

KOKKUVÕTE

Autori eesmärk oli luua energiaefektiivne assisteeriva elektriajamiga personaaltranspordivahend, mille suurima kiiruse 45 km/h juures on sõiduki sõiduulatus 100 km. Sõiduk pidi omama osalist ilmastikukindlust ning olema soodsam kui turuliidrite pakutud sõiduvahendid.

Sõiduki tüübi valikukul lähtuti erineva sõiduasetusega kergsõidukite liikumistakistustest ning turu-uuringu abil leitud energiaefektiivsematest sõidukitest. Parimaks sõidukitüübiks osutus lamava asetuse ja pika teljevahega kergsõiduk.

Valitud sõiduasetust silmas pidades modelleeriti *Solidworks* tarkvaras kergsõiduk, mille kere, põhiraam, juhtraua pikendus ning erinevad kinnitused on autori enda loodud arvestades kergsõidukile seatud eesmärgid ja sobivust teiste komponentidega. Sõiduki esiplaani pindalaks saadi 0.55 m².

Modelleeritud kergsõiduki raamile teostati tugevusanalüüs, testimaks raami tugevust sõidukile mõjuvate jõudude korral. Raami istme kohale pandi mõjuma jõud 1200 N, leidmaks raamile mõjuva suurima pinge ja läbipainde väärtused lubatud kandevõime juures. Läbipaindeks saadi 0.2 mm ning suurim pinge oli 83.15 MPa jättes varuteguriks 2.82. Järgmisena pandi esikahvlile sõidusuuna vastu mõjuma jõud 500 N, mis imiteerib pidurdamist normaalsetes tingimustes. Raamile mõjuv suurim pinge oli 85.8 MPa jättes varuteguriks 2.74. Esikahvli kinnitus peab varutegurit arvestades vastu pidurdusjõule 1370 N. Viimasena uuriti keskjooksu kinnitust raamil ning selle jaoks pandi väntadele mõjuma jõud 560 N, mis tekib vändates 300 W võimsusega pöördesagedusel 60 p/min. Raamile mõjuv suurim pinge oli 86.4 MPa, jättes varuteguriks 2.7. Saadud tulemused olid varutegurite poolest soovitud vahemikes.

Sõidukile tehti liikumistakistuse analüüs, kus uuriti sõidukile mõjuvat õhutakistust, veeretakistust ja mehaanilisi kadusid. Õhutakistuse leidmiseks kasutati *Solidworks Flow* tarkvara ning õhutakistuse väärtused leiti sõidukile nii kerega kui ilma kereta. Sõiduki õhutakistuseks koos modelleeritud kerega liikumiskiirusel 45 km/h saadi 27.52 N ning õhutakistuse teguriks tuli 0.53. Sõiduki õhutakistuseks ilma modelleeritud kereta samal liikumiskiirusel saadi 67.78 N ning õhutakistuse teguriks saadi 1.31. Vajalik võimsus õhutakistuse ületamiseks määratud kiirusel kere olemasolul on 344 W. Veeretakistuseks leiti 6.59 N ning mehaanilisteks kadudeks väntamise korral määrati pika keti tõttu 5%. Sõiduki liikumistakistuse analüüsi tulemusena leiti, et liikumiskiiruse 45 km/h juures on vajalik mootori võimsus liikumistakistuse ületamiseks 426 W. Leitud tulemus täitis ka

eesmärgi olla energiaefektiivsem kui tavaline jalgratas. Võrreldes jalgrattaga suurenes vähesel määral sõiduki esiplaani pindala, kuid vähenes tunduvalt õhutakistustegur.

Kasutades liikumistakistuse tulemusi leiti sõidukile sobiv elektriajam ning valituks osutus nominaalvõimsusega 750 W käikudeta rummusisene mootor, mille suurim kiirus on piiratud 45 km/h peale.

Aku valikul oli nõudeks sõiduki sõiduulatus 100 km. Vajalik aku mahutavus leiti arvestades sõitja rakendatavat võimsust 100 W, sõiduki liikumistakistust ning mootori efektiivsust. Arvutustest leiti, et 100 km sõiduulatuse jaoks kiirusel 45 km/h on aku vajalik mahutavus 934 Wh. Valituks osutus aku parameetritega 48 V 19.2 Ah, mahutavusega 921 Wh.

Elektrikomponentide valiku järel leiti kogu sõiduki maksumus arvestades valitud standardsete mehaaniliste komponentide hindu, ise toodetud detailide materjalide ning elektrikomponentide hinda. Sõiduki hinnaks saadi 998 €. Sõiduki kujunenud maksumusega võib väga rahul olla, sest turuanalüüsis võrreldud sõidukite maksumus jäi vahemikku 2600-36 000 €. Kuigi sõiduki maksumuse sisse ei ole arvestatud tootmiskulusid, on ise toodetud komponentide arv väike ning ehitus lihtne.

Modelleeritud sõiduki baasil loodi reaalne sõiduki prototüüp. Prototüübi geomeetria on identne modelleeritud sõidukiga. Prototüübi ehitamisel kasutati suures mahus vanade jalgrataste detaile, et sõiduki maksumus madal hoida. Valminud sõidukiga sõitmisel sai järeldada, et modelleeritud geomeetria on sobilik ning sõidudünaamika hea. Prototüübi valmimisel esitati järeldus, kus toodi välja ka erinevad võimalused sõiduki edasi arendamiseks.

Töö viimases peatükis uuriti erinevatele kergsõidukitele kehtivaid nõudeid ning leiti, et sõiduk sobitub enim L1eb kategooriasse, mille olulisem piirang on suurim lubatud kiirus 45 km/h. Antud sõidukiklassi osakaal liikluses võib lähitulevikus kasvada, sest taolised sõidukid on paljudes olukordades funktsionaalsemad kui tavalised elektri jalgrattad ning õigete teede infrastruktuuride olemasolul hea alternatiiv sõiduauto kasutamisele tööle sõitmiseks.

Kokkuvõtlikult saab öelda, et projekteeritud sõiduk vastab soovitud nõuetele ning on heaks aluseks edasisteks arendusteks kui ka kohalikele tehniliste nõuetele vastamiseks.

SUMMARY

Author's goal for given thesis was to create an energy-efficient personal transport vehicle with an assist electric drive, which has a range of 100 km at the highest speed of 45 km/h. The vehicle had to offer partial protection from outside elements and be cheaper than the vehicles offered by market leaders.

The choice of vehicle type was based on the movement resistance of light vehicles with different driving positions and the energy-efficient vehicles found in the market research. The best type of vehicle turned out to be a light vehicle with a recumbent position and a long wheelbase.

With the selected driving position in mind, a light vehicle was modeled in *Solidworks* software, whose body, main frame, handlebar extension and various attachments were created by the author himself, taking into account the goals set for the light vehicle and compatibility with other components. The area of the foreground of the vehicle was 0.55 m².

A strength analysis was performed on the frame of the modeled light vehicle to test the strength of the frame under the forces acting on the vehicle. A force of 1200 N was applied to the seat of the frame to find the values of the maximum stress and deflection acting on the frame at the allowable load capacity. The deflection index was 0.2 mm, and the maximum stress was 83.15 MPa, leaving a reserve factor of 2.82. Next, a force of 500 N was applied to the front fork against the direction of travel, simulating braking under normal conditions. The maximum stress acting on the frame was 85.8 MPa, leaving a reserve factor of 2.74. Taking into account the reserve factor, the main frame mount can withstand a braking force of 1370 N. Finally, the bottom bracket mount on the main frame was examined, and for this, a force of 560 N was applied to the cranks, which is generated by user with a power of 300 W at a rotation frequency of 60 rpm. The maximum stress acting on the frame was 86.4 MPa, leaving a safety factor of 2.7. The obtained results were within the desired ranges in terms of reserve factors.

The vehicle was subjected to a moving resistance analysis, where air resistance, rolling resistance and mechanical losses acting on the vehicle were investigated. The *Solidworks Flow* software was used to find the air resistance, and the air resistance values were found for the vehicle with and without the body. The air resistance of the vehicle with the modeled body at a speed of 45 km/h was 27.52 N, and the air resistance factor was 0.53. The air resistance of the vehicle without the modeled body at the same

speed was 67.78 N and the air resistance factor was 1.31. The required power to overcome the air resistance at the specified speed with a body is 344 W. The rolling resistance was found to be 6.59 N, and the mechanical losses during cranking were determined to be 5% due to the long chain.

As a result of the analysis of the vehicle's movement resistance, it was found that at a speed of 45 km/h, the motor power required to overcome the movement resistance is 426 W. The result found also fulfilled the goal of being more energy-efficient than a normal bicycle. Compared to a bicycle, the frontal area of the vehicle increased, but the drag coefficient decreased.

Using the results of the movement resistance analysis, a suitable electric drive was found for the vehicle, and a gearless hub motor with a nominal power of 750 W, with a maximum speed limited to 45 km/h, was selected.

When choosing a battery, the driving range of the vehicle had to be 100 km. The required battery capacity was found considering the driver's applied power of 100 W, the vehicle's movement resistance and the engine's efficiency. From the calculations, it was found that for a driving range of 100 km at a speed of 45 km/h, the required capacity of the battery is 934 Wh. The battery with parameters 48 V 19.2 Ah, capacity 921 Wh was chosen.

After the selection of electrical components, the cost of the entire vehicle was found considering the prices of the selected standard mechanical components, the materials of the self-produced parts and the price of the electrical components. The price of the vehicle was €998. The cost of the vehicle is satisfactory, because the cost of the vehicles compared in the market analysis was in the range of 2600-36000 €. Although production costs are not included in the cost of the vehicle, the number of self-produced components is small and the construction is simple.

Based on the modeled vehicle, a real vehicle prototype was created. The geometry of the prototype is identical to the modeled vehicle. The prototype was built using a large amount of parts from old bicycles to keep the cost of the vehicle low. When driving the completed vehicle, it was concluded that the modeled geometry is suitable and the driving dynamics are good. Upon completion of the prototype, a conclusion was presented, where various possibilities for the further development of the vehicle were also brought out.

In the last chapter of the work, the requirements applicable to various light vehicles were studied and it was found that the vehicle fits best into the L1-eb category, the most important limitation of which is the maximum permitted speed of 45 km/h. The share of this vehicle class in traffic may increase in the near future, because such vehicles are more functional than ordinary electric bicycles in many situations and, if the right road infrastructures are available, are a good alternative to using a car for commuting to work.

In summary, it can be said that the designed vehicle meets the desired requirements and is a good basis for further developments as well as meeting local technical requirements.