendimo būde yra panaudojama neutrali duomenų bazių struktūra, kad sistemos galėtų apsikeisti informacija. Paprastai ši duomenų struktūra yra bendra ir nepriklausoma nuo kurio nors iš 3D sistemų gamintojo. Ši duomenų struktūra turi minimumą taisyklių, kurios reikalingos įvykdyti konkrečias užduotis.

Sparčioje prototipų gamyboje yra panaudotas netiesioginis būdas. Duomenims perduoti iš CAD į sparčios prototipų gamybos ir kitokius įrenginius yra panaudojamos STL duomenų formatai. Pati STL byla buvo sukurta firmos 3D Systems Stereolitografijos aparatui ir yra žinoma kaip greitos prototipų gamybos standartas. Beveik visi iš dabartinių plačiai naudojamų CAD sistemų gali sukurti STL bylas. Kai kuriomis CAD sistemomis galima kontroliuoti kuriamos STL bylos dydį, padidinant ar sumažinant modelio suskaidymą.

STL byla yra sukuriama mozaikiškai suskaidant tvarkingą 3D CAD modelį. STL formatas aprašo detalės geometriją paprastu būdu: tikrai atvaizduotus detalės paviršius paversdamas į trikampius, tokiu būdu lieka tik detalės geometriniai duomenys reikalingi sekantiems procesams atlikti. Dėl detalės suskaidymo į trikampius paprastumo STL formatas duomenų perdavimą padaro daug paprastesnį negu IGES ir kiti žinomi formatai. Čia yra perduodamas ne sudėtingų paviršių, linijų ir kraštinių aprašymas, bet trikampių rinkinys, kurie yra aprašomi trijų kampų koordinatėmis ir normaliniu vektoriumi.

Trečiasis žingsnis duomenų patikrinimas ir taisymas. Konvertuoti duomenys yra priartinti prie tikslaus vidinio 3D modelio. Atliekant šį priartinimą modelio paviršiai yra atvaizduojami paprastais geometriniais primityvais t.y. trikampiais. Tokiu būdu sukurti STL modeliai gali turėti savyje nepageidaujamų geometrinių klaidų, tokių kaip kiaurymės ir persidengiančių sričių palei paviršių susijungimą. Be to sukurtos bylos turi būti patikrintos prieš panaudojant tolimesniam

darbui. Kai kurie sparčios prototipų gamybos paketai turi galimybę automatiškai ir/ar rankiniu būdu taisyti modelius. Šie paketai turi programinę įrangą kuri įvertina STL modelius ir nustato ar netrūksta vieno iš trikampių. Jei yra klaidų, tarpai modeliuose yra užpildomi naujais trikampiais.

Ketvirtasis žingsnis detalės orientavimas ir mastelio keitimas. Sparčios prototipų gamybos sistemos gamina detales išilgai STL modelio Z ašies. Atliekant detalių susietų su modelio koordinacių sistema perorientavimą, galima optimizuoti jų tikslumą, paviršiaus išbaigimą ir gamybos laiką. Kelios sparčios prototipų gamybos sistemos leidžia sutalpinti kelias detales sistemos apdirbimo zonoje, kad būtų galima pagaminti jas kartu. Taip pat gali būti keičiamas detalės mastelis, kad kompensuoti numatytas anomalijas, kurios gali atsirasti tolesniuose procesuose, tokiuose kaip deformacijos, susitraukimas, nuokrypiai ir susisukimai.

Penktasis žingsnis pagalbinių sistemų kūrimas. Sparčios prototipų gamybos sistemos procesuose yra kuriamos pagalbinės sistemos, kurios reikalingos išsikišusioms detalės dalims prilaikyti ir tiksliam bazavimui užtikrinti. Šios struktūros paprastai yra sukuriamos automatiškai, panaudojant specializuota programinę įrangą. Detalės dalys, kurioms reikalingos pagalbinės sistemos gali būti minimizuojamos atitinkamai parenkant detalės kūrimo kryptį.

Šeštasis žingsnis proceso parametrų pasirinkimas. Proceso parametrai yra įvedami nustatant reikalingus gamybos stilių ir sistemos savybes. Šie parametrai yra parenkami pagal detalės reikalavimus ir panaudotas gamybos medžiagas. Skirtingiems procesams, šie parametrai yra skirtingi, o kai kuriuose procesuose parametrų parinkimas neįmanomas. Keičiami parametrai gali būti sluoksnio storis, tarpai tarp užbrūkšniavimo, skenavimo greitis ir kt.

Septintas žingsnis detalės modelio 2D sluoksnių sukūrimas. Serija artimų viena kitai horizontalių plokštumų matematiškai suskaldo .STL bylą. Šioje dalyje detalė ir pagalbinės sistemos yra “suraikomos”. Detalė kompiuteriu matematiškai yra supjaustoma į keletą paralelinių horizontalių plokštumų kaip aukšto pastato aukštai. Sugeneruojama .SLI byla: sudaryta iš komplekto artimų vienas kitam 2D pjūvių, kuriais yra supjaustomas 3D objektas. Čia taip pat yra pasirenkamas sluoksnio storis, numatomas statymo stilius, fermentavimo gylis, reikalingo tinklelio tarpai, linijos pločio kompensavimo matas susitraukimo kompensavimo koeficientas.

Aštuntasis žingsnis tai gamybos procesas, kurį galima atlikti įvykdžius šiuos darbus:

- Detalė susluoksniuota.
- Pagalbinė sistema susluoksniuota.
- Nustatyti technologiniai parametrai (sluoksnio storis, skenavimo greitis, ...).
- Failas nusiunčiamas į mašiną.

Pagaminus modelį yra atliekamas postprocesas:

- Detalės nuėmimas nuo platformos.
- Pagalbinių sistemų pašalinimas.
- Detalės valymas (plovimas, šluostymas,..).
- Išbaigiamasis apdirbimas (apdirbimas smėlio srove, poliravimas ir kt.).

### **5.1. RP paslaugas galima pirkti ir internetu**

Kadangi RP technologija brangi ir ne kiekvienas gamintojas gali turėti brangius įrenginius, pastaruoju metu šios technologijos paslaugos vis dažniau teikiamos internetu tinklu. Sukurtas RP technologijas turinčių organizacijų interneto tinklas padeda kitų organizacijų naujų gaminių kūrejams greičiau ir pigiau juos sukurti perkant RP technologijų paslaugas. Toks tinklas susideda iš trijų dalių:

1. RP technologijas teikiančių organizacijų duomenų bazės;
2. klientų duomenų bazės;
3. techninių priemonių, leidžiančių teikti šias paslaugas.

Šis tinklas padeda plėtoti RP technologijų paslaugas parduodančių ir jas perkančių organizacijų kooperaciją bei greičiau kurti naujus gaminius mažiausiomis darbo sąnaudomis.

## 6. EKSPERIMENTINĖ-TIRIAMOJI DALIS

### 6.1 Sparčios prototipų gamybos (RP) lydžios masės formavimo metodo praktinis tyrimas

#### Darbo struktūra:

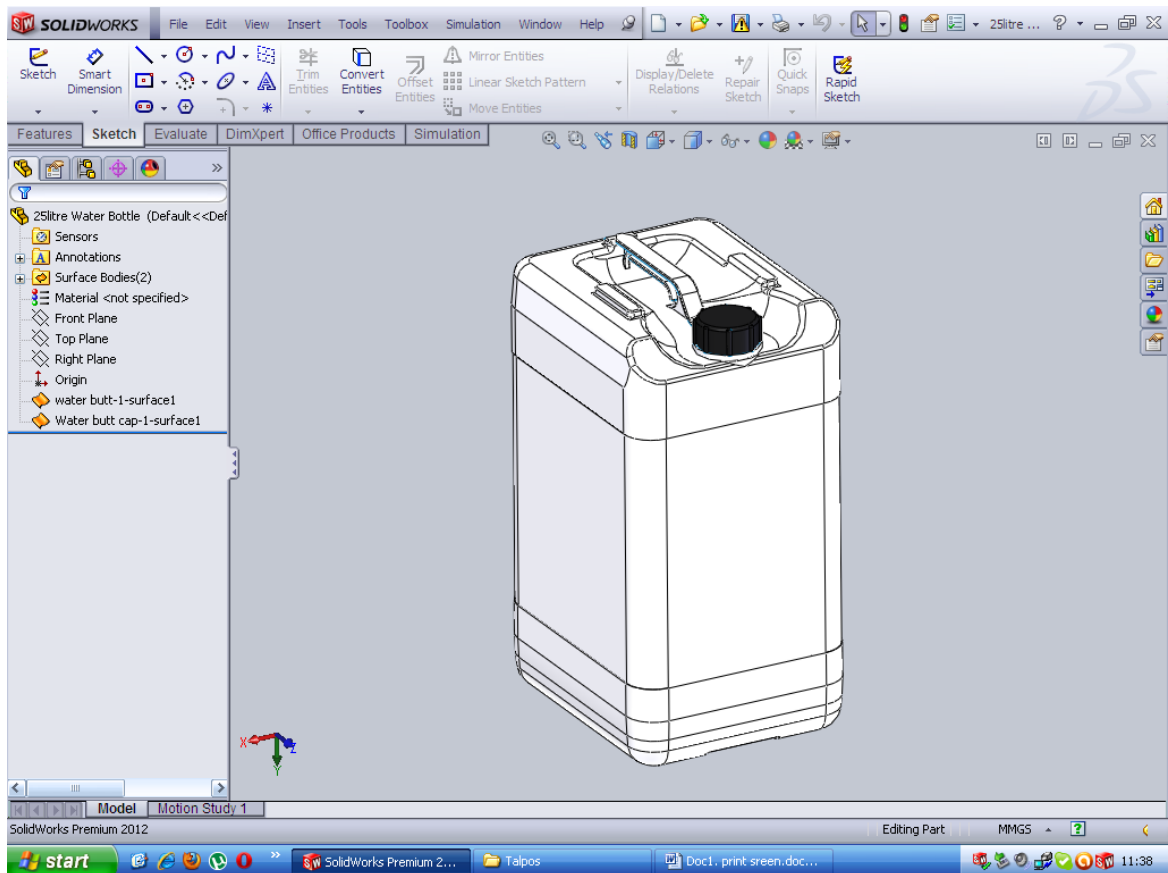
Darbą skirstau į kelias dalis:

#### Teorinė dalis

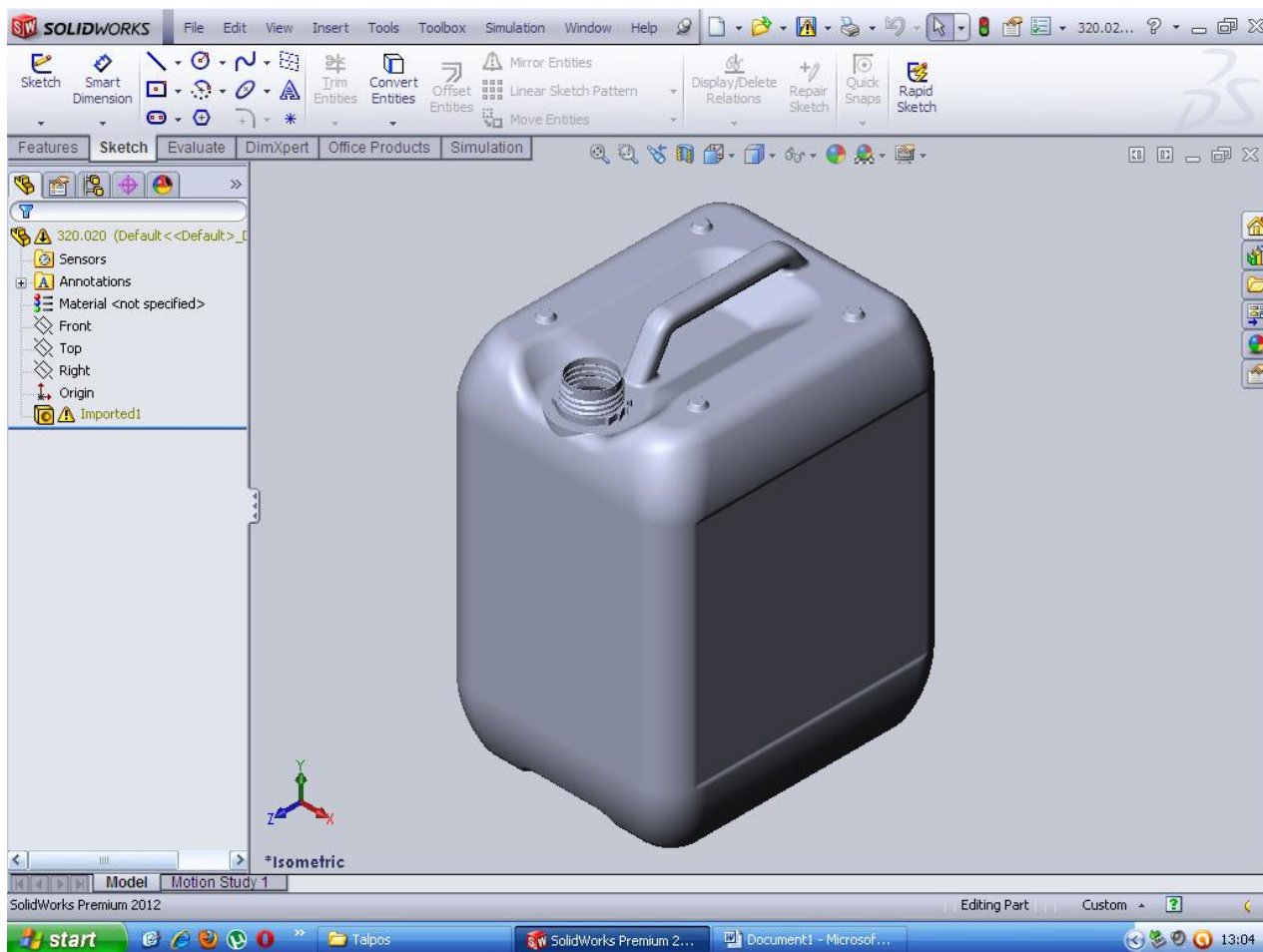
- Susipažinau su RP modelių gamybos etapais.
- Susipažinau su lydžios masės formavimo (FDM) metodu.
- Turiu bendras žinias apie 3D CAD sistemas bei moku sukurti nesudėtingus modelius.
- Turiu bendras žinias darbui su programine įranga CatalystEX.

#### Pasiruošimas

- Sukuriau 3D CAD modelius bei jų \*.STL failus SolidWorks programa:

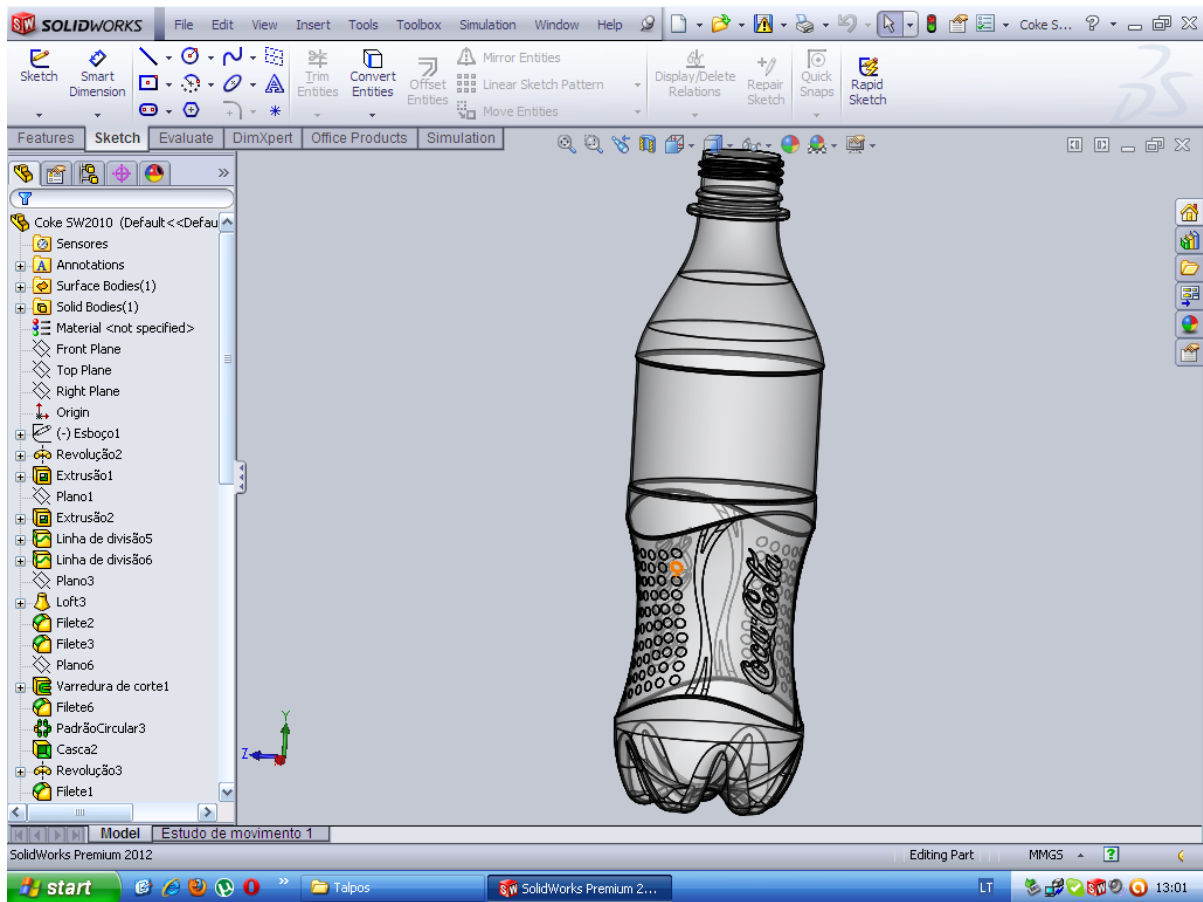


6.1 pav. 12l talpos 3D CAD modelis

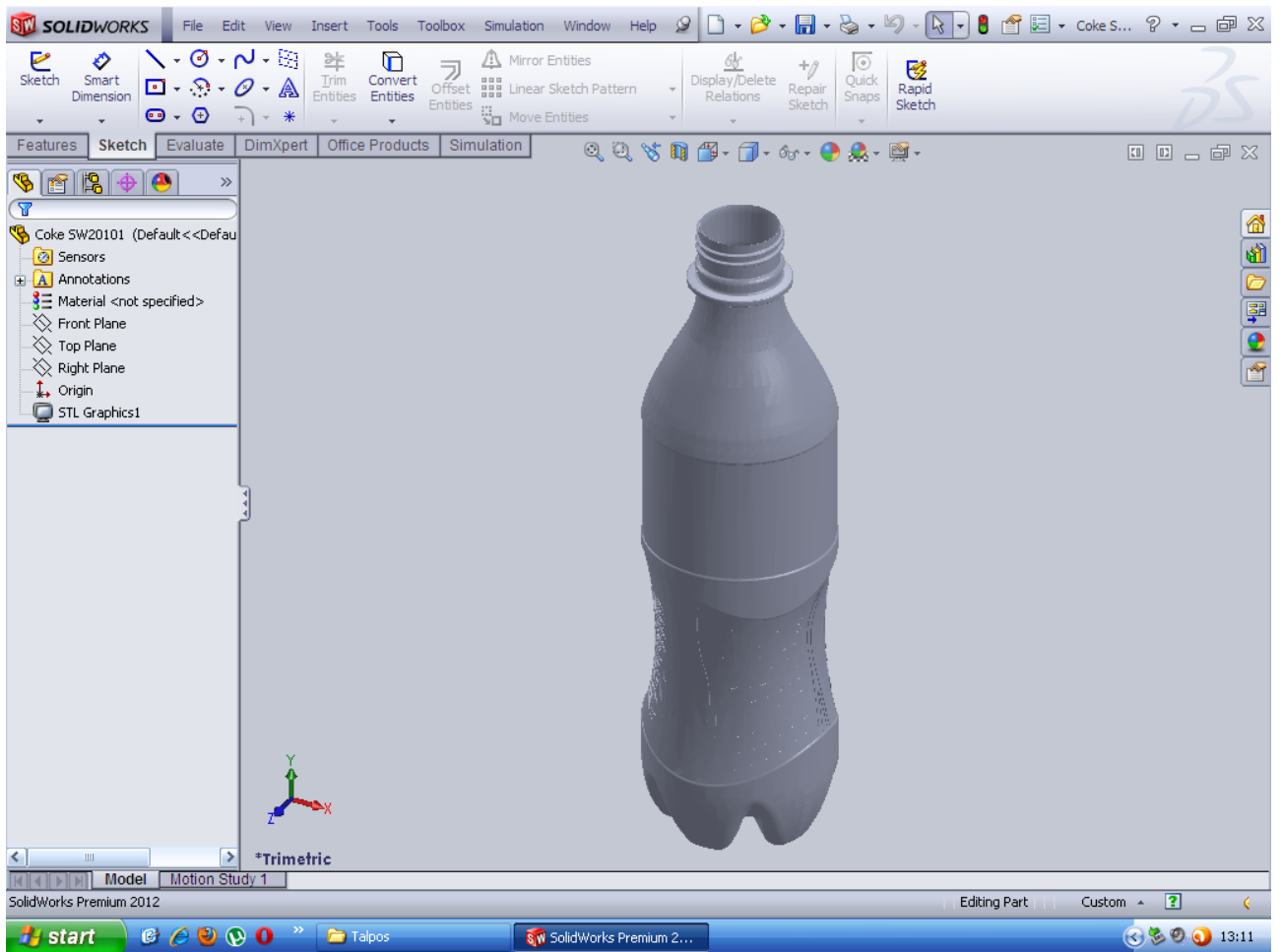


6.2 pav. 12l talpos STL failas

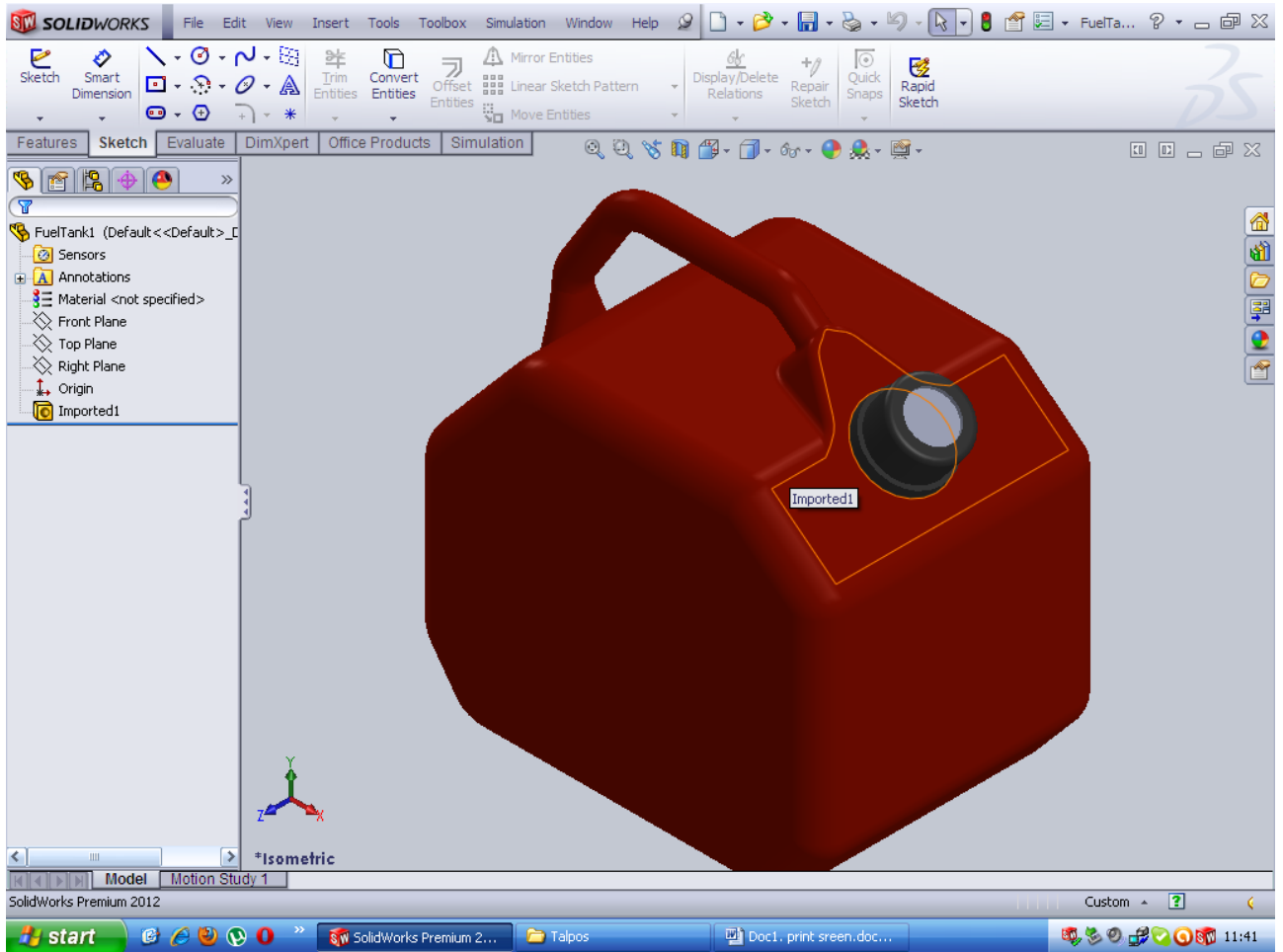




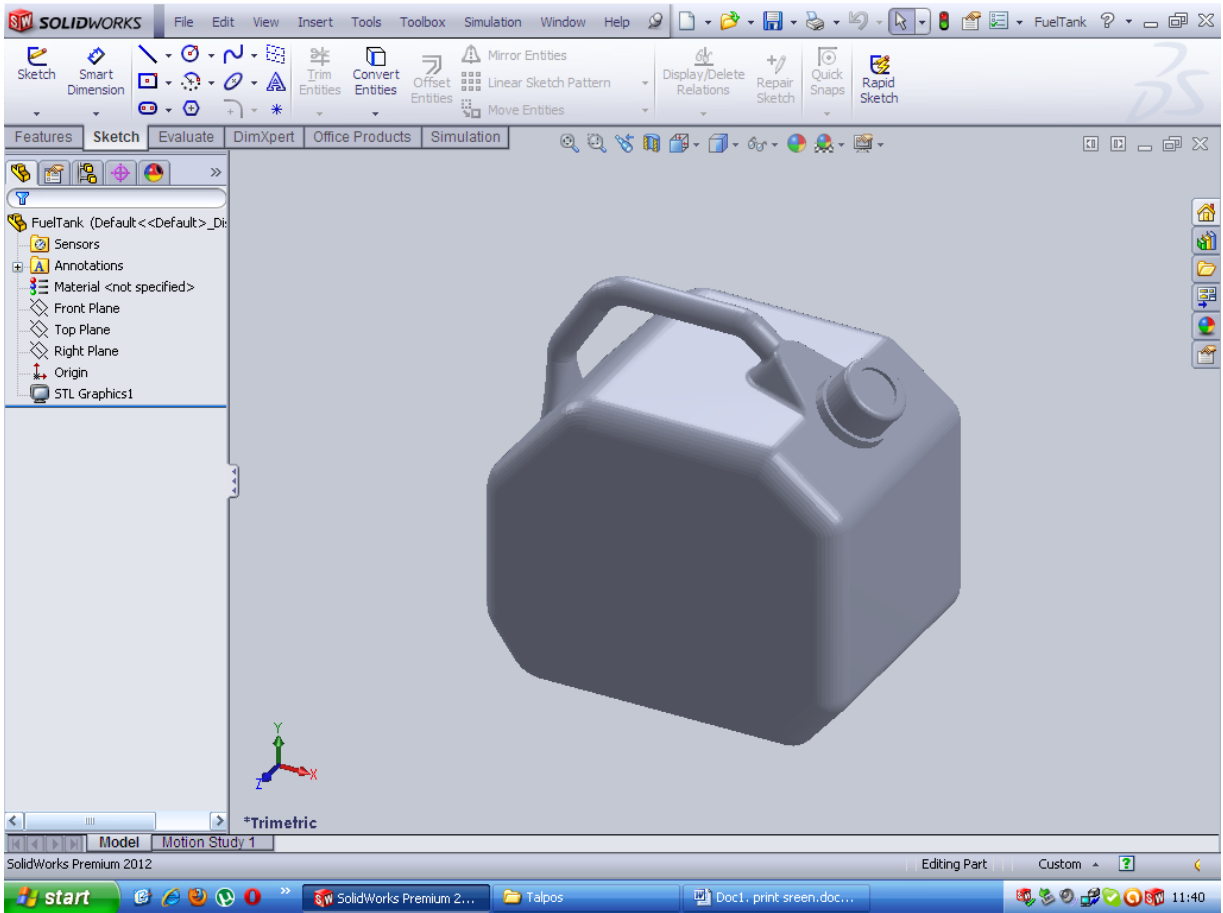
6.3 pav. 0,5l talpos 3D CAD modelis



6.4 pav. 0,5l talpos STL failas



6.5 pav. 10l talpos 3D CAD modelis



6.6 pav. 10l talpos STL failas

- CatalystEX programa paruošiau modelius gamybai.
- Paruošiau lydžios masės formavimo (FDM) įrenginį - Dimension BST 768

#### Modelio gamyba

- Nusiunčiau sugeneruotą paruoštą gaminti modelį į įrenginį.
- Stebėjau gamybos procesą (laiko bei medžiagos sąnaudas)

#### Modelio paruošimas naudojimui

- Baigus darbą išėmiau modelį iš įrenginio
- Paruošiau modelį naudojimui.

**Darbo tikslas:**

- Susipažinti su lydžios masės formavimo (FDM) metodo galimybėmis bei panaudojimo sritimis. 3D CAD modeliavimo sistema sukurti modelį bei jo \*.STL failą. Susipažinti su programine įranga skirta dirbti su lydžios masės įrenginiais. Mokėti tinkamai paruošti įrangą darbui. Stebėti modelio gamybos etapus lydžios masės formavimo metodu. Baigus modelio gamybą pašalinti pagalbines medžiagas bei paruošti modelį naudojimui.

**Įranga:**

Programinė įranga:

- Bet kokia 3D CAD projektavimo sistema galinti sukurti 3D modelį bei \*.STL failą. (SolidWorks, SolidEdge, Inventor ir t.t.)
- Programinė įranga skirta darbui su 3D spausdintuvu, leidžianti peržiūrėti \*.STL failą, paruošti modelį spausdinimui bei nusiųsti jį į spausdinimo įrenginį (CatalystEX).

Technologinė įranga:

- FDM (Fused Deposition Modeling) lydžios masės formavimo įrenginys Dimension BST 768.



FDM (lydžios masės formavimo) įrenginys Dimension BST 768

Duomenys:

Galima liejamo ABS plastiko spalva: balta, mėlyna, raudona, geltona, juoda, žalia ar plieno spalvos.

Gamynamo modelio didžiausi matmenys:

203 x 203 x 305 mm

(8 x 8 x 12 coliai).

6.7 pav. FDM (lydžios masės formavimo) įrenginys Dimension BST 768

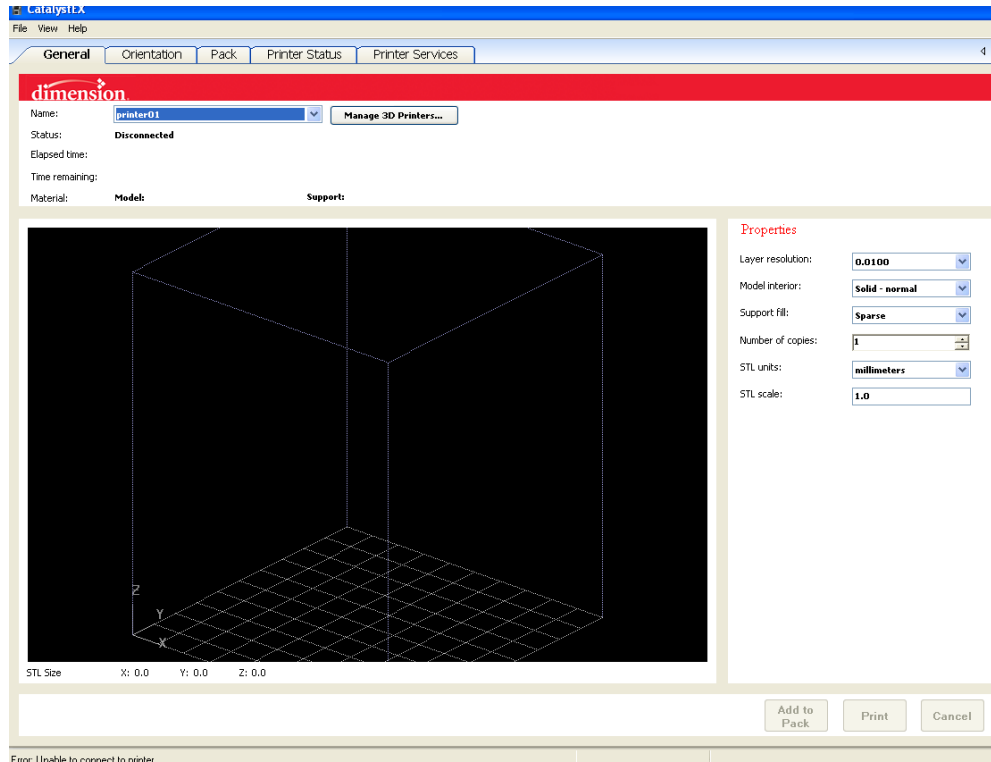
### **Teorinė dalis:**

Teorinė medžiaga apie lydžios masės formavimo procesą (FDM) aprašyta 30 puslapyje.

### **Darbo eiga:**

## **7.2 Darbai**

Šis darbo etapas atliekamas Šiaulių įmonėje „X“. Sukurtus 3D CAD modelius ir jų \*.STL failus atidaroma programa CatalystEX.



6.8 pav. Programos CatalystEX pagrindinis langas

Programa turi 5 pagrindinius langus:

- General (bendri duomenys) – skirtas \*.STL failo peržiūrai ir parametrų redagavimui.
- Orientation (orientacija) – skirtas modelio padėties nustatymui, bei pagalbinių sistemų sudarymui.
- Pack (paketas) – skirtas sukurto paketo orientavimui bazinėje plokštumoje.
- Printer Status (spausdintuvo padėtis) - skirtas spausdintuvo būsenos nustatymui.
- Printer Services (spausdintuvo parametrai) – skirtas spausdintuvo parametrų koregavimui.

a) Įkeliau sukurtą \*.STL failą į programą CatalystEX. >> **File>Open STL**

b) Lango **General** (bendri duomenys) nustatau reikiamus parametrus:

Layer resolution (linijos storis): 0,2

Model interior (modelio interjeras): Solid-normal

Support fill (suporto užpildymas): Minimal  
Number of copies (kopijų skaičius): 1  
STL units (STL matavimo vienetai): millimeters  
STL scale (bendri duomenys): 1,0

- c) Lange **Orentation** (orientacija) nustatau modelio padėtį, arba galima pasirinkti **Auto Orient** (automatinė nustatymo vieta), taip pat pasirenku komanda **Process STL1** (proceso STL1). Sukuriamas modelio \*.CMB failas.
- d) Įsitikinu, kad įrenginys paruoštas darbui: įdėtas naujas pagrindas, yra pakankamai pagrindinės ir pagalbinės medžiagos.
- e) Lange **Pack** (paketas) pasirenku modelio išdėstymą pagrindinėje plokštumoje. Komanda **Insert CMB** (įterpti CMB) įkeliu sukurtą failą. Pelės pagalba modelį pastatau į tinkamą plokštumos vietą. Atlikus šiuos veiksmus pasirenku komandą **Print** (spausdinti). Failas persiunčiamas į FDM, prasideda gamybos pradžia.

### 6.3 Gamyba

- a) Kai programa CatalystEX nusiunčia \*.CMD failą į spausdintuvą, įrenginio informaciniame lange atsiranda pranešimas **Ready to Build** (pasiruošęs gaminti) ir failo vardas.
- b) Pasirenku komanda **Start Model** (modelio pradžia), įrenginys po pasiruošimo pradeda modelio gamybą.
- c) Programos CatalystEX **Printer Status** (spausdintuvo padėtis) ir įrenginio informaciniame lange stebiu medžiagos ir kitų parametrų kitimą.

### 6.4 Modelio paruošimas naudojimui

- a) Kai gamybos procesas baigtas įrenginio informaciniame lange atsiranda pranešimas **Completed Build** (užbaigtas gaminti) ir failo vardas.
- b) Atidarau įrenginio dureles.
- c) Atlaisvinu pagrindo tvirtinimą ir ištraukiu pagrindą kartu su pagamintu modeliu.
- d) Įdedu naują gamybos pagrindą.
- e) Uždarau įrenginio dureles. Informaciniame langelyje atsiranda pranešimas **Part Removed** (dalis pašalinta)? TIKTAI KAI DETALĖ TIKRAI IŠIMTA SPAUDŽIU YES.
- f) Pašalinu sukurtą modelį nuo pagrindo taip pat atsargiai nuvalau pagalbines sistemas.



## 6.5 Spartaus prototipo gamybos laiko ir sanaudų nustatymo metodika

Gamybos sąnaudų skaičiavimui kuriamos duomenų bazės. Kuriant jas labai dažnai tenka normalizuoti gausybę duomenų požymių ir ryšių tarp jų. Renkant visų duomenų elementus į vieną duomenų bazę, įmanoma struktūrizuoti juos pagal paskirtį. Gamybos sistemos duomenų bazės byloje kaupiama informacija apie tiekėjus, duomenys apie ruošynių ar standartinių gaminių charakteristikas, kainos (6.1 lentelė).

6.1 lentelė. Duomenys apie medžiagas

Medžiaga	Kaina, $Lt/cm^3$
ABS Plastiką	1
Suportas	1

Labai svarbūs duomenys apie įrengimo bei kvalifikuotu darbininkų kainą laiko vienetui.

6.2 lentelė. Valandiniai įkainiai

Valandiniai įkainiai	Kaina, Lt/h
FDM įrenginio BST 768	30
Projektuotojo	80/n
Darbininko	40

Norint apskaičiuoti prototipo kainą, pirmiausiai turime apskaičiuoti jo gamybos laiką  $T_{rp}$ , jis susideda iš pasiruošimo laiko  $T_p$ , prototipo liejimo laiko  $T_l$ , baigiamasis apdirbimas  $T_{baig.}$  iš to išvedame formulę:

$$T_{rp} = T_p + T_l + T_{baig.}; \quad (6.1)$$

Apskaičiavus prototipo gamybos laiką turime apskaičiuoti ir prototipo gamybos sąnaudas  $P_k$ , sąnaudos susideda iš: sunaudotų medžiagų kiekio  $\sum_{i=1}^2 medž.$  iš kur apskaičiuosime ir jų kainą, tai pat darbiniko darbo laiko užmokesčio  $P_{dd}$ , prototipo gamybos laiko mokesčio  $P_{rp}$ , bei projektuotojo darbo laiko užmokesčio  $P_{pd}$ , n-talpų skaičius ir jau žinant prototipo savikainą galime padauginti iš IP-pridėtinės išlaidos, IP=1,05 - 1,30.

$$P_k = \left( \sum_{i=1}^2 medž. + \frac{P_{pd}}{n} + P_{rp} + P_{dd} \right) * IP; \quad (6.2)$$

### Skaičiavimas 12l talpos:

Iš brėžinio matyti, kad talpa netilps į įrenginį, todėl ją sumažiname masteliu 1:1.15.

1. Skaičiuojame gamybos laiką pagal 6.1 formulę:  $T_{rp} = T_p + T_l + T_{baig.}$

$T_p = 15$  min. šis pasiruošimo laikas susideda iš įrengimo paruošimo, kompiuterio bei programos įjungimo, STL failo įkėlimo ir paleidimo gamybai.

$$T_l = S_{ssk} * T_{sl}; \quad (6.3)$$

$S_{ssk}$  - sluoksnių skaičius, n;  $T_{sl}$  - sluoksnio liejimo laikas, s;

$$S_{ssk} = h / L_{st} \quad (6.4)$$

h - talpos aukštis, mm;  $L_{st}$  - sluoksnio storis, mm;

$$S_{ssk} = 271,25 / 0,2 = 1356,2 \text{ sluoksnių}$$

$$T_{sl} = S / v; \quad (6.5)$$

S - vieno sluoksnio ilgis, mm;  $v = 0,03$  m/s galvutės judėjimo greitis, m/s;

$$S = (a + b) * 2; \quad (6.6)$$

a - talpos ilgis, mm; b - talpos plotis, mm;

$$S = (202,22 + 166,72) * 2 = 737,88 \text{ mm}$$

$$T_{sl} = 737,88 / 30 = 24,6 \text{ s}$$

$$T_l = 1356,2 * 24,6 = 33360 \text{ s}$$

$T_{baig.} = 20$  min. šis baigimo laikas susideda iš detalės pašalinimo iš įrengimo, kompiuterio bei programos išjungimo, galutinio detalės apdirbimo.

$$T_{rp} = 15 + 556 + 20 = 591 \text{ min.} = 9 \text{ val. } 51 \text{ min.}$$

2. Toliau skaičiuojame prototipo gamybos sąnaudas  $P_k$  pagal 6.2 formulę:

$$P_k = \left( P \sum_{i=1}^2 \text{medž.} + \frac{P_{pd}}{n} + P_{rp} + P_{dd} \right) * IP$$

$P \sum_{i=1}^2 \text{medž.}$  - medžiagos kaina, Lt;  $P_{pd}$  - projektuotojo darbo laiko užmokestis, Lt;  $P_{rp}$  - prototipo liejimo laiko užmokestis, Lt;  $P_{dd}$  - darbininko darbo laiko užmokestis, Lt.

$$P \sum_{i=1}^2 \text{medž.} = \sum_{i=1}^2 \text{medž.} * M_k ; \quad (6.7)$$

$M_k$  -  $1 \text{ cm}^3$  medžiagos kaina, Lt;

$$\sum_{i=1}^2 \text{medž.} = S_m + P_m ; \quad (6.8)$$

$S_m$  - sunaudota medžiagos suportui,  $\text{cm}^3$ ;  $P_m$  - sunaudota pagrindinės medžiagos,  $\text{cm}^3$ ;

$$\sum_{i=1}^2 \text{medž.} = 87 + 514 = 601 \text{ cm}^3$$

$$P \sum_{i=1}^2 \text{medž.} = 601 * 1 = 601 \text{ Lt}$$

$$P_{pd} = T_{pd} * V_{pd} ; \quad (6.9)$$

$T_{pd}$  - projektuotojo darbo laikas, val.;  $V_{pd}$  - projektuotojo darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{pd} = 4 * 80 = 320 \text{ Lt}$$

$$P_{rp} = T_{rp} * V_{rp} ; \quad (6.10)$$

$T_{rp}$  - prototipo gamybos laikas, val.;  $V_{rp}$  - įrenginio valandinis įkainis, Lt;

$$P_{rp} = 9,85 * 30 = 295,5 \text{ Lt}$$

$$P_{dd} = T_{dd} * V_{dd} ; \quad (6.11)$$

$T_{dd}$  - darbininko darbo laikas, val.;  $V_{dd}$  - darbininko darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{dd} = 9,85 * 40 = 394 \text{ Lt}$$

$$P_k = \left( 601 + \frac{320}{1} + 295,5 + 394 \right) * 1,15 = 1852,08 \text{ Lt}$$

### Skaičiavimas 0,5l talpos:

1. Skaičiuojame gamybos laiką pagal 6.1 formulę:  $T_{rp} = T_p + T_l + T_{baig.}$

$T_p = 15$  min. šis pasiruošimo laikas susideda iš įrengimo paruošimo, kompiuterio bei programos įjungimo, STL failo įkėlimo ir paleidimo gamybai.

$$T_l = S_{ssk.} * T_{sl}; \quad (6.3)$$

$S_{ssk.}$  - sluoksnių skaičius,  $n$ ;  $T_{sl}$  -sluoksniu liejimo laikas, s;

$$S_{ssk.} = h / L_{st}; \quad (6.4)$$

$h$  - talpos aukštis, mm;  $L_{st}$  -sluoksniu storis, mm;

$$S_{ssk.} = 212,61 / 0,2 = 1063 \text{ sluoksnių}$$

$$T_{sl} = S / v; \quad (6.5)$$

$S$  - vieno sluoksniu ilgis, mm;  $v = 0.03$  m/s galvutės judėjimo greitis, m/s;

Kadangi sluoksniu ilgis skiriasi per visa talpos aukšti apskaičiuosime vidutinį sluoksniu ilgį pagal formulę:

$$S = 2\pi r; \quad (6.12)$$

$\pi$  - 3,14, mm;  $r$  -vidudinis talpos spindulys, mm;

$$S = 2 * 3,14 * 28 = 175,84 \text{ mm}$$

$$T_{sl} = 175,84 / 30 = 5,86 \text{ s}$$

$$T_l = 1063 * 5,86 = 6229,18 \text{ s}$$

$T_{baig.} = 20$  min. šis baigimo laikas susideda iš detalės pašalinimo iš įrengimo, kompiuterio bei programos išjungimo, galutinio detalės apdirbimo.

$$T_{rp} = 15 + 104 + 20 = 139 \text{ min.} = 2 \text{ val. } 19 \text{ min.}$$

2. Toliau skaičiuojame prototipo gamybos sąnaudas  $P_k$  pagal 6.2 formulę:

$$P_k = (P \sum_{i=1}^2 medž. + \frac{P_{pd}}{n} + P_{rp} + P_{dd}) * IP$$

$P \sum_{i=1}^2 medž.$  -medžiagos kaina, Lt;  $P_{pd}$  -projektuotojo darbo laiko užmokestis, Lt;  $P_{rp}$  -prototipo liejimo laiko užmokestis, Lt;  $P_{dd}$  -darbininko darbo laiko užmokestis, Lt.

$$P \sum_{i=1}^2 medž. = \sum_{i=1}^2 medž. * M_K; \quad (6.7)$$

$M_k$  - 1  $cm^3$  medžiagos kaina, Lt;

$$\sum_{i=1}^2 med\check{z}. = S_m + P_m \quad (6.8)$$

$S_m$  - sunaudota medžiagos suportui,  $cm^3$ ;  $P_m$  - sunaudota pagrindinės medžiagos,  $cm^3$ ;

$$\sum_{i=1}^2 med\check{z}. = 7 + 22 = 29cm^3$$

$$P \sum_{i=1}^2 med\check{z}. = 29 * 1 = 29 \text{ Lt}$$

$$P_{pd} = T_{pd} * V_{lpd}; \quad (6.9)$$

$T_{pd}$  - projektuotojo darbo laikas, val.;  $V_{lpd}$  - projektuotojo darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{pd} = 3 * 80 = 240 \text{ Lt}$$

$$P_{rp} = T_{rp} * V_{lrp}; \quad (6.10)$$

$T_{rp}$  - prototipo gamybos laikas, val.;  $V_{lrp}$  - įrenginio valandinis įkainis, Lt;

$$P_{rp} = 2,32 * 30 = 69,6 \text{ Lt}$$

$$P_{dd} = T_{dd} * V_{ldd}; \quad (6.11)$$

$T_{dd}$  - darbininko darbo laikas, val.;  $V_{ldd}$  - darbininko darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{dd} = 2,32 * 40 = 92,8 \text{ Lt}$$

$$P_k = (29 + \frac{240}{1} + 69,6 + 92,8) * 1,15 = 496,11 \text{ Lt}$$

### Skaičiavimas 10l talpos:

Iš brėžinio matyti, kad talpa netilps į įrenginį, todėl ją sumažiname masteliu 1:1,5.

1. Skaičiuojame gamybos laiką pagal 6.1 formulę:  $T_{rp} = T_p + T_l + T_{baig.}$

$T_p = 15$  min. šis pasiruošimo laikas susideda iš įrengimo paruošimo, kompiuterio bei programos įjungimo, STL failo įkėlimo ir paleidimo gamybai.

$$T_l = S_{ssk.} * T_{sl}; \quad (6.3)$$

$S_{ssk.}$  - sluoksnių skaičius, n;  $T_{sl}$  - sluoksniu liejimo laikas, s;

$$S_{ssk.} = h / L_{st}; \quad (6.4)$$

h- talpos aukštis, mm;  $L_{st}$ -sluoksnio storis, mm;

$$S_{ssk} = 202/0,2 = 1010 \text{ sluoksnių}$$

$$T_{sl} = S/v; \quad (6.5)$$

S - vieno sluoksnio ilgis, mm;  $v=0.03$  m/s galvutės judėjimo greitis, m/s;

$$S = (a + b) * 2; \quad (6.6)$$

a - talpos ilgis, mm; b - talpos plotis, mm;

$$S = (200 + 140) * 2 = 680 \text{ mm}$$

$$T_{sl} = 680/30 = 22,7 \text{ s}$$

$$T_l = 1010 * 22,7 = 22927 \text{ s}$$

$T_{baig.} = 20$  min. šis baigimo laikas susideda iš detalės pašalinimo iš įrengimo, kompiuterio bei programos išjungimo, galutinio detalės apdirbimo.

$$T_{rp} = 15 + 382 + 20 = 417 \text{ min.} = 6 \text{ val. } 57 \text{ min.}$$

2. Toliau skaičiuojame prototipo gamybos sąnaudas  $P_k$  pagal 6.2 formulę:

$$P_k = (P \sum_{i=1}^2 medž. + \frac{P_{pd}}{n} + P_{rp} + P_{dd}) * IP$$

$P \sum_{i=1}^2 medž.$  - medžiagos kaina, Lt;  $P_{pd}$  - projektuotojo darbo laiko užmokestis, Lt;  $P_{rp}$  - prototipo liejimo laiko užmokestis, Lt;  $P_{dd}$  - darbininko darbo laiko užmokestis, Lt.

$$P \sum_{i=1}^2 medž. = \sum_{i=1}^2 medž. * M_k; \quad (6.7)$$

$M_k$  -  $1 \text{ cm}^3$  medžiagos kaina, Lt;

$$\sum_{i=1}^2 medž. = S_m + P_m; \quad (6.8)$$

$S_m$  - sunaudota medžiagos suportui,  $\text{cm}^3$ ;  $P_m$  - sunaudota pagrindinės medžiagos,  $\text{cm}^3$ ;

$$\sum_{i=1}^2 medž. = 127 + 538 = 665 \text{ cm}^3$$

$$P \sum_{i=1}^2 medž. = 665 * 1 = 665 \text{ Lt}$$

$$P_{pd} = T_{pd} * V_{Ipd}; \quad (6.9)$$

$T_{pd}$  - projektuotojo darbo laikas, val.;  $V_{ipd}$  - projektuotojo darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{pd} = 2 * 80 = 160 \text{ Lt}$$

$$P_{rp} = T_{rp} * V_{irp}; \quad (6.10)$$

$T_{rp}$  - prototipo gamybos laikas, val.;  $V_{irp}$  - įrenginio valandinis įkainis, Lt;

$$P_{rp} = 6,95 * 30 = 208,5 \text{ Lt}$$

$$P_{dd} = T_{dd} * V_{idd}; \quad (6.11)$$

$T_{dd}$  - darbininko darbo laikas, val.;  $V_{idd}$  - darbininko darbo laiko valandinis įkainis, Lt;

$$P_{dd} = 6,95 * 40 = 278 \text{ Lt}$$

$$P_k = (665 + \frac{160}{1} + 208,5 + 278) * 1,15 = 1508,23 \text{ Lt}$$

6.3 lentelė. Skaičiavimų suvestinė gaminant FDM įrenginiu Dimension BST 768

Talpa	Gamybos laikas $T_{rp}$	Prototipo kaina $P_k$ , Lt
12 l	9 val. 51 min.	1852,08
0,5 l	2 val. 19 min.	496,11
10 l	6 val. 57 min.	1508,23

**Palyginimui apskaičiuosime gamybos laiką ir gamybos sąnaudas 0,5l talpos kitu gamybos būdu:**

Dažniausiai talpos gaminamos pūtimo mašinomis (6.9 pav.), tačiau joms reikia specialių formų, kurios brangiai kainuoja: 0,5l talpos buteliuko apie 20000 Lt, tai pat reikia ruošinio kurio kaina apie 0,4 Lt priklausomai nuo perkamo kiekio.



Lizdų skaičius - 3

Max. butelio dydis - 3,0 l

Gamybos našumas - 4.500 b/val.

6.9 pav. Pūtimo mašina LITO 4/3

Ruošiniai - tai PET (Polietilentereftalatas) butelių pūtimui skirti pusgaminiai, kurie slėginio liejimo būdu gaunami iš PET granulių. Granulės išdžiovinamos iki 0,003% ir mažesnės likutinės drėgmės, išlydomos ekstruderyje ir gauta masė įsvirkščinama į šaldomą presformą. Modernūs ir tikslūs įrengimai (presformų detalės pagamintos 5 mikronų tikslumu) leidžia parinkti optimalius technologinius parametrus bei pasiekti aukščiausią ruošinių kokybę, minimalią gamybos ciklo trukmę, tuo pačiu minimizuojant polimero molekulių suirimą, klampumo praradimą bei acetaldehido kiekį. Mūsų ruošiniai pakuojami į polietileno plėvelę bei pakartotino naudojimo metalinius konteinerius, arba į aštuonkampes kartono dėžes (oktabinas), priklausomai nuo kliento pageidavimo.

Butelių gamybai naudojama butelių pūtimo mašinos, kurių esminiai privalumai - trumpas formų pakeitimo laikas ir gera butelių kokybė. Ruošiniai infraraudonųjų spindulių lempomis įšildomi, o po to ištempiami ir aukštame slėgyje (iki 40 barų) išpučiami vandeniu



aušinamose pūtimo formose. Gerai suderintų pūtimo proceso parametrų dėka gaunami geriausių fizinių, mechaninių bei barjerinių savybių buteliai, kurie supakuojami į polietileno paketus ar kitais būdais pagal kliento pageidavimą.



6.10 pav. PET ruošiniai

**Skaičiavimas 0,5l talpos gaminant pūtimo mašina LITO 4/3:**

1. Skaičiuojame 0,5l talpos gamybos laiką  $T_g$  :

$$T_g = T / G_{ln} * n; \quad (6.12)$$

$G_{ln}$  - 1 lizdo gamybos našumas, b/val.;  $T$  - laikas, s;  $n$  - talpų skaičius, vnt.

$$G_{ln} = G_n / L_{sk}; \quad (6.13)$$

$G_n$  - gamybos našumas, b/val.;  $L_{sk}$  - lizdų skaičius, vnt.;

$$G_{ln} = 4500 / 3 = 1500 \text{ b/val.}$$

$$T_g = 3600 / 1500 * 1 = 2,4 \text{ s}$$

2. Toliau skaičiuojame vienos 0,5l talpos gamybos sąnaudas  $K_k$  :

$$K_k = (P_{ruoš.} + \frac{P_{pd}}{n} + \frac{P_{form.}}{n} + P_I + P_{dd}) * IP; \quad (6.14)$$

$P_{ruoš.}$  -ruošinio kaina, Lt;  $P_{pd}$  -projektuotojo darbo laiko užmokestis, Lt;  $P_{form.}$  -0,5l talpos formos kaina, Lt;  $P_l$  -įrenginio gamybos laiko kaina, Lt;  $P_{dd}$  -darbininko darbo laiko užmokestis, Lt.

$$P_l = V_{ml} / G_n; \quad (6.15)$$

$V_{ml}$  - valandinis įrenginio LITO 4/3 įkainis, Lt;

$$P_l = 50/1500 = 0,033 \text{ Lt}$$

$$P_{dd} = V_{dd} / G_n; \quad (6.16)$$

$$P_{dd} = 40/1500 = 0,027 \text{ Lt}$$

$$K_k = (0,4 + \frac{240}{1} + \frac{20000}{1} + 0,033 + 0,027) * 1,15 = 23276,53 \text{ Lt}$$

3. Palyginimui skaičiuojame 0,5l talpos gamybos sąnaudas  $K_k$ , jei gaminsime  $n=100000$  vnt.:

$$K_k = (P_{ruoš.} + \frac{P_{pd}}{n} + \frac{P_{form.}}{n} + P_l + P_{dd}) * IP; \quad (6.14)$$

$$K_k = (0,4 + \frac{240}{100000} + \frac{20000}{100000} + 0,011 + 0,0089) * 1,05 = (0,4 + 0,0024 + 0,2 + 0,011 + 0,0089) * 1,05 = 0,65 \text{ Lt}$$

6.4 lentelė. Skaičiavimų suvestinė gaminant pūtimo mašina LITO 4/3

Talpų skaičius n, vnt.	Vienos talpos gamybos laikas $T_g$ , s	Prototipo kaina $K_k$ , Lt
1	2,4	23276,53
100000	2,4	0,65

**Kainų  $K_{skirt.}$ , bei laiko sąnaudų  $T_{skirt.}$  skirtumas gaminant vieną 0,5l talpą pūtimo mašina LITO 4/3 ir FDM (lydžios masės formavimo) įrenginiu Dimension BST 768:**

$$K_{skirt.} = K_k / P_k; \quad (6.17)$$

$$K_{skirt.} = 23276,53 / 496,11 = 46,92 \text{ karto}$$

$$T_{skirt.} = T_l / T_b; \quad (6.18)$$

$$T_{skirt.} = 6229,18 / 2,4 = 2595,49 \text{ karto}$$

## IŠVADOS

1. Trys prototipų fazės padėjo sukurti greitąjį prototipą. Tai, kad ši fazė buvo pradėta 1980-aisiais, rodo, kad prototipai išauga šią fazę ir juda link naujos fazės kūrimo.
2. Išnagrinėjus greitojo prototipo ratą galima suvokti, kad pagrindiniai greitojo prototipo aspektai yra įvestis, metodas, medžiaga ir paraiškos.
3. Prototipai teikia papildomą netiesioginę naudą rinkodarai ir vartotojui, kas yra ypač aktualu prototipo vystyme.
4. Automatizavimo RP sistemos pasižymi dideliu pranašumu, nes gali funkcinės dalis pagaminti mažuose gamybos kiekiuose, o tai reiškia, kad yra išlaikomas tikslumas.
5. Skaičiavimuose matome, kad gaminant talpas FDM įrenginiu Dimension BST 768 gamybos laikas bei sąnaudos gana didelės ir juo neapsimokėtu gaminti didelio kiekio plastikinių detalių, tačiau gaminant tą pačią talpą pūtimo mašina LITO 4/3 laiko sąnaudos sumažėja 2595 kartus, o gamybos sąnaudos padidėja iki 50 kartų tai yra todėl, kad gaminame tik vieną talpą, tačiau jei gamintume 100000 talpų ir daugiau jo sąvikaina nesiektu nei 1 Lt. RP įrenginys yra skirtas vienetinei gamybai, kad galėtumėme pagaminti talpos prototipą ir taip pastebėtume klaidas, kurias negalime išvelgti kompiuterio ekrane. FDM įrenginiu Dimension BST 768 apsimoka gaminti viena ar kelias talpas masinei gamybai kol kas jie netaikomi.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Kochan, D., "Solid freeform manufacturing — Possibilities and restrictions," Computers in Industry 20 (1992): p. 133–140
2. Koren, Y., Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw Hill, Singapore, 1983.
3. Hecht, J., The Laser Guidebook, 2nd edition, McGraw Hill, New York, 1992.
4. Taraman, K., CAD/CAM: Meeting Today's Productivity Challenge, Computer and Automated Systems Association of SME, Michigan, 1982.
5. Chua, C.K., "Solid modeling — A state-of-the-art report," Manufacturing Equipment News (September 1987): 33–34.
6. Lee, G., "Virtual prototyping on personal computers," Mechanical Engineering 117(7) (1995): 70–73.
7. [http://www.qegs.lincs.sch.uk/index.php?option=com\\_content&task=view&id=300&Itemid=217](http://www.qegs.lincs.sch.uk/index.php?option=com_content&task=view&id=300&Itemid=217)
8. <http://distance.ktu.lt/cdk/courses/460/>
9. <http://www.princeton.edu/~cml/html/research/mems.html>
10. [http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)
11. <http://www.tiltstudioinc.com/category/think/products/>
12. <http://www.terekas.lt/pet-tara/>