

9. KOKKUVÕTE

Lõputöö kirjutati valimaks Tudengisatelliidi projektile SUTS sobivat sensorite ja täiturite konfiguratsiooni ADCSi alamsüsteemile. SUTS on 3p PocketQube, mille teaduslikud lastid nõuavad kõrget asendikontrolli täpsust. SUTSu orbiidiks oli selle töö kirjutamise ajal planeeritud 500 km SSO orbiit. Peatükis 4 koostati sobiva alamsüsteemi konfiguratsiooni loomiseks esmalt praktikas kasutatavatest sensoritest ja täituriest ülevaade. Analüüsiti erinevate sensorite ning täiturite eelseid ja puudusi. Kokkusobivatest sensoritest-täituriest kombineeriti erinevate pikosatelliidi missioonide tarvis lahendused, mille kasutamist võiks kaaluda spetsiifiliste missiooni asendikontrolli nõuete korral. Peatükis 5 välja pakutud lahendused olid:

- Passiivne ADCS (magnetomeeter + püsिमagnet),
- Madala täpsusega ADCS (magnetomeeter, IMU + MT),
- Keskmise täpsusega ADCS (magnetomeeter, IMU + MT, RW),
- Kõrge täpsusega ADCS (magnetomeeter, IMU, Maa IR/päikesesensor + MT, RW).

SUTSu satelliidimissioonile hinnati sobivaimaks kasutada kõrge täpsusega ADCSi lahendust, kus olid kasutusel IMUd, magnetomeetrid, päikesesensorid ning magnetväändurid ja hoorattad. Konfiguratsiooni täpsustati ning otsustati erinevate komponentide arv ja alamsüsteemiüleled projekteerimiseks vajalikud detailid. Seejärel valideeriti täiturite paigutus satelliidi 3D mudelis. Paigutuse valideerimiseks otsustati kasutada vaid täitureid, kuna nende mahutamine oli turuanalüüsi põhjal kõige kriitilisem.

Peale täiturite paigutamist satelliidi struktuuri, analüüsiti süsteemi vastavust seatud nõuetele. Kasutades Wittenstein Cyber Motori hoorattaid ning paigutades need ligikaudu satelliidi keskpunkti, oleks võimalik saavutada nurkkiirus $\omega_{avg} = 0,338 \text{ deg} \cdot \text{s}^{-1}$ 0,14 sekundiga arvestades, et kiirenduse alguses oleks satelliit statsionaarne. Magnetväändurite võimekuse hindamiseks kasutati TU Delftis arendatud magnetväändureid. Paigutades magnetväändurid samuti ligikaudu satelliidi keskpunkti oleks võimalik nendega saavutada nurkkiirus ω_{avg} 21,4 sekundiga. Seejuures oli hooratuste energiakulu satelliidi kiirendamiseks ligi 10 korda väiksem. Lisaks leidis kinnitust, et antud töö näitel on võimalik mahutada ADCSi täituriid vähem kui $100\,000 \text{ mm}^3$ suurusesse ruumalasse, kuid minimaalse reserviga.

Peatükis 7 leiti hinnanguline tehnilise arenduse kulud, milleks hinnati 66 390 €. Lisaks koostati ka riskide hindamise tabel, et analüüsida mitmesuguste riskide realiseerumise tõenäosust ning nende realiseerumisel maksumust.

Saadud tulemused hoiavad kokku Tudengisatelliidi meeskonnal aega projekteerides ADCSi süsteemi SUTSule ning võiksid olla kasulikud ka teistele PocketQube'ide arendusmeeskondadele. Arvestades käesoleva töö tulemusi on võimalik koostada laiapõhjaline tööplan SUTSu projekti ADCSi arenduseks ning hinnata adekvaatsemalt erinevaid projektiga kaasnevaid riske.

SUMMARY

The thesis was written to select a suitable sensor and actuator configuration for the ADCS subsystem for the Estonian Student Satellite's SUTS project. SUTS is a 3p pocketcube which scientific payloads require high pointing accuracy. At the time of writing, the SUTS orbit was planned to be 500 km SSO. In order to establish a suitable sensor-actuator configuration, an overview of the attitude sensors and control actuators was first compiled in Chapter 4. Advantages and disadvantages of each sensor and actuator were analysed. Compatible sensor-actuator solutions were combined for different picosatellite missions and c mission's pointing requirements. The solutions laid out in the Chapter 5 were:

- Passive ADCS (magnetometer + passive magnet),
- Low accuracy ADCS (IMU, magnetometer + MT),
- Medium accuracy ADCS (IMU, magnetometer + MT, RW),
- High accuracy ADCS (IMU, magnetometer, Earth horizon/sun sensor + MT, RW).

For the SUTS satellite's mission, the most suitable solution was considered to be a high precision ADCS solution with IMUs, magnetometers, sunsensors, magnetorquers and reaction wheels. The placement of the actuators was then simulated in a 3D model of the satellite. It was decided to model the placement using only the actuators, as the market research determined their placement was the most critical.

After the placement of the actuators in the satellite's, the compliance of the system with the set requirements was analysed. Using Wittenstein Cyber Motor reaction wheels and positioning them at approximately at the centre of the satellite, it would be possible to achieve an angular velocity of $\omega_{avg} = 0,338 \text{ deg} \cdot \text{s}^{-1}$ in 0,14 seconds, given that the satellite had been stationary at the beginning. To evaluate the performance of the magnetorquers, a model developed in TU Delft was used. By placing the torque application point of the magnetorquer also at approximate centre of the satellite, they were able to achieve an angular velocity of ω_{avg} in 21,4 seconds. The energy consumption of the reaction wheels was about 10 times lower when doing so. In addition, it was confirmed that the ADCS actuators can be accommodated in a volume of less than $100\,000 \text{ mm}^3$ in the example of this work, but only by a slight margin.

In Chapter 7 the estimated costs of technical development was estimated at 66 390 €. In addition, a risk assessment spreadsheet was prepared in order to analyse the probability of various risks materialising and their cost.

The results obtained in this work will save time for the Student Satellite team when designing the ADCS subsystem for SUTS and could be useful for other PocketQube development teams. Taking into account the results of this work, it will be possible to draw up a broad work plan for the ADCS development of the SUTS project and to assess more adequately the different risks involved in the project.