



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKI STARDIKATAPULT

LAUNCHER FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Lauri Valdmann

Üliõpilaskood 183681MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö raames projekteeriti ettevõttele Threod Systems OÜ treileril katapult, mis on mõeldud kuni 150 kg mehitamata lennuvahendite startimiseks ning maksimaalne stardikiirus on kuni 52 m/s.

Sellise võimsusega katapultdi projekteerimine on nii ettevõtte OÜ Threod Systems kui ka lõputöö autori jaoks esmakordne, siis alustati tööd konkurentide toodete uurimisega, otsides võimalikult palju informatsiooni süsteemide tehniliste lahenduste kohta. Sellele järgnes ülesandepüstitus, kus sõnastati täpsed nõuded, millele lõpptoode vastama peab. Jätkati kontseptsiooni loomisega, kus otsustati koheselt pneumaatilise katapultdi kasuks ning põhjalikumalt kaaluti kahte lahendusvarianti – madala rõhuga pika silindriga katapult ja plokisüsteemiga ning lühikese kõrgrõhuga katapult. Selgus, et süsteemi nõuete täitmiseks on kindlam kasutada plokisüsteemi, mis on tunduvalt keerulisem, kui teoreetiliselt on võimalik täita kõik nõuded. Peale kontseptsiooni loomist jätkati füüsikaliste arvutustega, mille abil saadi teada katapultdi põhiparameetrid. Neid põhiparameetreid kasutati algandmeteks Matlab Simulink keskkonnas loodud katapultdi simulatsioonis, mis võimaldas üheaegselt simuleerida kogu katapultdi kiirendus- ja pidurdusprotsessi. Matlab Simulink keskkonnas loodi kõigepalt pneumaatiline mudel, mis vastas parameetrite poolest reaalse pneumosüsteemi parameetritega ning see ühendati Simulink Multibody mudeliga, ehk CAD mudeliga, mis koosneb lihtsustatud katapultdi mudelist koos plokirataste, pneumosilindri ja nõoriga. Simulatsioon võimaldas kiiresti ja täpselt läbi simuleerida katapultdi erinevatel töörihkudel ja erineva lennuvahendi massiga ning optimeerida katapultdi kiirendusgraafikut muutes näiteks pneumosilindri sisselaskeava diameetrit. Loodud simulatsioon võimaldab tulevikus lihtsasti skaleerida erineva suurusega katapulte.

Peale simulatsiooni alustati katapultdi konstruktsioonide projekteerimist. Lõputöö sisaldab kirjeldusi, mille alusel projekteeriti erinevate osade konstruktsioon, toimus mõõtmestamine ning projekteeriti erinevad tehnilised lahendused. Põhiosa lõputöö projekteerimisosast moodustab katapultdi kõige tähtsam süsteem, milleks on kiirendus- ja pidurdussüsteem. Antud süsteem projekteeriti ning optimeeriti vastavalt etteantud nõuetele ning kiirendus- ja pidurdussüsteemi ühtseks integreerimine andis märkimisväärse massivõidu ning lahendas keerulise mehaanilise ülesande stardiadapteri pidurdusjõu vastuvõtmisel. Kogu plokisüsteemi mõõtmestamisel lähtuti simulatsioonist saadud tulemustest ning sellest tulenevalt oli teada kiirendus pneumosilindri mõõtmed ja pidurdusamortisaatori töökaik. Plokisüsteem võimaldas pidurdusamortisaatori löökkiiruse vähendada kuni 6.5 m/s ning seeläbi oli võimalik kasutada tööstuslikku amortisaatorit. Tööstusliku amortisaatori kasutamisega tõuseb

märkimisväärselt süsteemi töökindlus ja kasutusmugavus ning amortisaator on projekteeritud töötama kogu katapuldi töövõimsuse ulatuses, ilma et see vajaks reguleerimist.

Lõputöös antakse ka üldine ülevaade teistest projekteeritud süsteemi osadest. Põhiosa katapuldi konstruktsioonist moodustab reeling. Katapuldi reeling koosneb kolmest sektsioonist ning on mõeldud transpordiks kokku voltima. Reelingu projekteerimisel oli põhiliseks probleemiks kogu konstruktsiooni mass ning seeläbi välistati terase kasutamine ning valituks osutuse kerge aga tugeva alumiiniumsulami kasutamine. Kogu reelingu projekteerimisel lähtuti toodetavusest ja koostamisest, mistõttu koosnevad reelingu küljed vesilõigatud alumiiniumlehest, mis on keskelt poltidega ühendatud laserlõigatud alumiiniumprofiiliga, mis võimaldab saavutada väga hea koostamistäpsuse ja vältida täielikult keevitamist. Lisaks reelingule antakse ülevaade ka stardiadapteri konstruktsioonist, hüdrostsüsteemi tööpõhimõttest, katapuldi juhtpaneelist, üleüldisest juhtsüsteemist koos elektrisüsteemiga ja juhtmestiku projekteerimisest CAD-is. Peatüki lõpus antakse ülevaade kogu projekteerimise tulemusest ning võrreldakse projekteeritud katapuldi vastavust ülesandepüstituses koostatud nõuetega. Kõik esialgsed nõuded suudeti täita, ainult süsteemi kogumass läks esialgselt 200 kg suuremaks.

Lõputöö lõpeb katapuldi omahinna kujunemise ülevaatega ja lõputöö lisa sisaldab graafilist osa, mis kujutab katapuldi ja reelingu konstruktsioonide koostu- ja dimensioonijoonist.

Mina, lõputöö autor arvan et antud lõputöö on õnnestunud, sest projekti raames projekteeriti ettevõttele Threod Systems OÜ täiesti uut laadi toode, mis võimaldab ettevõttes siseneda täiesti uuele turule. Usun, et projekteeritud katapult on väga tugev konkurent turule, lisaks asjaolu et projekteeritud katapult on üle 1000 kg kergem kui lähim konkurent. Olen rahul lõputöö teemavalikuga, sest magistritöös käigus sain luua süsteemidisaini ning projekteerida nullist täiesti uue toote, mis pakkus piisavalt pinget ning nõudis väga põhjalikku süsteemi osade tööpõhimõtete uurimist ning tehnilised probleemid vajasid täiesti uut lähenemist. Magistritöö käigus õppisin kasutama Matlab Simulink tarkvara, mida olen tihti kasutanud ka uutes tööalastes ülesannetes.

SUMMARY

Within the framework of this Master's thesis, a trailer mounted launcher was designed for Threod Systems OÜ, which is intended for launching up to 150 kg unmanned aerial vehicles and the maximum take-off speed is up to 52 m/s.

As design of this size launcher is the first for both the company Threod Systems OÜ as well as the author of this Master's thesis, the work began on competitors's products research, investigating for as much information as possible about the technical solutions of the systems. This was followed by setting the initial requirements for the system and compiling product design specification. The work proceeded with creating a concept of the whole system, and therefore it was immediately decided to continue with a pneumatic launcher and two different solutions were considered in more detail – a launcher with long pneumatic cylinder with low pressure and a launcher with block system, using short cylinder in high pressure. After examining the specificities of both systems it came clear that using a block system is much safer and it is easier to meet the system requirements. Block system makes launcher more complicated, but theoretically it is possible to meet all the requirements. After creating the concept, the work continued with physical calculations, which were used to find out the basic parameters of the launcher. Results from calculations were used as a raw data in the launcher simulation model created in the Matlab Simulink environment, which allowed to simulate the launcher acceleration and deceleration process simultaneously. In the Matlab Simulink environment, a physical pneumatic model was created which corresponds to the real pneumatic system parameters and the physical simulation model was connected with Simulink Multibody 3D model which consists of a simplified launcher model with block wheels, pneumatic cylinder and acceleration / deceleration rope. The simulation made it possible to quickly and accurately simulate the launcher at different operating pressures and with different aircraft weights. Simulation model allowed to optimize the acceleration system by changing system parameters. The created simulation allows to easily scale different size launchers in the future.

After the simulation, the structural design process was started on the launcher. The thesis contains description of the design principles of the construction of different subsystems and overview of all the technical solutions developed during design. The major part of the design is the acceleration and braking system of the launcher, which is the most complicated part of the launcher. The system was designed and optimized to meet the requirements and integrating the system as single unit, provided significant weight gain and solved a complex mechanical task in absorbing the braking force of the rail carriage.

The dimensioning of the whole block system was based on the results obtained from the simulation. Using the pulley system allowed to reduce the impact velocity on the shock absorber to maximum of 6.5 m/s, and making it possible to use industrial shock absorber. The use of industrial shock absorber significantly increases the reliability and ease of use of the system, as the shock absorber is designed to operate throughout the full velocity range of the launcher, without the need for adjustment.

The thesis also gives a general overview of the other subsystems of the designed launcher. The main structural element of the launcher construction is the railing. The launcher rail consists of three sections and two sections are designed to be folded for transport. The main problem that came up during the design was the weight of the whole rail, therefore eliminating the use of steel and the only option was to use light and strong aluminium alloy. The main design principles of the rail are productivity and easy assembly, meaning that the whole rail is assembled with bolts and welding is completely avoided. Rail consists of water-cut aluminium sheets on the sides and connected with middle aluminium profile by bolts, which allows to achieve very good assembly accuracy and avoiding tensions. In addition to the railing, the thesis also contains design overview of the launch adapter, launch adapter locking mechanism design, the working principle of the hydraulic system, the launcher control panel, the general control system with the electrical system and the CAD wiring design overview. At the end of the chapter, the result of the whole design is given and the initial requirement compliance is given. All the initial requirements were fulfilled, only weight was exceeded by 200 kg.

The thesis ends with a calculation of the launcher net costs and the appendix with the overall drawings of the system, which shows the full assembly and dimensional drawings of the launcher and rail structures.

I, the author of the thesis, believe that this graduation thesis can be considered succesful, as a completely new type of product has been developed for Threed Systems OÜ, which allows to enter a completely new market. I believe that the designed system is a very strong competitor in the market, in addition to the fact that the designed launcher is more than 1000 kg that the competitors. I am satisfied with the choise of the topic of the graduation thesis as I was able to create a system design and design a completely new product from scratch, which provided enough excitement and required a very thorough study of different system's operating principles and solving complex technical challenges. During my master's thesis, I learned to use Matlab Simulink software, which I often use now in new tasks.