****

**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

**ESA spiečius palydovai**

Semestro projektas

|  |
| --- |
|  |
| **Žygimantas Marma**  Studentas |
|  |
| **Prof. Darius Gailius**  Dėstytojas |
|  |

**Kaunas, 2023**

Turinys

[Paveikslų sąrašas 3](#_Toc122685798)

[Santrumpų ir terminų sąrašas 4](#_Toc122685799)

[Įvadas 5](#_Toc122685800)

[1. Kosmoso palydovai 6](#_Toc122685801)

[2. Palydovų testavimas 9](#_Toc122685802)

[3. Palydovų patikimumo užtikrinimas 12](#_Toc122685803)

[Išvados 19](#_Toc122685804)

[Literatūros sąrašas 20](#_Toc122685805)

Paveikslų sąrašas

[1 pav. Palydovų patikimumas nuo laiko [2] 7](#_Toc122688019)

[2 pav. Kubinių palydovų patikimumas [3] 7](#_Toc122688020)

[3 pav. Žalingas radiacijos poveikis tranzistoriui 10](#_Toc122688021)

[4 pav. Palydovo posistemių blokinė diagrama 12](#_Toc122688022)

[5 pav. Sematinio versijavimo pavyzdys 14](#_Toc122688023)

[6 pav. ,,Nanoavionics“ *FlatSat* su tarpusavyje sujungtomis posistemėmis 15](#_Toc122688024)

[7 pav. Standartinė programos pasileidimo seka 16](#_Toc122688025)

[8 pav. Programos struktūra vidinėje atmintyje 16](#_Toc122688026)

[9 pav. Tipinė priežiūros laikmačio schema 18](#_Toc122688027)

Santrumpų ir terminų sąrašas

**Santrumpos:**

ADCS – pokrypio nustatymo ir valdymo sistema (*angl. Attitude Determination and Control System*)

COTS – rinkoje laisvai prienami produktai (*angl. Commercial off-the-shelf*)

FC – skrydžio valdiklis (*angl. Flight controller*)

**Terminai:**

**Propulsija (angl. *propulsion*)** – sistema, naudojama kosmoso palydovams manevruoti.

**Femtopalydovai** – itin maži palydovai, kurių tūris mažesnis nei 10cm3.

Įvadas

Kiekvienoje industrijoje prietaisų patikimumas yra svarbus, tačiau tokiose pramonės srityse kaip medicina ar aviacija klaidų kaina yra itin didelė. Detaliau analizuojant kosmoso palydovų rinką ganėtinai didelė paleidimo kaina turi įtakos palydovo dizainui. Išskyrus komunikacijos misijas, kurioms reikia palydovų spiečiaus (angl. *constellations*), misijos (ypač mokslinės) paprastai būna unikalios. Tam tikram eksperimentui ar užduočiai atlikti būna paleidžiamas vienintelis erdvėlaivis, be jokios alternatyvos ar atsarginės misijos nesėkmės atveju. Įvykus erdvėlaivio gedimui misijos būna atidedamos keletą metų arba visai atšaukiamos. Todėl erdvėlaiviai turi būti labai patikimi. Sunkumai kyla atlaikant ekstremalias vibracijas paleidimo metu, o vėliau sėkmingai veikiant ilgą eksploatavimo laiką be priežiūros ir nepaisant didelių radiacijos dozių. Projektavimo ir gamybos procesai turi būti griežti, užtikrinant teisingą erdvėlaivio veikimą pirmą ir vienintelį kartą, kai jis bus naudojamas. Palydovo sistema ir elektronika yra detaliai analizuojamos siekiant užtikrinti, kad bet kurios konkrečios sudedamosios dalies gedimas nekels pavojaus visos misijos ilgaamžiškumui. Būtent dėl šių priežasčių šiame darbe yra nagrinėjamos technikos leidžiančios užtikrinti kosmosų palydovų patikimumą.

# Kosmoso palydovai

Kosminiai palydovai yra dirbtiniai objektai, kurie yra iškeliami į orbitą aplink Žemę ar kitus dangaus kūnus. Jie paleidžiami į kosmosą naudojant raketas ir naudojami įvairiems tikslams, įskaitant ryšį, navigaciją, orų prognozes ir mokslinius tyrimus.

Kosminiai palydovai yra svarbi mūsų šiuolaikinės visuomenės dalis ir turi daug praktinių pritaikymų, pavyzdžiui, suteikia prieigą prie interneto, įgalina GPS navigaciją ir padeda numatyti bei sekti orų tendencijas. Be jų mūsų šiuolaikinis gyvenimas nebūtų galimas, tačiau dirbtiniai palydovai tapo realybe tik XX amžiaus viduryje. Pirmasis dirbtinis palydovas buvo *Sputnik 1*, Rusijos kosminis zondas, pakilęs 1957 m. spalio 4 d. Šis veiksmas sukrėtė didžiąją dalį Vakarų pasaulio, nes buvo manoma, kad sovietai neturėjo galimybių siųsti palydovų į erdvę.

Šiuo metu kosmose skrieja tūkstančiai žmogaus sukurtų palydovų. Vieni fotografuoja žemę, kad padėtų meteorologams prognozuoti orą ir sekti uraganus, kiti fotografuoja kitas planetas, saulę, juodąsias skyles, tamsiąją materiją ar tolimas galaktikas. Šie vaizdai padeda mokslininkams suprasti Saulės sistemą ir visatą. Maždaug pusė visų kosmoso palydovų vykdo mokslinių tyrimų misijas, kurios dažniausiai būna susijusios su atmosferos, visata ar Žemės tyrinėjimu [1]. Konkrečiau mokslo tyrimų sritys apima: biologijos mokslą, netoli Žemės esančių objektų, klimato kaitos, sniego / ledo dangos, orbitos šiukšlių, planetų tyrinėjimo ir tolimojo kosmoso astronomijos tyrimus. Du trečdaliai visų misijų yra naujų technologijų kūrimas arba demonstravimas. Duomenų perdavimo sistemos, propulsijos sistemos, nauji navigacijos ir valdymo algoritmai bei radiacijos bandymai yra dažniausiai pasitaikančios misijų rūšys. Kitos galimos technologijos yra saulės burės, femtopalydovai (itin maži) ir išmaniųjų telefonų palydovai. Pastaraisiais metais itin sumažėjusios pakilimo į orbitą išlaidos leidžia vykdyti didesnės rizikos veiklą, kuri nebūtų įmanoma didelės apimties NASA misijose.

## ESA

EAS MISIJOS??? Kas yra esa ir jos misijos

## ESA’s Swarm satellites misija

the Swarm mission refers to a group of three satellites operated by the European Space Agency (ESA). These satellites are designed to study the Earth's magnetic field and its variations with unprecedented precision. The Swarm mission was launched on November 22, 2013, with the aim of providing new insights into the Earth's magnetic field and its interactions with the Earth system.

Key objectives of the Swarm mission include:

Magnetic Field Mapping: Swarm aims to create high-resolution maps of the Earth's magnetic field, allowing scientists to understand its structure and behavior in detail.

Geophysical Processes: By studying the Earth's magnetic field, scientists can gain insights into geophysical processes occurring deep within the planet, such as the movement of molten iron in the outer core.

Ionospheric and Magnetospheric Studies: The Swarm satellites also contribute to the study of the Earth's ionosphere and magnetosphere, helping researchers understand the complex interactions between the solar wind and the Earth's magnetic field.

Each Swarm satellite carries a suite of instruments, including magnetometers, accelerometers, and GPS receivers, to measure various aspects of the Earth's magnetic field and related phenomena. By having multiple satellites in orbit simultaneously, the mission can provide three-dimensional mapping of the Earth's magnetic field and monitor changes over time.

These precise measurements are valuable for a range of scientific disciplines, including geophysics, space weather research, and studies related to the Earth's interior dynamics. The Swarm mission enhances our understanding of the Earth's magnetic field, which has practical applications in navigation, satellite technology, and a better understanding of environmental changes.

The motivation behind the Swarm mission lies in the scientific interest and practical applications associated with understanding the Earth's magnetic field. The Earth's magnetic field is a dynamic and complex system that plays a crucial role in various geophysical processes. Here are some key motivations for the Swarm mission:

Scientific Exploration: The Earth's magnetic field is generated by the motion of molten iron in the outer core of the Earth. Studying the magnetic field provides insights into the Earth's interior dynamics and processes, such as the movement of molten iron and the generation of magnetic anomalies.

Geomagnetic Variations: The Earth's magnetic field is not constant and undergoes variations over time. These variations can be caused by changes in the Earth's core, as well as external factors such as interactions with the solar wind. Understanding these variations is crucial for advancing our knowledge of Earth's geophysics.

Space Weather: The Earth's magnetic field interacts with the solar wind, and this interaction can influence space weather phenomena. Space weather events, such as solar flares and geomagnetic storms, can impact satellite operations, communication systems, and power grids on Earth. Studying the Earth's magnetic field helps in better understanding and predicting space weather.

Navigation and Satellite Technology: Precise knowledge of the Earth's magnetic field is essential for navigation and the operation of satellites. It allows for accurate navigation systems and helps mitigate the effects of magnetic anomalies on satellite instruments.

Ionospheric and Magnetospheric Studies: The Swarm mission contributes to the study of the Earth's ionosphere and magnetosphere. These regions are influenced by the Earth's magnetic field and play a crucial role in the interaction between the Earth and the solar wind.

By deploying a constellation of three satellites (Swarm Alpha, Bravo, and Charlie), the mission aims to provide detailed and comprehensive measurements of the Earth's magnetic field. The simultaneous measurements from multiple satellites allow scientists to create high-resolution maps and three-dimensional models of the magnetic field, improving our understanding of its structure and dynamics. The data collected by Swarm contributes to advancements in geophysics, space weather research, and various scientific and practical applications.

# Palydovo architektūra

Norint



<http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/swarm_overview.html>

## Vibraciniai testai

Visiems pagamintiems palydovams yra vykdomi sistemos lygio mechaniniai bandymai atliekant vibracijos bandymus. Šių bandymų tikslas yra įsitikinti, kad pilnai surinktas palydovas išgyvens

. Jų metu yra vykdomi aukšto „g“ smūgio bandymai norint patikrinti posistemių ir komponentų patikimumą

## Radiacijos testai

Kosminė spinduliuotė

luoksnį aplink palydovą.

## Šiluminio vakuumo testai

Šiluminės vakuuminės

būti pastebėtas šiluminio vakuumo testų metu ir taip užkirsti kelią gedimams.

## Atliekami modeliavimų bandymai

Kadangi sukurti realias

reikalavimus.

# Palydovų patikimumo užtikrinimas

Detaliau šiame darbe yra nagrinėjami programinės

## Pavyzdys

Lorema as asd

Išvados

1. Darbe apžvelgti palydovų kūrimo specifika ir
2. Išanalizuota, kad
3. Detaliai išanalizuoti
4. Pateiktos palydovus kuriančios

Literatūros sąrašas

1. CubeSat101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers. Prieiga per: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa\_csli\_cubesat\_101\_508.pdf
2. Dubos, G.F., Castet, J.F. and Saleh, J.H., 2010. Statistical reliability analysis of satellites by mass category: Does spacecraft size matter?. Acta Astronautica, 67(5-6), pp.584-595. Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576510001347
3. Langer, M. and Bouwmeester, J., 2016. Reliability of CubeSats-statistical data, developers' beliefs and the way forward. Prieiga per: https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2016/TS10AdvTech2/4/
4. Bouwmeester, J., Menicucci, A. and Gill, E.K., 2022. Improving CubeSat reliability: Subsystem redundancy or improved testing?. Reliability Engineering & System Safety, 220, p.108288 Prieiga per: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832021007584
5. Dobiáš, P., Casseau, E. and Sinnen, O., 2021. Improving the CubeSat reliability thanks to a multiprocessor system using fault tolerant online scheduling. Microprocessors and Microsystems, 85, p.104312. Prieiga per:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141933121004737

1. STM32 ECC dokumentacija. Prieiga per:

https://www.st.com/resource/en/application\_note/an5342-error-correction-code-ecc-management-for-internal-memories-protection-on-stm32h7-series-stmicroelectronics.pdf