

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli projekteerida automaatne mõõtesüsteem teede põikkalde mõõtmiseks. Põikkalde mõõtmine on vajalik uute ehitatud teede projektile vastavuse kontrollimiseks ning olemasolevate teede kaardistamiseks. Hetkel toimub põikkalde mõõtmine enamasti käsikaldemõõdikute abil, mis muudab selle tegevuse aeganõudvaks ning kulukaks. Projekteeritav mõõtesüsteem peab olema paigaldatav sõidukile ning mõõtma tee põikkallet automaatselt sõiduki liikumise ajal.

Tänapäeval turul olevad automaatsed mõõtesüsteemid on väga keerulised ja seetõttu kallid. Keerukuse põhjuseks on nende väga laiad kasutusvõimalused. Nimelt on olemasolevate süsteemide puhul põikkalle ainult üks paljudest mõõdetavatest suurustest. Ainult põikkalde mõõtmiseks tuleb soetada keeruline mõõtesüsteem koos ebavajalike lisaseadmetega. Seega on vajadus lihtsa, kuid kiire ning mugava mõõtesüsteemi järele.

Esimene samm mõõtesüsteemi projekteerimisel oli leida sobiv meetod põikkalde mõõtmiseks liikuval sõidukil. Tee põikkalle on lihtsustatult öelduna kalle tee ristisuunas. Käsikaldemõõdikud põhinevad kiirendusanduritel, mis mõõdavad iseenda nurka raskuskiirenduse vektori suhtes. Kui käsikaldemõõdik paigaldada sõiduki külge, tekib kurvides kalde mõõtmisel probleem. Kesktõmbeljõud mõjub kaldemõõdikule täiendava kiirendusena ning mõõdetud kalded ei vasta enam tegelikkusele. Teoreetiliselt püstitatud probleem leidis reaalse kinnituse hiljem prototüübi katsetamisel. Nurka on võimalik mõõta ka güroskoopanduritega, mis ei sõltu olulisel määral neile mõjuvatest kiirendustest. Nurkkiirust mõõtvate güroskoopandurite kasutamisel tuleb arvestada kahe olulise puudusega. Güroskoopandurite abil nurga määramiseks tuleb nurkkiirus integreerida ning see põhjustab triivi. Probleem ilmnes ka anduri reaalsel katsetamisel. Sel põhjusel on vajalik nurka korrigeerida kiirendusanduri abil. Teoreetilised arvutused näitasid, et põikkalde mõõtmisel kurvides ei ole kirjeldatud meetod piisavalt täpne. Lisaks ilmnes, et güroskoopanduri abil kaldenurga mõõtmiseks on vaja kasutada 3-teljelisi andureid, millest tulenevalt muutuvad arvutusvalemid keeruliseks ning mikrokontrolleris raskesti realiseeritavaks.

Sobivaks lahendusvariandiks osutus kombinatsioon kalde-, güroskoop- ja kiirusandurist. Üheteljelise güroskoopanduri ja sõiduki kiiruse abil on võimalik arvutada kesktõmbekiirendus ning kaldeanduri näitu sellest lähtuvalt korrigeerida. Kirjeldatud lahendusega saab põikkalde leida lihtsate arvutusvalemite kaudu. Sõidukile paigaldatud mõõtesüsteem peab arvestama ka

sõiduki vedrustusega. Külgiirenduse tõttu muutub auto kere kalle erinevaks tee kaldest. Selle kompenseerimiseks lisati arvutustesse vedrustuse jäikust iseloomustav tegur. Valitud lahenduse puhul arvatud mõõtmise teoreetiline määramatus osutus piisavalt väikseks.

Teoreetiliselt leitud lahenduse õigsuse kontrollimiseks reaalsel mõõtmisel valmistati prototüüp. Sõiduki kiiruse määramiseks kasutati ülesande püstitanud firmas varasemalt projekteeritud mõõtesüsteemi IRIMETER-1, millega ühendati prototüübina loodud kaldemoodul. Kaldenurga mõõtmine toimus vedelikul põhineva kaldeanduri abil, mis oli samuti ettevõttes olemas. Anduri tundlikkuse põhjal arvutati vajaliku analoog-digitaalmuunduri lahutusvõime. Nurkkiiruse mõõtmiseks võeti kasutusele moodul güroskoopanduriga. Katseliselt uuriti anduri sõltuvust temperatuurist. Kaldemooduli prototüüp omas kahte mikrokontrollerit, sest tekkis vajadus samaaegselt suhelda USB kaudu arvutiga ning RS-485 liidese vahendusel mõõtesüsteemiga IRIMETER. Elektroonikakomponendid paigutati mitmele makettplaadile ning ühendused tehti juhtmete abil. Prototüübi korpusena kasutati lihtsat toorikkarpi ning ühenduste jaoks läbiviike.

Prototüübi kaldemooduli tarkvara ülesanne oli anduritelt mõõtetulemused lugeda ning need USB kaudu arvutisse saata, kus toimus põikkalde arvutamine. Katsetamisel toimus prototüüp probleemideta ning katsetulemused olid lootustandvad. Mõõdetud põikkalded langesid sõiduki erinevatel kiirustel hästi kokku, mis kinnitas valitud lahenduse toimimist reaalsel mõõtmisel ja lubas edasi minna mõõtesüsteemi lõppversiooni projekteerimisega.

Kaldemooduli elektroonika projekteerimisel lähtuti olulisel määral prototüübis kasutatud lahendustest. Güroskoopanduri lõplik valik tehti anduri madala mürataseme alusel. Kaldeanduri puhul võrreldi vedelikul põhinevat andurit ning MEMS kiirendusandurit. Sobivaks valikuks osutus vedelikul põhinev kaldeandur, mille juures analüüsiti täiendavalt anduri reageerimisega ning vajadust signaali täiendavaks filtreerimiseks. Mikrokontroller on sama tüüpi, mis leidis kasutust prototüübis, kuid tarkvara mahutamiseks pisut suurema programmi-mäluga. Komponentide valimise järel koostati elektriskeem ning selle alusel omakorda trükkplaat. Mõõtesüsteemi ülejäänud osad, milleks olid ekraani ja USB pesaga juhtmoodul, keskplakk ning kiirusandur, võeti üle mõõtesüsteemilt IRIMETER.

Mehaanika osas projekteeriti käesolevas töös kaldemooduli korpus koos vajalike läbiviikude ja ühenduskaablitega. Toorikkarbi valikul lähtuti peamiselt etteantud mõõtmetest ning piisavast kaitstuse tasemest. Projekteeritud korpus tagab, et elektroonikale ei pääse ligi tolm ega

niiskus. Toorikarbi töötlemise kohta valmistati joonised ning kaablite õigeks ühendamiseks kirjutati koostamisjuhhis.

Mõõtesüsteemi kaldemooduli tarkvara loomisel oli suurim probleem tagada tõrgeteta andmevahetus. Mikrokontroller peab ühelt poolt lugema jooksvalt andureid ja arvutama põikkalde, teiselt poolt on vaja iga hetk olla valmis juhtmooduli käsu peale saata mõõtetulemus. Lisaks peab kaldemoodul leidma kiirusanduri ja juhtmooduli vahelisest andmevahetusest informatsiooni sõiduki kiiruse kohta. Laheduseks on katkestuste kasutamine, mille puhul peab katkestuse kood olema minimaalse pikkusega. Vastasel juhul ei jõua mikrokontroller uuele katkestusele reageerida ning tekivad probleemid. Kirjutatud programm sisaldab ka funktsioone andurite kalibreerimiseks.

Olemasolevat juhtmooduli programmi modifitseeriti kasutamiseks kaldemooduliga. Lisandusid uued menüüekraanid ning täiendavad käsukoodid arvutist saadavate andmete vastuvõtmiseks. Juhtmooduli tarkvara koostamisel kerkis põhiküsimus kasteandmete mälu struktureerimise juures. Mõõtesüsteemi IRIMETER programmis olid salvestatud mälu kirjed fikseeritud pikkusega. Kalde mõõtmise jaoks ei olnud antud lahendus mõistlik. Põikkalde mõõtesüsteemis on mälu struktureeritud dünaamiliselt. See tähendab, et igas katsepunktis salvestatakse andmeid kasutatavate andurite arvu alusel.

Arvutipoolse tarkvara loomisel oli vaja teha kasutajaliides põikkalde katsetulemuste esitamiseks. Andmevahetuseks juhtmooduliga ning andurite seadistuste muutmiseks vajalik programmikood oli ettevõttes loodud varem. Seda ei olnud põhjust oluliselt muuta, lisati vaid mõned nupud ja funktsioonid kaldemooduli konfigureerimise jaoks. Põikkalde mõõtmiste näitamiseks loodi uus aken, mille kaudu saab teostada erinevaid toiminguid. Andmeid saab vaadelda nii graafiku kui ka tabelina. Katsetulemusi saab nihutada ja uurida väiksemate vahemike kaupa. Katseandmete alusel saab lihtsalt koostada mõõteprotokolli Excel failina, kuhu on kirjutatud kõik katsega seotud informatsioon.

Sõiduki vedrustuse jäikusteguri määramiseks ja kaldeanduri kalibreerimiseks oli vaja välja töötada meetodika. Töös kirjeldati arvutusvalemid vedrustuse jäikuse hindamiseks ning kontrolliti katseliselt valitud lahenduse toimimist. Loetleti kaldeanduri kalibreerimiseks vajalikud tegevused ja põhjendati vajadust kalibreerimise teostamiseks enne mõõtmiste alustamist.

Eesmärgiga hinnata mõõtesüsteemi võimekust ja määramatust tehti võrdluskatse. Katse teostamise kohaks valiti teelõik, mille põikkalded olid varasemalt käsikaldemõõdikuga ära mõõdetud. Sama lõik mõõdeti automaatse põikkalde mõõtesüsteemiga erinevatel sõiduki kiirustel. Mõlemal meetodil mõõdetud põikkallete väärtuse langesid hästi kokku. Seejuures toimis mõõtesüsteem suhteliselt edukalt ka suurte mõõtekiiruste juures. Mõne katse puhul ilmnenuid lahknevused võrreldes käsikaldemõõdikuga võivad olla tingitud sellest, et käsimõõtmine toimus 3 aastat tagasi ja tee profiil võib selle aja jooksul olla pisut muutunud.

Käesoleva töö autori hinnangul täideti lõputöö ülesandes püstitatud eesmärgid edukalt ning projekteeritud mõõtesüsteem tõestas ennast realsel katsetamisel. Töö teostamine andis autorile väärtusliku kogemuse keerulise süsteemi erinevate osade loomisel ja nende omavahelisel ühendamisel tervikuks. Tulemusena valminud mõõtesüsteem võimaldab kiiresti ja mugavalt mõõta teede põikkaldeid. Seeläbi väheneb teed iseloomustavate parameetrite kontrollimisele kuluv aeg ning kaudselt paraneb teedehituse kvaliteet.