

Juuso Pahlstén

Sähköisen ohjaustehostimen käyttöönotto Electric RaceAboutissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Insinöörityö
31.5.2012

Alkulause

Tahdon kiittää niin vanhaa kuin uuttakin E-RA-tiimiä tämän insinööriyön mahdollistamisesta. Ilman kaikkien vaivannäköä ja tuhansia projektiin käytettyjä työtunteja ei tämäkään insinööriyö olisi ollut mahdollinen toteuttaa. Tahdon erityisesti kiittää aktiivisesti työni toteuttamisessa avustaneita tiimin jäseniä sekä projektin pääinsinööriä lehtori Sami Ruotsalaista, jonka kärsivällisyys ja periksiantamattomuus ovat mahdollistaneet projektin jatkumisen ja kukoistuksen.

Helsingissä 31.5.2012

Juuso Pahlstén

Tekijä(t) Otsikko	Juuso Pahlstén Sähköisen ohjaustehostimen käyttöönotto Electric RaceAboutissa
Sivumäärä Aika	29 sivua 31.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Sami Ruotsalainen
<p>Tämä insinöörityö on tehty osana projektityöskentelyä Electric RaceAbout (E-RA) -tiimissä. Työn tarkoituksena on varustaa E-RA-sähköurheiluauto jälkimarkkinoilta löytyvällä ohjaustehostinyksiköllä. Pyrkimyksenä ohjaustehostimen lisäämisellä auton kokoonpanoon on helpottaa auton käsittelyä hitaissa ajonopeuksissa, esimerkiksi parkkipaikoilla, mutta myös tehdä autosta helpompi ja nopeampi käsitellä rata-ajossa.</p> <p>Työssä esitellään erilaisia vaihtoehtoja ohjaustehostinratkaisuksi niin perinteisiin polttomoottorikäyttöisiin ajoneuvoihin kuin sähköautoihin. Lisäksi työssä esitellään erilaisten ohjaustehostinvaihtoehtojen perustoimintaperiaatteet. Toimintaperiaatteiden ja E-RAan asennettavalle ohjaustehostimelle asetettujen vaatimusten perusteella tehtiin päätös hankkia jälkimarkkinoilta helposti saatavilla oleva NSK Groupin valmistama EPAS-ohjaustehostinyksikkö.</p> <p>Hankittua ohjaustehostinyksikköä jouduttiin muokkaamaan E-RAan sopivaksi, jotta sen kiinnitys ja ulottuvuudet saatiin vastaamaan aikaisemman tehostamattoman ohjausmoduulin mittoja. Mekaanisen kiinnityksen ja muokkauksen lisäksi tehostinyksikön sähköinen toiminta ja ohjaus täytyi parametroida E-RAan sopivaksi.</p> <p>Työn tuloksia päästiin tarkastelemaan kaupunkiajossa jo keväällä 2012, ja etenkin ajaminen parkkipaikalla oli muuttunut työläästä ja raskaasta varsin vaivattomaksi ja miellyttäväksi liikkumiseksi. Vasta kesän 2012 ensimmäiset ratatestit tulevat osoittamaan, onko kierrosaikoihin ja auton käsiteltävyyteen rata-ajossa tullut parannusta edellisestä.</p>	
Avainsanat	Electric RaceAbout, sähköauto, ohjaustehostin, EPS, EPAS

Author(s) Title	Juuso Pahlstén Implementation of Electric Power Steering for Electric RaceAbout
Number of Pages Date	29 pages 31 May June 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Sami Ruotsalainen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was carried out as a part of the Electric RaceAbout (E-RA) electric vehicle prototype. The aim was to design a functional and comfortable steering system using an existent aftermarket power steering unit. By implementing power steering system on E-RA it is expected to make steering on low speeds easier and on the other hand to gain faster lap times on racetrack by easing the driver's steering effort.</p> <p>The study presents different types of power steering options from basic internal combustion engine cars, but also power steering options for electric vehicles. The basic working principles are also presented in this study. Combining the working principles and the demands of power steering systems for this particular electric vehicle, a decision was made to acquire NSK Group manufactured fully electric EPAS -power steering unit.</p> <p>The acquired power steering unit had to be modified for E-RA, so that the mounting and dimensions would correspond with the earlier non-powered steering module dimensions. In addition to mechanical mounting and modifications also electrical compatibility and parameterization had to be done.</p> <p>The first results of this thesis were shown in city driving in spring 2012. Driving in a parking lot showed that earlier heavy steering had changed into an easy and pleasant experience. The first test on racetrack in summer 2012 will show how the steering performance has changed from last fall.</p>	
Keywords	Electric RaceAbout, electric vehicle, power steering, EPS

Sisälllys

Alkulauseet

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Electric RaceAbout	2
3	Insinööriyön tavoitteet	4
4	Ohjaustehostinvaihtoehdot	5
4.1	Ohjaustehostimen toimintaperiaate	5
4.2	Hydrauliset ohjaustehostimet	5
4.3	Sähköhydrauliset ohjaustehostimet	6
4.4	Täyssähköiset ohjaustehostimet	7
4.4.1	Hammastankoon kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin	7
4.4.2	Matopyörään kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin	8
4.4.3	Ohjausakseliin kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin	8
5	Asetetut vaatimukset ohjaustehostimelle	10
5.1	Elektroniset vaatimukset ohjaustehostimelle	10
5.2	Mekaaniset vaatimukset ohjaustehostimelle	11
6	Ohjaustehostimen hankinta ja saatavuus	12
7	EPAS-ohjaustehostinyksikön toiminta	13
7.1	Ohjaustehostimen mekaaninen rakenne	13
7.2	Ohjaustehostimen elektroninen toiminta	13
7.3	Mittaukset ohjaustehostimen signaaleista	16
8	Toteutus	17
8.1	Sähköisen ohjaustehostimen sijoitus ohjausakselille	17
8.2	Vanhan ohjauspylvään ulottuvuuksien mittaus	17
8.3	Tehostimen kiinnitys	18

8.4	Akseleiden suunnittelu	20
8.5	Ohjaustehostinmoduulin pidennys	21
8.5.1	Suojaavan ulkokehän pidennys	21
8.5.2	Ohjausakselin jatkaminen	22
8.6	Tehostimen parametointi	23
8.7	Tehostinyksikön mallinnus	25
9	Testaus	26
10	Yhteenveto ja pohdintaa	27
	Lähteet	

Lyhenteet

EPAS Electrical Power Assisted Steering

EPS Electric Power Steering

IWS Intelligent Wiring System

E-RA Electric RaceAbout

RFID Radio Frequency IDentification

1 Johdanto

Electric RaceAbout (E-RA) on Metropolia Ammattikorkeakoulussa suunniteltu ja rakennettu ajoneuvoprototyyppi. Se on tekniikaltaan edistyksellinen ja energiatehokas kaksipaikkainen sähköurheiluauto. Tätä todistaa auton menestys useissa arvostetuissa sähköautokilpailuissa, kuten Automotive X-Prize -kilpailussa vuonna 2010, Michelin Challenge Bibendumissa vuonna 2011 sekä Nürburgring Nordschleife -kilparadalla ajettu rataennätys vuonna 2011. E-RA on neljän sähkömoottorinsa, suoravetoisuudensa, litium-titanaattiakustonsa ja hiilikuitumonokokkirunkonsa ansiosta osoittanut olevansa niin tekniikaltaan, kuin myös suorituskyvyltään kehittynyt urheiluauto.

Prototyyppi-auton rakentamisessa pätee samat säännöt kuin muussakin prototyyppi-valmistuksessa: tuotteet eivät koskaan ole valmiita, vaan niitä kehitetään ja parannellaan kunnes projekti on tullut päätökseensä. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tehdä parannuksia E-RAn käyttömukavuuteen ja suorituskykyyn ohjattavuuden näkökulmasta. E-RAssa ei ole tähän asti ollut ohjaustehostinta, minkä takia varsinkin hitaissa nopeuksissa auton ohjaus on ollut varsin raskasta. Kun rata-ajossa vielä huomattiin tehostamattoman ohjauksen hitaus, olivat syyt tehostimen käyttöönotolle jo perustellut.

Tämän insinööriyön tavoitteena on asentaa, testata ja parametroida E-RAan satunnaiseen kaupunkiajoon miellyttävä ohjaustehostin, jolla voidaan myös tarpeen tullen mahdollistaa riittävän nopea ja kilpa-automainen ohjaus rata-ajoa ajatellen.

2 Electric RaceAbout

Electric RaceAbout (kuva 1) on vuonna 2007 aloitettu Metropolia Ammattikorkeakoulun sähköautoprojekti. Tarkoituksena oli valmistaa moderni katulaillinen sähköurheiluauto sekä osallistua sillä kesällä 2010 Yhdysvalloissa järjestettävään X-Prize Automotive -tuotekehityskilpailuun opiskelijaryhmän voimin. Kilpailun jälkeen E-RAa on jatkettu tuotekehitysprojektina ja sillä on osallistuttu useisiin muihinkin sähköautokilpailuihin.

E-RAn muotoilusta vastasi Lahden muotoiluakatemia ja itse auton valmistamisesta Metropolia Ammattikorkeakoulun opiskelijoista valikoitunut tuotekehitysryhmä. Auton neljä sähkömoottoria suunniteltiin yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Moottoreiden kokoonpanosta vastasi lappeenrantalainen Axco Motors Oy.

E-RAssa on hiilikuituinen monokokkirunko, johon on kiinnitetty myös hiilikuituiset kori-paneelit. Neljä suoravetoista sähkömoottoria ja Audi R8 -mallista saatu pyöräntuenta on kiinnitetty omavalmisteiseen teräksiseen apurunkoon. Jokaista moottoria pyöritetään saksalaisvalmisteisella Semikron SKAI2 -taajuusmuuttajalla, jonka käyttöenergia saadaan amerikkalaisvalmisteisesta Altairnano-litium-titanaattiakustosta, jonka kapasiteetti on 33 kWh.

Korisähköjärjestelmä on toteutettu suomalaisvalmisteisella Intelligent Wiring Systems International Oy:n tarjoamalla virranhallintajärjestelmällä. IWS-virranhallintajärjestelmä on kaksijohdinjärjestelmä, joka tarjoaa valmiiksi paluujohtimen. Auton johtosarja on itse suunniteltu ja kokoonpantu yhteistyössä suomalaisen PKC Group Oy:n kanssa.

Tällä hetkellä E-RAn uusia sähkökäyttöjä ollaan koeajamassa ja hienosäätämässä jotta ne olisivat mahdollisimman energiatehokkaat ja suorituskykyiset. Jatkokehityshankkeita projektissa on ohjausgeometrian parantaminen, pikalatauksen testaus ja esittely sekä neljän erillisen moottorin tuoma mahdollisuus luoda ajoneuvoon uudentyyppinen ajonhallintajärjestelmä.



Kuva 1. Electric RaceAbout -sähköurheiluauto Nürburgissa, Saksassa syksyllä 2011.

3 Insinööriyön tavoitteet

Tähän asti E-RAssa toteutettu tehostamaton ohjausjärjestelmä on peräisin Audi R8 -mallista. Hammastanko on muunnettu Audin hydraulisesti tehostetusta hammastangosta tavalliseksi tehostamattomaksi hammastangoksi poistamalla siitä ohjaustehostin-komponentit, kuten hydraulipumppu ja -letkut. Koska E-RA on prototyyppi, ei sen käytössä tähän asti tehostetulle ohjaukselle ole juurikaan ollut tarvetta. Vuoden 2011 ke-sän ja syksyn aikana tehtyjen useiden ratatestien perusteella nähtiin kuitenkin selkeä tarve ohjaustehostimelle myös rata-ajoa ajatellen.

Tämän insinööriyön tavoitteena on saada E-RAan suunniteltua, asennettua sekä pa-rametroitua täyssähköinen ohjaustehostin. Ohjaustehostimen tulee toimia luotettavasti katukäytössä ja tukea etenkin hitaissa ajotilanteissa ajoneuvon käsiteltävyyttä, esimer-kiksi helpottamalla pysäköintiä. Ohjaustehostimen tulee kuitenkin olla myös ratakäyt-töön kelpaava luotettavuudeltaan ja vikasietoisuudeltaan; ratakäytössä ohjaustehosti-men odotetaan nopeuttavan ohjausta ääritilanteissa sekä helpottavan kuljettajan ohja-ussuoritetta näin samalla parantaen kierrosaikoja.

4 Ohjaustehostinvaihtoehdot

Koska E-RAssa ei ole öljytilavuuksia, oli jo suunnittelun alkuvaiheessa selvää, että ainoa vaihtoehto ohjaustehostimeksi tähän ajoneuvoon olisi täyssähköinen ohjaustehostin, joka ei tarvitse hydraulineistettä tai muuta vastaavaa voimaa välittävää ainetta toimiakseen. Oli kuitenkin tärkeää ymmärtää erilaisten ohjaustehostimien toimintaperiaate ennen lopullisen ohjaustehostinvaihtoehdon valintaa.

4.1 Ohjaustehostimen toimintaperiaate

Ohjaustehostin tehostaa nimensä mukaisesti kuljettajan tuottamaa ohjauserätettä ohjauspyörältä. Tämän lisäksi ohjaustehostimella saadaan vähennettyä tiestä ohjauspyörään syntyviä herätteitä, jotka kuljettaja kokee häiritsevinä, pahimmillaan jopa kivuliaina. Tehostaakseen ohjausta ohjaustehostin tarvitsee käyttövoimansa, jonka tyypillisesti tuottaa sähkö tai hydraulipaine.

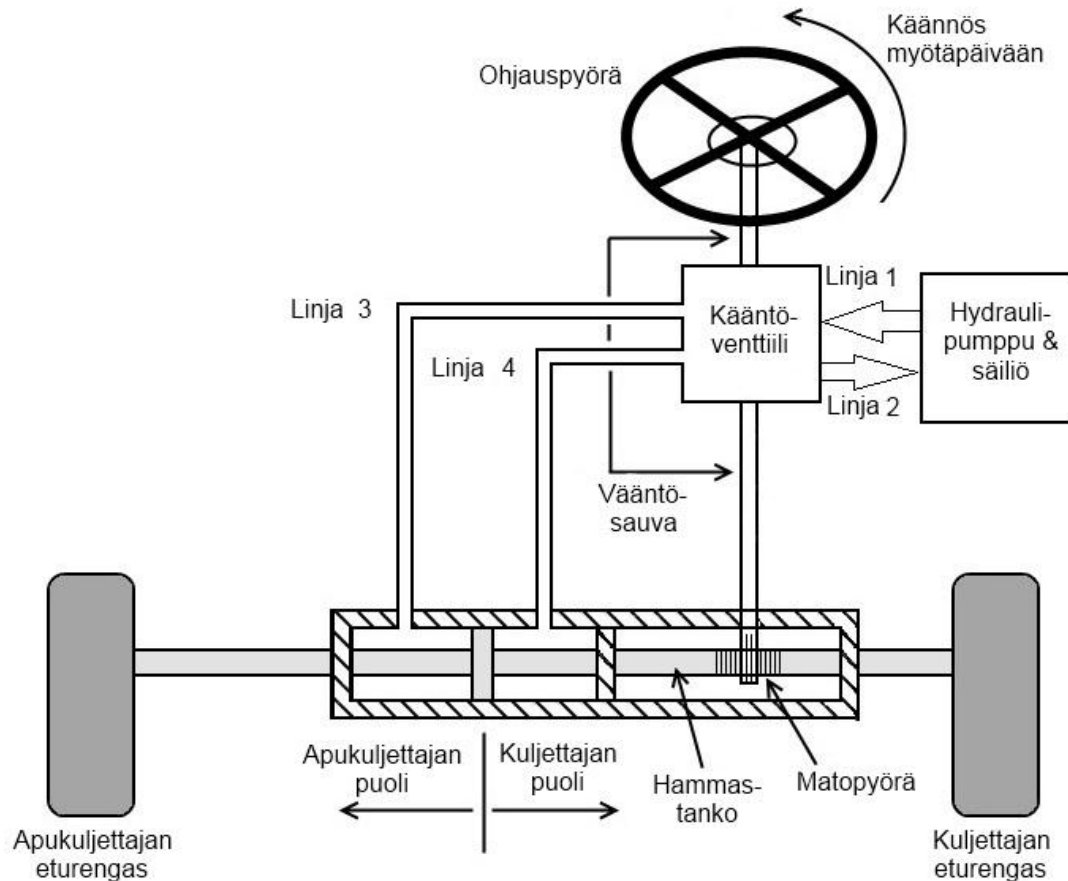
Ohjaustehostimen tulee havaita ohjauserätteen ja tien tuottaman voiman välinen ero, jota se sitten pyrkii tilanteesta riippuen joko kasvattamaan tai vaimentamaan. Tapoja, joilla tätä ohjausakselin ja renkaita kääntävän akselin välistä vääntömomenttia mitataan, on useita. Mittausmenetelmänä voi toimia erilaiset vääntötangot, joiden taipumaa tarkkaillaan, tai potentiometrit, jotka kertovat vääntömomentin suuruudesta ja suunnasta.

Ohjaustehostimen perustoimintaperiaate on pysynyt melko samanlaisena jo vuodesta 1951, kun sellainen asennettiin ensimmäisen kerran Chrysler Imperial -malliseen tuotantoautoon.

4.2 Hydrauliset ohjaustehostimet

Perinteisessä hydraulisesti toimivassa ohjaustehostimessa (kuva 2) hydraulipumppu saa käyttövoimansa ajoneuvon polttomoottorilta. Hydraulipumpun tuottama paine avustaa hammastangon liikkumista tarpeen mukaan. Paineen tuottaminen oikealle puolelle hammastankoa tunnistetaan esimerkiksi ohjausakselilla olevalla vääntösauvalla, joka ohjaa paineen oikealle linjalle.

Klassiseen tyyliin hihnavetoisesti polttomoottoriin kytketty hydraulipumppu, joka pyörii polttomoottorin kierrosnopeuden mukaan, on rasite moottorille ja lisää polttoaineen kulutusta 0,2–0,7 litraa sadalla kilometrillä. [1, s. 282.]



Kuva 2. Perinteisen hydraulisen ohjaustehostimen toimintaperiaate [2, s. 126 mukailen].

4.3 Sähköhydrauliset ohjaustehostimet

2000-luvulla yleistynyt sähköhydraulinen ohjaustehostinjärjestelmä, jossa käyttövoimaa ei enää suorasti tarjoakaan polttomoottori vaan hydraulipaineen tuottaa sähköinen hydraulipumppu. Sähköpumppu voidaan optimoida toimimaan vain tarvittaessa, jolloin sillä ei ainakaan teoriassa ole energiaa hukkaavaa tyhjäkäyntiä, kun tehostusta ei tarvita. Sähköinen hydraulipumppu kytketään käymään vasta, kun järjestelmään tarvitaan hydraulipainetta. Sähköhydraulinen ohjaustehostinjärjestelmä tulee monimutkaisuutensa takia mahdollisesti katoamaan tuotantoautoista, kun sähköiset ohjaustehostinjärjestelmät kehittyvät ja löytävät tiensä yhä useampiin malleihin.

4.4 Täyssähköiset ohjaustehostimet

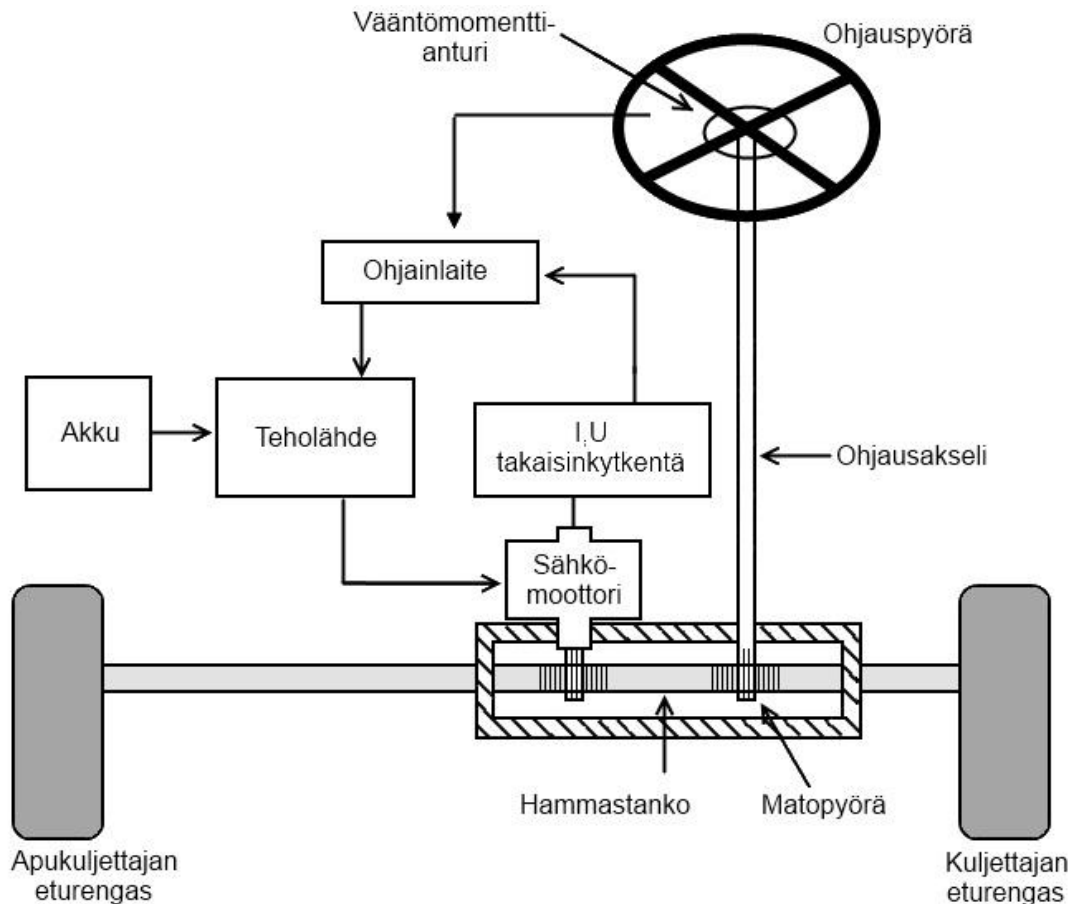
Täyssähköisen ohjaustehostimen (kuvat 3 ja 4, s. 8–9) etuja on ennen kaikkea hydraulinesteen tarpeettomuus, koska tehostuksen hoitaa sähkömoottori. Usein hydraulian puuttuminen myös keventää ohjaustehostinjärjestelmään sekä vie vähemmän tilaa nykyisin yhä ahtaammiksi muuttuvissa moottorituloissa. Koska sähkömoottorien hyötysuhde on korkea, saadaan täyssähköisestä ohjaustehostimesta myös hyvin suunniteltuna ja oikein mitoitettuna varsin energiatehokas.

Täyssähköisiä ohjaustehostimia tullaan todennäköisesti näkemään tulevaisuudessa entistä enemmän myös siksi, että ajonvakautusjärjestelmän lisääminen tällaiseen rakenteeseen on suhteellisen yksinkertaista ja edullista. Mikäli automaailma siirtyy tulevaisuudessa käyttämään suurempaa kuin 12 voltin käyttöjännitettä, antaa se mahdollisuuden entistä voimakkaampien ohjaustehostimien käyttöönoton. [1, s. 286.]

4.4.1 Hammastankoon kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin

Rakenne, jossa tehostuksen toteuttava sähkömoottori on sijoitettu hammastangon rinnaalle tai esimerkiksi hammastangolla sijaitsevaan toiseen matopyörään (kuva 3). Rakenne suosii automalleja, joissa vanha hydraulinen tai sähköhydraulinen ohjaustehostinrakenne tahdotaan korvata täyssähköisellä järjestelmällä. Hammastangon ulkoiset mitat eivät kasva kriittisesti, ja ohjausakselin rakenne voidaan säilyttää miltei muuttumattomana. Tehostinmoottorin tarvitsema vääntömomenttianturi, jolla voidaan mitata tarvittavan tehostuksen määrä, nopeus ja suunta, voidaan asentaa ohjausakseliin.

Hammastangolle asennettu ohjaustehostin on paras ratkaisu, kun tarvitaan suuren tehostuksen tarjoava täyssähköinen ohjaustehostin. Koska tehostavan sähkömoottorin tuottama vääntömomentti kohdistuu vain hammastankoon, voidaan matopyörästä sekä ohjausakselista ja sen nivelistä tehdä kevyemmät. Koska ohjaustehostimen painavin komponentti, sähkömoottori, sijaitsee matalalla hammastangon korkeudella, pysyy myös ohjaustehostinyksikön kannalta massakeskipiste matalalla. Tämä on tärkeää etenkin suunniteltaessa ajoneuvoja, joissa massakeskipisteen korkeus on kriittinen, kuten urheilu- ja kilpa-ajoneuvoja.



Kuva 3. Toimintaperiaate hammastankoon kiinnitetystä ohjaustehostinyksiköstä [2, s. 127 mukaillen].

4.4.2 Matopyörään kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin

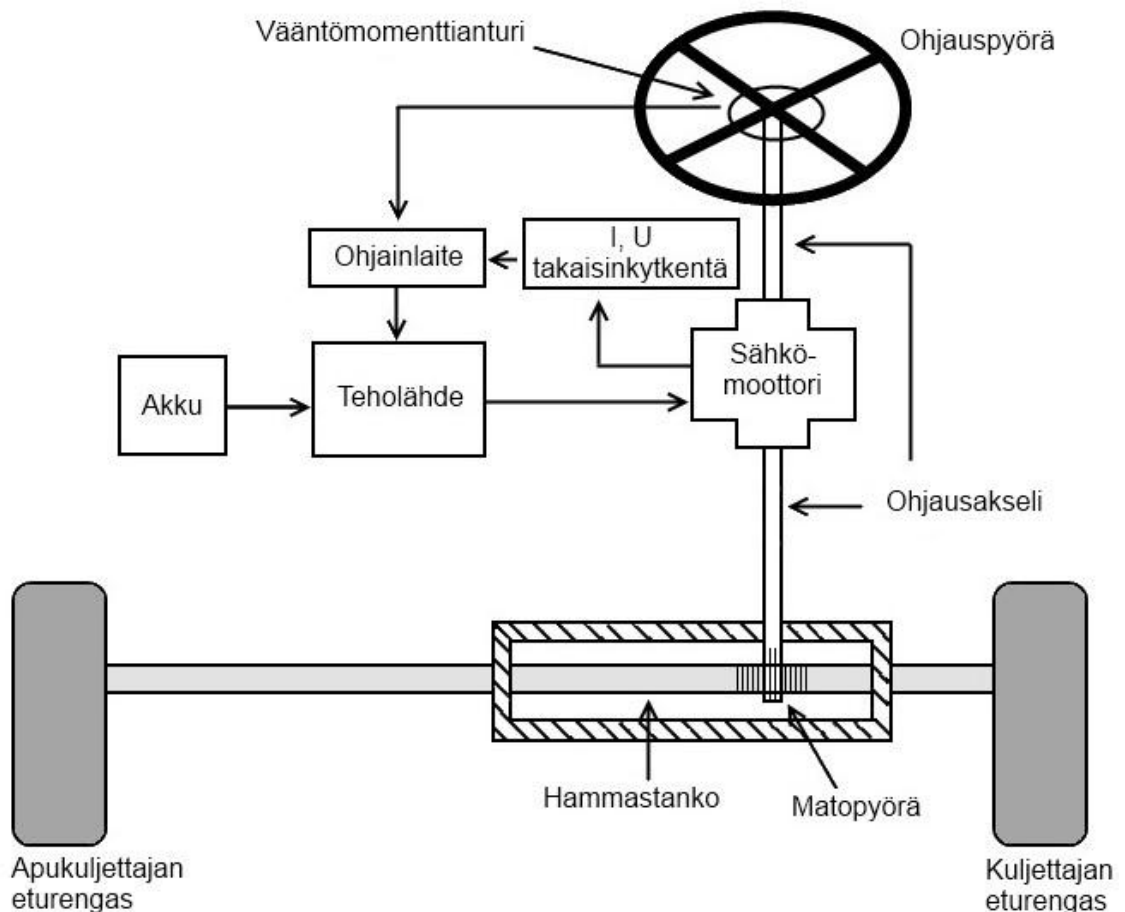
Matopyörään sijoitettuna täyssähköinen ohjaustehostin ei juuri eroa hammastankoon sijoitetusta vastineestaan. Eroina ovat lähinnä matopyörän kasvava koko, koska sähkömoottori on sijoitettuna siihen. Toisin kuin hammastankoon sijoitettuna, nyt myös matopyörän kosketuspintoihin kohdistuu niitä rasittavaa vääntömomenttia, jonka sähkömoottori siihen tuottaa. Tässä konstruktiossa myös vääntömomenttianturointi voidaan toteuttaa samassa yksikössä, jolloin johdotuksen määrä vähenee. [1, s. 287.]

4.4.3 Ohjausakseliin kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostin

Suoraan ohjausakseliin kiinnittyvät täyssähköiset ohjaustehostimet (kuva 4) ovat tyypillisiä ohjaustehostinratkaisuja etenkin pienissä perheautoissa kuten Opel Corsassa, Fiat

Puntossa ja Toyota Priuksessa. Ohjausakseliin kiinnittyvässä rakenteessa tehostuksen tuottava sähkömoottori voi olla sijoitettu ohjausakselin suuntaisesti tai sitä kohtisuoraan. Etuina ovat ohjaustehostinyksikön maltillinen koko sekä se, ettei esimerkiksi alkuperäiseen tehostamattomaan hammastankoon tarvitse tehdä muutoksia. Ohjausakseliin kiinnittyvä ohjaustehostinrakenne on yksi helpoimmista jälkiasennettavista ohjaustehostinratkaisuista.

Heikkouksina tässä rakenteessa voidaan pitää melko vähäistä tehostuksen määrää, sekä matopyörään ja koko ohjausakseliin ja sen niveliin kohdistuvaa sähkömoottorin aiheuttamaa vääntömomenttia. Painava sähkömoottori on myös tuotu tässä rakenteessa melko korkealle, millä voi olla negatiivinen vaikutus ajoneuvon massakeskipisteseen.



Kuva 4. Toimintaperiaate ohjausakseliin kiinnitetyssä ohjaustehostinyksikössä [2, s. 127 mukaillen].

5 Asetetut vaatimukset ohjaustehostimelle

Ennen ohjaustehostimen hankintaa tai edes sen saatavuuden varmistumista E-RAan määriteltiin vaatimukset ohjaustehostimen suorituskyvyille, fyysisille mitoille, energiankulutukselle sekä muille asennukseen ja käytettävyyteen liittyville seikoille.

5.1 Elektroniset vaatimukset ohjaustehostimelle

Ohjaustehostimen käyttövoimana toimivaksi jännitejärjestelmäksi päätettiin käytettävän E-RAn 12 voltin matalajännitejärjestelmää. Matalajännitejärjestelmän käyttöä energianlähteenä verrattuna E-RAn 330 voltin korkeajännitejärjestelmään puolsi 12 voltin jännitteellä toimivien ohjaustehostimien jälkimarkkinoiden laajuus sekä matalamman käyttöjännitteen huolettomuus ja turvallisuus.

Mikäli ohjaustehostin on yhdistettävissä jonkinlaisiin väyläverkkoihin, kuten CAN-väylään, näiden väyläratkaisujen tulisi olla sovitettavissa E-RAssa oleviin ajoneuvoväyliin.

Tehostimen tulisi olla energiatehokas olematta kuitenkaan tehonsa puolesta alimitoitettu. Koska ohjaustehostimen vaatima teho jouduttiin toteutuksen tässä vaiheessa vasta arvioimaan, päätettiin kohtuullisen tehonkulutuksen olevan 500–1000 W. Lisäksi energiatehokkuuden periaatetta tulitaisiin noudattamaan muissakin ohjaustehostinjärjestelmän suunnittelu- ja toteutusvaiheissa; esimerkiksi pulssinpituusmodulaatiota käytetään ohjaussignaalina, silloin kun se on mahdollista.

Lisäominaisuutena ohjaustehostimelle päätettiin luoda mahdollisuus sekä dynaamisen tehostuksen säätöön että tehostuksen manuaaliseen ajonaikaiseen säätöön kuljettajan toimesta. Tehostuksen tulisi olla kaupunkikäytössä automaattisesti ajonopeuden mukaan säätyvä, mutta kuljettajan säädettävissä myös ajon aikana ilman ylimääräisiä laitteita. Kuljettajan säätömahdollisuutta tehostuksen voimakkuudelle voitaisiin käyttää esimerkiksi rata-ajossa, mikäli kuljettaja haluaa räätälöidä tehostuksen määrän itselleen sopivaksi.

5.2 Mekaaniset vaatimukset ohjaustehostimelle

Ohjaustehostimen toiminnan päätettiin painottuvan enemmän urheilulliseen ajamiseen kuin kaupunkiajamiseen. Mikäli näiden kahden varsin erilaisen ajosuorituksen välillä jouduttaisiin tekemään kompromisseja ohjaustehostimen rakenteessa tai toiminnassa, tulisi urheilullista ajamista puoltava vaihtoehto painamaan vaakakupissa enemmän.

Ohjaustehostimen tulisi pystyä riittävän nopeaan kääntönopeuteen ajon aikana. Tutkituamme jälkimarkkinoilla tarjolla olevia ohjaustehostinjärjestelmiä päätettiin kääntönopeusvaatimukseksi asettaa 360 astetta sekunnissa.

Jotta prototyyppikäytössä ohjaustehostin olisi mahdollisimman huoleton lisälaitte, sen tulisi olla pitkäikäinen ja kokonaisuutena huoltovapaa. Nämä ominaisuudet käytännössä täyttyvät kaikissa jälkimarkkinoilla tarjolla olevissa ohjaustehostimissa.

Ohjaustehostimen massa ja fyysiset ulkomitat pyrittäisiin urheiluautomaiseen tapaan pitämään mahdollisimman pieninä. Siedettävänä massana ohjaustehostimelle pidettäisiin 5–10 kg:n lisäystä ajoneuvon massaan. Pieni fyysinen koko helpottaisi asennusta jo valmiiksi ahtaaseen kokoonpanoon ja edesauttaisi luonnollisesti ajoneuvon jatkokehitystä mahdollisimman pienellä tilantarpeella.

Yksi tärkeimmistä suunnittelun lähtökohdista oli kokoonpanon turvallisuus. Ohjaustehostin ei saisi vikatilanteessakaan estää tai vaikeuttaa ajoneuvon ohjattavuutta liikenteessä, vaan ajoneuvon tulee olla turvallisesti ajettavissa korjattavaksi tai olla minimissään turvallisesti pysäytettävissä paikkaan, jossa vikatilanne saadaan korjattua.

Kokoonpanon tulee olla katukäyttöön hyväksytty, mikä varmistetaan rakenteen riittävällä dokumentoinnilla käytettäessä jälkimarkkinoilla olevaa katukäyttöön tarkoitettua ohjaustehostinta. Näin säilytetään ohjaustehostimen riittävä turvallisuus ja vaaditut ominaisuudet.

6 Ohjaustehostimen hankinta ja saatavuus

Alkuperäinen suunnitelma ohjaustehostimeksi oli ZF Lenksystemen valmistama, myös ajoneuvoteollisuuden käyttämä, täyssähköinen tehostettu hammastanko, jossa olisi rinnakkaisesti sijoitettu tehostinmoottori. Yhteydenotot sujuivat ongelmitta, ja alustavasti pääsimme yhteisymmärrykseen saksalaisen valmistajan edustajan kanssa yrityksen sponsorisopimuksesta, jossa se tarjoaisi kyseisen ohjaustehostimen prototyyppiimme. Puhelimitse suoritettussa neuvottelussa kävi kuitenkin ilmi, ettei ZF Lenksysteme tarjoa edes tuotantoautovalmistajille omia tuotekehitystyökalujaan. Mikäli ohjaustehostinta parametroitaisiin ei olisi mahdollisuutta päästä käsiksi tehostinta ohjaavaan logiikkaan vaan kaikessa ohjaustehostimeen liittyvässä sähköisessä säätämisessä olisi jouduttu turvautumaan ulkopuoliseen apuun, olisi työn arvo hyödyllisyytensä ja mielenkiintonsa osalta laskenut melkoisesti.

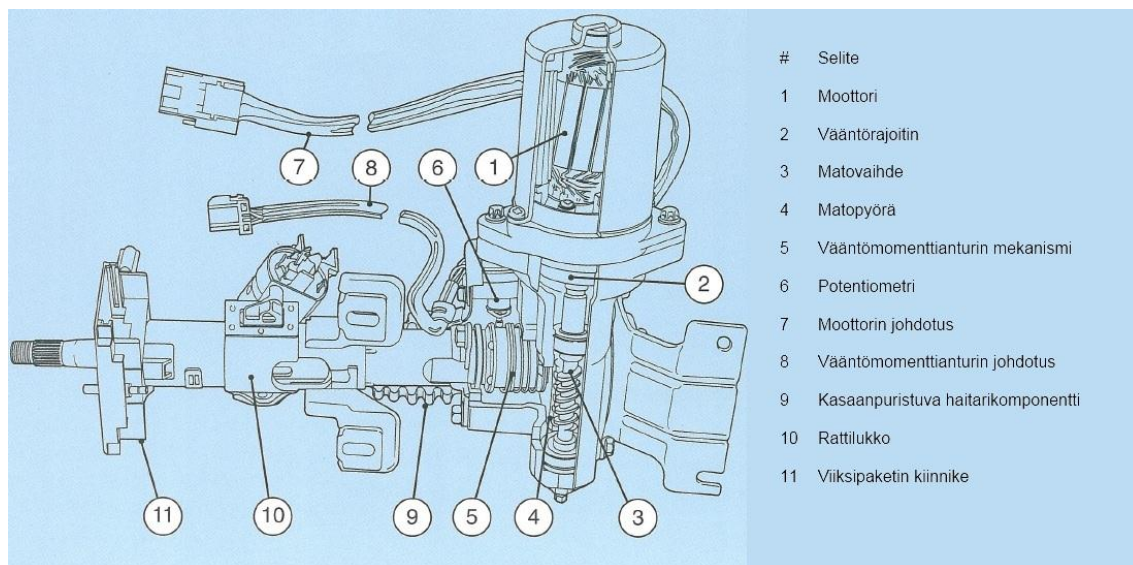
Projektiryhmän kuultua, ettei ZF Lenksysteme voi tarjota E-RAn tarpeisiin sopivaa tehostettua hammastankoa siihen liittyvine ohjelmointityökaluineen, oli tarpeen löytää vaihtoehtoinen ohjaustehostinvaihtoehto. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli tarkoitus ottaa joitakin referenssiarvoja tehostuksen parametroiden suhteen japanilaisen NSK:n valmistamasta täyssähköisestä ohjaustehostinyksiköstä. Koska tämä ohjaustehostinjärjestelmä oli helppo hankkia jälkimarkkinoilta, päätimme käyttää sitä vaihtoehtona alkuperäiselle ZF Lenksystemen ohjaustehostimelle.

Koska EPAS-ohjaustehostin on suunniteltu kiinnittymään ohjausakseliin päinvastoin kuin ZF Lenksystemen tehostettu hammastanko, muuttui tehostinyksikön kiinnittäminen autoon melkoisesti jo alkumetreillä. Nyt voitaisiin säilyttää E-RAn alkuperäinen hammastanko, joka on otettu Audi R8 -mallista, ja sen sijaan sijoittaa sähköisen ohjaustehostimen hammastankoa pyörittävään ohjausakseliin.

7 EPAS-ohjaustehostinyksikön toiminta

7.1 Ohjaustehostimen mekaaninen rakenne

Japanilaisen NSK Groupin valmistama NSK EPAS (Electric Power Assisted Steering) ohjaustehostin (kuva 5) on alumiinivaluna valmistettu ohjauspylvääseen kiinnittyvä täyssähköinen ohjaustehostinmoduuli. Sen sisällä kulkee yhtenäinen ohjausakseli, jonka pyörimistä voidaan avustaa poikittain sijoitetulla DC-sähkömoottorilla. Sähkömoottori on kytketty ohjausakseliosaan matopyörän kautta. Ohjausakselilla on holkki, johon kiinnittyy potentiometri. Kun ohjausakselin tulon ja lähdön välille luodaan momenttiero, ohjauseräte, holkki liikkuu samalla säätäen potentiometriä. Potentiometri kertoo ohjaustehostimen ohjainlaitteelle tarvittavan tehostuksen määrän ja kiertosuunnan, joka taas säätää sähkömoottorin tuottaman vääntömomentin suuruuden ja pyörimissuunnan. [1, s. 287.]



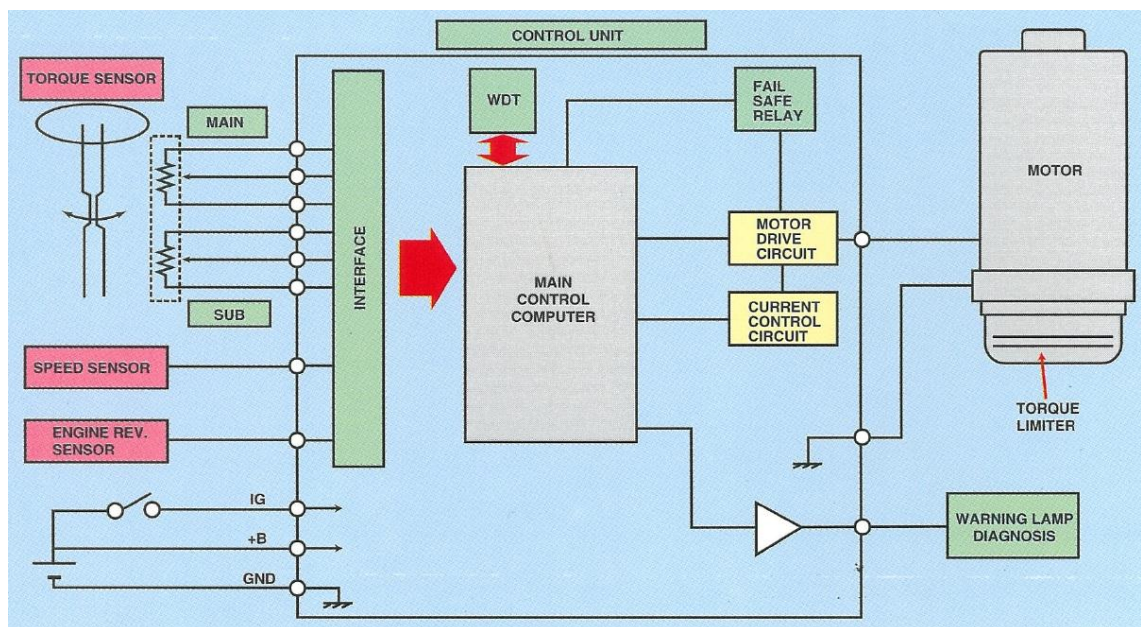
Kuva 5. NSK EPAS -mallisen sähköisen ohjaustehostimen rakenne räjäytyskuvana selitteineen [3, s.6 mukaillen].

7.2 Ohjaustehostimen elektroninen toiminta

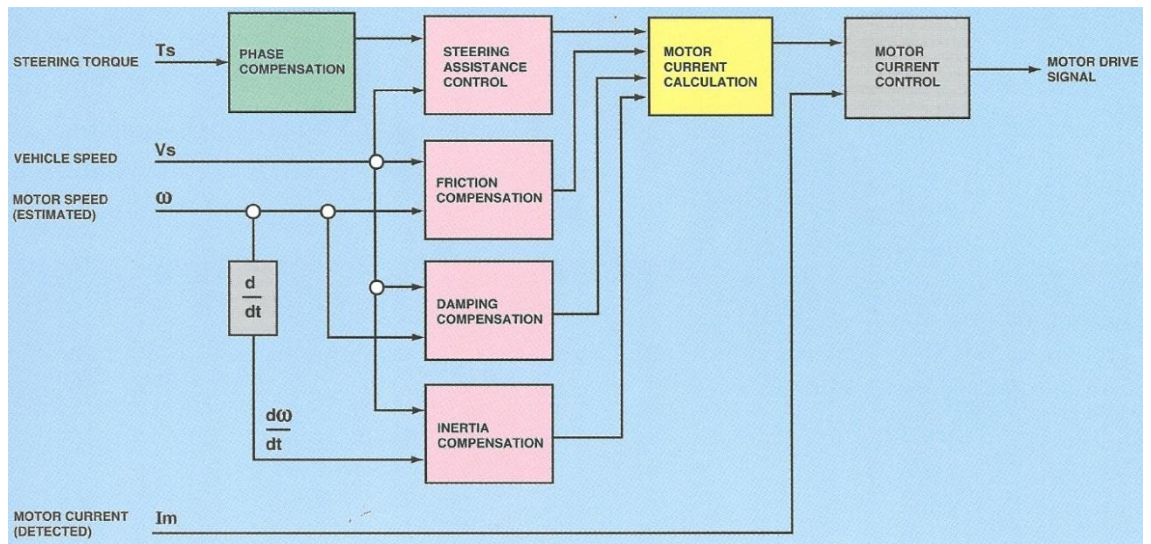
Ohjaustehostimen tehostuksen määrää säädellään NSK EPAS -ohjaustehostimessa kolmella parametrilla: ajoneuvon nopeus- ja moottorin kierrosnopeustiedolla sekä vääntömomenttianturin antamalla tiedolla. Moottorin ohjainlaite tarjoaa tiedon ohjaustehostimen ohjainlaitteelle moottorin pyörimisnopeudesta sekä ajoneuvon nopeudesta, vään-

tömomenttianturi taas on sijoitettu itse ohjaustehostinmoduuliin. Vääntömomenttianturin mittauspiiri on kahdennettu, jotta varmistettaisiin ohjaustehostimen normaali toiminta myös vikatilanteissa. Lisäksi ohjaustehostimen ohjainlaitteelle tulee jatkuva heräte jännitesignaalina sytytysvirran kytkeytymisestä. (Kuva 6.)

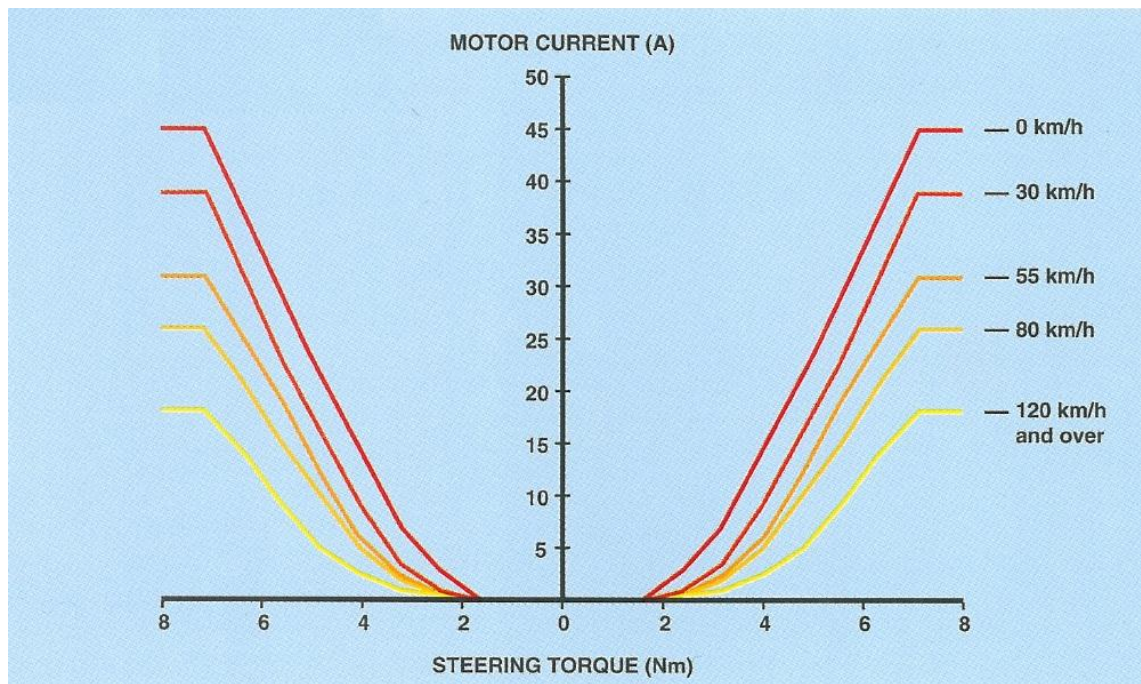
Moottorin kierrosnopeustieto mahdollistaa ohjaustehostimen toiminnan sallien ohjaustehostimen toiminnan vain moottorin käydessä. Ajoneuvon nopeustieto säätelee tehostuksen määrän ohjaustehostimen ohjainlaitteelle rakennetun logiikan perusteella (kuva 7). Lähtökohtaisesti ohjaustehostin säädetään toimimaan suurimmalla tehostuksella pienissä ajonopeuksissa kuten parkkipaikoilla ja tehostuksen määrää vähennetään ajonopeuden kasvaessa tietyn raja-arvon yli. (Kuva 8.)



Kuva 6. Alkuperäinen tuotantomalleissa käytetty lohkoakaavio NSK EPAS -ohjaustehostimesta [3, s. 4].



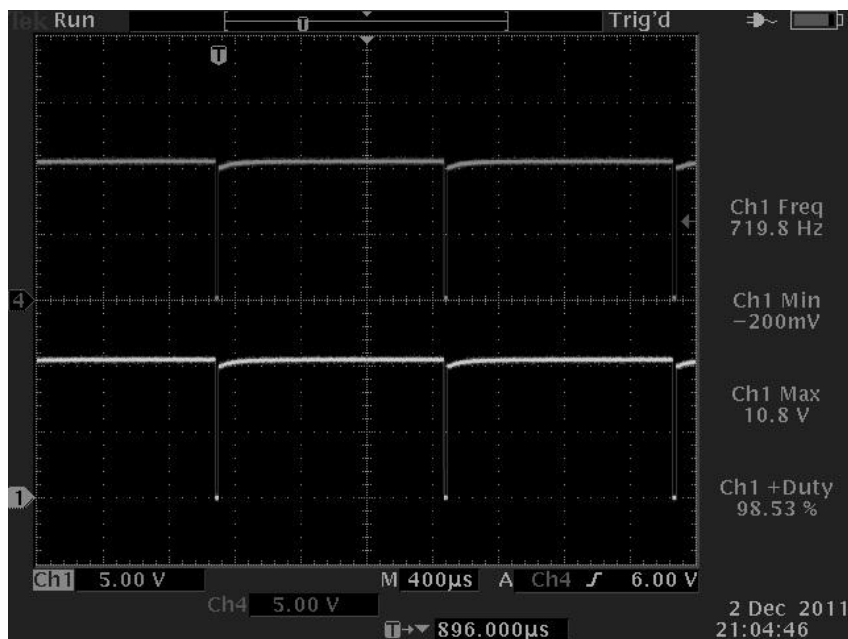
Kuva 7. NSK EPAS -ohjaustehostimen looginen toimintamalli [3, s. 5].



Kuva 8. Alkuperäinen tuotantomalleissa käytetty tehostuskartta NSK EPAS -ohjaustehostimesta [3, s. 3].

7.3 Mittaukset ohjaustehostimen signaaleista

Ohjaustehostimen mukana jälleenmyyjä toimitti sen toimintaa ohjaamaan tarkoitettua pulssigeneraattoria. Tätä pulssigeneraattoria apuna käyttäen pystyttiin rakentamaan yksinkertainen koepenkki, jossa mitattiin pulssigeneraattorin tuottamien signaalien suuruus ja tyyppi (kuva 9; taulukko 1). Pulssigeneraattorin tuottamat signaalit perustuivat mittauksiin Opel Corsasta ja niiden tarkoitus oli demonstroida ajoneuvon käyvää polttomoottoria, jotta ohjaustehostimen ohjainlaite mahdollistaisi sähkömoottorin toiminnan.



Kuva 9. Oskilloskooppikuvaaja jälleenmyyjän toimittaman pulssigeneraattorin tuottamista moottorin kierrosnopeus- sekä ajoneuvon nopeussignaaleista.

Taulukko 1. Mitatut signaalien arvot EPAS-yksikön elektroniselta ohjainlaitteelta.

Signaali	Suure	Taajuus (Hz)		Duty cycle (%)	
		Min	Max	Min	Max
Engine revolution -signaali		28	720	50	98,5
Vehicle speed -signaali		28	720	50	98,5

8 Toteutus

8.1 Sähköisen ohjaustehostimen sijoitus ohjausakselille

NSK:n EPAS-ohjaustehostimen hyvänä puolena oli se, että sen saattoi kiinnittää mihin kohtaa tahansa ohjausakselille. Ainoana rajoitteena kiinnityskohdan suhteen oli tila, jonka melko suuri poikittain sijoitettu sähkömoottori ohjaustehostinyksikössä tarvitsi, sekä yhtenäinen akseli, joka olisi tarpeeksi pitkä, jotta tehostin mahtuisi pituussuunnastaan sen tilalle. Jotta E-RAsta löydettäisiin optimaalinen kohta tehostinyksikölle, siitä tehtiin hyvin karkea tilamalli käyttäen routaeristelevyä. Routaeristelevystä leikattiin kappaleita muotoon, jotka vastasivat tehostinyksikön ulkoisia mittoja ja sen jälkeen nämä kappaleet liitettiin toisiinsa pakkausteipillä. Tämän tilamallin avulla voitiin helposti hahmottaa tilantarve, jonka tehostinyksikkö tarvitsisi kiinnityskohdassaan.

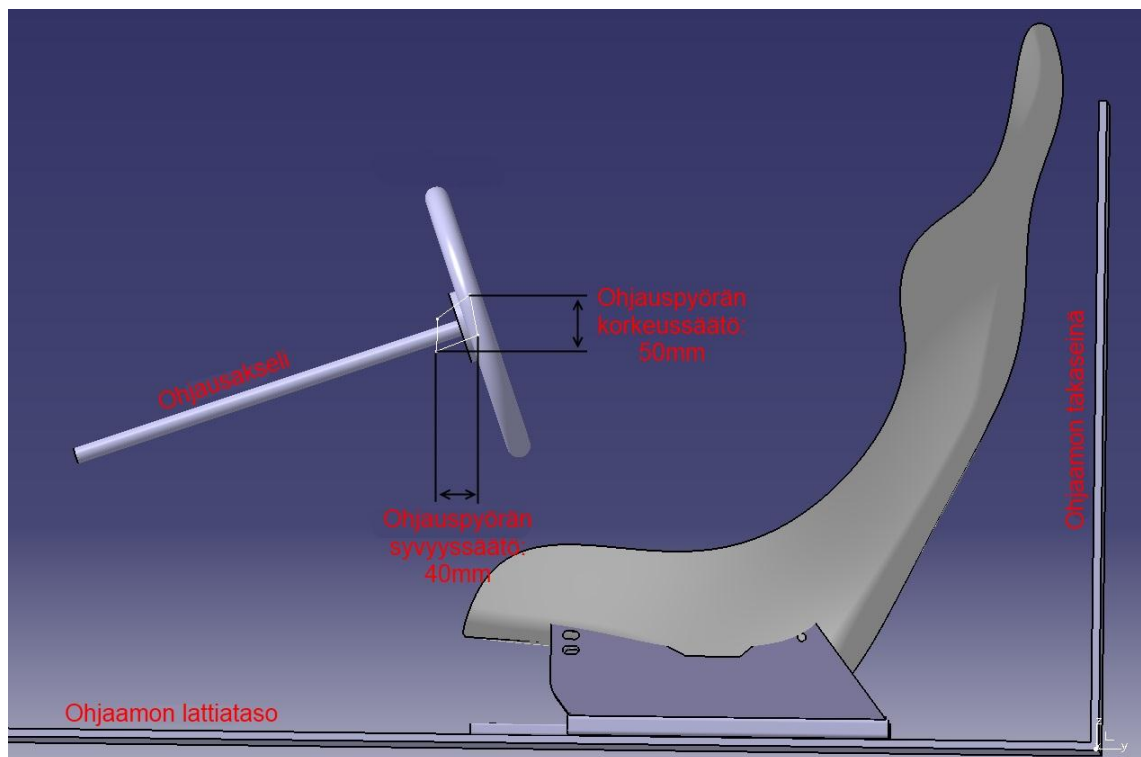
Miltei heti tilamallia sovitettaessa kävi selväksi, että tilaa ohjaustehostimelle olisi vain kahdessa eri kohdassa ohjausakselilla. Toinen niistä olisi ohjaamon ulkopuolella, pyöränkaaren sisällä, heti kohdassa, jossa ohjausakseli tulee läpi tulipelistä mennessään kohti hammastankoa. Toinen mahdollinen sijoituskohde taas olisi ohjaamon sisäpuolella, E-RAn alkuperäisen ohjausmoduulin kohdalla. Tämä moduuli oli ohjauspyörän korkeudensäätöä säätelevä komponentti.

Koska tehostinyksikön sijoittaminen auton ohjaamon ulkopuolelle olisi voinut tuoda lisähaasteita sähkökytkentöjen vedeneristävyiden suhteen, päätettiin tehostinyksikön sijoittaminen tehdä vanhan säädettävän ohjausmoduulin tilalle.

8.2 Vanhan ohjauspylvään ulottuvuuksien mittaaminen

Koska uudessa ohjaustehostimella varustetussa ohjauspylväessä ei olisi korkeus- tai syvyysäättöä, jotka löytyvät aikaisemmasta säädettävästä Audi R8:n ohjauspylvästä, tuli säädettävän ohjauspylvään ulottuvuudet mitata. Ensin säädettiin vanha ohjauspyörä optimaaliseen asentonsa, täysin ulosvedettynä ja ylimpään asentonsa nostettuna, jota käytettäisiin uuden kiinteän ohjauspyörän tulevana sijaintina. Kun vanhaa ohjauspyörän säätöaluetta mitattiin, huomattiin sen säätövaran olevan oletettua suppeampi (kuva 10). Koska tulevalla konstruktiolla ohjauspyörä ei ole säädettävissä, oli huoje-

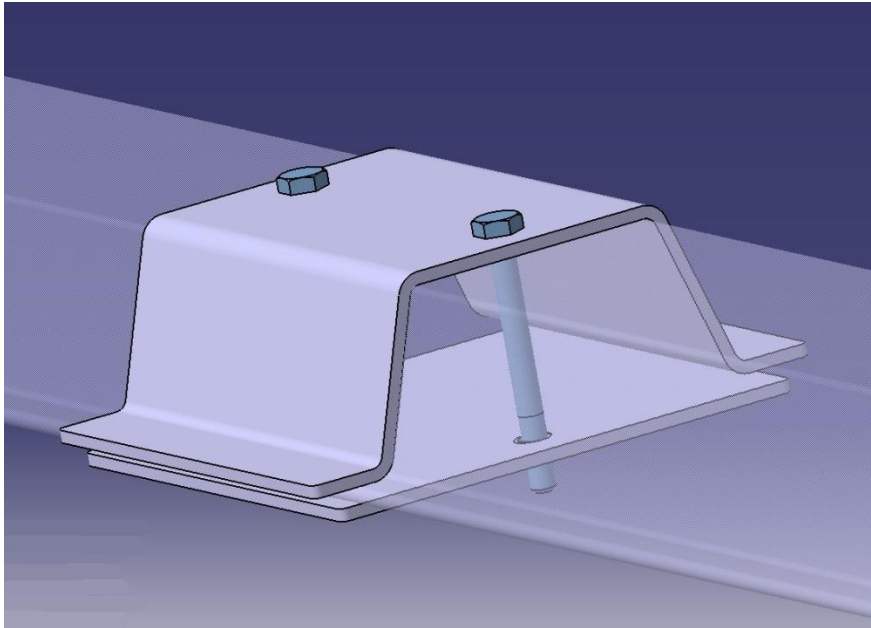
va huomata, ettei säätövaraa ollut tähänkään asti ollut merkittävä. Tämä tieto tuki päätöstä ohjauspyörän lukitsemisesta yhteen tiettyyn optimaaliseen asentoonsa.



Kuva 10. Vanhan ohjausmoduulin säädettävän ohjauspylvään ulottuvuudet.

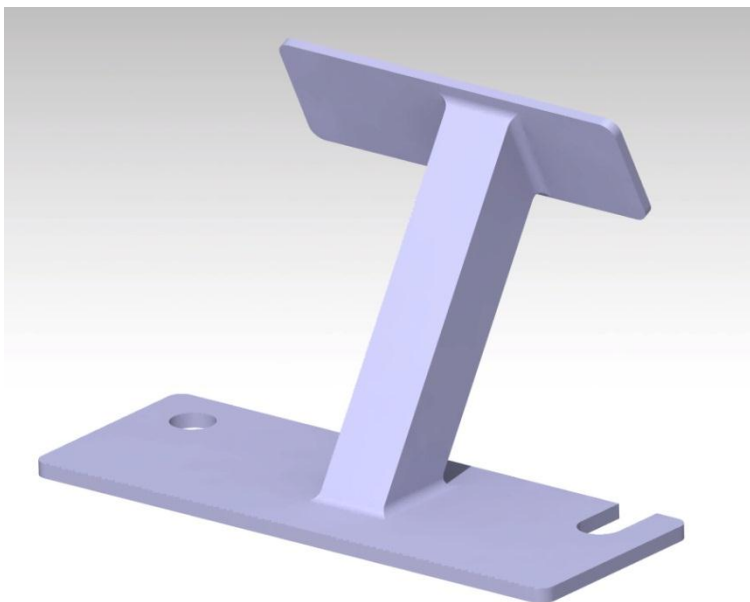
8.3 Tehostimen kiinnitys

EPAS-ohjaustehostinmoduuli kiinnitettiin E-RAan neljästä pisteestä M8-pulteilla, joista kaksi sijaitsee tehostinmoduulin etuosassa ja kaksi takaosassa. Etuosan kiinnityksistä ohjaustehostinmoduuli tulitisiin kiinnittämään ohjaamon etuosassa kulkevaan hiilikuituiseen poikkipalkkiin. Tätä kiinnitystä varten särmättiin alumiinilevystä poikkipalkkia myötäilevä profiili, jolla varmistetaan hiilikuituisen poikkipalkin kasaan puristumattomuus. (Kuva 11.) Tehostinmoduulin etukiinnikkeen kiinnityspisteet ovat teräspalat, jotka irtoavat törmäystilanteessa ohjaustehostinmoduulista mahdollistaen moduulin siirtymisen taaksepäin ja näin suojellen mahdollisesti ohjauspyörään törmäävää kuljettajaa.



Kuva 11. Särmätyt alumiiniprofilit hiilikuituiseen poikkipalkkiin, joka kuvassa näkyy läpikuultavana.

Takimmaisista kiinnikkeistään tehostinmoduuli tuli kiinnittää E-RAn tulipeltiin. Kiinnitystä varten valmistettiin alumiininen teline (kuva 12), joka liimattiin kiinni tulipeltiin Axson Adekit A280 -liimalla.



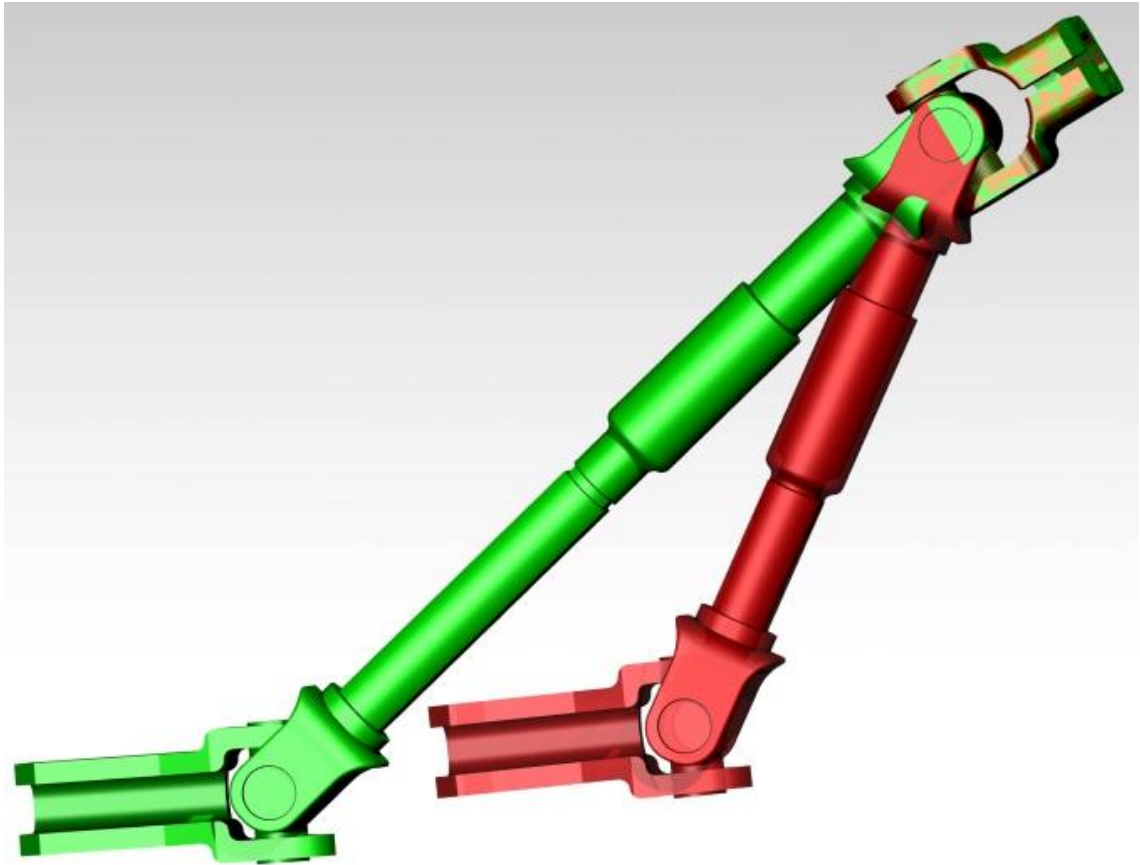
Kuva 12. Hitsattu alumiiniteline, jolla EPAS-moduuli kiinnittyy takakiinnikkeestä E-RAn tulipeltiin.

8.4 Akseleiden suunnittelu

Koska Audi R8:n ohjausakselin nivelakseli oli pidempi kuin EPAS-yksikön vastaava, tuli keksiä ratkaisu jolla uuden ohjaustehostimen akselin ja alkuperäisen hammastangolta saapuvan ohjausakselin päät yhdistettäisiin.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan hammastangolta saapuva akseli pidennettäisiin, jotta ohjaustehostimelta saapuva EPAS-yksikön alkuperäinen nivelakseli voitaisiin kiinnittää siihen. Akselin valmistuttua todettiin kuitenkin, että vaikka alkuperäinen nivelakseli kyllä nyt ylittäisi hammastangolta saapuvalla akselille, nivelakseli tekisi kohtuuttoman suuren vaakasuuntaisen muutoksen linjatessaan ohjaustehostimen ja hammastangon akseleita ja näin ollen nivelten kulmista tulisi liian suuret. (Kuva 13.)

Ratkaisu nivelakselin nivelten liian suureen kulmaan oli lyhentää hammastangolta saapuvaa akselia ja vastaavasti pidentää nivelakselia, jotta nivelten kulmat pienenisivät. Pidennys päätettiin tehdä kahdesta eri vuosimallia olevan EPAS-yksikön nivelakselista hitsaamalla nämä yhteen. Tehostinmoduuli kiinnitettynä voitiin mitata tarvittava nivelakselin pituus ja hitsata se määrämittaan. Koska kyseessä olisi kokoonpainuvuudensa osalta merkittävästi ajoneuvon kolariturvallisuuteen vaikuttava komponentti, tuli kokoonpainuvuus säilyttää. Kokoonpainuvuuden säilyttäminen tulisi myös helpottamaan akselin asennusta, koska nivelakselin pituutta pystyttäisiin muuttamaan.



Kuva 13. Periaatekuvio liian suurista nivelakselien kulmista. Punaisella korostettuna liian lyhyt nivelakseli, jonka nivelkulmista tulee liian suuret.

8.5 Ohjaustehostinmoduulin pidennys

Alkuperäiset mittaukset vanhasta Audi R8:n ohjauspylvästä olivat päämääränä uuden ohjauspyörän sijoitukselle. Koska EPAS-yksikön ohjauspylväs oli kuitenkin huomattavasti tätä vaatimusta lyhyempi, tuli ohjauspylvästä tehostinyksiköltä jatkaa kohti kuljettajaa. Jatkaminen mahdollistaisi samalla ohjausakselin laakeroinnin pylvään yläpäähän, ennen ohjauspyörää. Vaadittava pidennys ohjausmoduulille oli mittausten mukaan noin 200 mm.

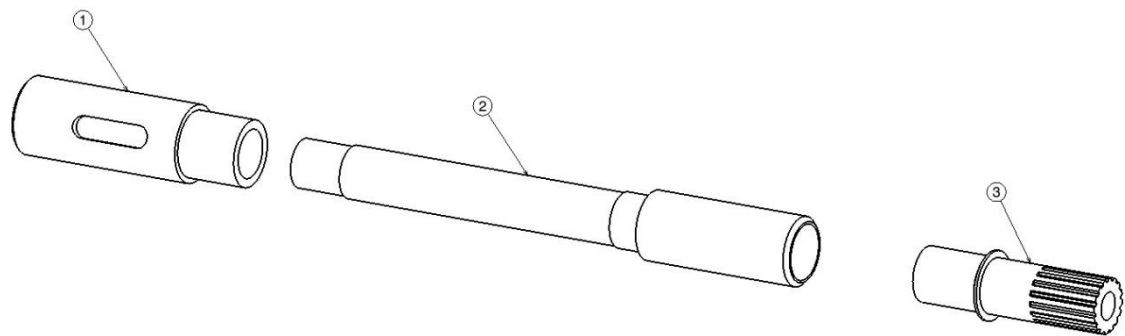
8.5.1 Suojaavan ulkokehän pidennys

Teräksistä ulkokehää, joka ympäröi tehostinmoduulilta tulevaa ohjausakselia, olisi helppo jatkaa sopivalla sisäkehällä varustetulla teräsputkella, joka hitsattaisiin kiinni tehostinmoduuliin. Valittiin S355-teräksestä hitsaamalla valmistettu putki, jonka sisä-

halkaisija oli 41,5 mm ja ulkohalkaisija 47 mm. Tämä putki katkaistiin määrämittaansa ja sen jälkeen hitsattiin kiinni alkuperäiseen EPAS-yksikön suojaputkeen.

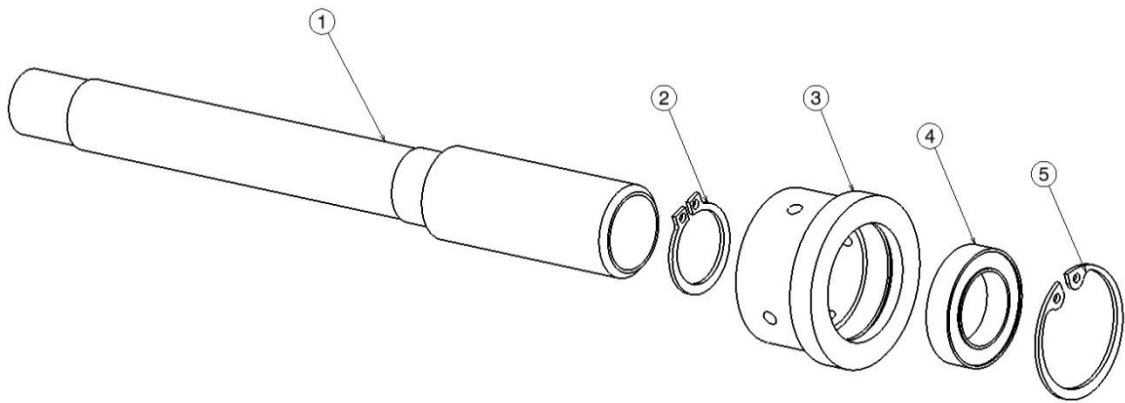
8.5.2 Ohjausakselin jatkaminen

Ohjausakselin jatkaminen tulisi tehdä jotta ohjauspyörä saataisiin sijoitettua ohjaamoon oikealle kohdalle, perustuen vanhasta Audi R8:n ohjauspylvästä otettuihin mittoihin. Tehostinmoduulissa on nylonlukitteinen adapteri, joka toimii kasaan puristuvana komponenttina törmäystilanteissa. Tähän adapteriin hitsattiin 25 mm S355 terästan-gosta sorvattu jatke, jonka toiseen päähän sorvattiin upotus ohjauspyörään kiinnittyvää pikakiinnikettä varten ja myös tämä kiinnitys tehtiin hitsaamalla. (Kuva 14.)



Kuva 14. Nylonlukitteinen adapteri (1), sorvattu teräsjatke (2) sekä ohjauspyörän pikakiinnike (3).

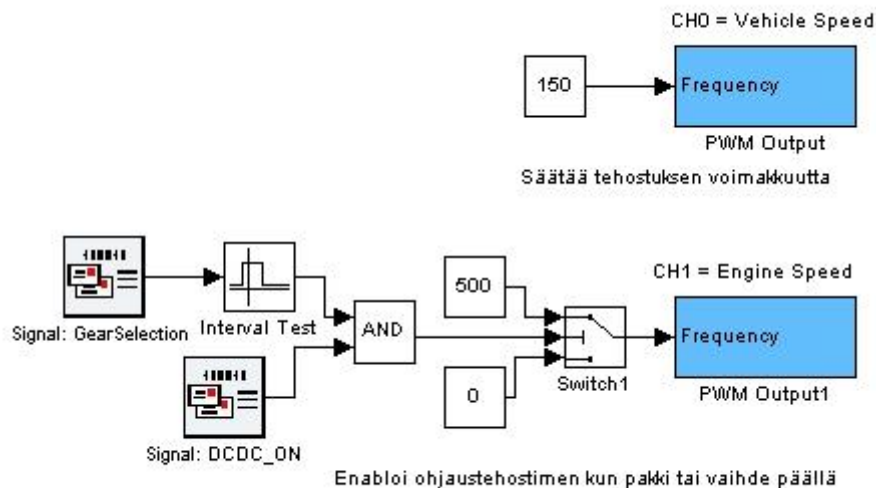
Koska EPAS-yksikön alkuperäinen ohjausakselin yläpään laakerointi ei kuulunut hankittuun ohjaustehostinmoduuliin, piti laakerointi rakentaa ohjausakselia suojaavan ulkokehän jatkeen yläpäähän. Sopivan laakerin löydyttyä sorvattiin laakerille alumiininen laakeripesä, joka kiinnitettiin pulttiliitoksella suojaavaan ulkokehään. Laakeripesä mahdollisti myös yksinkertaisen lukitusrenkaiden käytön estämään rattiakselin liikkumisen kovassakaan ohjauspyörään kohdistuvassa repäisyssä. (Kuva 15.)



Kuva 15. Sorvattu teräsjatke (1), lukiterengas akselille (2), laakeripesä (3), laakeri (4), lukiterengas laakeripesään (5).

8.6 Tehostimen parametroidi

Ohjaustehostimesta tehtyjen mittausten perusteella oli helppo lähteä rakentamaan elektronista Simulink-mallia (kuva 16), jonka perusteella E-RAn Elektrobittipääohjainlaite tulisi antamaan vaadittavat ohjaussignaalit ohjaustehostimen ohjainlaitteelle.

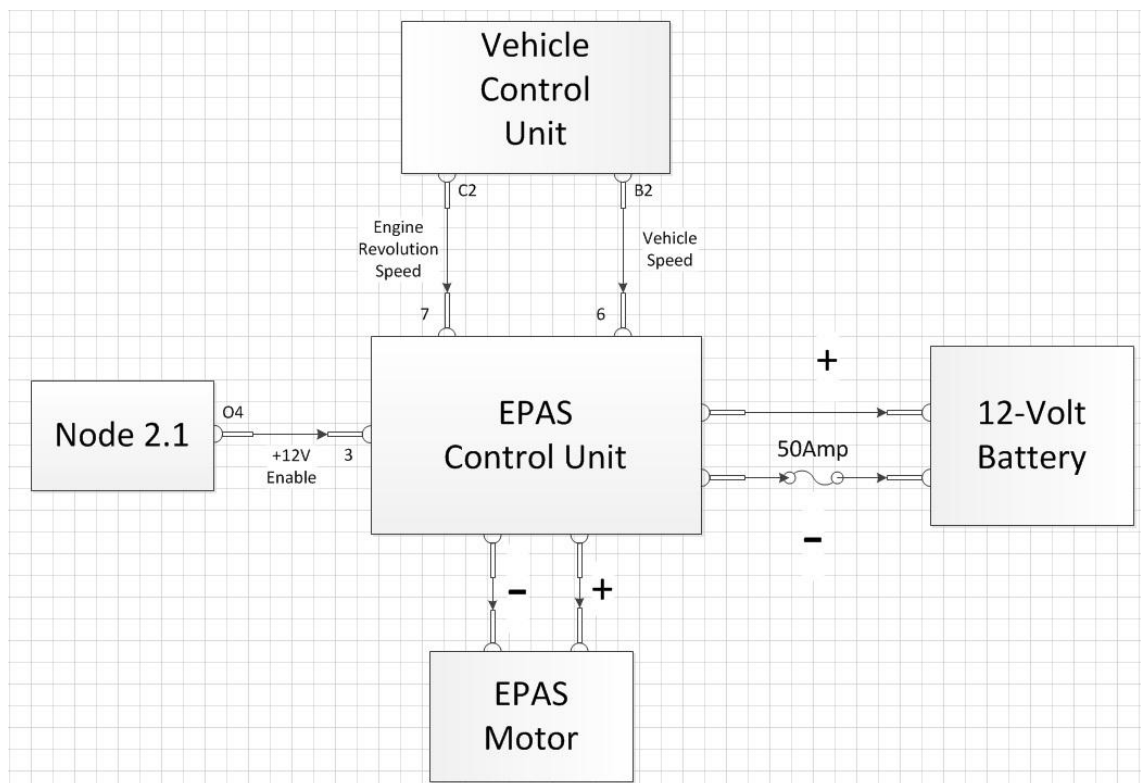


Kuva 16. Simulink-malli, joka määrittää signaalit ohjaustehostimen ohjainlaitteelle.

Ensin määritettiin pwm-signaalien jänniteamplitudi ja taajuus. Pwm-signaalin taajuus päätettiin ensin tehdä säädettäväksi E-RAn ohjaamossa sijaitsevasta potentiometrillä. Tämä ominaisuus voitaisiin poistaa ja vastaavasti ottaa käyttöön helposti muuttamalla

ajoneuvon ajonaikaista toimintaa ohjaavaa koodia, mikäli muutokselle tulisi myöhemmin tarvetta. Jotta varmistuttaisiin siitä, ettei ohjaustehostin voisi vikatilanteessa kuluttaa E-RAn suhteellisen pienikapasiteettista 12 voltin akustoa tyhjäksi, lisättiin signaalien lähetykselle vaatimus E-RAn vaihdevalinnan olemisesta joko drive- tai reverse-asennossa, sekä edellytys DC-DC -muuntimen olemisesta käynnistä. Tällä toimenpiteellä varmistetaan, ettei ohjaustehostin voisi tyhjentää 12 voltin akkua esimerkiksi käänneltäessä ohjauspyörää pitkiä aikoja neutral-asennolla parkkipaikalla tai DC-DC -muuntimen vikaantuessa.

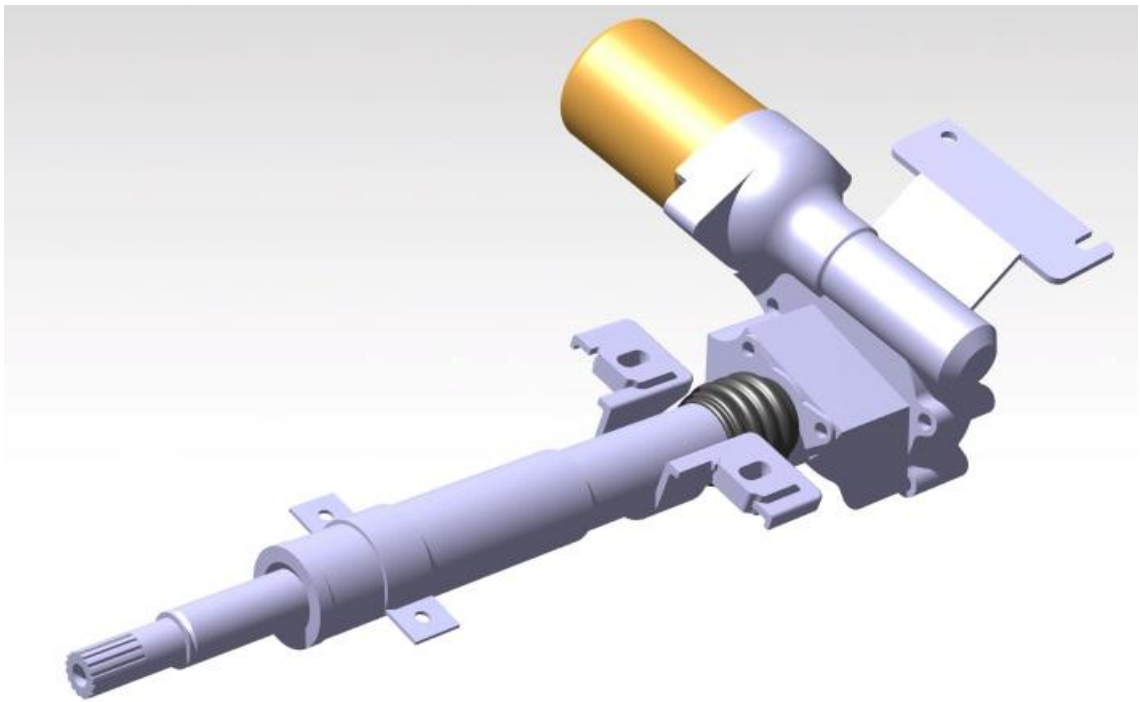
Sytytysvirtaa simuloiva signaali parametroitiin IWS-ohjainlaitteistolla, joka lähettää jatkuvan 12 voltin jännitesignaalin ohjaustehostimelle, kun E-RAn virta-avaimena toimiva RFID-kortti syötetään lukijaansa. Lisäksi tehostinyksikön moottorin pääjännitteensyöttö johdotettiin suoraan E-RAn 12 voltin akulta, lisäksi kaapelin väliin sijoitettiin 50 ampeerin sulake. (Kuva 17.)



Kuva 17. Lohkokaavio EPAS-ohjaustehostinyksikön sähköisestä kytkennästä.

8.7 Tehostinyksikön mallinnus

Tehostinyksikköä varten valmistetut ja koneistetut osat oli mallinnettu niitä tehdessä, mutta jälkimarkkinoilta hankittua EPAS-tehostinmoduulia ei ollut kuitenkaan ehditty vielä mallintamaan, kun itse asennus oli jo tehty. Jotta työn lopputulos saataisiin dokumentoitua myös E-RAsta tehtyyn sähköiseen kokoonpanoon, päätettiin myös tehostinyksikkö mallintaa Catia 5VR20 -ohjelmalla jälkikäteen. Tällä toimenpiteellä voidaan tehostinyksikön tilantarve arvioida jatkokehityksessä, mikäli tehostinyksikön lähelle tullaan asentamaan lisää laitteita. Lisäksi 3d-mallinnus antaa erinomaisen tavan esitellä valmistunutta kokoonpanoa. (Kuva 18.)



Kuva 18. Renderöity 3d-mallinnuskuva valmiista EPAS-tehostinyksiköstä.

9 Testaus

Kun kevät oli päässyt pääkaupunkiseudulla tarpeeksi pitkälle huhtikuun ensimmäisellä viikolla ja tiet olivat täysin sulia, päätettiin E-RAlla suorittaa koeajoja normaalin liikenteen seassa. Koeajo suoritettiin ohjaustehostimen osalta täysin tunneperäisesti ja sen tarkoitus olikin lähinnä antaa käsitys ohjaustehostimen tarjoamasta ohjaustuntumasta. Samalla koeajolla myös saatiin käsitys talven aikana tapahtuneesta melko mittavasta huollosta, jonka auto oli kokenut.

Helsingin Punavuoressa suoritettujen koeajokilometrien perusteella voidaan sanoa ohjaustehostimen tekevän E-RAlla ajamisesta hyvin erilaista kuin aikaisemmin. Ohjaustehostimella varustettuna E-RAn ajaminen ei ole hitaassa kaupunkiliikenteessä enää lainkaan niin raskasta ja hidasta kuin se aikaisemmin oli. Ohjaussuoritetta ei enää erityisesti ajattele, mikä omalta osaltaan kertoo varsin onnistuneesta ohjaustuntumasta; mikäli ohjaustehostinta ei ajossa huomaa, on se varsin hyvin mitoitettu kyseiselle ajoneuvolle.

10 Yhteenveto ja pohdintaa

Työn tarkoituksena oli ottaa käyttöön E-RAssa täyssähköinen ohjaustehostin. Työ käsitteli ohjaustehostinyksikön hankinnan, mekaanisen muokkaamisen, asennuksen, sähköisen parametroidin sekä toiminnan testauksen. Työ aloitettiin joulukuussa 2011 ja toteutettiin melko tiukalla aikataululla, koska E-RA-tiimin oli tarkoitus lähteä jo helmikuussa 2012 Lappiin tekemään nopeustestejä. Nopeustestien aikataulua jouduttiin lopulta kuitenkin lykkäämään noin kuukaudella hyvin leudon talven takia, joten lopulta tehostimen viimeistelyyn jäi varsin hyvin aikaa. Lopulliset testaukset ja viimeistelyt tehtiin varsinaisesti nopeustestien jälkeen maaliskuussa.

Yleisesti ottaen ohjaustehostimen toiminta E-RAn satunnaisessa kaupunki- ja maantieajossa on ollut moitteetonta. Jo ensimmäisessä koeajossa, joka tapahtui vain koulun lumisella parkkipaikalla helmikuussa 2012, oli huomattavissa ohjaustehostimen vaikutus ajoneuvon ohjaukseen. Vaikka ohjausgeometriaan ei oltu muutettu mitään, oli ajoneuvon käsittely hitaassa nopeudessa parkkipaikalla varsin kevyttä ja jopa miellyttävää. Edelleen ohjausgeometrian heikot kohdat ovat kuitenkin löydettävissä: mikäli ohjauskulma menee kovin jyrkäksi, tällöin on huomattavissa varsin voimakas sorto renkaissa.

Kun vertaillaan vanhan ja uuden ohjausakselin ja -moduulin rakennetta ja massaa, voidaan lopputulokseen olla tyytyväisiä. Tehostinmoduulin kiinnittäminen ohjaamon sisällä kulkevaan hiilikuituiseen poikkipalkkiin on huomattavasti helpompaa kuin vanhan ohjausmoduulin kiinnittäminen. Punnittaessa uutta ja vanhaa järjestelmää yllätyttiin positiivisesti, ettei massan lisäyksessä ylitetty alkuperäistä vaatimusta joka oli 5- 10 kg, vaan lisäys oli vain noin 3,5 kg. Suurin syy tähän massanlisäyksen vähyyteen oli, se ettei EPAS-tehostinyksikköä asennettukaan ohjausakselille, vaan sillä korvattiin koko entinen Audi R8:n ohjausmoduuli. Mikäli EPAS-yksikkö olisi asennettu ohjausakselille alkuperäisen suunnitelman mukaan, olisi massanlisäys ollut noin 6 kg.

Kun ERAlla seuraavan kerran lähdetään ajamaan ratatestejä, nähdään, kuinka tehostin toimii urheilullisessa ajossa. NSK:n valmistamaa EPAS-tehostinyksikköä on käytetty muissakin kilpa-autoissa jälkiasennettuna, joten voidaan luottavaisin mielin uskoa ohjaustehostinyksikön moitteettomaan toimintaan. On kuitenkin muistettava, että tehostusmäärän ollessa suuri myös ohjaustehostinyksikön sähköinen teholähde kuormittuu

ja lämpenee. Mikäli tehostinyksikössä huomataan lämpöongelmia, niitä voidaan lievittää erilaisilla lämpöelementeillä ja mahdollisesti jopa ulkopuolisella tuulettimella.

Mikäli tarpeelliseksi nähdään, voitaisiin tehostimen tuottama vääntömomentti myös mitata sopivalla vääntömomenttianturilla. Tällä toimenpiteellä voitaisiin määrittää EPAS-yksikön vääntömomenttianturin antaman signaalin absoluuttinen arvo. Tämän tiedon yhdistäminen E-RAn ohjauskulma-anturin antamiin signaaleihin antaa mahdollisuuden laskea kuljettajan tekemän työn suuruuden ohjauksen suhteen.

Lähteet

- 1 Reimpell, Jörnsen. 2001. The Automotive Chassis: Engineering Principles 2nd Edition. GB: SAE International
- 2 Emadi, Ali. 2004. Vehicular Electric Power Systems – Land, Sea, Air and Space Vehicles. USA: Marcel Dekker, Inc.
- 3 NSK Group. The Next Generation of Vehicle power steering NSK EPAS. Datalehti.