



TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SCHOOL OF ENGINEERING

Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

**IMPLEMENTATION OF MODEL-BASED SYSTEMS
ENGINEERING IN THE MILREM ROBOTICS
BASED ON THE EXAMPLE OF THE BRAKING
SYSTEM**

**MUDELIPÕHISE SÜSTEEMITEHNIKA METOODIKA
JUURUTAMINE ETTEVÕTTES MILREM ROBOTICS
PIDURISÜSTEEMI NÄITEL**

REDACTED MASTER THESIS

Student: Mattias Kitsing

Student code: 212055MAHM

Supervisors: Tarmo Korõtko, PhD, researcher
Johan Persson, Head of Systems
Engineering at Milrem

Tallinn, 2023

SUMMARY

The purpose of this thesis was to reverse engineer and model an unmanned ground vehicles subsystem to validate the applicability of model-based systems engineering (MBSE) at Milrem Robotics. The company is moving away from document-based systems engineering and towards MBSE work methods. This work is significant for the company, and there is great novelty for Milrem's development processes. During the thesis, a model was created using a tailored methodology, and it covered three main aspects – requirements, structure, and behaviour.

First, an overview of systems engineering and modelling was given. The main concepts of systems and systems engineering related to this work were introduced and described. Furthermore, the modelling aspect of systems engineering was researched. To use MBSE, there are enablers that must be chosen and defined, like the modelling language, method, and tool. A comparison of common languages and methodologies were made, and suitable options were chosen for the thesis – SysML language and MagicGrid methodology. Also, based on the literature review, a hypothesis was created. It was stated that using MBSE shall reduce the time needed for systems' change management by at least 10%.

Next, the chosen methodology was tailored to support the development of systems. The goal was that the model's workflow and structure follow the company's life cycle model and practises. The scope was narrowed to focus on the development cycle, which included four processes. MagicGrid methodology was mapped and analysed using Milrem's processes and review gates. Based on that, an overview of the different model aspects was given. Finally, the traceability across and within these model aspects was proposed and illustrated. With this, the first thesis sub-question was answered.

The vehicle's braking system was analysed and modelled to validate the tailored methodology and to satisfy the thesis task's third sub-question. The goal of the model was to create an example of the methodology and therefore did not cover all the possibilities of different activities and requirements. Also, like the methodology, the model focused on the development processes. Different views from the model were extracted and described to show the different aspects of the braking system.

The next chapter's goal was to analyse the impact of MBSE on change request processes using the braking system as a case study. The braking system model created the basis for comparing the model-based systems engineering with the current work methods. These two methods were compared using change request examples and worklog data of the current system. First, the state of the braking system change request was

REDACTED MASTER THESIS

described and analysed. Then the change request impact examples were created using the model's traceability. Finally, the models' improvements to the change of the system are compared to the original state. This is done using estimates based on the created examples and the analyses. This chapter answered the final thesis tasks sub-question.

This thesis demonstrated the effectiveness of model-based systems engineering in reducing the time needed for change management of a system and its elements. The analysis showed that the model support during change management could reduce the needed time by 15%, and the hypothesis was proven true.

The current methodology does not fully implement the life cycle due to the work scope limitations. The future steps would be to explore MBSE in the concept stage and how to integrate that with the methodology used in this thesis. The current thesis did not answer the second sub-question proposed in the thesis task. A more comprehensive model is needed, and a more specific analysis needs to be conducted. This fell out of the scope of the thesis as the focus was more on the model methodology and structure.

In summary, the methodology's tailoring and the model's creation were successful. The proposed workflow and methodology can help improve the time needed for the change request processes. The thesis objective was also achieved as the applicability of MBSE was validated. The work is done on a small system, but future work is needed to implement this in a larger project.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli pöörd-konstrueerida ja mudeldada mehitamata maismaasõiduki alasüsteem kasutades mudelipõhise süsteemitehnika tööriistu ning metoodikat. Lisaks hinnata ning kinnitada mudelipõhise süsteemitehnika metoodikate kasutatavuse sobivust ettevõttes Milrem Robotics. Ettevõtte on liikumas mudelipõhise süsteemitehnika suunas ning eemale dokumendipõhisest tööst. Antud töö on ettevõtte jaoks oluline ja käsitletavas teemas on uudsust Milremi arendusprotsesside vaatest. Lõputöö käigus loodi kohandatud metoodika alusel mudel, mis hõlmas endas kolme aspekti – nõuded, struktuur ja käitumine.

Selleks anti esmalt ülevaade süsteemitehnikast ning mudelite kasutamisest selles distsipliinis. Tutvustati ning kirjeldati süsteemi ja süsteemitehnika põhilisi osad lõputöö perspektiivist. Järgnevalt uuriti, kuidas mudeleid süsteemitehnikas kasutada. Selleks, et seda distsipliini rakendada on vajalikud erinevad võimaldajad nagu modelleerimiskeel, -metoodika ja -tööriist. Selleks tehti metoodika ja keele võrdlus ning valiti sobilikud lõputööks: keeleks SysML ja metoodikaks MagicGrid. Kirjanduse analüüsi alusel loodi ka hüpotees. Mudelipõhise süsteemitehnika metoodika kasutamine vähendab süsteemi muudatuste elluviimiseks vajalikku aega vähemalt 10%.

Järgnevalt kohandati valitud metoodika toetamiseks süsteemi arendusprotsesse. Selle eesmärk oli mudeli töövoog ning struktuuri ühtlustamine ettevõtte elutsükli protsesside ja parimate praktikatega. Selle realiseerimiseks töö ulatust kitsendati ning keskenduti arendustsükli protsessidele. MagicGrid metoodika kaardistati koos Milremi protsesside ning ülevaatusetappidega. Selle alusel anti ülevaade erinevatest mudeli aspektidest. Lõpuks loodi ja kirjeldati, kuidas tagada mudeli jälgitavus nende aspektide vahel ning sees. Sellega vastati lõputöö ülesande esimesele alamküsimusele.

Kohandatud metoodika hindamiseks ning kinnitamiseks loodi abstraktne mudel analüüsitud pidurisüsteemi alusel, mis vastas ka lõputöö ülesande kolmandale alamküsimusele. Mudeli eesmärgiks oli luua näide metoodika realiseerimisest ning seetõttu ei kata mudel kõiki võimalikke süsteemi nõudeid ning tegevusi. Lisaks sarnaselt metoodikale keskendus ka mudel süsteemi arendusprotsessidele. Toodi välja ning kirjeldati erinevad vaated mudelist, et näidata erinevaid aspekte süsteemist.

Järgmine peatükk eesmärk oli analüüsida süsteemitehnika metoodika mõju süsteemi muudatuste elluviimisele kasutades pidurisüsteemi juhtumit. Pidurisüsteemi mudel lõi aluse mudelipõhise süsteemitehnika ning praeguse töömetoodika võrdluseks. Kahte metoodikat võrreldi kasutades süsteemi muudatuste näiteid ning praeguse süsteemi töölogisid. Esiteks kirjeldati ning analüüsiti pidurisüsteemi muudatuste elluviimise

REDACTED MASTER THESIS

algupärast olukorda. Järgnevalt loodi muudatuste elluviimise näited kasutades mudelit ning kaardistati nende mõju süsteemile. Viimaks võrreldi algupärast olukorda ning mudeli kasutamise mõju muudatuste elluviimisele kasutades loodud näiteid ning analüüse. See peatükk vastas viimasele lõputöö ülesande alamküsimusele.

Käesolev lõputöö demonstreeris mudelipõhise süsteemitehnika meetoodika efektiivsust süsteemi muudatuste elluviimise parandamisel ajalise aspekti vaatest. Analüüsid näitasid, et kasutades mudelit muudatuste elluviimiseks vähendab aega 15% ning sellega kinnitati ka lõputöö hüpotees. Kohandatud meetoodika ning mudel viisid mudelipõhise süsteemitehnika järgmisele tasemele ettevõttes ning tugevdasid süsteemitehnika positsiooni mudeli kasutamise vallas.

Töös käsitletud meetoodika ei integreerinud kõiki elutsükli osasid töömahu tõttu. Võimalikud edasised arendused võiksid uurida kontseptsiooni taseme protsesse ning nende integreerimise jätkamist töös käsitletud meetoodikasse. Lisaks ei vastanud lõputöö ülesandes püstitatud teisele alaküsimusele. Selle vastamiseks on vajalik nii põhjalikum mudel kui ka täpsem analüüs. See jäi lõputöö piiridest välja kuna keskenduti mudeli meetoodikale ja struktuurile.

Kokkuvõtteks saab tõdeda et kohandatud meetoodika ja mudeli loomine oli edukas. Väljapakutud töövoog ning meetoodika saavad parandada süsteemi muudatuste elluviimist ning selleks vajalikku aega. Lisaks saab tõdeda et sellega sai ka lõputöö eesmärk sai täidetud. Käesolev töö tehti väikse süsteemi näitel, kuid võimalikud edasiarendused peaksid seda kordama ka suurema ning keerukama projekti raames.