



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Gediminas Narkus**

**GPS SEKIMO ĮRENGINIO ATSPARUMO SMŪGINĖMS  
APKROVOMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Evaldas Narvydas

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(parašas) Prof. dr. Vytautas Grigas

(data)

**GPS SEKIMO ĮRENGINIO ATSPARUMO SMŪGINĖMS**  
**APKROVOMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)**

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Evaldas Narvydas

(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Robertas Keršys

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Gediminas Narkus

(data)

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Gediminas Narkus

(Studento vardas, pavardė)

Mechanikos inžinerija, 621H30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „GPS sekimo įrenginio atsparumo smūginėms apkrovoms tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 2 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gedimino Narkaus** baigiamasis projektas tema „GPS sekimo įrenginio atsparumo smūginėms apkrovoms tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Tvirtinu:**

Mechanikos inžinerijos  
katedros vedėjas

prof. Vytautas Grigas

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS  
Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo ar taikomojo pobūdžio darbas (projektas), kuriam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas turi parodyti, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, yra įgijęs pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Baigiamuoju darbu bei jo gynimu studentas turi parodyti savo kūrybingumą, gebėjimą taikyti fundamentines mokslo žinias, socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansinių galimybių išmanymą, informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės įgūdžius, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo įgūdžius, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžius, gebėjimą tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema **GPS sekimo įrenginio atsparumo smūginėms apkrovoms tyrimas**

Patvirtinta 2015 m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr. ST17-F-11-2

2. Darbo tikslas Atlikti globalios pozicionavimo sistemos elektroninio įrenginio atsparumo smūginei apkrovai tyrimus, nustatant silpnąsias įrenginio konstrukcijos vietas ir maksimalų leistiną greitį prieš susidūrimą su standžia plokštuma.

3. Darbo struktūra Darbą turi sudaryti: santrauka lietuvių ir anglų kalbomis; įvadas, kuriame išryškintas darbo tikslas, aktualumas, uždaviniai, tyrimo metodai ir priemonės; panaudotų literatūros šaltinių apžvalga; tyrimo metodo aprašymas; tyrimo rezultatai; išvados; literatūros sąrašas ir priedai.

4. Reikalavimai ir sąlygos Tyrimo objektas – GPS įrenginys, kurio gabaritiniai matmenys 87 x 57 x 7,2 mm, korpusas pagamintas iš ABS + PC plastiko, bendra masė nuo 0,01207 iki 0,03207 kg.

5. Darbo pateikimo terminas 2015 m. birželio mėn. 1 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis

Išduota studentui GEDIMINUI NARKUI

Užduotį gavau Gediminas Narkus  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Vadovas doc. dr. Evaldas Narvydas  
(pareigos, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

# TURINYS

ĮVADAS .....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	10
1.1. Mechaninė smūginė analizė.....	10
1.2. Kompiuterinė smūginė analizė .....	13
1.2.1. Baigtinių elementų metodas .....	13
1.2.2. Smūginė analizės sprendimas <i>SolidWorks</i> programoje.....	15
1.2.3. Smūginės analizės sprendimas <i>Ansys</i> programos <i>Workbench</i> aplinkoje.....	17
2. PROJEKTINĖ DALIS.....	21
2.1. Įrenginio aprašymas.....	21
2.2. Konstrukcija .....	22
2.2.1. PCB plokštė (mikroschema) ir jos komponentai.....	23
2.3. Korpuso prototipo konstrukcija.....	25
3. TIRIAMOJI DALIS .....	27
IŠVADOS .....	45
Literatūros sąrašas .....	46
PRIEDAI .....	48
1 PRIEDAS. Plastiko ABS + PC aprašymas <i>Ansys</i> programoje.....	48
2 PRIEDAS. Gautų rezultatų <i>Ansys</i> programoje grafinės diagramos. ....	49

Narkus, G. GPS sekimo įrenginio atsparumo smūginėms apkrovoms tyrimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Evaldas Narvydas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Mechanikos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 54 psl.

## SANTRAUKA

*Šiame baigiamojo magistro projekte yra atliekamas GPS sekimo įrenginio atsparumo smūginėms apkrovoms tyrimas. Pradžioje yra susipažindinama su tyrimų būdų metodika, darbo priemonėmis bei apžvelgiami jau atlikti smūginės analizės tyrimai kitiems elektronikos prietaisams.*

*Tyrimas atliekamas suprojektavus erdvinį įrenginio modelį kompiuterinėje programoje Ansys ir sprendžiant keturiais etapais: skirtingais kritimo kampais į plokštumą; skirtingais kritimo kampais į plokštumą pagal korpuso sieneles; skirtingais kritimo greičiais; atliekant tyrimą koreguojant korpuso konstrukciją mažesniems skaičiavimo rezultatams gauti.*

*Atlikus pilną įrenginio smūginės analizės tyrimą yra išvedami plastinių deformacijų, ekvivalentinių Von Mises įtempių priklausomybės nuo posvyrio kampo į kritimo plokštumą bei nuo kritimo greičio.*

*Apjungus gautus rezultatus randamos pavojingiausios korpuso vietos smūginio kontakto metu ir jų įtempių bei deformacijų reikšmės. Gauti rezultatai apsprendžia išvadas, kuriomis remiantis koreguojama galutinė GPS sekimo įrenginio korpuso konstrukcija.*

Narkus, G. Drop test resistance analysis of the GPS tracker. *Master* final project / supervisor Assoc. Prof. Dr. Evaldas Narvydas; Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Department of Mechanical Engineering.

Kaunas, 2015. 54 p.

## SUMMARY

*In this final master's project is carried out in a GPS tracking device drop test resistance analysis. In the beginning is the familiarization with the testing methods methodology, tools and reviews the impact analyses have been carried out studies for other electronic devices.*

*The survey is conducted styled three-dimensional model of the device software program Ansys and addressing the four stages: at different angles to the plane crashing; different dip angles to the plane of the housing wall; different fall speeds; the investigation adjusting housing construction for smaller calculation results.*

*After the complete installation of impact analysis study is derived plastic deformation, equivalent Von Mises stress dependence on the tilt angle of the plane crashing and speed of the fall.*

*Combining the results obtained are found in dangerous housing local contact and impact of stress and strain values. The results are determined by the findings, which is adjusted based on the final GPS tracking device housing construction.*

## ĮVADAS

GPS Tracker (GPS Seklys) – tai įrenginys, kuriame yra įmontuota palydovinė vietos nustatymo įranga daugiau žinoma kaip GPS (santrumpa sudaryta iš angliškų žodžių „Global Positioning System“). Naudojant palydovinį ryšį GPS įranga leidžia nustatyti automobilio ar kito objekto buvimo vietą, suteikia nemažai papildomų patogumų ir atlieka ne tik kontrolės funkciją. Geram gaminio funkcionalumui užtikrinimui yra būtini testai. Kiekvienas testas apima tam tikrą (mechaninę, elektroninę ar kt.) specifinę dalį ir yra atliekamas tam, kad gaminys atitiktų keliamus elektronikos gaminių reikalavimus. Vienas iš svarbiausių testų, kuris nėra išimtis ir šiuo nagrinėjamu atveju, tai gaminio smūginė analizė, kitaip tariant, mechaninių charakteristikų išlaikymas kritimo metu, kai objektas yra veikiamas smūgio jėgos. GPS Seklys šiuo atveju yra tiriamas kaip kompiuterinis modelis, o pats testas ir jo kraštinės sąlygos yra modeliuojami kompiuterinėje 3D projektavimo programoje.

**Darbo aktualumas.** Pastaruoju metu, plečiantis technologinėms galimybėms, atsiranda vis daugiau inovacinių sprendimų ir gaminių. Šiems vis tobulėjant, kartu tobulėja ir gamybos procesas. Kas anksčiau buvo skaičiuojama, dabar paprasčiausiai tai atlieka kompiuteris ir tam tikra kompiuterizuota programa. Rankų darbą keičia robotai, o protinę veiklą darosi vis lengviau realizuoti kompiuterio ekrane. Produktų kūrimo eigoje yra nuspėjami gamtinių ir fizinių reiškinių įtaka projektuojamam gaminiui atliekant testus modeliavimo programose ir taip suteikiama maksimali apsauga įrenginio funkcionalumui užtikrinti. Vienas iš svarbiausių testų – tai smūginė analizė, kai suprojektuotas realus modelis trenkiasi į tam tikrą paviršių. Kritimo testo analizė elektronikos srityje užima didelį vaidmenį gaminio projektavimo etape. Tokie testai prieš kelis dešimtis metų buvo atliekami gaminant šimtus prototipų ir juos bandant mechaniškai paveikti tam tikrose staklėse ar kituose įrenginiuose. Šiais laikais yra įvairios projektavimo programos, leidžiančios šį testą atlikti kompiuterizuotomis modeliavimo programomis. Toks sprendimas sutaupo itin daug gaminamo produkto kaštų, kurie naudojami prototipams gaminti ir sutrumpina projektavimo laiką. Inžinieriams tampa vis lengviau projektuoti gaminį ir lygiagrečiai spręsti smūginės analizės uždavinius, tuo pat metu, atsižvelgus į gaunamus rezultatus, keisti gaminio konstrukciją, medžiagas ir kt.. Tinkamai parinkus analizės kraštines sąlygas galima gauti rezultatus identiškus trestams, atliktiems realybėje.

**Darbo tikslas.** Suprojektuoti GPS seklio korpusą ir ištirti pavojingas korpuso vietas, kurios gali paveikti gaminio funkcionalumą smūginio kontakto metu.



**Darbo uždaviniai.** 1. Suprojektuoti gaminį; 2. Atlikti smūginės analizę parenkant kraštines sąlygas artimas realybei; 3. Surasti pavojingas gaminio konstrukcines vietas, įtakojančias įrenginio veikimą smūginio kontakto metu;

**Darbo struktūra.** Įvadas; Literatūros apžvalga; Projektinė dalis; Tiriamoji dalis; Išvados; Literatūros sąrašas.

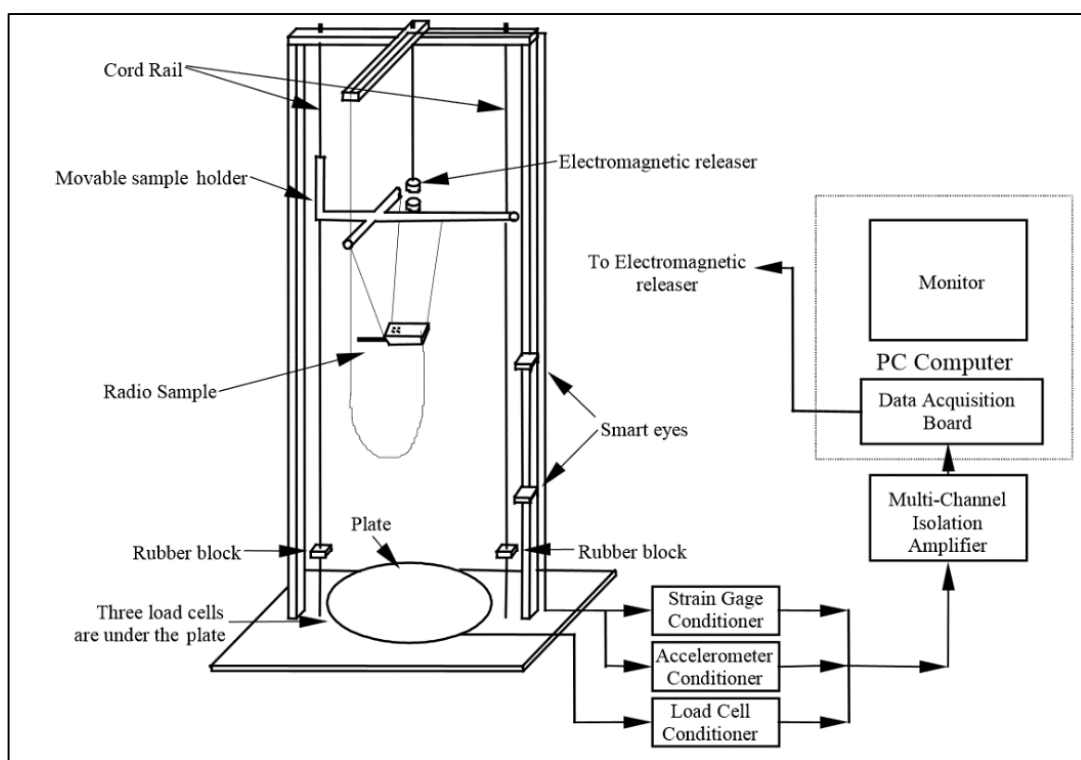
# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Smūginė analizė elektronikos prietaisams gali būti atliekama dviem būdais – mechaniškai arba atliekant simuliaciją su 3D projektavimo programomis, tokiomis kaip *Ansys* arba *Solidworks* ar kt.. Pirmuoju ir antruoju objektas yra paleidžiamas iš nustatyto aukščio įvairiais kampais į standų paviršių. Įvykus kontaktui, kai objektas paliečia paviršių – įvyksta smūgis, yra sudarinėjami įtempiai, deformacijos, plastinių deformacijų grafikų priklausomybė nuo tam tikro kampo. Papildomiems skaičiavimams analizuojamas objektas yra leidžiamas iš skirtingų aukščių, kad būtų gauti tikslesni skaičiavimo rezultatai. Analizė atliekama remiantis standartu, kuris apibrėžia sąlygas, kuris turi išlaikyti elektronikos įrenginys smūgio metu. Vienas iš tokių standartų, kuriuo remiantis yra atliekama analizė šiame darbe, tai bendros elektronikos įrenginių inžinerijos tarybos (Joint Electron Device Engineering Council) įteisintas standartas pavadinimu JESD22-B111 [1][2]. Šis standartas aprašo smūginės analizės metodą rankiniams elektronikos įrenginiams, tokiems kaip kameroms, skaičiuotuvams, mobiliesiems telefonams, duomenų kaupimo prietaisams, išmaniesiems telefonams, kompiuterių atminties kortelėms ir kitiems elektronikos įrenginiams, kurie gali būti laisvai talpinami kelnų kišenėje ir naudojami vartotojo.

## 1.1. Mechaninė smūginė analizė

Kaip pavyzdys, kai yra atliekama mechaninė smūginė analizė, gali būti montuojamos specialios paskirties staklės su kritimo kontrolės mechanizmu (1 pav.), kuris projektuojamas su tikslu reguliuoti kritimo kampą ir fiksuoti rezultatus su didelio pakartojamumo intervalais [3][4]. Duomenų kaupimo ir apdorojimo sistema (Data Acquisition Board), esanti smūginės analizės įrenginio matavimo schemoje yra skirta išmatuoti veikiančią jėgą kontakto su paviršiumi metu, ekvivalentinius įtempius ir pagreičius. Kaip pavaizduota paveiksle, įrenginio schemoje yra sumontuotas kritimo rėmelis (Movable sample holder), kuris slysta dviem kreipiančiaisiais kabeliais (Cord Rail). Kabeliai yra reikalingi nustatytam testuojamo objekto kritimo kampui išlaikyti nuo analizės pradžios iki pabaigos. Prieš bandymų pradžią įrenginys yra pritvirtinamas prie kritimo rėmelio su trimis stygomis. Šių trijų stygų paskirtis yra tiksliai orientuoti testuojamo gaminio kritimo kampą į kritimo plokštumą bei izoliuoti virpesius atsirandančius nuo prototipo kritimo. Rėmelis su gaminiu yra fiksuojamas elektromagnetu, kurio pagalba analizuojamas gaminys yra lengvai fiksuojamas norimame aukštyje ir paleidžiamas be pašalinių trikdžių. Bandinio paleidimas, t. y. signalas elektromagnetui paleisti, yra pasiunčiamas iš kompiuterio. Kai bandinys paleistas ir įvyksta smūginis kontaktas bandinio su

plokšte, rėmelio kritimas yra sustabdomas guminėmis kaladėlėmis, esančiomis kreipiančiųjų kabelių apačioje. Kaladėlių aukštis yra fiksuotas ir parinktas toks, kad rėmelis sustotų saugioje padėtyje, kurioje nesulūžtų, o bandinys atsitrenktų į plokštę taip, kaip kristų laisvojo kritimo pagreičiu. Analizės parametrą ir rezultatą fiksuoti, duomenų kaupimo ir apdorojimo sistema apima jutiklius, signalo stiprintuvą, duomenų rinkimo modulį, duomenų ekraną, apdorojimo kompiuterį. Plokštė, į kurią atsitrenkia kūnas gali būti pagaminta iš plieno, aliuminio arba kietos medienos. Po šia plokšte yra montuojami trys apkrovos jutikliai. Mažos masės akselerometrai ir įtempimų jutikliai yra montuojami bandinio viduje.

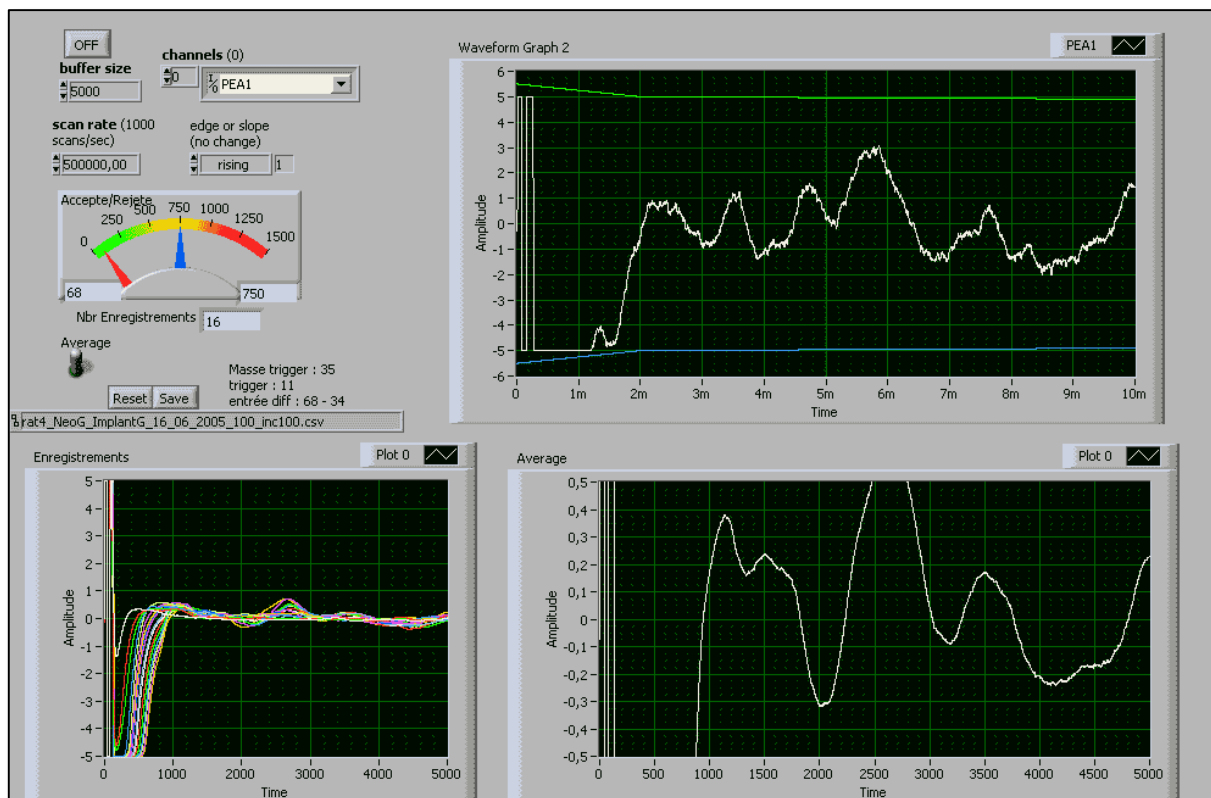


**1 pav.** Smūginės analizės staklių schema

Visi gaunami duomenys yra apdorojami specialiomis analizei skirtomis programomis. Viena iš tokių programų tai *LabVIEW* – grafinė programavimo platforma, kuri padeda inžinieriams nuo gaminio projektavimo iki testavimo tiek mažose, tiek didelėse skaičiavimo ir projektavimo sistemose. Programa siūlo precedento integraciją su esama legalia programine įranga. *LabVIEW* turi visus reikiamus programinius įrankius šios dienos inžinerinėms problemoms spręsti bei yra numatoma galimybė spręsti inovacinius ateities projektus greičiau ir efektyviau.

Turint tokią programą, visi smūginės analizės parametrai, tokie kaip dinaminės daviklių ir stiprintuvų ribos, duomenų rinkimo laikotarpiai ir paleidimo laikas, yra įvedami į *LabVIEW* programą

[5]. Suvedus parametrus atsiranda skaičiavimo pradžios mygtukas, kuris paleidžia elektromagnetą ir pradeda rašyti duomenys į duomenų fiksavimo sistemą. Surinkta testavimo analizė yra rodoma laiko ir dažnio kreivėmis bei įvairių stilių grafikais, diagramomis (2 pav.).



2 pav. LabVIEW programos išvestų rezultatų rodmenys

Tada duomenys yra saugomi tolimesniam sprendimui. Pagrindiniai dydžiai, tokie kaip smūgio jėgos dydis, kritimo greitis ir deformacijos yra apskaičiuojamos iš surinktos informacijos. Taigi tokiai smūginei analizei yra labai svarbu suprojektuoti unikalią testavimo sistemą, kuri galėtų keisti aukštį, posvyrio kampą X, Y ir Z ašimis ir kuo mažiau įtakotų sprendimą pašaliniais trikdžiais. Gauti duomenys yra kartojami keletą kartų, kol gaunami parametrų reikšmių vidurkiai. Surinkti duomenys gali būti naudojami kompiuterinės smūginės analizės modeliavimui netiesinio baigtinių elementų metodu atlikti.

Tokia mechaninė smūginė analizė pagal tiriamąjį objektą gali būti skirstoma į skirtingo pobūdžio skaičiavimus:

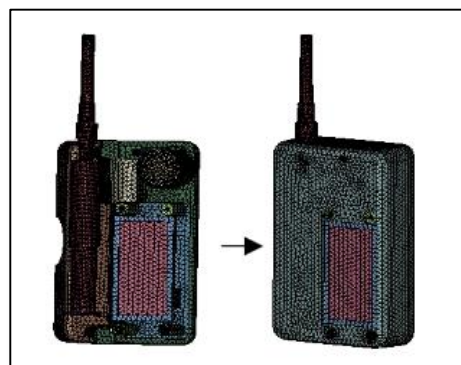
- Analizuojamas visas elektronikos prietaisas, t. y. pilnai surinktas prietaisas su visais jame esančiais komponentais. Toks metodas dažniausiai taikomas tada, kai gaminiui norima suteikti sertifikatą elektronikos standarto atitikimui. Ši analizė atliekama profesionaliose tyrimui skirtose laboratorijose;
- Analizuojama tik mikroschema. Šiuo atveju korpusas yra neaktualus. Atsižvelgiama į tai, kaip smūginė jėga gali paveikti mikroschemoje esančių detalių (procesoriaus, kondensatorių, varžų, diodų ir kt.) veikimą, litavimo vietų stiprumą, mikroschemos mechaninių savybių išlaikymą;
- Analizuojamas tik gaminio korpusas. Tokios analizės atliekamos ankstyvajame projektavimo etape, kai ieškoma silpniausių korpuso vietų veikiant smūginei apkrovai. Sprendimas eigoje pasiekiamas gero gaminio kokybės ir kainos santykiu.

## 1.2. Kompiuterinė smūginė analizė

Sprendžiant smūginę analizę kompiuteriniu metodu yra sutaupoma didelė dalis produkto gamybos kaštų ir projektavimo laiko lyginant su mechaniniu analizės tyrimu. Šiuo atveju tyrimui atlikti modeliuojamas erdvinis gaminio prototipas kompiuterinėje projektavimo programoje. Programos tiksliai apskaičiuoja paskirtus analizės uždavinius ir tinkamai parinkus skaičiavimo parametrus gaunami rezultatai atitinkantys bandymus realybėje.

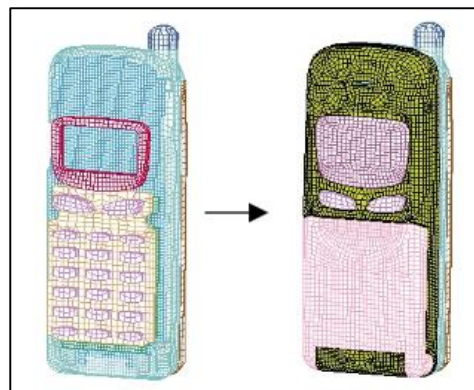
### 1.2.1. Baigtinių elementų metodas

Sprendžiant tokiu būdu sumodeliuotas įrenginys yra analizuojamas kaip modelis, paremtas baigtinių elementų metodo skaičiavimu. Šis metodas gali būti naudojamas plokštuminio ar erdvinio inžinerinių uždavinių sprendiniams gauti, įtraukiant įprastus ir dalinai kitokius skaičiavimus. Baigtinių elementų metodo metu visa konstrukcija arba sritys, kurioje ieškomi sprendiniai, yra skaidomi 3D kontinuumo elementais (3 ir 4 pav.). Šis skaitinis metodas



**3 pav.** Baigtinių elementų metodu išskaidytas insulino pompos korpusas [6]

suranda apytikslius integralinių ar diferencialinių lygčių dalinėmis išvestinėmis sprendinius. Gavus sprendinius, daroma prielaida, kad kiekviename elemente nagrinėjamas nežinomasis kinta tam tikru dėsniu ir diferencialinė lygtis jame pakeičiama į algebrinių lygčių sistemą. Apjungus visų baigtinių elementų sistemas gaunama sistema, kurią išsprendus yra gaunamas atsakymas. Kaip ir kiekvienas skaičiavimo metodas, tiek mechaninis, tiek kompiuterinis – baigtinių elementų metodas, turi privalumų ir trūkumų.



**4 pav.** Baigtinių elementų metodu išskaidytas mobiliojo telefono korpusas [6]

Baigtinių elementų metodo skaitmeniniu būdu privalumai:

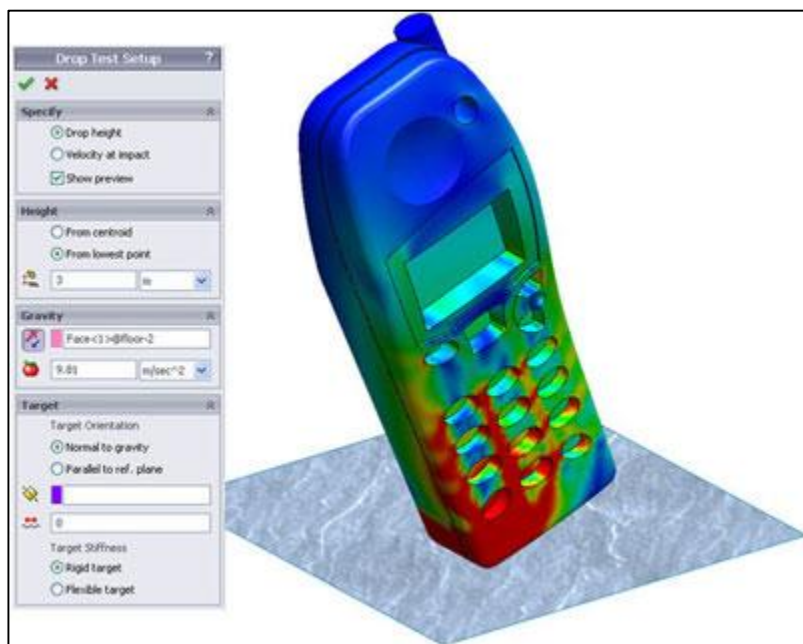
- Pagrindinis ir svarbiausias privalumas, lyginant su kitais skaičiavimo metodais, kad suteikia galimybę lengvai ir greitai skaičiuoti sudėtingų geometrijų konstrukcijas;
- Gali skaičiuoti įvairių tipų uždavinius: vienalytės medžiagos mechanikos, dinamikos, termodinamikos, skysčių mechanikos, elektrostatikos;
- Skaičiuoja sudėtingus kompleksinius uždavinius, t. y. neribotos geometrijos uždavinių sprendimas;
- Skaičiuoja kompleksinius jėgų uždavinius: taškinė apkrova (jėga koncentruota į konstrukcijos tašką), jėga orientuota į elemento paviršių (slėgis, šiluma, inercinė jėga ir kt.), apkrova su priklausomybe nuo laiko ar dažnio;

Baigtinių elementų metodo skaitmeniniu būdu privalumai:

- Nėra galimybės skaičiuoti uždaro tipo sistemų uždavinių, kad išnagrinėti kaip tokia sistema reaguoja į įvairių parametrų pokyčius;
- Baigtinių elementų metodas pateikia tik apytikslius skaičiavimų rezultatus;
- Baigtinių elementų metodas turi metodei būdingų klaidų;
- Vartotojo klaidos gali turėti didelę įtaką gautiems sprendimo rezultatams.

### 1.2.2. Smūginė analizės sprendimas *SolidWorks* programoje

Kaip ir buvo minėta anksčiau, šiuo metu yra platus programų spektras smūginės analizės uždaviniams spręsti. Viena iš tokių programinių sistemų, kuri tiksliai apdoroja įvairiausių tipų uždavinius yra *Dassault Systèmes* gamintojo sukurta *SolidWorks* programinė įranga (5 pav.) [7][8]. Ši įranga, tai trimačio projektavimo sprendimas, kuris apima visus projektavimo etapus:



**5 pav.** Mobiliojo telefono korpuso smūginės analizės sprendimo rezultatai *SolidWorks* programoje

- erdvinio modelio kūrimą ir jo pristatymą;
- gaminio mechanizmų kinematinčius skaičiavimus;
- gaminio mechanizmų dinaminius skaičiavimus;
- gaminio atskirų detalių bei mazgų stipruminius skaičiavimus, įskaitant ir įvairias jungtis bei atramas (varžtiniai bei suvirinti sujungimai, tamprus pagrindas ir t.t.);
- darbo dokumentacijos (brėžinių ir detalių sąrašų) kūrimą;
- vamzdynų bei elektros instaliacijos išvedžiojimą;
- projekto duomenų saugojimą ir bendrą naudojimą, pritaikant *Workgroup PDM* techninės dokumentacijos valdymo sistemas.

Smūginės analizės uždaviniams spręsti *SolidWorks* programoje yra skirta tokio tipo uždavinių sprendimo aplinka (*Drop Test*). Joje galima pasirinkti bei išmatuoti visus parametrus kaip ir mechaninės analizės metu. Norint gauti rezultatus yra atliekami tokie žingsniai:

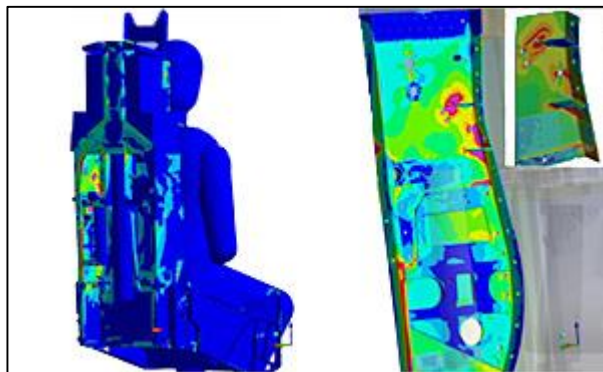
- 1) **Medžiagos priskyrimas.** Skaičiuojami konstrukcijai gali būti priskiriama linijinė elastingė arba tampriai – plastinė medžiaga. Priskiriant medžiagą pasirenkamas plastiškos medžiagos tipas (*Plasticity – Von Mises*), kadangi tiriamasis modelis kaip parodyta paveiksle yra mobiliojo telefono korpusas.
- 2) **Skaičiavimo parametrų nustatymas.** Analizei atlikti gali būti nustatomas aukštis, iš kurio kris korpusas, kritimo greitis, gravitacijos jėga veikianti korpusą ir kt. Parametrų parinkimas priklauso nuo bandymo sąlygų ir numatomų rezultatų tipo. Bet kuriuo skaičiavimo atveju, neatsižvelgiama į tai, kad krentantis objektas iki kontakto su paviršiumi turi galimybę sukurti aplink savo ašį veikiamas oro ir kitų išorinių jėgų. Skaitoma, kad tiriamasis objektas pradės judėti tik tada, kai atsitrenks į paviršių. Taip yra todėl, kad visas skaičiavimo procesas vyksta vakuume ir nėra jokių objektą veikiančių jėgų, tokių kaip vėjo pasipriešinimas.
- 3) **Rezultatų išvedimas.** Rezultatams gauti yra galimybė nustatyti kritimo laiką ir pasirinkti rezultatų tipą. Kaip pvz., norint gauti maksimalias įtempių, kurie atsiranda iškart po korpuso susidūrimo su paviršiumi, reikšmes, laikas yra nustatomas tik 50 micro sekundžių. Taip pat yra galimybė nustatyti nuo kada pradėti rodyti rezultatus, t. y. nebūtinai reikia išvesti rezultatus nuo objekto kritimo pradžios, kadangi rezultatai iki kontakto su paviršiumi yra neinformatyvūs.
- 4) **Korpuso skaidymas baigtinių elementų metodu.** Skaidymą baigtiniai elementais galima pasirinkti pagal tai, kokio tikslumo rezultatus norima pamatyti. Jei numatomos didelės deformacijos ar didelis įtempių pasiskirstymas konstrukcijoje, tada privalu pasirinkti kuo tankesnę baigtinių elementų tinklą.
- 5) **Analizės paleidimas.** Suvedus visus parametrus skaičiavimas paleidžiamas vieno mygtuko paspaudimu.
- 6) **Rezultatų apdorojimas.** Pateiktus rezultatus galima animuoti, o visą ciklą išsaugoti vėlesnei peržiūrai. Papildomai yra numatyta galimybė išskirti plotą, į kurį būtų orientuotas vaizdas, bei galimybė stebėti rezultatą tik tam tikrame taške pridendant stebėjimo tašką. Jei rezultatų programa nerodo, tikrinamas analizės parametrų nustatymas.
- 7) **Taikytini analizės parametrų tikslinimo būdai.** Kuo tikslesniems kontaktams gauti, tarp surinkimo vienetų yra nurodomas sąlyčio tipas: klijuotas, kontaktas įvertinant trintį bei neįvertinant jos ir pñš.. Būtinai nustatyti ir paviršiaus, į kurį atsitrenkia kūnas, mechanines



charakteristikas. Pagal nutylėjimą tai būna standžios sienos medžiaga, kuri tinkamai imituoja standų paviršių.

### 1.2.3. Smūginės analizės sprendimas *Ansys* programos *Workbench* aplinkoje

Kita tokio tipo uždaviniams spręsti programa tai *Ansys Mechanical* programinė įranga, kuri yra išsamus baigtinių elementų analizės įrankis struktūrinei analizei, įskaitant linijinius, netiesinius ir dinامينius uždavinius [9]. Šis inžinerinis modeliavimo produktas suteikia galimybę pilnai išspręsti nagrinėjamų elementų elgesį veikiant išorinėms apkrovoms, materialinių modelių ir jų lygčių sprendimą dėl įvairių mechaninių projektavimo problemų (6

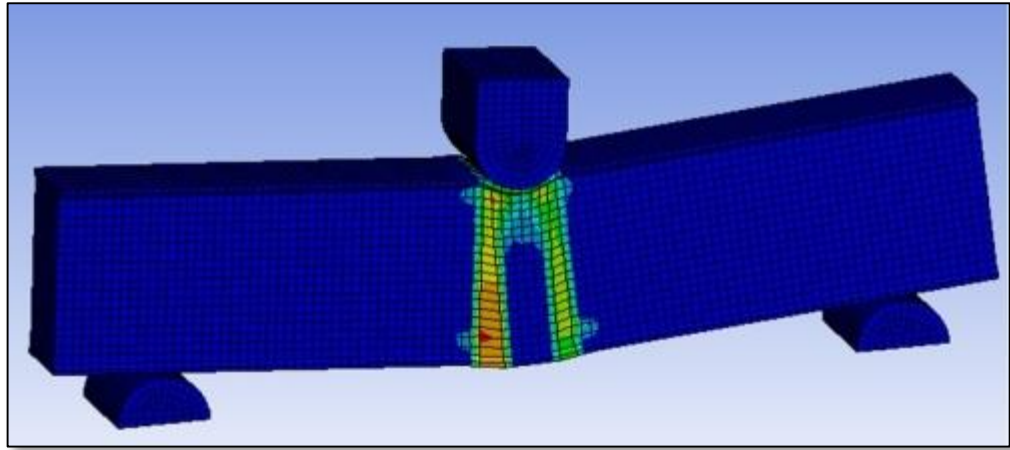


**6 pav.** Lėktuvo automatinio parašiuo mechanizmo smūginės analizės sprendimo rezultatai *Ansys Mechanical* programoje

pav.). Be viso šito yra galimybė spręsti termodinamikos ir kompleksinius uždavinius, kai vykdoma akustinė, pjezoelektrinė, šiluminė mechaninė ir šiluminė elektrinė analizė.

Smūginės analizės uždaviniams spręsti yra naudojama *Ansys Workbench* sprendimo aplinka. Tai yra bene pagrindinė sprendimo platforma, kuri vienija šiuo metu pirmaujančių pažangių technologijų sferą. Inovatyvus schematinis metodas leidžia spręsti netik vieno tipo uždavinius, o kartu ir kompleksinius, kai yra apjungiamas ne vieno tipo uždavinys. Naudojant dvikrypčius parametrinio automatizuoto projektavimo ryšius, ypač tikslų ir automatinį konstrukcijos skaidymą baigtinių elementų metodu, automatinio projekto lygio atnaujinimo mechanizmą, visų sprendimo metu esančių parametrų valdymą ir integruotus optimizavimo įrankius, *Ansys Workbench* suteikia precedento produktyvumą, apjungiant proceso surinkimą ir imitavimą – valdymą produkto kūrimo stadijoje. Šioje sprendimo terpėje yra daugelio tipo sprendimo uždavinių.

Būtent smūginei analizei atlikti yra naudojamas *Explicit Dynamics* tipo sprendimas, kuris yra paremtas *Lagranžo* teoremomis. Šis sprendimas taikomas tik struktūriniais sprendimams rasti su galimybe spręsti kelis fizikinius reiškinius viename uždavinyje, įskaitant elektros, mechanikos, termodinamikos ir skysčių dinamikos tipo uždavinius.



7 pav. Sijos elemento smūginės analizės sprendimo rezultatai *Ansys Mechanical* programoje

*Explicit Dynamics* yra naudojama tokiems uždaviniams spręsti:

- Smūginė analizė (elektronika ir plataus vartojimo prekės);
- Smulkių kietųjų kūnų dalelių poveikio analizė struktūrinėms medžiagoms įskaitant greitį (sporto prekės, aviacijos pramonė);
- Netiesinė plastiko lenkiamo analizė (gamybos procesai);
- Pilno medžiagos sunaikinimo analizė (karinės gynybos ir saugumo pramonė);
- Kontaktinių vietų, tokių kaip klijų ar suvirinimo siūlių, trūkio analizė (elektronikos ir transporto pramonė).

Kaip ir mechaninėje smūginėje analizėje, sprendimo tipas, kraštinių sprendimo sąlygų nustatymas atliekamas identišškai kompiuterinėje programoje [10].

- 1) **Modelio importavimas iš CAD sistemos.** Nagrinėjamu atveju erdvinis modelis yra importuojamas į *ANSYS* programinę įrangą. Galimas importavimas iš daugelio erdvinio projektavimo programų tokių kaip *CATIA*, *SolidWorks*. *Ansys* turi visiškai suderintą integraciją su šiomis programomis ir tiesioginį modelio redagavimą realiu laiku, kai modelis redaguojamas projektavimo programoje, o visi atlikti pakeitimai keičiasi ir *Workbench* aplinkoje.

2) **Medžiagos priskyrimas.** Skaičiuojamai konstrukcijai gali būti priskiriama linijinė elastingė arba tampriai – plastinė medžiaga. Priskiriant medžiagą pasirenkamas plastiškos medžiagos tipas savybės, kadangi tiriamasis modelis kaip pateiktas pavyzdyje (8 pav.) yra mobilus traukinio bilietų skenavimo įrenginys.

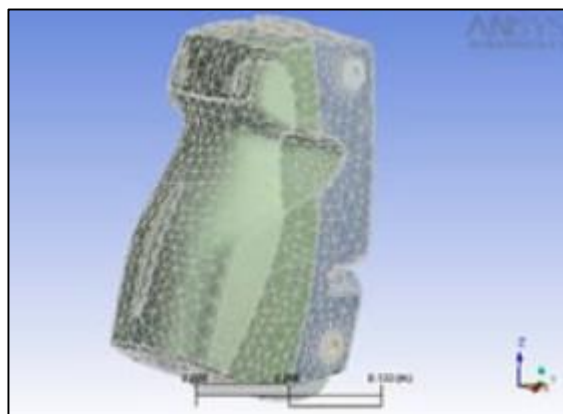


8 pav. Realus bilietų skenavimo įrenginio vaizdas

3) **Skaičiavimo parametrų nustatymas.** Panašiai kaip ir *SolidWorks* programoje, skaičiavimams atlikti gali būti nustatomas aukštis, iš kurio kris korpusas, kritimo greitis, gravitacijos jėga veikianti korpusą ir kt. Parametrų parinkimas priklauso nuo bandymo sąlygų ir numatomų rezultatų tipo. Bet kuriuo skaičiavimo atveju, neatsižvelgiama į tai, kad krentantis objektas iki kontakto su paviršiumi turi galimybę sukstis aplink savo ašį veikiamas oro ir kitų išorinių jėgų. Skaitoma, kad tiriamasis objektas pradės judėti tik tada, kai atsitrenks į paviršių. Taip yra todėl, kad visas skaičiavimo procesas vyksta vakuume ir nėra jokių objektą veikiančių jėgų, tokių kaip vėjo pasipriešinimas.

4) **Rezultatų išvedimas.** Rezultatams gauti yra galimybė nustatyti kritimo laiką ir pasirinkti rezultatų tipą (deformacijos, įtempiai, vidutinės gautų rezultatų reikšmės). Taip pat yra galimybė nustatyti skaičiavimo laiką ir jo intervalą, t. y. nuo kokio momento pradėti skaičiavimus ir kada juos baigti. Šiuo atveju korpusas kris iš 1500 mm aukščio ir bus ieškamos visos deformacijos bei ekvivalentiniai įtempiai tam, kad surasti silpnąsias korpuso vietas ir sužinoti kaip deformuosis konstrukcija po smūginės jėgos poveikio.

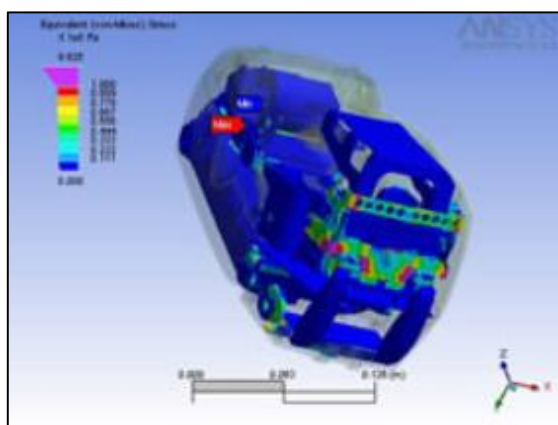
5) **Korpuso skaidymas baigtinių elementų metodu.** Skaidymą baigtiniais elementais galima pasirinkti pagal tai, kokio tikslumo rezultatus norima pamatyti. Jei numatomos didelės deformacijos ar didelis įtempių pasiskirstymas konstrukcijoje, tada privalu pasirinkti kuo tankesnę baigtinių elementų tinklę. Šiuo nagrinėjamu atveju pasirenkamas ypač tankus baigtinių elementų tinklėlis (9 pav.), kad būtų gauti kuo tikslesni skaičiavimo rezultatai.



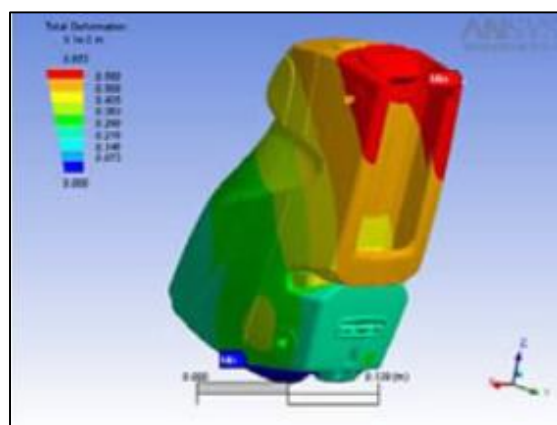
9 pav. Išskaidyto baigtinių elementų metodu korpuso vaizdas

6) **Analizės paleidimas.** Suvedus visus parametrus skaičiuojamieji uždaviniai paleidžiami vieno mygtuko paspaudimu.

- 7) **Rezultatų apdorojimas.** Pateiktus rezultatus galima animuoti, o visą ciklą išsaugoti vėlesnei peržiūrai ar sukurti pristatomąjį jėgos poveikio konstrukcijai filmuką. Papildomai yra numatyta galimybė stebėti rezultatą tik tam tikrame taške pridėdant stebėjimo tašką. Jei rezultatų programa nerodo, tikrinamas analizės parametrų nustatymas. Atsitikus programos klaidai, yra pranešama ką reikia keisti konstrukcijoje ar kas buvo praleista analizės parametrų nustatymuose. Gauti rezultatai – ekvivalentinių *Von Mises* įtempių pasiskirstymas konstrukcijoje (10 pav.) ir deformacijų diagrama (11 pav.) parodo pavojingiausias vietas, kurias labiausiai veikia smūginė jėga. Turint tokius rezultatus yra priimami korpuso geometrijos tobulinimo žingsniai.



**10 pav.** Ekvivalentinių įtempių, po smūgio, pasiskirstymo korpuse



**11 pav.** Deformacijų, po smūgio, pasiskirstymas korpuse

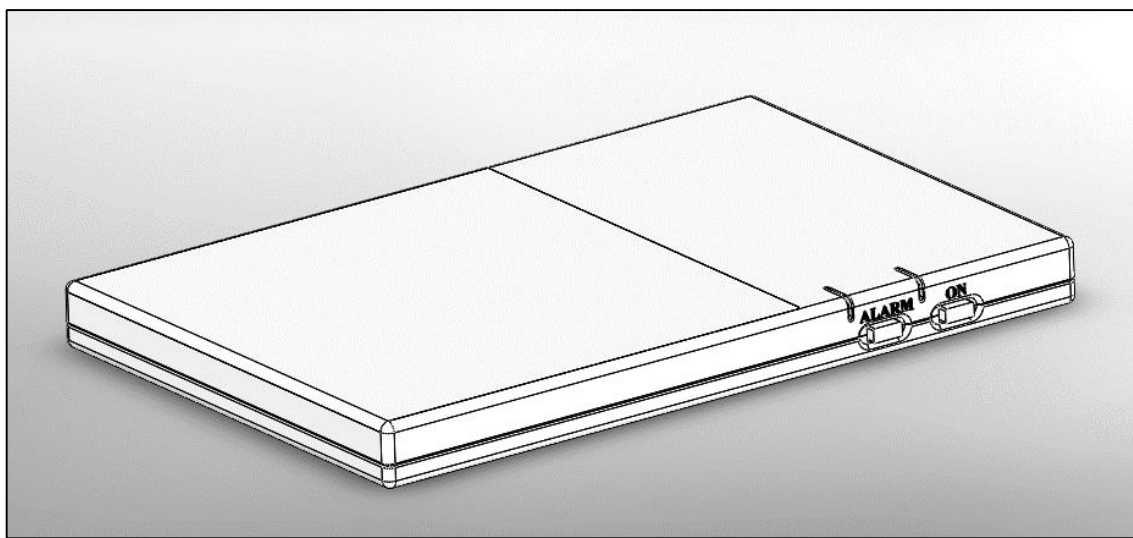
- 8) **Taikytini analizės parametrų tikslinimo būdai.** Kuo tikslesniems rezultatams gauti, tarp surinkimo vienetų lietimosi paviršių tarpusavyje yra nurodomas sąlyčio tipas: klijuotas, fiksuotas, kontaktas įvertinant trintį ar neįvertinant jos ir pñš.. Rekomenduojama nustatyti ir paviršiaus, į kurį atsitrenkia kūnas, mechanines charakteristikas. Pagal nutylėjimą tai būna konstrukcinio plieno savybių medžiaga.

## 2. PROJEKVINĖ DALIS

Projektinėje dalyje aprašomas smūginės analizės tiriamasis įrenginys: jo funkciniai parametrai, mechaninės savybės, surinkimo vienetų komponentai ir paruošiamojo prototipo erdvinio modelio skirtumai nuo realaus bei planuojamo gaminti gaminio.

### 2.1. Įrenginio aprašymas

AT3000 (12 pav.) – tai unikalus GPS seklys su integruota GLONASS/GPS/GALILEO kompleksine padėties nustatymo sistema.. Integruotas GSM modemas (800/900/1800/1900 MHz) naudojamas duomenų išsiuntimui ir gavimui. Prietaisas puikiai tinka toli esančių objektų stebėjimui ir sekimui. Naudodami AT3000 galima sekti toli esančius objektus (vilkikus, automobilius ir kitas transporto priemones) labai paprastai. Netgi tuo atveju, kai GSM signalas yra prarandamas, prietaisas gali išsaugoti virš 16 000 įrašų į vidinę atmintį. Kai tik GSM signalas vėl yra pagaunamas, prietaisas visus duomenis persiunčia į serverį naudodamas GPRS duomenų perdavimą. Tai garantuoja, kad nebus prarasti jokie duomenys (koordinatės, jutiklių parodymai ir t.t.) tose vietovėse, kur GSM ryšys nėra galimas.



12 pav. GPS seklio AT3000 erdvinis modelis *Solidworks* programos aplinkoje

## 2.2. Konstrukcija

Visi gaminio (14 pav.) korpuso surinkimo vienetai yra liejami iš ABS+PC plastiko. ABS + PC medžiaga (13 pav.) – tai polikarbonato (ABS) ir akrilnitrilo butadienio (PC) mišinys [11], pasižymintis ypač geru apdirbamumu ir mechaninėmis savybėmis bei atsparumu smūgiams ir karščiui. Tokie mišiniai plačiai naudojami automobilių,

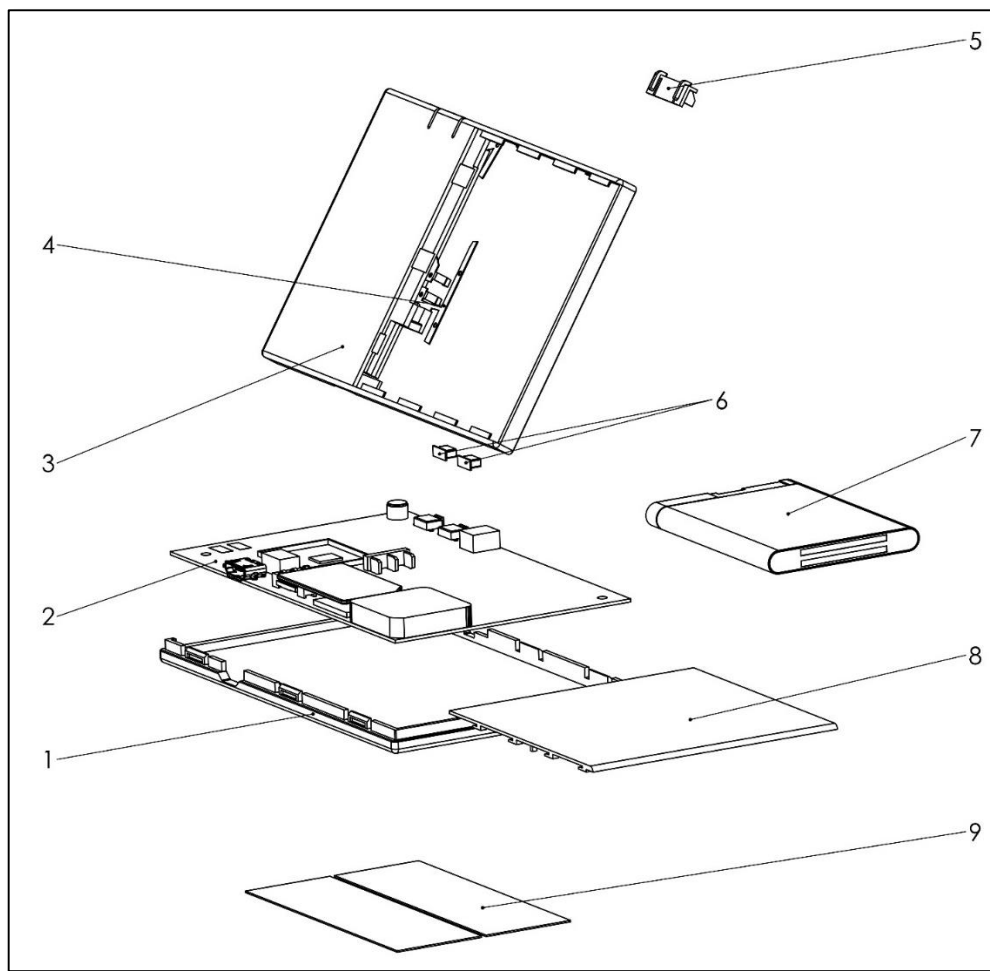


13 pav. ABS + PC medžiagos struktūros vaizdas

elektronikos ir telekomunikacijų srityse. ABS + PC medžiaga yra tinkamiausia konceptualaus modeliavimo, funkcinių prototipų, gamybos įrankiams bei galutiniam vartotojui skirtų prekių gamybai.

Korpusas, kurio dalių brėžiniai pateikti prieduose, projektuotas taip, kad būtų išvengta tvirtinimo varžtais, todėl pasirinkti fiksuojamieji kabliukai, kurie užtikrina patikimą pagrindo – 1 ir viršutinio dangtelio – 3 sujungimą. PCB plokštė (mikroschema) – 2 korpuse tvirtinama ant centravimo kūgių, kurie suvaržo PCB judėjimą X,Y,Z kryptimis. GSM antena – 4 projektuojama taip, kad būtų tvirtinama viršutiniame korpuso dangtelyje. Tokiu atveju, antena užima mažiau vietos ir suteikia galimybę suprojektuoti plonesnį korpusą. Antenos tvirtinimas atliekamas korpuso stovelių lydimu prie antenos. Korpuso stoveliai, skirti antenos tvirtinimui, yra liejami kartu su korpuso dangteliu. Šviesolaidis - 5 yra skirtas LED'ų indikacijos nukreipimui ir didesniam šviesos srautui paskirstyti. Dangtelis – 8, skirtas norint pakeisti bateriją ar SIM kortelę. Tokiu atveju nereikia ardyti viso korpuso. Magnetinės juostos – 9, kurios pagamintos iš super magnetų, yra reikalingos prietaiso tvirtinimui prie metalinio paviršiaus.

Visi elektronikos komponentai yra apjungiami kontaktiniais takeliais mikroschemoje, kuri dar vadinama PCB plokšte. PCB (*Printed Circuit Board*) plokštė – tai spausdintinė elektroninė plokštė [12], mechaniškai palaikanti ir elektriškai jungianti elektronikos komponentus naudojant laidžius takelius, kontaktines aikšteles ir kitais jungiamaisiais būdais. Visi jungiamieji takeliai ir kiti jungiamieji kontaktai yra išgraviruojami iš vario lakštų ir viskas įlaminuojama ant nelaidaus elektrai pagrindo.



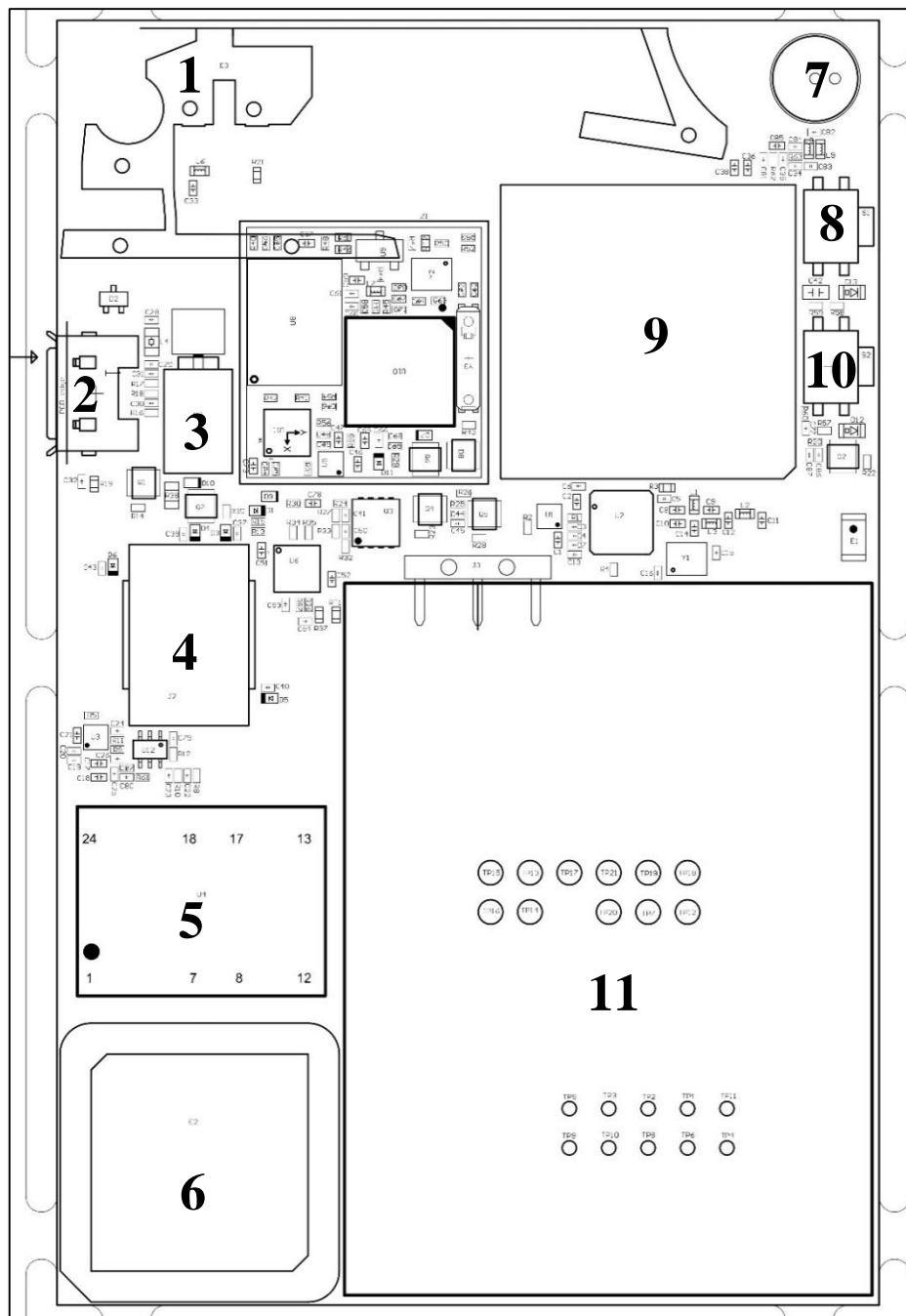
**14 pav.** Įrenginio surinkimo komponentų vaizdas

### 2.2.1. PCB plokštė (mikroschema) ir jos komponentai

Įrenginio projektavimui priklausanti mikroschema (15 pav.) su komponentais susideda iš daugybės elektronikos detalių, kurių didesnių gabaritinių matmenų ir individualaus funkcionalumo yra aprašytos žemiau:

- 1) GSM antena – skirta priimti ir transliuoti mobiliojo ryšio signalą;
- 2) MicroUSB jungtis – skirta sąsajai su išoriniais įrenginiais duomenų perdavimui;
- 3) Vibro signalo indikatorius – signalo daviklis, kuris vibruodamas informuoja vartotoją apie gaminio išsikrovimą;
- 4) Sim kortelės laikiklis – individualios konstrukcijos SIM kortelės jungtis;
- 5) GPS imtuvas – kaupiklis geo-zonomams fiksuoti ir jas perduoti realiu laiku;
- 6) GPS antena – GPS signalo daviklis, gebantis retransliuoti tikslias buvimo koordinates realiu laiku;

- 7) Mikrofonas – imtuvas, skirtas garso įrašymui pavojaus atveju;
- 8) ON/OFF mygtukas – mygtukas, skirtas įrenginio įjungimui ir išjungimui;
- 9) GSM modemas – mobilaus ryšio moduliatorius;
- 10) Baterija – energijos šaltinis;



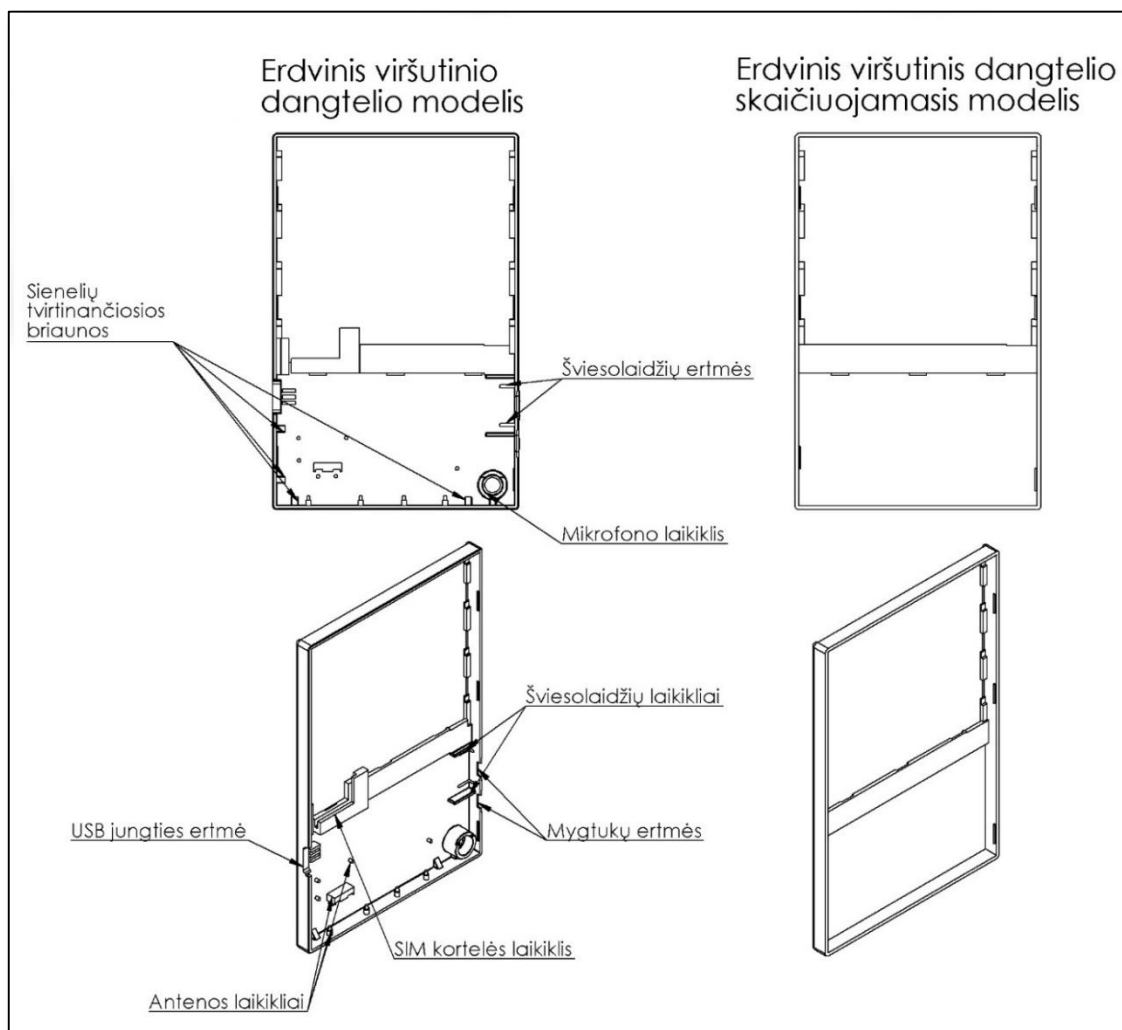
15 pav. PCB plokštės schema



### 2.3. Korpuso prototipo konstrukcija

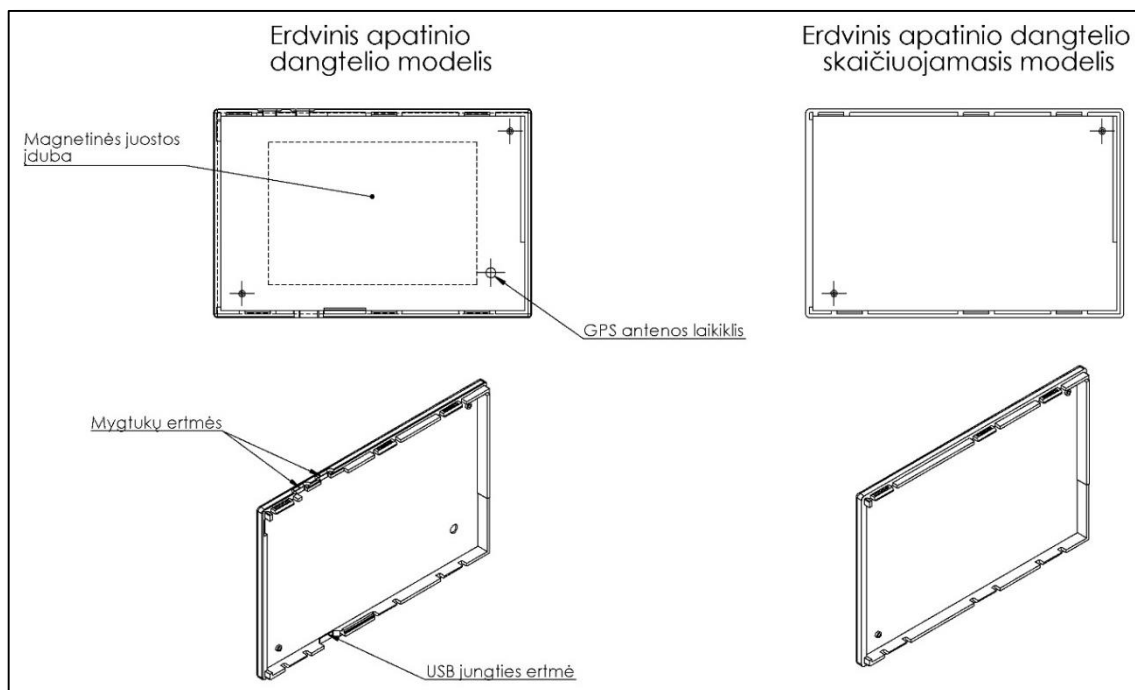
Smūginei analizei atlikti nėra reikalingas erdvinis korpuso modelis, kuris atitinka realybę, todėl yra projektuojamas korpuso prototipas, kurio detalių brėžiniai pateikti prieduose. Tam, kad surasti pavojingiausias gaminio vietas, galinčias paveikti ar kitaip sugadinti įrenginį, pakanka palikti tik tas korpuso konstrukcines vietas, kurios įtakos skaičiavimus. Kitos konstrukcinės ir nereikšmingos korpuso vietos yra šalinamos:

- Viršutiniame korpuso dangtelyje (16 pav.) yra pašalinamos sienelių tvirtinančiosios briaunos, šviesolaidžių ertmės ir laikikliai, USB jungties ir mygtukų ertmės, bei SIM kortelės, antenos ir mikrofono laikikliai;



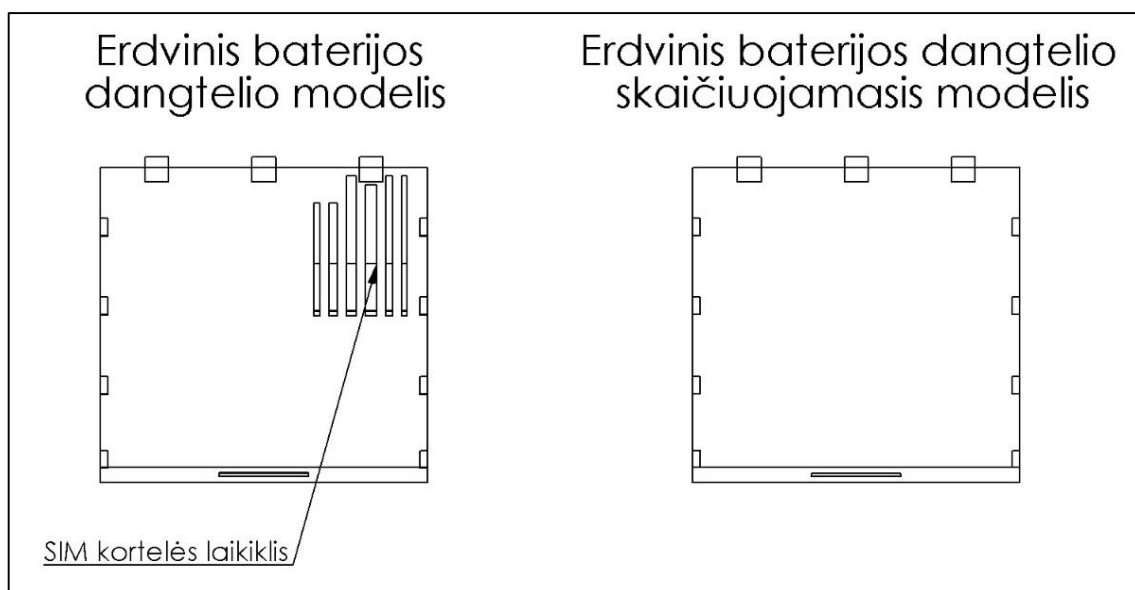
16 pav. Viršutinio dangtelio modifikacija prototipui gauti

- Apatiniame korpuso dangtelyje (17 pav.) šalinamas GPS antenos laikiklis, USB jungties ir mygtukų ertmės, magnetinės juostos įduba;



**17 pav.** Apatinio dangtelio modifikacija prototipui gauti

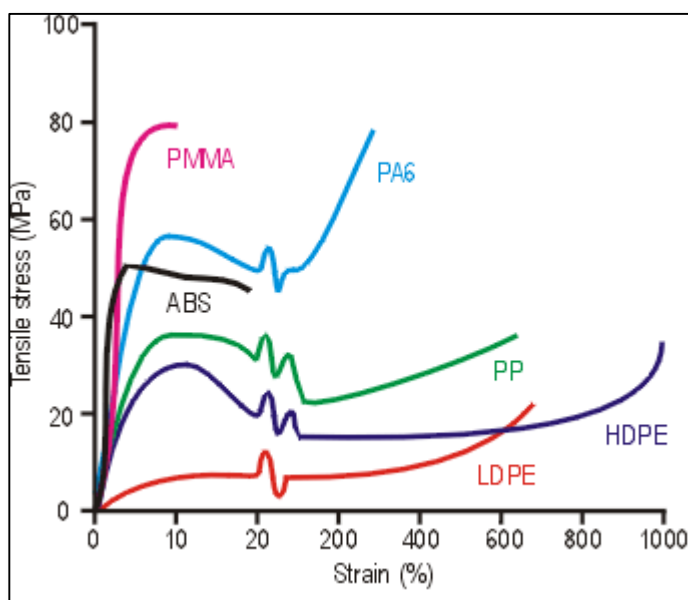
- Baterijos dangtelyje šalinami SIM kortelės laikikliai, nes jie taip pat neturi įtakos korpuso skaičiavimų rezultatams;



**18 pav.** Baterijos dangtelio modifikacija prototipui gauti

### 3. TIRIAMOJI DALIS

Šiame skyriuje aprašomi smūginės analizės vykdymo žingsniai ir gauti rezultatai, kurie yra lyginami su plastiko mechaninėmis charakteristikomis ir polimerų įtempių – deformacijų kreivėmis (19 pav.). Remiantis šiomis kreivėmis nustatoma ar gauti rezultatai leidžia teigti, kad korpusas išlaikys savo mechanines savybes.

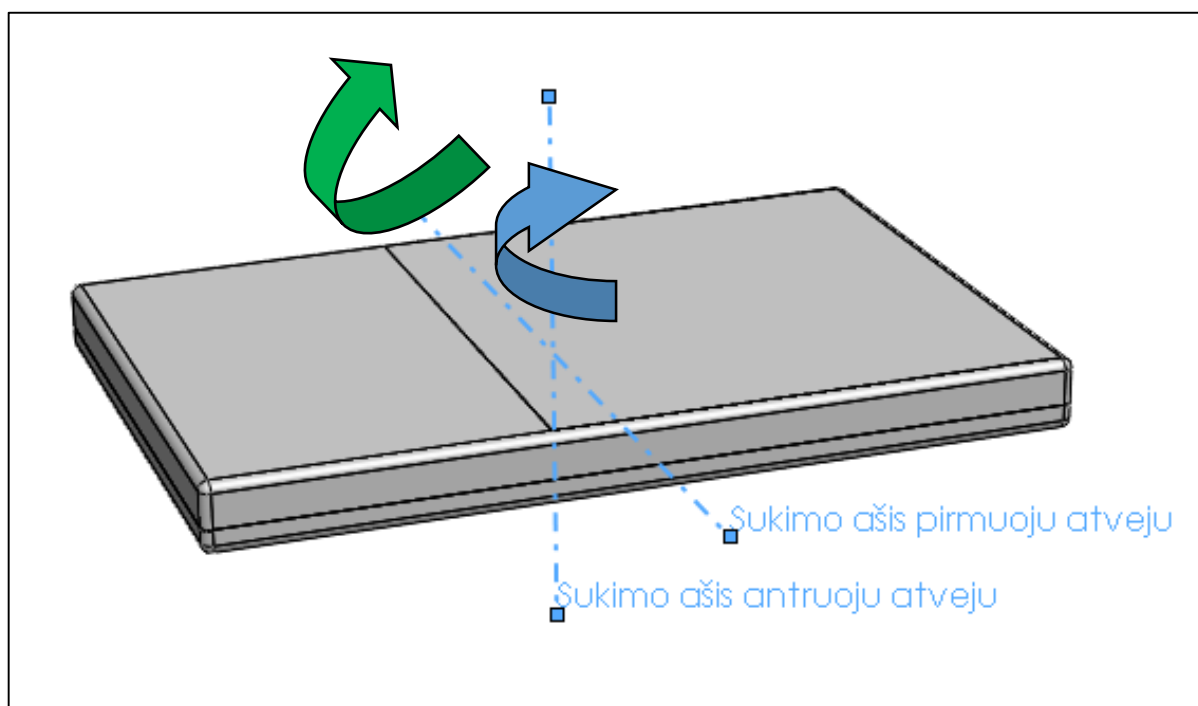


19 pav. Polimerų įtempių - deformacijų kreivės [13]

Šiuo atveju yra aktuali ABS plastiko kreivė. Skaičiavimai yra atliekami keturiais etapais:

- 1) Tyrimas atliekamas korpusui su mikroschema, kai korpusas krenta iš 1500 mm aukščio kampais į plokštumą nuo 0° iki 360° kampais, verčiant korpusą apie skersinę korpuso ašį kampais su 45° laipsnių intervalais (20 pav. žalia rodyklė);
- 2) Tyrimas atliekamas korpusui su mikroschema, kai korpusas krenta iš 1500 mm aukščio kampais į plokštumą nuo 0° iki 360° kampais, verčiant korpusą apie šonines korpuso sienes kampais su 45° laipsnių intervalais (20 pav. mėlyna rodyklė);
- 3) Pagal gautus rezultatus, kampu, kuriame buvo gauti vieni iš didžiausių įtempių atlikus skaičiavimus per pirmus du punktus, korpusui su mikroschema atliekami pakartotiniai skaičiavimai keičiant kritimo greitį, t. y. kritimo aukštį nuo 1500 mm iki 3500 mm, remiantis realiomis situacijomis;

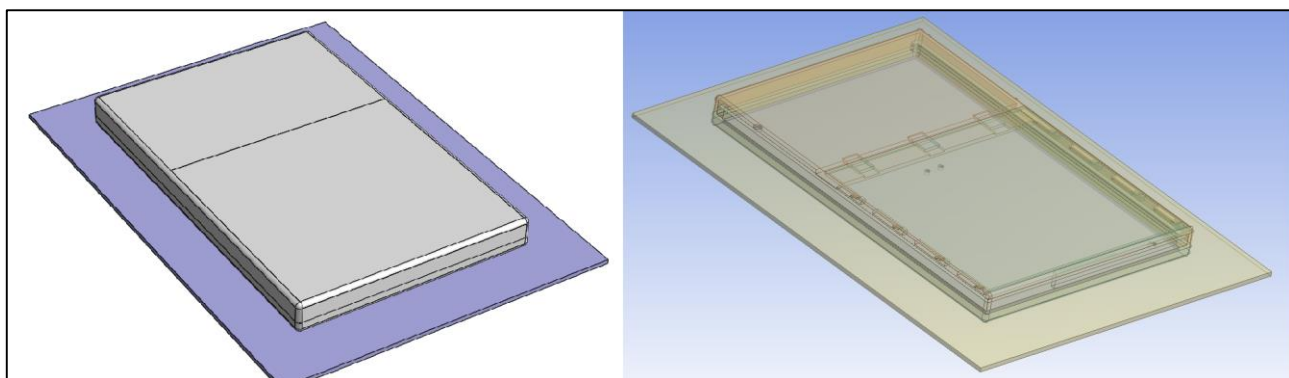
- 4) Korpusui atliekami konstrukcijos pakeitimai didžiausiose įtempių atsiradimo vietose ir pakartojami skaičiavimai pavojingiausiu kritimo kampu.



**20 pav.** Tyrimo skaičiavimo schemos

Pirmuoju ir kitais etapais tyrimų atlikimo žingsniai yra panašūs:

- 1) Importuojamas prototipo erdvinis modelis iš *Solidworks* programos į *Ansys Workbench* skaičiavimų aplinką (21 pav.). Prieš importuojant sukuriamas plokščias paviršius, kuris bus fiksuotas ir į jį trenksis tiriamasis objektas. Pradinis kampas, t. y.  $0^\circ$  laipsnių nustatoma padėtis, kai korpuso dugnas yra lygiagretus fiksuotai plokštumai. Atstumas tarp korpuso apatinės plokštumos ir paviršiaus, į kurį kris, nustatomas 1mm, kadangi svarbus yra tik pats smūgis, o ne kelias iki susidūrimo su plokštuma. Apskaičiuojant kritimo greitį bus atsižvelgta į realų atstumą;



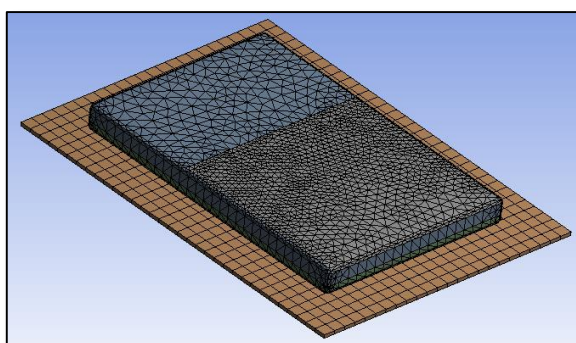
**21 pav.** Erdvinio modelio vaizdas: kairėje – *Solidworks*, dešinėje – *Ansys Workbench* aplinkoje

- 2) Tiriamajam modeliui programoje kiekvienai detalei priskiriama medžiaga. Korpuso plastikinėms detalėms priskiriamos PC + ABS plastiko (22 pav.), mikroschemai – spausdinto montažo plokštės, paviršiumi, į kurį atsitrenks prototipas – konstrukcinio plieno mechaninės charakteristikos. Plastiko aprašymas *ANSYS* programoje pateiktas prieduose;

Mechanical properties			
Stress at yield	ISO 527	75	MPa
Tensile strength	ISO 527	75	MPa
Elongation at break	ISO 527	2	%
Tensile modulus	ISO 527	6000	MPa
Ball pressure hardness	ISO 2039-1	125	MPa
Standard for ball pressure hardness		H358/30	
Izod notched impact strength at 23 °C	ISO 180/1A	9	KJ/m <sup>2</sup>

**22 pav.** PC + ABS plastiko mechaninės charakteristikos

- 3) Skaičiuojamasis analizės modelis yra skaidomas baigtinių elementų metodu (23 pav.);



**23 pav.** Erdvinis modelis suskaidytas baigtinių elementų metodu

- 4) Pridedamos kraštinės skaičiavimų sąlygos (24 pav.). Fiksuojama plokštuma, imituojanti žemę, nurodomi komponentų sąlyčio tipai – plastikui priskirtas kontaktas neįvertinant trinties, mikroschemai su plastiką priskirtas suklijuotas kontaktas. Pridedamas kritimo greitis analizės modeliui. Greitis apskaičiuojamas iš laisvojo kritimo pagreičio su kinetine energija sąryšio [14][15]:

$$mgh = \frac{mv^2}{2};$$

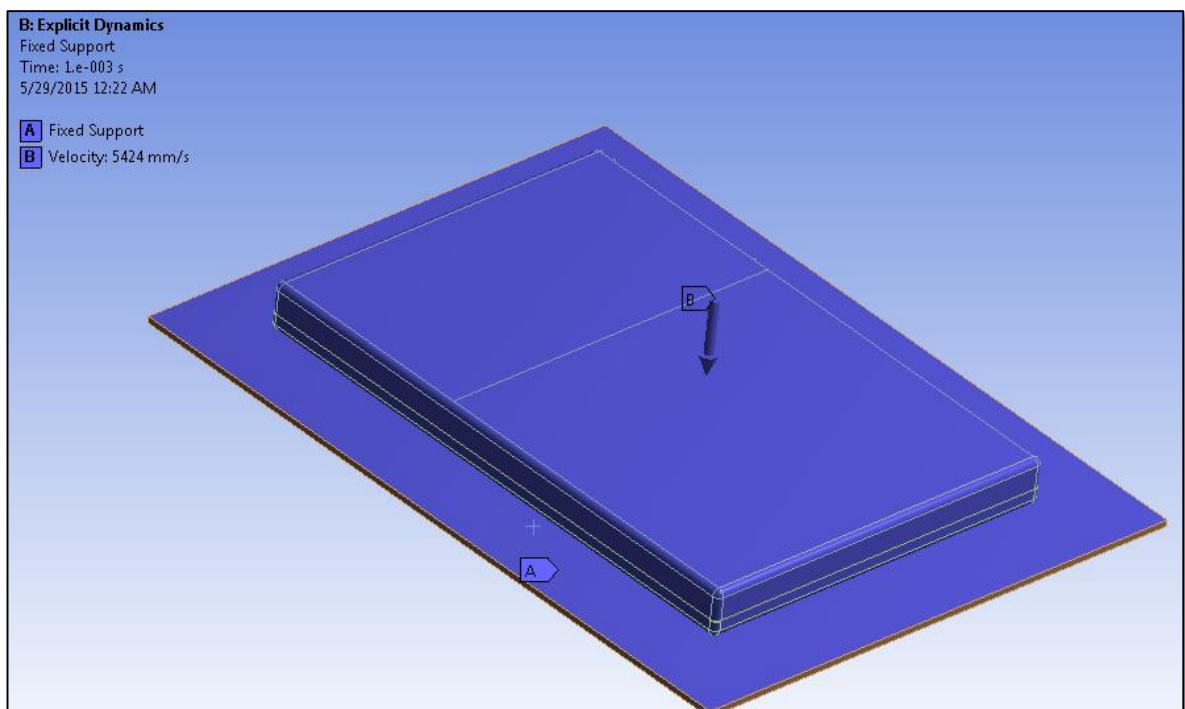
$$v = \sqrt{2gh};$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5} = 5,424 \text{ m/s}.$$

*Kur*  $v$  – kritimo greitis;

$g$  – laisvojo kritimo pagreitis –  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;

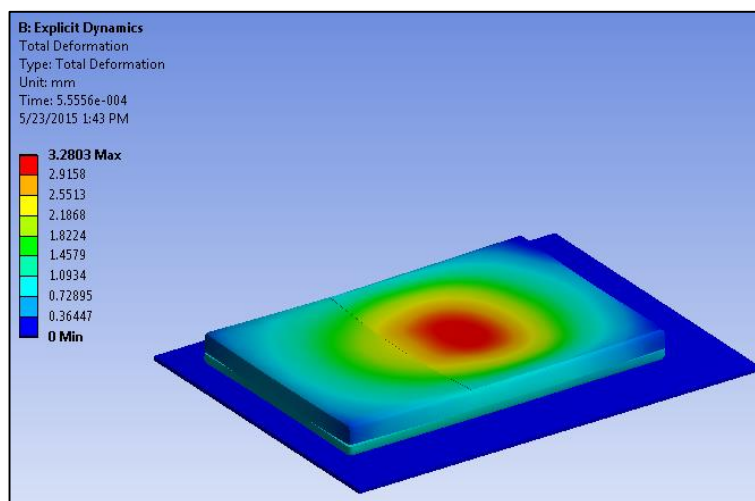
$h$  – aukštis, iš kurio krenta tiriamasis objektas –  $1,5 \text{ m}$ .



**24 pav.** Skaičiuojamoji tyrimo schema su nustatytais kraštinėmis sąlygomis

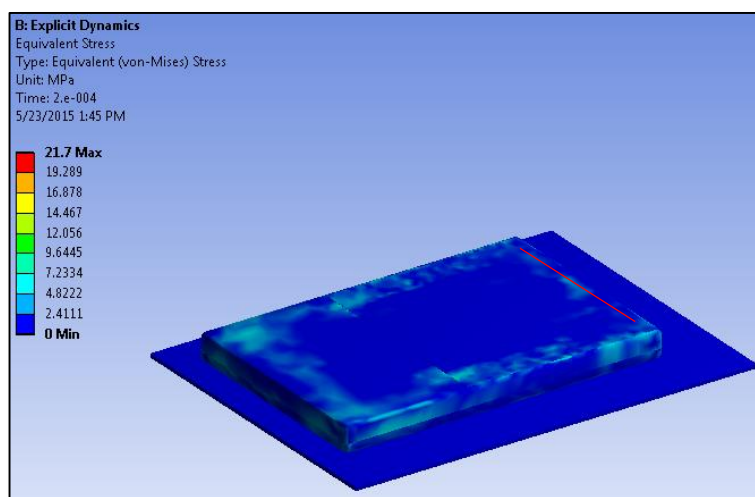
5) Sprendžiamas uždavinys ir gaunami rezultatai:

- Deformacijos: Programa deformacijas (25 pav.) fiksuoja kaip judėjimą vienos komponento kito atžvilgiu, todėl rezultatai skaičiavimams reikalingi tik kontakto metu. Šiuo atveju deformacijos prisilietus prie plokštumos yra 0,81301 mm.



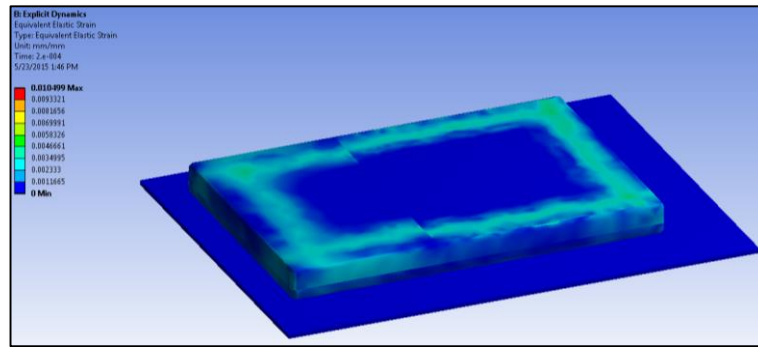
25 pav. Pasiskirsčiusios deformacijos kontakto metu

- Ekvivalentiniai *Von Mises* įtempiai (26 pav.) siekia 21,7 MPa, o didžiausia jų koncentracija pasiskirsčiusi viršutiniame korpuso surinkimo vienetė ties baterijos dangtelio atramomis (pažymėta raudonai).



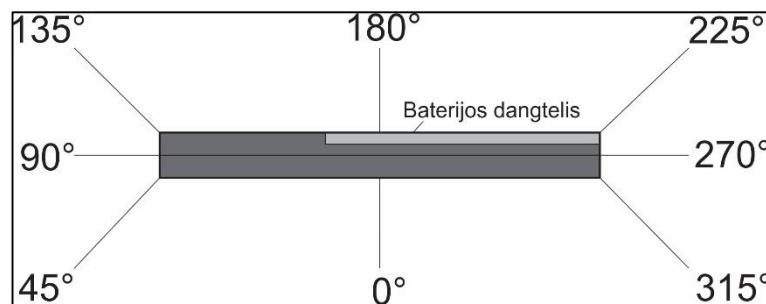
26 pav. Ekvivalentinių *Von Mises* įtempių pasiskirstymas smūginio kontakto metu

- Plastinės deformacijos (27 pav.) smūgio metu, kai įvyksta kontaktas, siekia 0,010449 mm/mm ir vyrauja viršutinėje korpuso dalyje.



**27 pav.** Plastinių deformacijų vaizdas smūgio metu

- 6) Sekančiam ir kitiems žingsniams yra sudaroma skaičiavimo schema (28 pav.). Prototipas yra paverčiamas 45° laipsnių kampų intervalais iki kol pasiekama 360° laipsnių. Visų kampų rezultatų reikšmės pateiktos 1 lentelėje, o juos iliustruojantys *Ansys* programos grafikai pateikti prieduose. Plastinės deformacijos grafikuose išreikštos procentine išraiška.



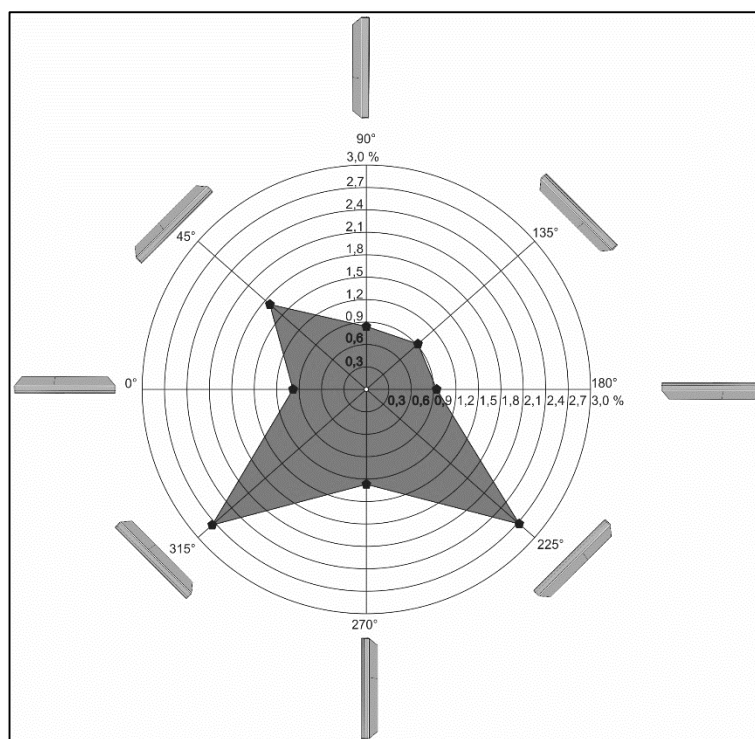
**28 pav.** Skaičiuojamoji kampų intervalų schema



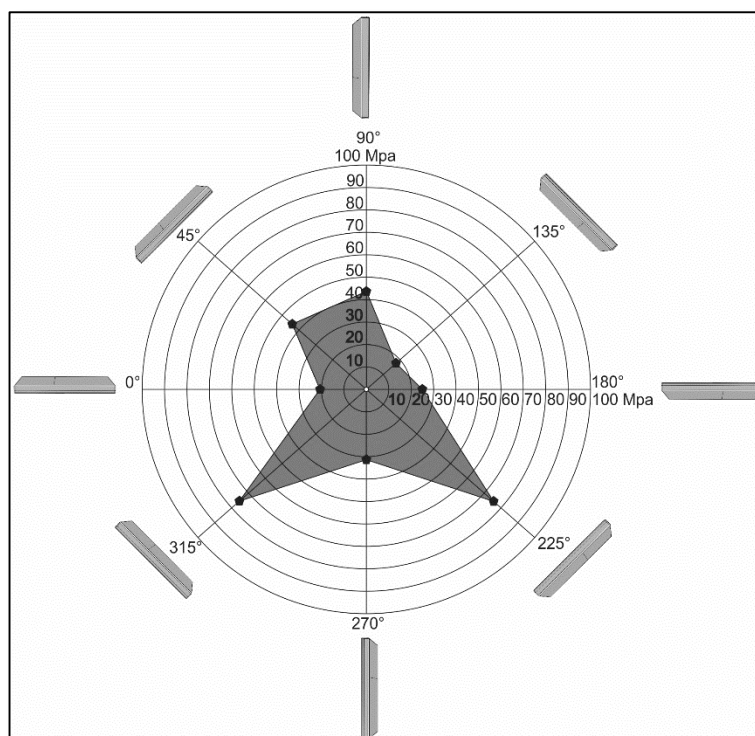
**1 lentelė.** 1-ojo sprendimo etapo rezultatų suvestinė

Kampas, °	Deformacijos, mm	Plastinės deformacijos, mm/mm	Ekvivalentiniai įtempiai (Von Mises), MPa
0	0,81301	0,010449	21,7
45	0,813	0,017451	42,973
90	0,81301	0,0081039	43,442
135	0,81333	0,0098056	18,719
180	0,81301	0,010774	25,482
225	0,81303	0,027161	75,845
270	0,813	0,013557	31,328
315	0,81301	0,027488	72,088
360	0,81301	0,010449	21,7

7) Sudaromi plastinių deformacijų (29 pav.) bei ekvivalentinių įtempių (30 pav.) ryšio su kritimo kampu grafikai. Bendrųjų deformacijų priklausomybės nuo posvyrio kampo grafikas nėra sudarinėjamas, kadangi tyrimui jis nėra aktualus. Bendrųjų deformacijų metu galima stebėti kaip juda detalė viena kitos atžvilgiu.

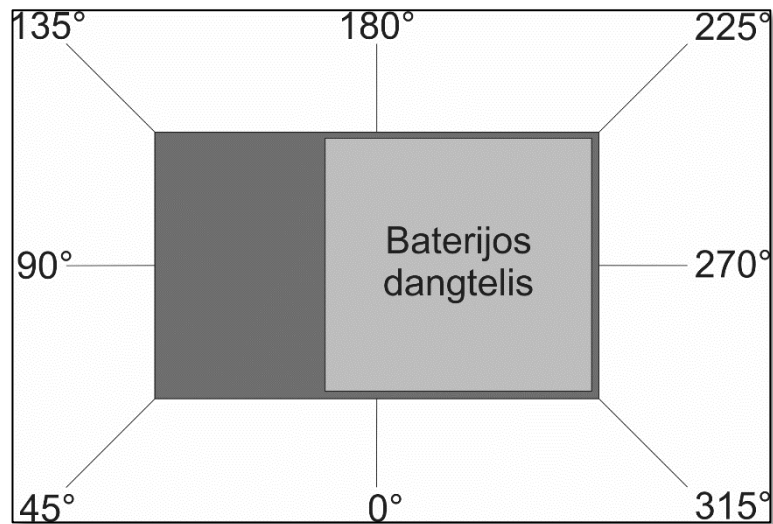


**29 pav.** Plastinių deformacijų pasiskirstymo priklausomybė nuo posvyrio kampo į kritimo plokštumą



**30 pav.** Ekvivalentinių įtempių koncentracijos priklausomybė nuo posvyrio kampo į kritimo plokštumą

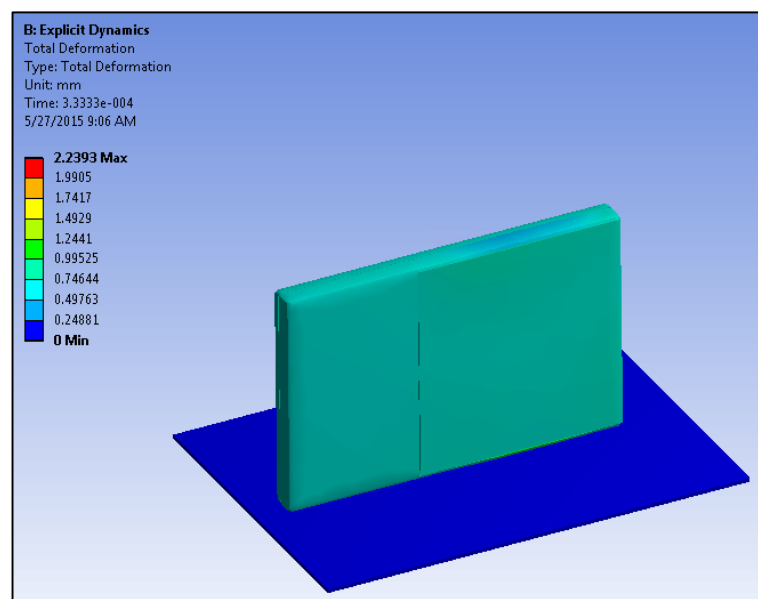
**Antrasis skaičiavimo etapas.** Šiame analizės atlikimo etape skaičiavimo metodika išlieka panaši. Skirtingai nuo pirmojo etapo yra sudarinėjama kita skaičiavimo schema (30 pav.), kadangi šiuo atveju korpusui atliekami skaičiavimai jį sukant kampais aplink kitą – statmeną pirmajai – ašį (20 pav. mėlyna rodyklė). Kraštinės sąlygos – fiksuota plokštuma, imituojanti žemės paviršių, kritimo aukštis bei uždavinio objektų medžiaga išlieka ta pati. Skaičiavimai kartojami kaip ir pirmame skaičiavimo etape keičiant posvyrio kampą į plokštumą  $45^\circ$  laipsnių kampų intervalais.



**31 pav.** Skaičiuojamoji kampų intervalų schema

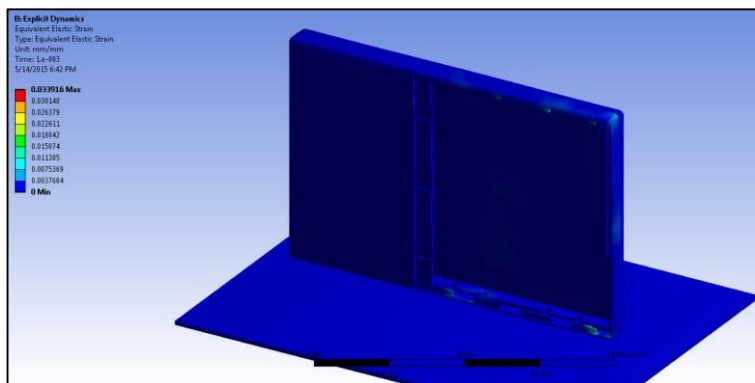
Kai skaičiuojamas uždavinys krentant  $0^\circ$  kampu į plokštumą, yra išvedami tokio pačio tipo rezultatai kaip ir pirmojo etapo skaičiavimo metu:

- Didžiausios bendrosios deformacijos susidaro ant viršutinės korpuso dalies ir jos siekia 0,81367 mm. *Ansys* programa vaizdžiai (32 pav.) parodo kaip detalės deformuojasi viena kitos atžvilgiu, tačiau vėlgi manyti, kaip kad rodo didžiausios deformacijos siekia 2,2393 mm yra netikslinga, nes šioje reikšmėje yra įskaitytinas ir detalių pasislinkimas viena kitos atžvilgiu.



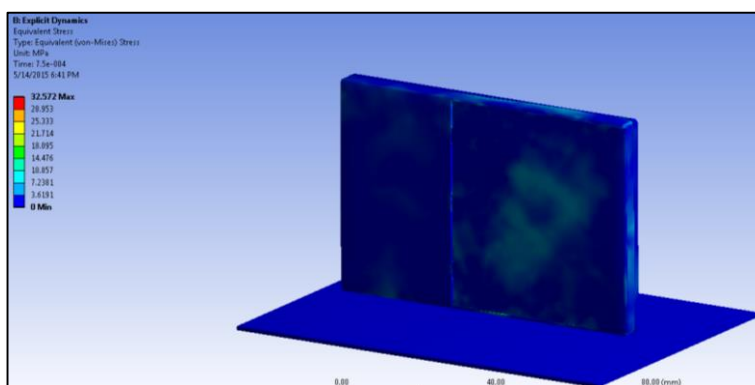
**32 pav.** Pasiskirsčiusios deformacijos kontakto metu

- Plastinės deformacijos (33 pav.) smūgio metu, kai įvyksta kontaktas, siekia 0,033916 mm/mm ir vyrauja viršutinėje korpuso dalyje ties baterijos dangtelio fiksuojamųjų kabliukų briaunomis.



**33 pav.** Plastinių deformacijų vaizdas smūgio metu

- Ekvivalentiniai *Von Mises* įtempiai (34 pav.) siekia 32,572 MPa, o didžiausia jų koncentracija pasiskirsčiusi viršutiniame korpuso surinkimo vienetė ir kaip plastinės deformacijos, yra ties baterijos dangtelio fiksuojamųjų kabliukų briaunomis.



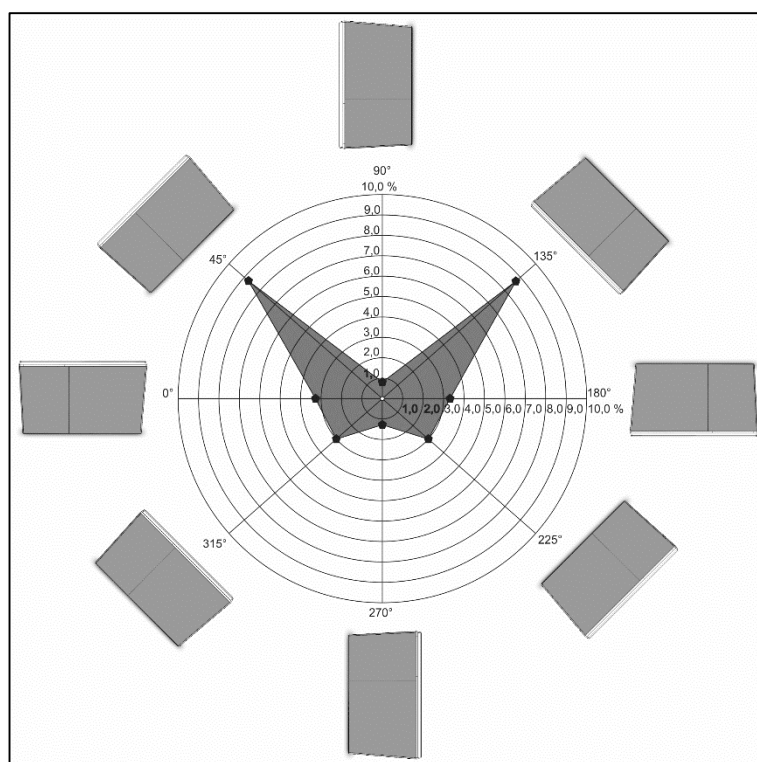
**34 pav.** Ekvivalentinių Von Mises įtempių pasiskirstymas smūginio kontakto metu

Sekančių intervalų skaičiavimo rezultatai yra pateikti 2 lentelėje, o juos atspindintys grafiniai rezultatai pateikti prieduose.

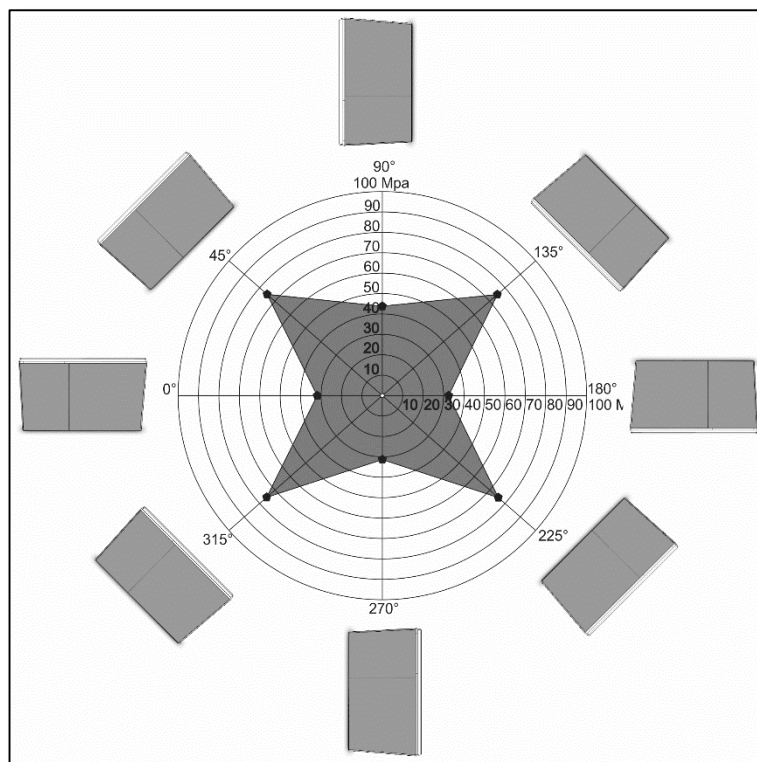
**2 lentelė.** 2-ojo sprendimo etapo rezultatų suvestinė

Kampas, °	Deformacijos, mm	Plastinės deformacijos, mm/mm	Ekvivalentiniai įtempiai (Von Mises), MPa
0	0,81367	0,033916	32,572
45	0,813	0,089199	74,857
90	0,813	0,008104	43,442
135	0,813	0,089199	74,857
180	0,81367	0,033916	32,572
225	0,813	0,030584	75,006
270	0,813	0,013557	31,328
315	0,813	0,030584	75,006
360	0,81367	0,033916	32,572

Kaip ir pirmajame skaičiavimo etape, sudaromi plastinių deformacijų (35 pav.) bei ekvivalentinių įtempių (36 pav.) ryšio su kritimo kampu grafikai, pagal kuriuos vaizdžiau galima palyginti rezultatus su pirmuoju skaičiavimo etapu.

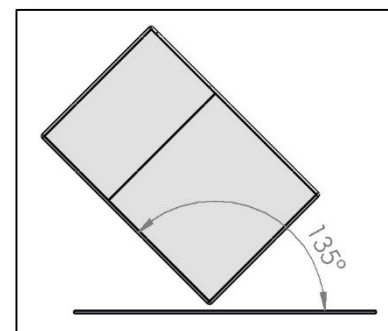


**35 pav.** Plastinių deformacijų pasiskirstymo priklausomybė nuo posvyrio kampo į kritimo plokštumą

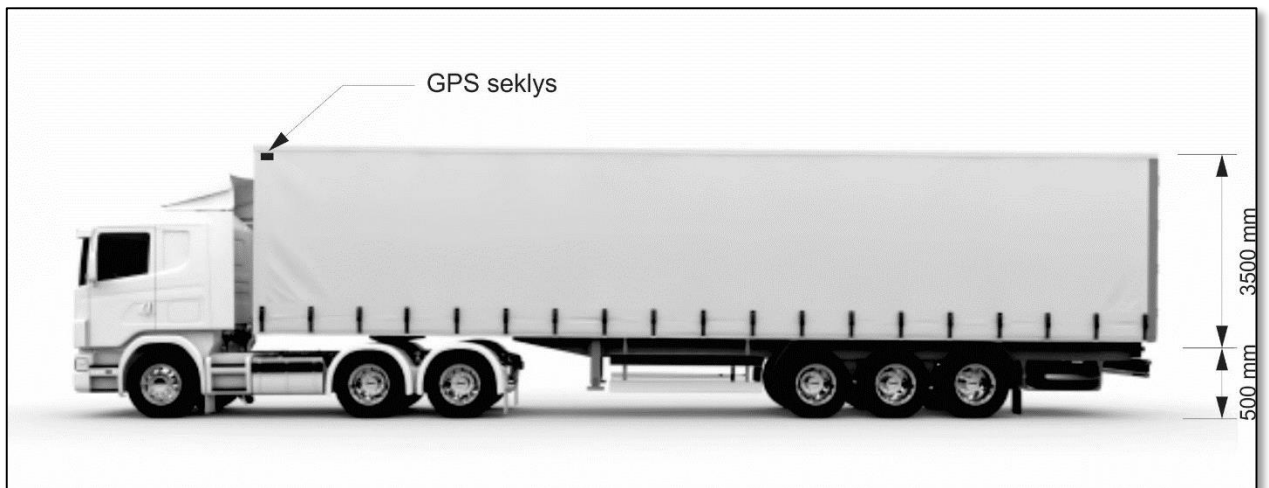


**36 pav.** Ekvivalentinių įtempių koncentracijos priklausomybė nuo posvyrio kampo į kritimo plokštumą

**Trečiasis skaičiavimo etapas.** Šiame skaičiavimo etape remiamasi pirmaisiais dviem etapais. Pasirenkamas vienas iš kampų, kuriame buvo didžiausia ekvivalentinių įtempių koncentracija. Šiuo atveju pasirenkamas kampas (37 pav.) iš antrojo skaičiavimo etapo, kai įrenginys krito 135° laipsnių kampu į plokštumą. Skirtingai nei nuo kitų analizės atlikimo etapų, kritimo kampas išlika pastovus, tačiau yra keičiamas kritimo greitis. Tokiu būdu bus randamas maksimalus aukštis iš kurio įrenginys gali nukristi ir išlikti nepažeidžiamu. Skaičiavimo metodika paremta realiais atvejais (38 pav.), kai įrenginys montuojamas sunkiasvorės transporto priemonės puspriekabėje. Remiantis Lietuvos Respublikos transporto priemonių maksimalių išmatavimų reikalavimais, puspriekabės aukštis negali viršyti 4000 mm, įskaitant, kad varomosios puspriekabės ašies aukštis siekia 500 mm. Nustatoma riba – 3500 mm aukštis, kuria remiantis ir atliekami gaminio korpuso analizė kritimo metu.



**37 pav.** 3-ojo analizės etapo skaičiavimo schema



**38 pav.** Numatoma maksimali įrenginio montavimo vieta realiu atveju

Šiame analizės atlikimo etape skaičiavimo metodika išlieka panaši kaip ir prieš tai buvusių etapų:

- Priskiriama korpuso medžiaga;
- Fiksuojama plokštuma, imituojanti standų žemės paviršių;
- Surinkimo vienetai skaidomi baigtinių elementų tinkeliais;
- Apskaičiuojamas greitis iš laisvojo kritimo pagreičio su kinetine energija sąryšio:

$$mgh = \frac{mv^2}{2};$$

$$v = \sqrt{2gh};$$

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,5} = 7,003 \text{ m/s.}$$

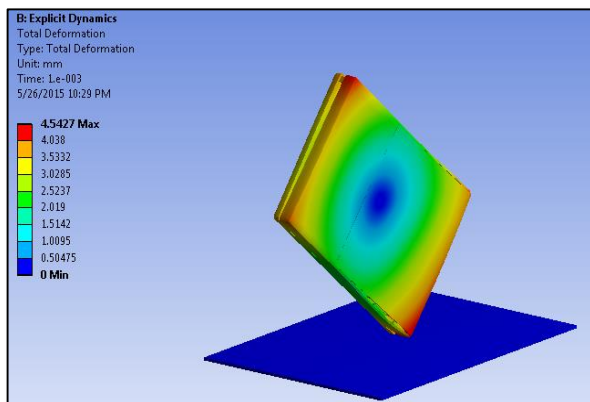
$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,5} = 8,287 \text{ m/s.}$$

*Kur*  $v_1, v_2$  – kritimo greičiai prie 2,5 ir 3,5m aukščių;

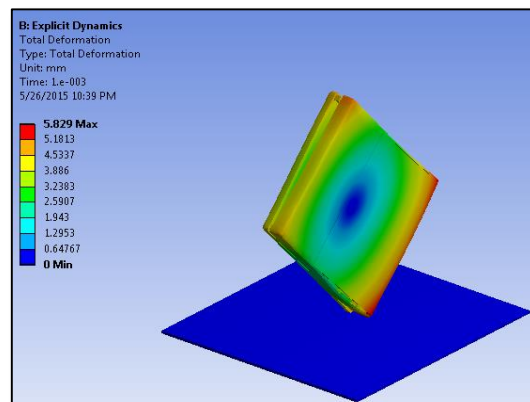
$g$  – laisvojo kritimo pagreitis – 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$h$  – aukštis, iš kurio krenta tiriamasis objektas.

- Išvedami bendrųjų deformacijų rezultatai. Bendrosios deformacijos pirmuoju atveju (39 pav.) siekia 1,0567 mm, antruoju (40 pav.) – 1,2429mm. Kaip ir praeituose skaičiavimuose, *Ansys* programa, skaičiuodama bendrąsias deformacijas įskaito ir detalių judėjimą viena kitos atžvilgiu;

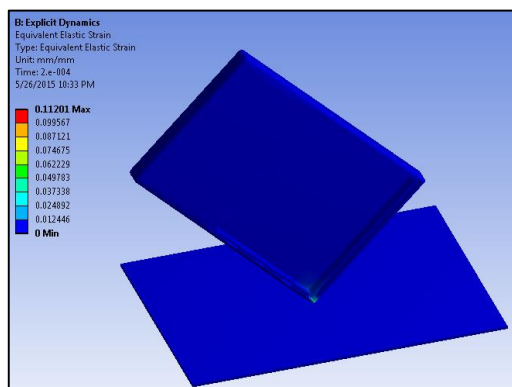


**39 pav.** Deformacijų vaizdas kontakto metu krentant iš 2,5 m aukščio

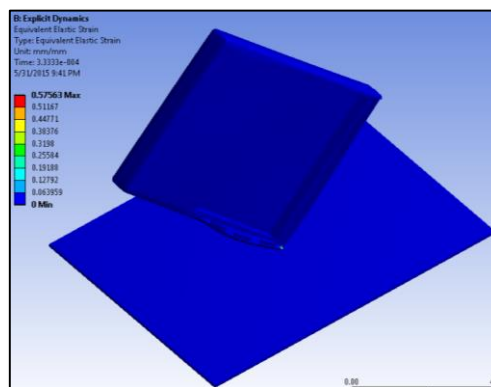


**40 pav.** Deformacijų vaizdas kontakto metu krentant iš 3,5 m aukščio

- Plastinių deformacijos smūgio metu, kai įvyksta kontaktas, pirmuoju atveju (41 pav.) siekia 0,11201 mm/mm, antruoju (42 pav.) – 0,57563 mm/mm ir vyrauja statmenų viena kitai korpuso viršutinės dalies plokštumų sankirtoje;



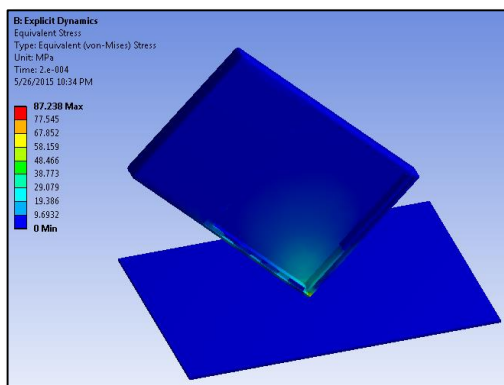
**41 pav.** Plastinių deformacijų vaizdas kontakto metu krentant iš 2,5 m aukščio



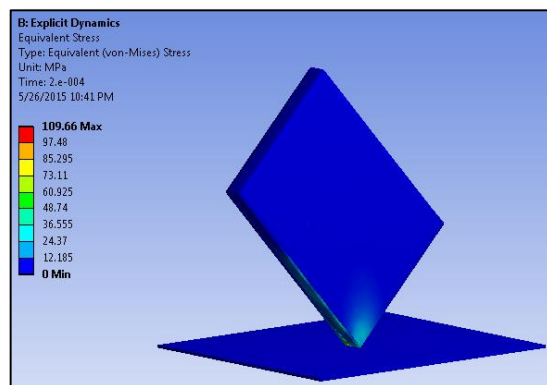
**42 pav.** Plastinių deformacijų vaizdas kontakto metu krentant iš 3,5 m aukščio



- Ekvivalentiniai *Von Mises* įtempiai (43 pav.) siekia 87,238 MPa, antruoju bandymu iš didesnio aukščio (44 pav.) – 109,66 MPa, o didžiausia jų koncentracija pasiskirsčiusi apatinėje korpuso detalėje prie kampo.



**43 pav.** Pasiskirsčiusių ekvivalentinių *Von Mises* įtempių vaizdas krentant iš 2,5 m aukščio

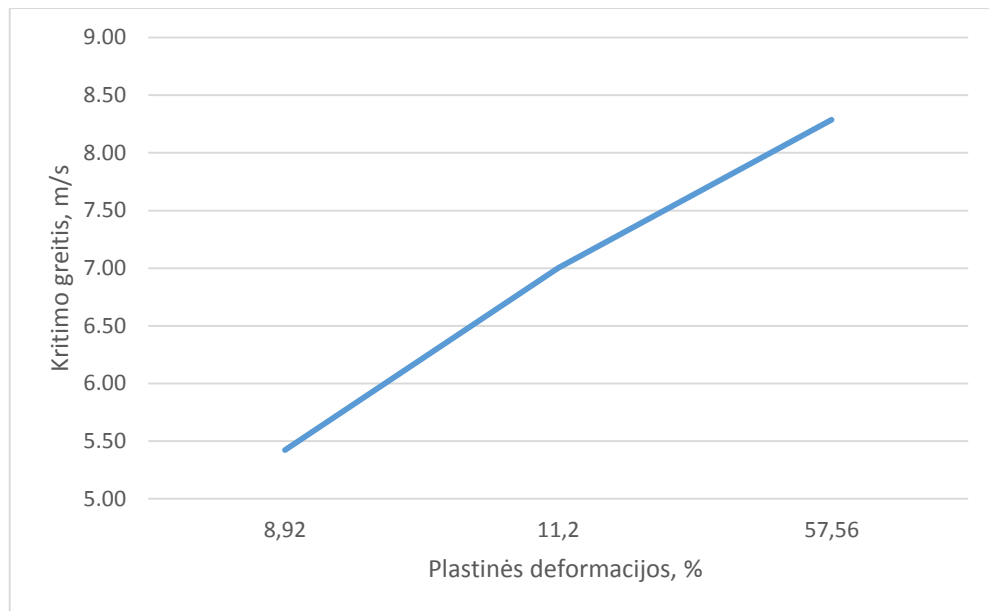


**44 pav.** Pasiskirsčiusių ekvivalentinių *Von Mises* įtempių vaizdas krentant iš 3,5 m aukščio

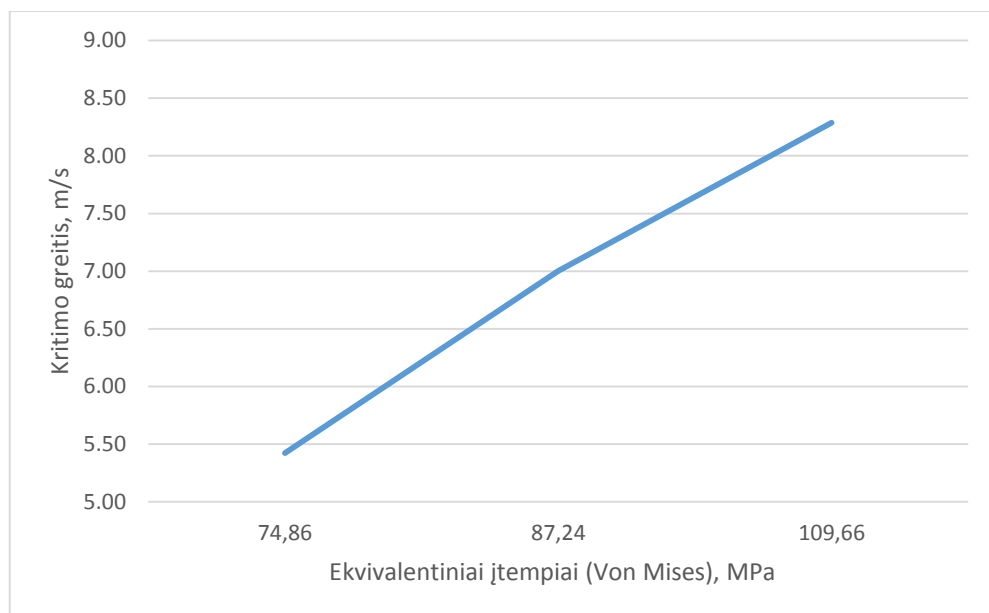
- Sudaroma bendra rezultatų lentelė (3 lentelė) įtraukiant gautus rezultatus prie to paties kampo iš antrojo skaičiavimų rezultatų, bei sudaromi plastinių deformacijų (45 pav.) ir ekvivalentinių įtempių (46 pav.) priklausomybių nuo kritimo greičio grafikai rezultatų palyginimui.

### 3 lentelė. 3-ojo sprendimo etapo rezultatų suvestinė

Kritimo aukštis, mm	Kritimo greitis, m/s	Deformacijos, mm	Plastinės deformacijos, mm/mm	Ekvivalentiniai įtempiai (Von Mises), MPa
1500	5,424	0,813	0,0892	74,86
2500	7,003	1,057	0,1120	87,24
3500	8,287	1,243	0,5756	109,66

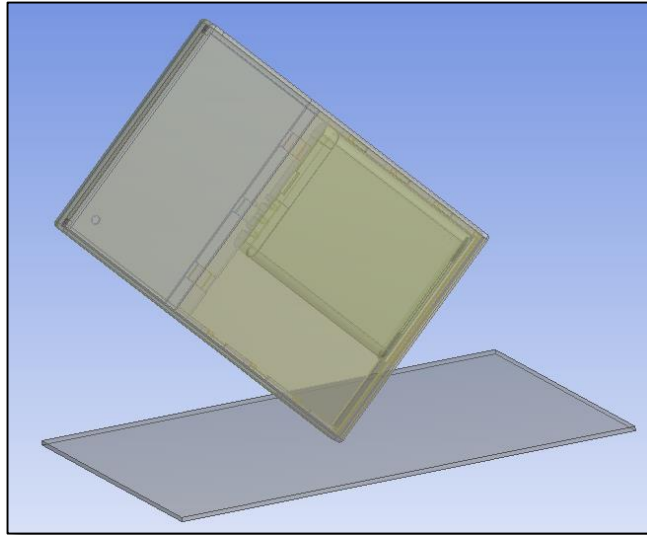


**45 pav.** Plastinių deformacijų priklausomybė nuo kritimo greičio



**46 pav.** Ekvivalentinių įtempių priklausomybė nuo kritimo greičio

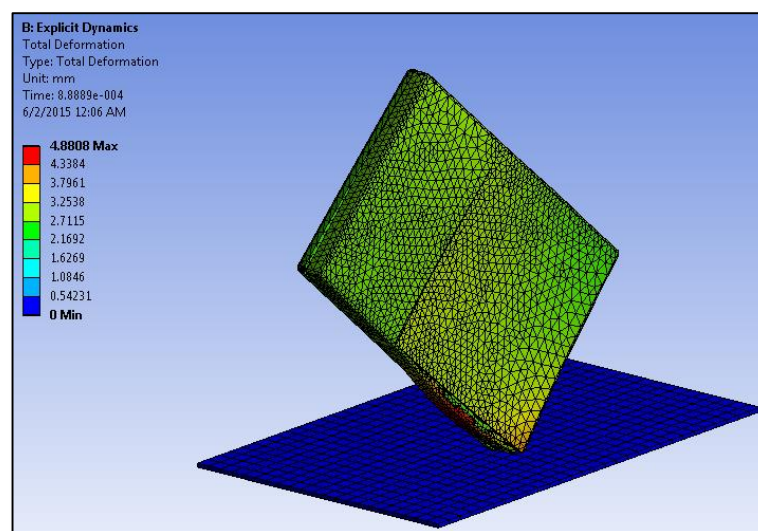
**Ketvirtasis skaičiavimo etapas.** Šiuo atveju skaitoma, kad objektas krenta tuo pačiu kampu į plokštumą kaip ir trečiame skaičiavimo etape. Skirtingai nei nuo kitų skaičiavimo etapų korpusui yra atliekama korekcija, t. y. projektuojami plokštumų sankirtų užapvalinimai. Apvalinimai projektuojami su tikslu sumažinti ekvivalentinių įtempių pasiskirstymą įrenginiui krentant iš 1500 mm aukščio. Šiame skaičiavime (47 pav.) įtraukiamas pagrindinis įrenginio komponentas – BL-4B baterija, kuri sveria daugiausiai iš visų įrenginio komponentų.



**47 pav.** Skaičiuojamasis modelis ketvirtame analizės sprendimo etape

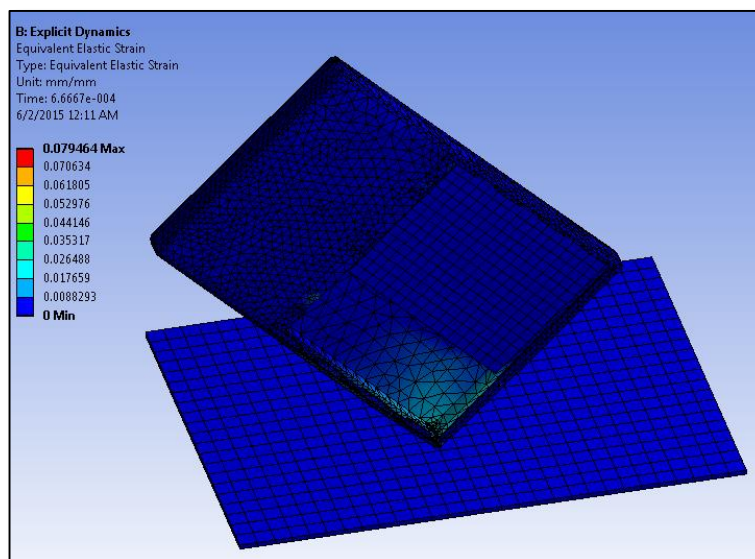
Skaičiavimo metodika ir išvedamų rezultatų tipas yra identiškas prieš tai buvusiems etapams:

- Bendrųjų deformacijų (48 pav.) reikšmė siekia 0,8136 mm;



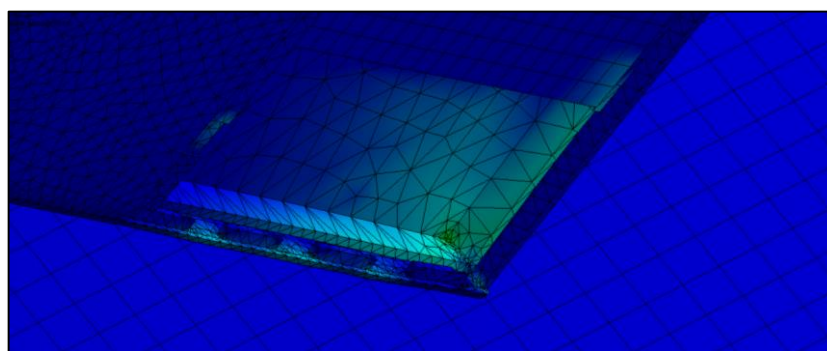
**48 pav.** Bendrųjų deformacijų vaizdas smūginio kontakto metu

- Didžiausios plastinės deformacijos (49 pav.) siekia 7,9 % ir yra pasiskirsčiusios ties korpuso kampo užapvalinimu apatinėje korpuso dalyje;



**49 pav.** Plastinių deformacijų vaizdas

- Ekvivalentinių įtempių koncentracija (50 pav.) taip pat didžiausia apatinėje korpuso dalyje, o reikšmė lygi 65,685 MPa;



**50 pav.** Ekvivalentinių įtempių vaizdas

## IŠVADOS

Atlikus skaičiavimus *Ansys* programos *Workbench* aplinkoje ir atsižvelgus į plastiko ABS + PC mechanines charakteristikas bei polimerų įtempių – deformacijų kreives galime teigti tokias išvadas:

1. Pavojingiausios korpuso konstrukcijos vietos yra kampai, kuriuose susikerta trys korpuso plokštumos;
2. Pavojingiausias kritimas korpusui, kai posvyrio kampas į kritimo plokštumą yra apie  $45^\circ$  laipsnius, įskaitant ir bateriją. Čia ekvivalentiniai įtempių reikšmė siekia plastiko stiprumo ribą 75 MPa, o plastinės deformacijos – 9 %.
3. Maksimalus galimas kritimo aukštis iš kurio gali kristi korpusas ir likti funkcionalus yra 1,5 m.
4. Siekiant sumažinti ekvivalentinių įtempių koncentraciją ir plastinių deformacijų reikšmę yra būtina užapvalinti visas plokštumų sankirtos briaunas. Rekomenduojamas minimalus užapvalinimo spindulys yra 2 mm. Tokiu atveju nukritus gaminiui iš 1,5 m aukščio įtempių koncentracija siekia apie 65 MPa, o plastinių deformacijų – apie 8 %.

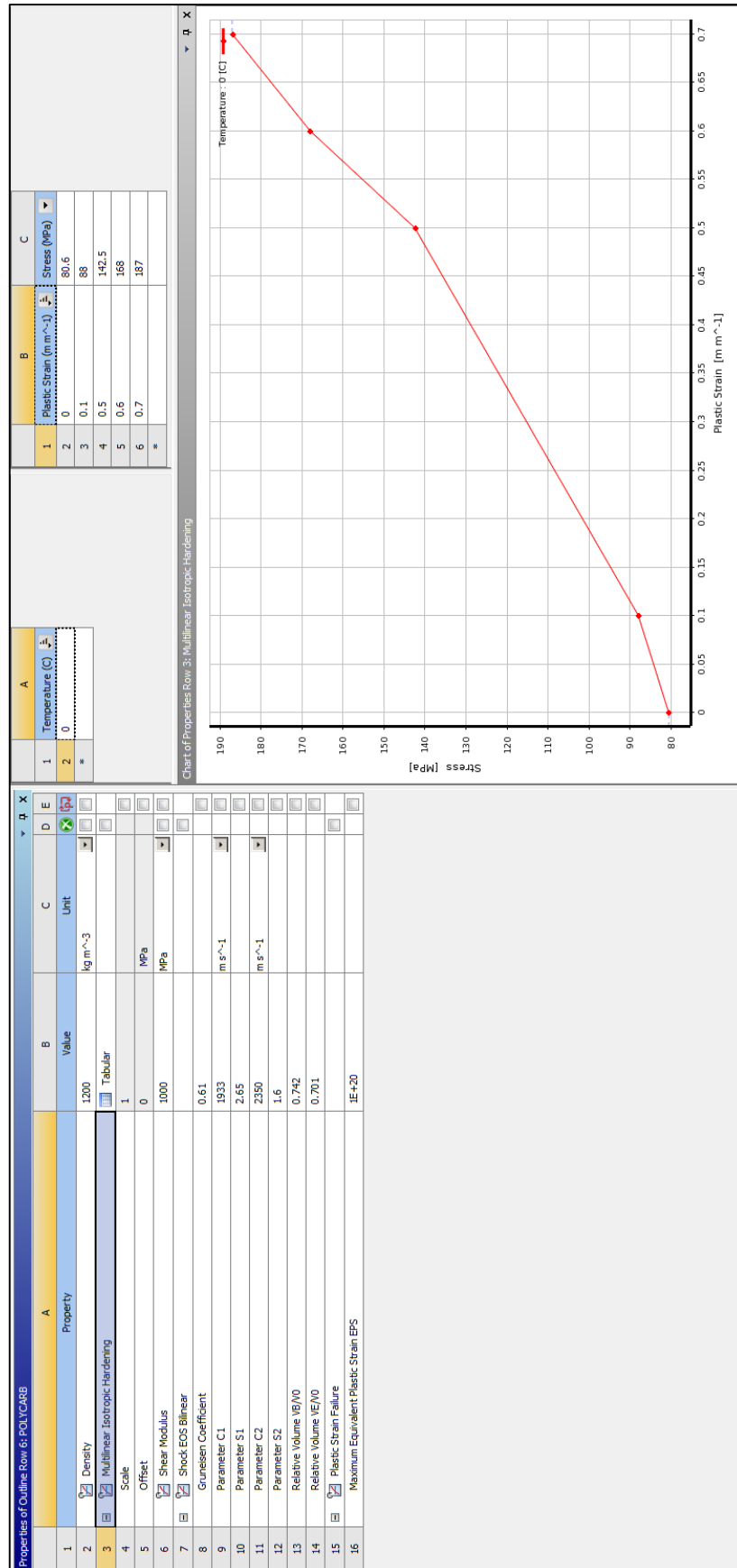
## Literatūros sąrašas

1. LAI, Yi-Shao; YANG, Ping-Feng; YEH, Chang-Lin. Experimental studies of board-level reliability of chip-scale packages subjected to JEDEC drop test condition. *Microelectronics Reliability*, 2006, 46.2: 645-650. [Žiūrėta 2014-10-09] Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271405001514>
2. LIU, Sheng, et al. Drop test and simulation of portable electronic devices. In: *Electronic Packaging Technology, 2005 6th International Conference on*. IEEE, 2005. p. 1-4. [Žiūrėta 2014-10-09] Prieiga per internetą: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1564699](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1564699)
3. WANG, Y. Y., et al. Simulation of drop/impact reliability for electronic devices. *Finite elements in analysis and design*, 2005, 41.6: 667-680. [Žiūrėta 2014-10-09] Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168874X04001647>
4. ZHOU, C. Y.; YU, T. X.; LEE, Ricky SW. Drop/impact tests and analysis of typical portable electronic devices. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2008, 50.5: 905-917. [Žiūrėta 2014-10-09] Prieiga per internetą: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020740307001415>
5. LabVIEW programos apžvalga. [Žiūrėta 2015-02-01] Prieiga per internetą: <http://www.coolestech.com/tutorial-series-labview-arabic>
6. PARK, Seungbae, et al. Transient dynamic simulation and full-field test validation for a slim-PCB of mobile phone under drop/impact. In: *Electronic Components and Technology Conference, 2007. ECTC'07. Proceedings. 57th*. IEEE, 2007. p. 914-923. [Žiūrėta 2014-10-12] Prieiga per internetą: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4249993](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4249993)
7. Smūginės analizės SolidWorks programoje aprašas. [Žiūrėta 2015-02-01] Prieiga per internetą: <https://www.solidworks.com/sw/products/simulation/drop-test-analysis.htm>
8. Mobiliojo telefono smūginė analizė SolidWorks aplinkoje. [Žiūrėta 2015-02-01] Prieiga per internetą: <http://www.hawkridgesys.com/blog/iphone-cover-project-drop-test-and-rapid-prototype/>
9. „Drop Test“ analizės žinynas ANSYS programoje. [Žiūrėta 2013-11-01] Prieiga per internetą: <http://www.ansys.com/staticassets/ANSYS/Conference/Confidence/Boston/Downloads/drop-test-simulation-made-easy-with-ansys-simulation.pdf>
10. „Explicit Dynamics“ žinynas. [Žiūrėta 2013-11-01] Prieiga per internetą: [http://orange.engr.ucdavis.edu/Documentation12.1/121/ans\\_tut.pdf](http://orange.engr.ucdavis.edu/Documentation12.1/121/ans_tut.pdf)

11. Plastiko PC+ABS mechaninės charakteristikos. [Žiūrėta 2013-11-25] Prieiga per internetą:  
<http://www.kern-gmbh.de/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2276&lng=2>
12. Spausdintinio montažo plokščių apžvalga. [Žiūrėta 2013-11-25] Prieiga per internetą:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Printed\\_circuit\\_board](http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_circuit_board)
13. Mechaninės termoplastikų savybės. [Žiūrėta 2015-02-01] Prieiga per internetą:  
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=510>
14. Gravitacinė potencinė energija. [Žiūrėta 2013-11-25] Prieiga per internetą:  
[http://www.school-for-champions.com/science/energy\\_potential.htm#.VMfPR7bJlss](http://www.school-for-champions.com/science/energy_potential.htm#.VMfPR7bJlss)
15. Kinetinė energija ir laisvojo kitimo pagreitis. [Žiūrėta 2013-11-25] Prieiga per internetą:  
[http://lt.wikipedia.org/wiki/Kinetin%C4%97\\_energija](http://lt.wikipedia.org/wiki/Kinetin%C4%97_energija)

# PRIEDAI

## 1 PRIEDAS. Plastiko ABS + PC aprašymas Ansys programoje

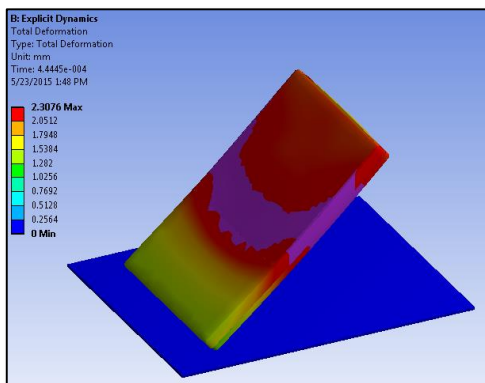




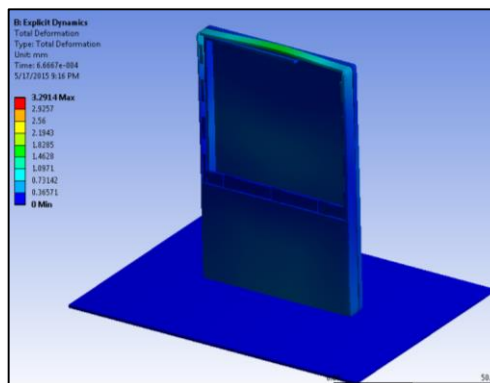
## 2 PRIEDAS. Gautų rezultatų Ansys programoje grafinės diagramos.

Rezultatai keičiant kritimo kampą ir sukant įrenginį apie skersinę ašį (pirmuoju skaičiavimo etapu):

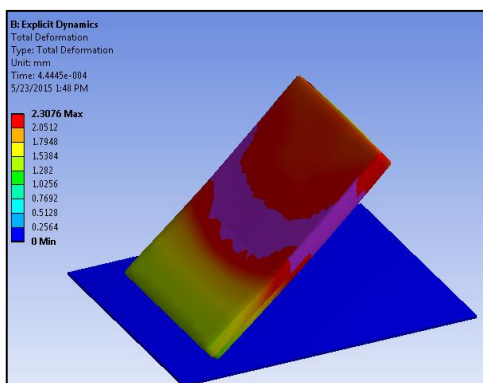
- Bendrųjų deformacijų vaizdas



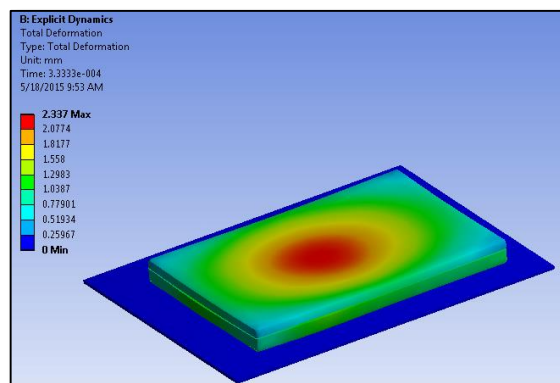
Prie 45° laipsnių kampo



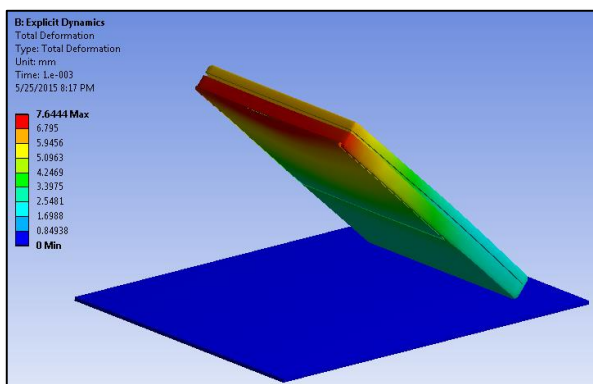
Prie 90° laipsnių kampo



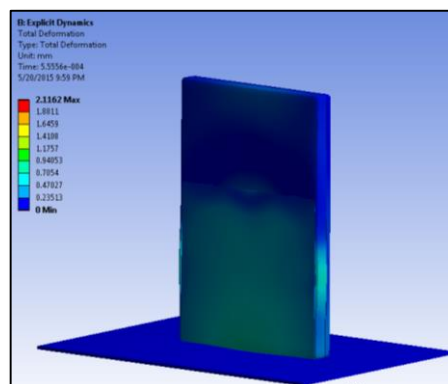
Prie 135° laipsnių kampo



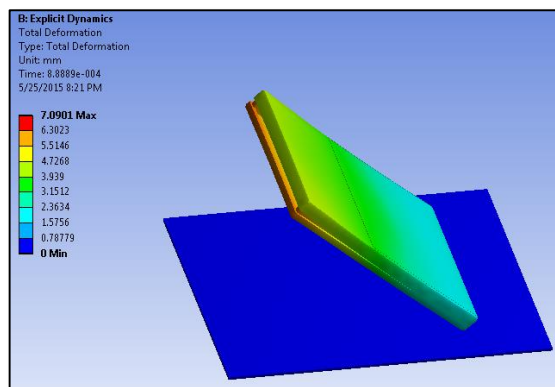
Prie 180° laipsnių kampo



Prie 225° laipsnių kampo

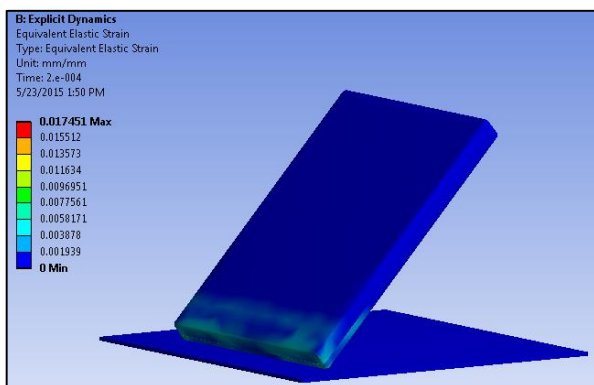


Prie 270° laipsnių kampo

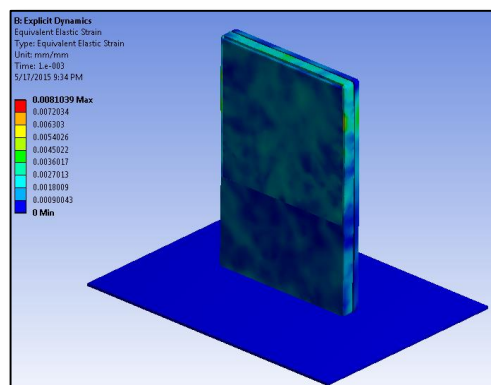


Prie 315° laipsnių kampo

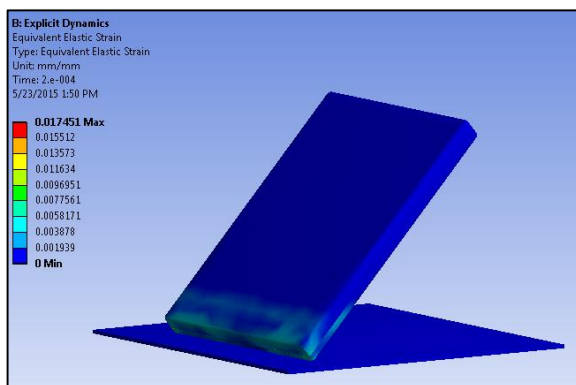
- Plastinės deformacijos:



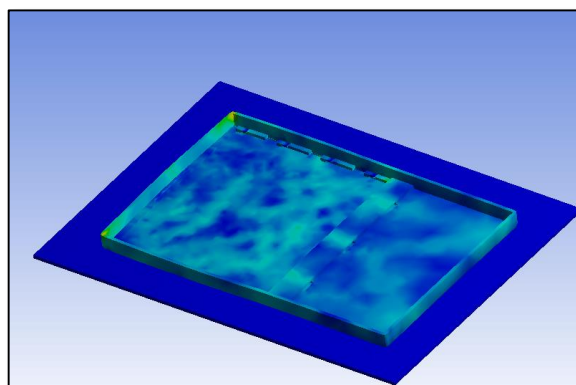
Prie 45° laipsnių kampo



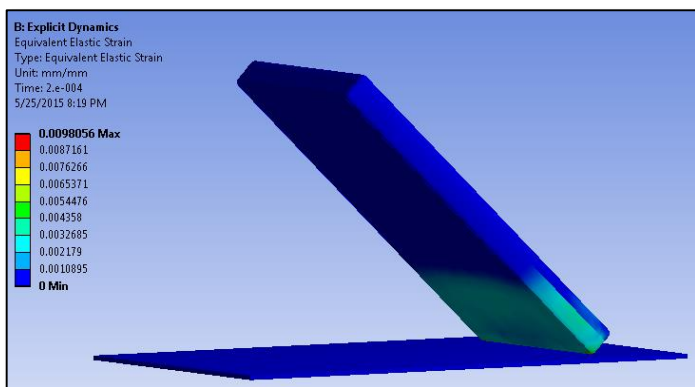
Prie 90° laipsnių kampo



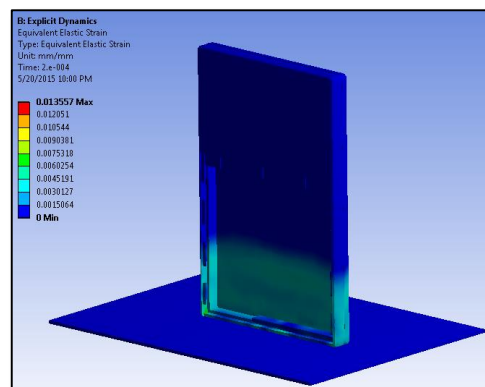
Prie 135° laipsnių kampo



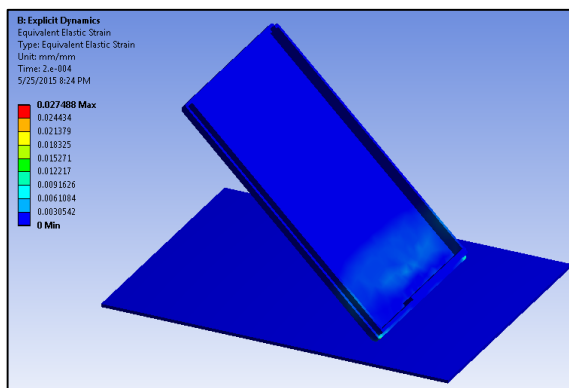
Prie 180° laipsnių kampo



Prie 225° laipsnių kampo

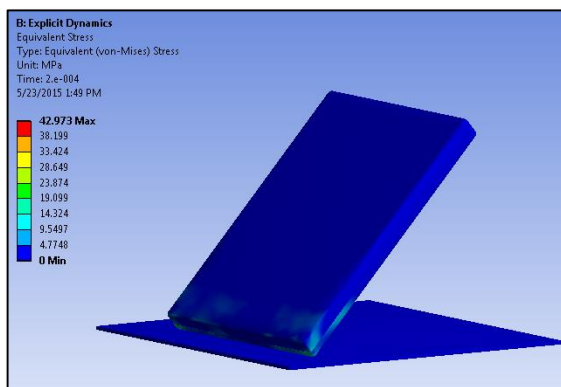


Prie 270° laipsnių kampo

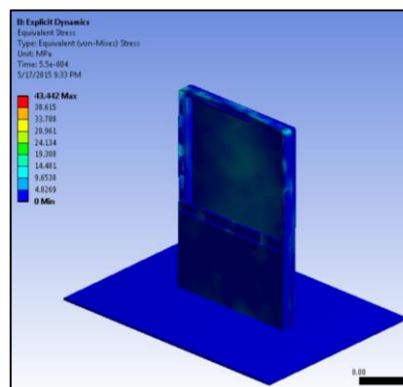


Prie 315° laipsnių kampo

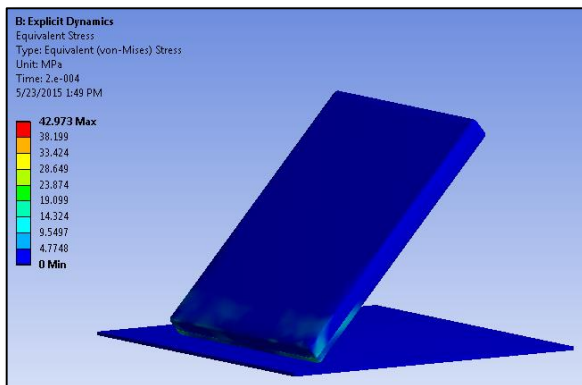
- Ekvivalentinių įtempių pasiskirstymas:



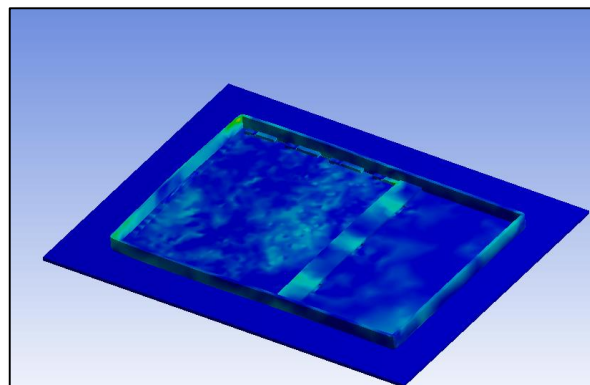
Prie 45° laipsnių kampo



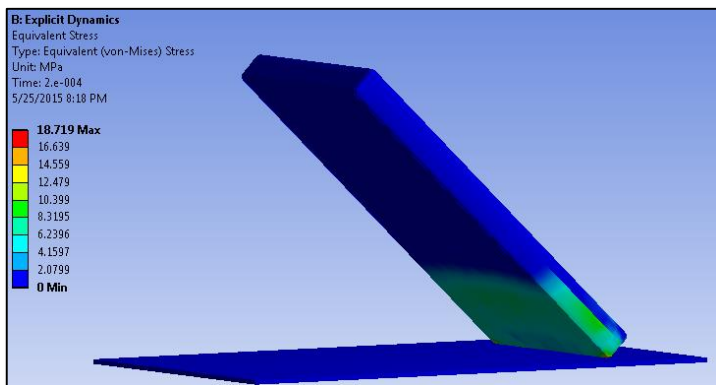
Prie 90° laipsnių kampo



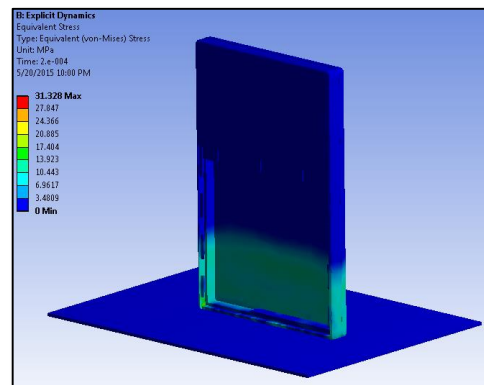
Prie 135° laipsnių kampo



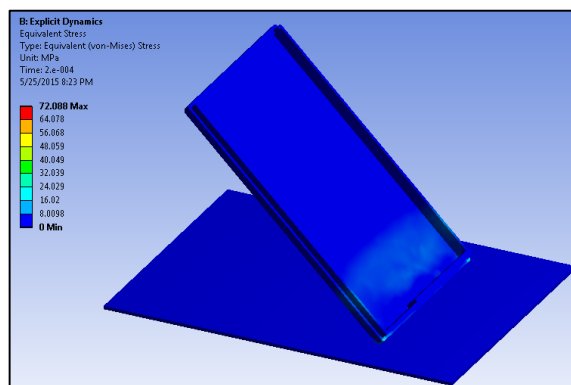
Prie 180° laipsnių kampo



Prie 225° laipsnių kampo



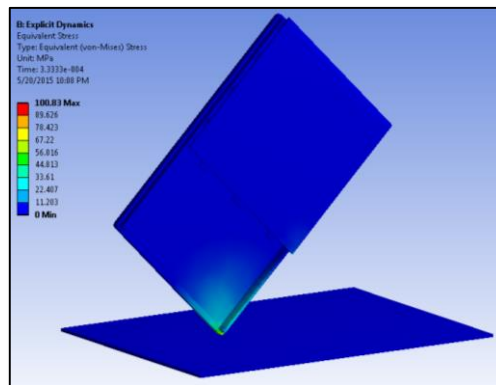
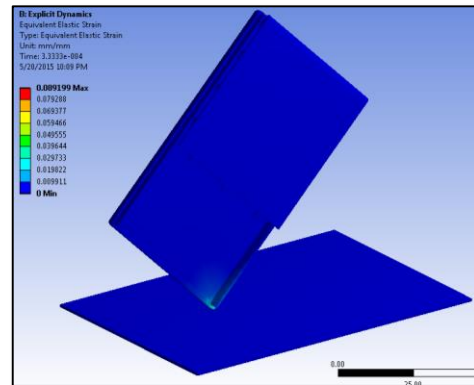
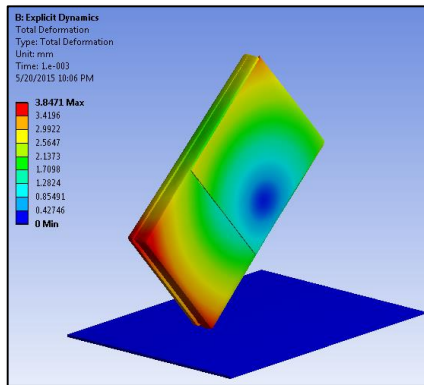
Prie 270° laipsnių kampo



Prie 315° laipsnių kampo

Rezultatai keičiant kritimo kampą ir sukant įrenginį apie šonines korpuso sieneles (antruoju skaičiavimo etapu):

- Prie 45° ir 135° laipsnių kampų (simetriškas korpusas):



- Prie 225° ir 315° laipsnių kampų (simetriškas korpusas):

