

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, insinööri (AMK)

Käyttöpainoitteinen auto- ja kuljetustekniikka

2015

Janne Lappi

# SYTYTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU OMAVALMISTE- MOOTTORIIN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma | Käyttöpainotteinen auto- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2015 | Sivumäärä: 36

Ohjaaja: Markku Ikonen

Janne Lappi

## SYTYTYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU OMAVALMISTEMOOTTORIIN

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella toimiva sytytysjärjestelmä omavalmisteiseen nelitahtiseen 1-sylinteriseen ottomoottoriin. Suunnittelun kohteena oli toimiva sytytysjärjestelmä kaikkine komponentteineen. Tarkoituksena oli ottaa selvää, mitä toimiva sytytysjärjestelmä pitää sisällään ja minkälaiset komponentit tulisi valita. Kriteereinä oli koko, hinta sekä soveltuvuus suunniteltuun nelitahtimoottoriin.

Tarkoituksena oli käydä läpi moottorin asettamia vaatimuksia komponenteille sekä käydä läpi tarkemmin, kuinka mikäkin komponentti toimii.

Työssä käytiin läpi erilaiset vaihtoehdot sytytyksen toteuttamiseen. Sytytys päädyttiin toteuttamaan valmiilla komponenteilla, jotka esiintyivät edukseen halvalla hinnallaan sekä yksinkertaisella toteutuksella. Moottoriin valittiin magneettosytytys, jonka toteutukseen markkinoilta löytyi valmis sytytysyksikkö. Magneettosytytyksen rinnalle valittiin sopivat komponentit kuten laturi, sytytyspuola sekä sytytystulppa. Työssä käsitellään myös mahdollista ratkaisua moottorin käynnistämiseen.

ASIASANAT:

Sytytysjärjestelmä, nelitahtimoottori, magneettosytytys

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportational engineering | Practically oriented

June 2015 | Total number of pages: 36

Instructor: Markku Ikonen

Janne Lappi

## DESIGNING THE IGNITION SYSTEM FOR A SELF-MADE ENGINE

The purpose of this thesis was to plan a working ignition system to a self-made engine. The plan was to design the ignition system with all the necessary components. The purpose was to find out what a working ignition system includes and what kind of components should be chosen. Our criteria were to find out small sized, cheap and suitable parts to build an ignition system for a four-stroke spark ignition engine.

The purpose was to find out what kind of properties are required from each component and how the components work.

In this thesis, different alternatives were sorted out to build an ignition system. It was decided to build this system with components which are easy to buy. They are cheap, simple and easy to install. Magneto ignition, which is a complete system, was selected. Also, other electrical components were investigated and chosen for the engine. Moreover, a way how to start the engine was selected and constructed.

### KEYWORDS:

Ignition system, four-stroke engine, magneto ignition

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b> .....	5
<b>2 SYTYTYSJÄRJESTELMÄN OSAT JA PERUSTEET</b> .....	6
2.1 Nelitahtimoottori.....	6
2.2 Sytytysjärjestelmä.....	6
2.3 Akku.....	10
2.4 Generaattori.....	15
2.5 Sytytystulppa.....	20
2.6 Sytytyspuola.....	22
<b>3 MOOTTORIN KÄYNNISTYS JA ANTURIT</b> .....	24
3.1 Megasquirt.....	26
3.2 Nakutuksentunnistin.....	27
3.3 CDI (Capacitor Discharge Ignition) – Boksi.....	28
3.4 Kierrostenrajoitin.....	29
<b>4 VALITSEMAMME SYTYTYSJÄRJESTELMÄ</b> .....	32
4.1 Magneetto.....	32
4.2 Valittu sytytysjärjestelmä.....	32
<b>LÄHTEET</b> .....	36

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella toimiva sytytysjärjestelmä itse suunniteltuun nelitahtimoottoriin. Moottori on kaasutinmoottori, joka valmistetaan mahdollisimman pitkälle itse. Sytytysjärjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa pyrimme menemään hieman omille teillemme, emmekä tahdo tyytyä yleiseen ratkaisuun. Sytytysjärjestelmän komponentteja emme valmista itse.

Jotta saamme moottoriimme toimivan sytytysjärjestelmän, tulee ensin tietää mitä sytytysjärjestelmä tarvitsee toimiakseen. Kun nämä on selvitetty, täytyy meidän suunnitella se, kuinka saamme toteutettua järjestelmän mahdollisimman yksinkertaisena, luotettavana ja halpana. Myöskään moottorin koko ei saisi kasvaa sytytykseen tarvittavien komponenttien takia merkittävästi.

Toimiva sytytysjärjestelmä vaatii seuraavaa: akun, generaattorin sekä säätimen, energian syöttöjärjestelmän, käynnistysjärjestelmän sekä sytytysjärjestelmän. Tämän työn kirjoittajan tehtävänä on selvittää, minkälaiset komponentit valitaan käytettäväksi ja miksi. Huomioon tulee ottaa moottorin käyttökohde, hinta, yksinkertaisuus sekä luotettavuus.

Johtuen moottorin omavalmisteisuudesta, sekä ajan puutteesta, päädyttiin muuttamaan omalaatuiseen ideaan. Tavoitteena on pelkistää moottorin vauhtipyörä niin yksinkertaiseksi kuin mahdollista, ja tämä tuo mukanaan ongelmia sytytyksen suunnittelun kanssa. Normaalisti sytytys hoidetaan vauhtipyörään kiinnitettyjen komponenttien avulla, mutta tässä tapauksessa päädyttiin yhdistämään sytytyskomponentit nokka-akseliin.

## 2 SYTYTYSJÄRJESTELMÄN OSAT JA PERUSTEET

### 2.1 Nelitahtimoottori

Nelitahtimoottori on yleisin käytössä oleva moottorityyppi. Nelitahtimoottorin toiminta koostuu neljästä eri toimintavaiheesta: imutahti, puristustahti, työtahti ja poistotahti. Moottori voi toimia joko dieselprosessilla tai ottoprosessilla. Erot kaksitahtimoottoriin muodostuvat monimutkaisemmasta rakenteesta sekä lisääntyneestä painosta. Hyötynä on parempi hyötysuhde sekä puhtaammat pakokaasupäästöt. Puhtaammat päästöt selittyvät sillä, ettei polttoaineen ja ilman seos sekoitu pakokaasuihin. Palaminen on puhtaampaa ja tehokkaampaa kuin kaksitahtimoottorissa.

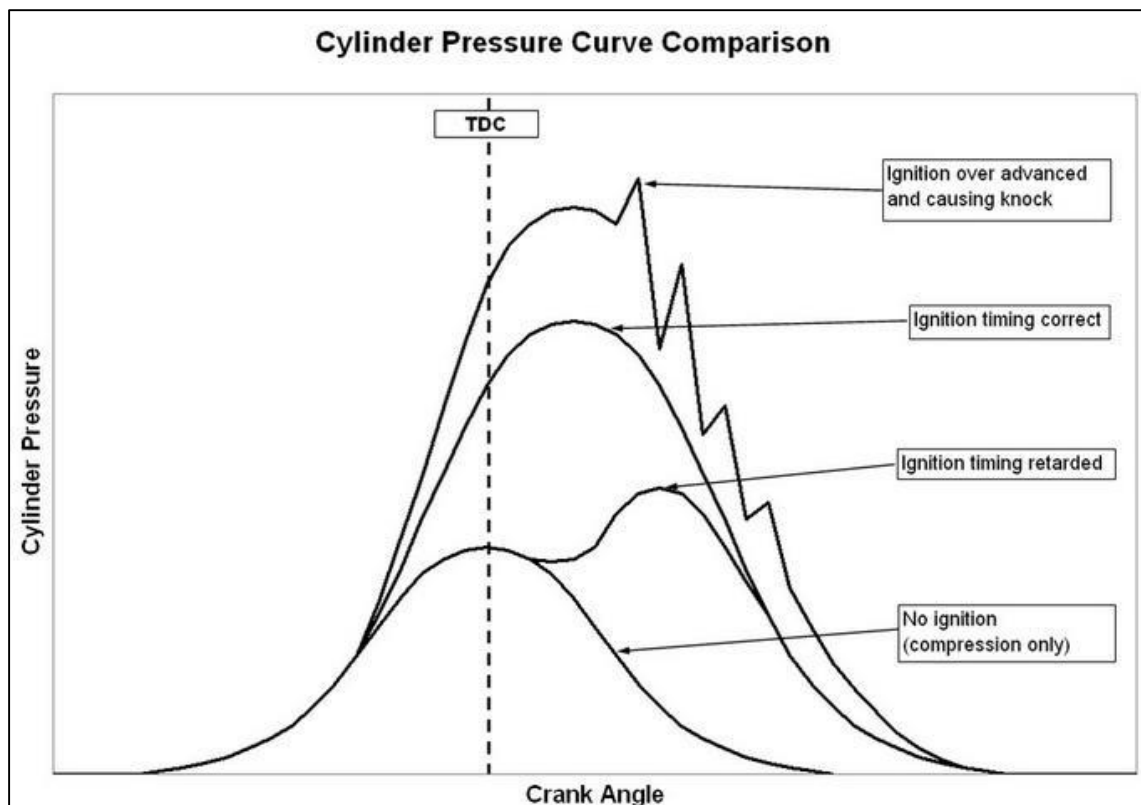
Kaasunvaihto on paremmin hallittavissa nelitahtimoottorissa kuin kaksitahtimoottorissa, koska venttiilien ajoitus ja nousu voidaan jo suunnitteluvaiheessa määrittellä suhteellisen vapaasti. Nelitahtimoottorin ominaisuuksia on helpompi muokata jälkikäteen venttiilien ajoitusta tai nostokäyrää muuttamalla.

### 2.2 Sytytysjärjestelmä

Ottomoottorit tarvitsevat sytytyskipinän puristetun ilmapolttoaineseoksen sytyttämiseen. Kipinän on ajoitettava tarkalleen oikeaan hetkeen moottorin työkiertoa, jotta palava seos saavuttaa maksimipaineensa juuri männän yläkuolokohtaan jälkeen. Tarvittava sytytysjännite riippuu monista eri tekijöistä, kuten seossuhteesta, palotilan muodosta, puristussuhteesta ja sytytystulpan kunnosta. Yleensä jännite on välillä 5000 – 30 000 V. Jännitteen kulkiessa sytytystulpan kärkivälin yli syntyy kipinä, joka on riittävän kuuma sytyttämään lähellä olevan seoksen. (Kari 1997.)

Normaalisti sytytyskipinä annetaan ennen männän yläkuolokohtaa. Tällöin liekki lähtee leviämään syttymiskohdasta ulospäin. Palaminen kestää muutaman sekunnin murto-osan. Aika sytytys hetkestä palamisen painehuippuun on noin 2 mil-

lisekuntia. Kipinä on ajoitettava siten, että paineen nousulle jää aikaa. Sytytysennakkoa on lisättävä käyntinopeuden kasvaessa. Tyypillinen sytytysennakko on noin 30 – 40 astetta ennen yläkuolokohtaa. Jotta optimaalinen sytytysennakko saadaan selville kaikissa käyntinopeus- ja kuormitustilanteissa on otettava huomioon mm. pakokaasupäästöt, nakutusherkyys, polttoaineenkulutus sekä moottoriteho. (Kari 1997.) Esimerkki sytytysennakon vaikutuksesta sylinteripaineeseen on esitetty kuvassa 1, jossa TDC (top-dead-center) tarkoittaa yläkuolokohtaa.



Kuva 1. Sytytysennakon vaikutukset (Vemssupport 2015).

Nykyaikaisissa sähköjärjestelmissä tarvittava sytytysenergia saadaan sähkövirran ja jännitteen aikaansaamasta kipinästä. Vaikkakin kaikki sytytysjärjestelmät aikaansaavat valokaaren (kipinän) sytytystulpan kärkiväliin, poikkeavat sen syntymekanismit toisistaan. Sytytysjärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään: akkua energianlähteenä käyttävät eli akkusytytys sekä magneettikenttää energi-

anlähteenä käyttävät eli magneettosytytys. Molemmissa on myös omat alalajinsa: induktiivinen ja kapasitiivinen sytytys joko katkojalla ohjattuna tai elektronisesti ohjattuna. (Kari 1997.)

Induktiivisissä akkusytytysjärjestelmissä sähköenergia muunnetaan sytytyskelassa magneettikentän energiaksi. Tämä muunnetaan induktion avulla takaisin korkeajännitteiseksi sähköenergiaksi. Tätä muunnosta ohjataan joko mekaanisesti katkojan avulla tai elektronisen anturin ja vahvistuslaitteen avulla. Sytytysketken ajoitusta säädellään vanhemmissa järjestelmissä mekaanisilla säätimillä ja uudemmissa järjestelmissä elektronisesti. Sytytysenergian jako sylintereille tapahtuu mekaanisesti, mutta on olemassa myös suorasytytysjärjestelmiä, joista mekaaninen jakaja puuttuu. (Kari 1997.)

Kapasitiivisissa akkusytytysjärjestelmissä energia välivarataan noin 400 voltin jännitteisenä kondensaattoriin. Tästä se puretaan nopeasti elektroniikan ohjaamana sytytyskelaan. Kela ei toimi magneettikentän varaajana vaan puhtaana muuntajana, joka nostaa jännitteen tarpeeksi korkeaksi sytytystä varten. (Kari 1997.)

Induktiivisissa magneettosytytysjärjestelmissä energia tuotetaan liikkuvasta magneettikentästä. Sen jälkeen se muutetaan kelassa sähköenergiaksi, joka magnetoi rautasydämen. Mekaanisen katkojan tai elektroniikan ja muuntajan avulla magneettikenttä muutetaan uudelleen sähköenergiaksi ja samalla sen jännitettä nostetaan riittävästi. (Kari 1997.)

Kapasitiivisissa magneettosytytysjärjestelmissä magneettikenttä liikkuu ja varaa kelan avulla kondensaattoriin sähköenergiaa noin 400 voltia. Kondensaattori puretaan elektronisen ohjainlaitteen avulla sytytyskelaan, jossa jännitteen nosto tapahtuu muuntaja periaatteella. (Kari 1997.)

Teoreettisesti oikea ilma/polttoainesuhde täydellistä palamista varten on 14,7:1, eli ilmakerroin ( $\lambda$ ) = 1. Käytännössä noin 10% ilma-alijäämä ( $\lambda = 0,9$ ) antaa parhaan liekkirintaman etenemisnopeuden ja näin myös suurimman tehon. Tällöin myös hiilivety- ja hiilimonoksidipäästöt ovat liian suuret. Ilmaylimäärällä eli toisin sanoen laihalla seoksella teho laskee, sillä palaminen tapahtuu hitaammin.



Taloudellisuuden kannalta edullisin seossuhde ilman katalysaattoria olisi noin 1,1. Lambda-arvoa 1 tulee käyttää bensiinimoottorin katalysaattorin kanssa. (Kari 1997.)

Teho ja polttoaineenkulutus ovat riippuvaisia liekkirintaman etenemisnopeudesta sylinterissä. Etenemisnopeuteen vaikuttaa mm. sylinterin rakenne, sytytysennakko ja polttoaineseoksen pyörteily. Jos puristussuhde on korkea, täytökseen tiheys on suuri ja palaminen tapahtuu nopeasti. Tähän vaikuttaa myös sytytystulpan sijainti ja kärkiväli. Paineen on kohottava maksimiinsa noin 12 astetta jälkeen yläkuolokohdan. Jos sytytys tapahtuu liian aikaisin, palaminen on niin nopeaa, että seos räjähtää. Tällöin puhutaan liian suuresta sytytysennakosta. Jos tapahtuma on päinvastainen, eli ennakko on liian pieni, on palaminen liian hidasta ja painehuippu syntyy liian myöhään. Tästä seuraa huono moottoriteho sekä korkea polttoaineenkulutus. (Kari 1997.)

Pyörteily aiheuttaa sen, että seos ei ole sytytysketkellä paikoillaan sylinterissä, vaan pyörteilevässä liikkeessä. Pyörteily parantaa liekkirintaman etenemistä ja sylinterinkannet suunnitellaankin tarkoin halutunlaisen pyörteilyn aikaansaamiseksi.

Palamiseen vaikuttaa myös se, jääkö sylinteriin pakokaasua, joka sekoittuu uuteen täytökseen. Tämä aiheuttaa sen, että palamisnopeus ja palolämpötila laskevat. Tämä on edullista pakokaasupäästöjen kannalta, sillä oksidien määrä lisääntyy voimakkaasti palolämpötilan noustessa. Tätä ilmiötä käytetään myös hyväksi pakokaasun takaisinkierrätyksen (EGR) yhteydessä.

Katkojalla ohjattu sytytysjärjestelmä koostuu seuraavista osista:

Akku ja virtalukko. Akku toimii energianlähteenä ja virtalukon avulla sähkö kytetään sytytysjärjestelmään.

Sytytyskela. Sytytyskela varautuu magneettikentällä ja muuntaa sen sytytysketkellä korkeajännitteiseksi (5000 – 30 000 V) sähköenergiaksi.

Virranjaotin. Sisältää useita toimipiirejä, joilla kullakin on oma tehtävänsä.

Katkolaite ja kondensaattori. Katkojan tehtävänä on kytkeä ja katkoa sytytyskeilaan johdettavaa akkujännitettä ja –virtaa. Katkojan rinnalle kytketyn kondensaattorin tehtävänä on estää kärkien kipinöinti niiden avautuessa. Kipinöinti on haitallista, koska sytytyspuolaan indusoituva jännite laskee sekä metallia siirtyy kärjestä toiseen aiheuttaen kuoppaantumista.

Sytytysajoituksen säätölaitteet sekä korkeajännitteen jaotinlaite. Sytytysjohtimien avulla johdatetaan sytytysjännite ja sytytysvirta sytytystulppiin. Yleisesti ottaen sytytysjohtimia on käytössä kolmea eri tyyppiä:

- OEM tyyppinen hiiliytiminen silikonieristetty korkearesistanssin johdin, resistanssi yleensä 10 000 – 15 000 Ohmia/metri
- Spiraalijohdin, joka voi olla kuparia tai terästä, resistanssi 1000 – 1500 Ohmia/metri
- Kupariytiminen kumi/muovi eristetty matalaresistanssin johdin, resistanssi kuten normaalilla sähköjohdolla, eli näyttää yleismittarilla oikosulkua

Suunnittelemamme moottorin sytytysjärjestelmän suunnittelun perusteena on ajatus tehdä jotain uutta. Tarkoituksenamme on sijoittaa sytytysjärjestelmämme vauhtipyörän sijaan nokka-akselin päähän. Nokka-akseli säätelee venttiilien avautumisen ja sulkeutumisen oikeaan tahtiin. Käyttämämme sytytysyksikkö sijoitetaan kiinni nokka-akselin uloimpaan päähän. Näin pääsemme hieman aikaisempaan vauhtipyörän teossa ja näin säästämme puolestaan aikaa ja vaivaa. Tässä tapauksessa sytytys toimii käytännössä samalla periaatteella kuin vauhtipyörämagneetoissa. Nokka-akseli pyörittää magneetta, joka tuottaa kipinän tarvittavalla hetkellä. Pyörimisnopeus nokka-akselilla on vain puolet siitä, mitä se on vauhtipyörällä, joten sytytys tulee säätää ottaen tämä huomioon.

Sytytyksen ajoitus tulee olemaan mielenkiintoinen projekti, sillä emme ole täysin varmoja kuinka hyvin saamme säädettyä käyttämämme sytytysjärjestelmän.

### 2.3 Akku

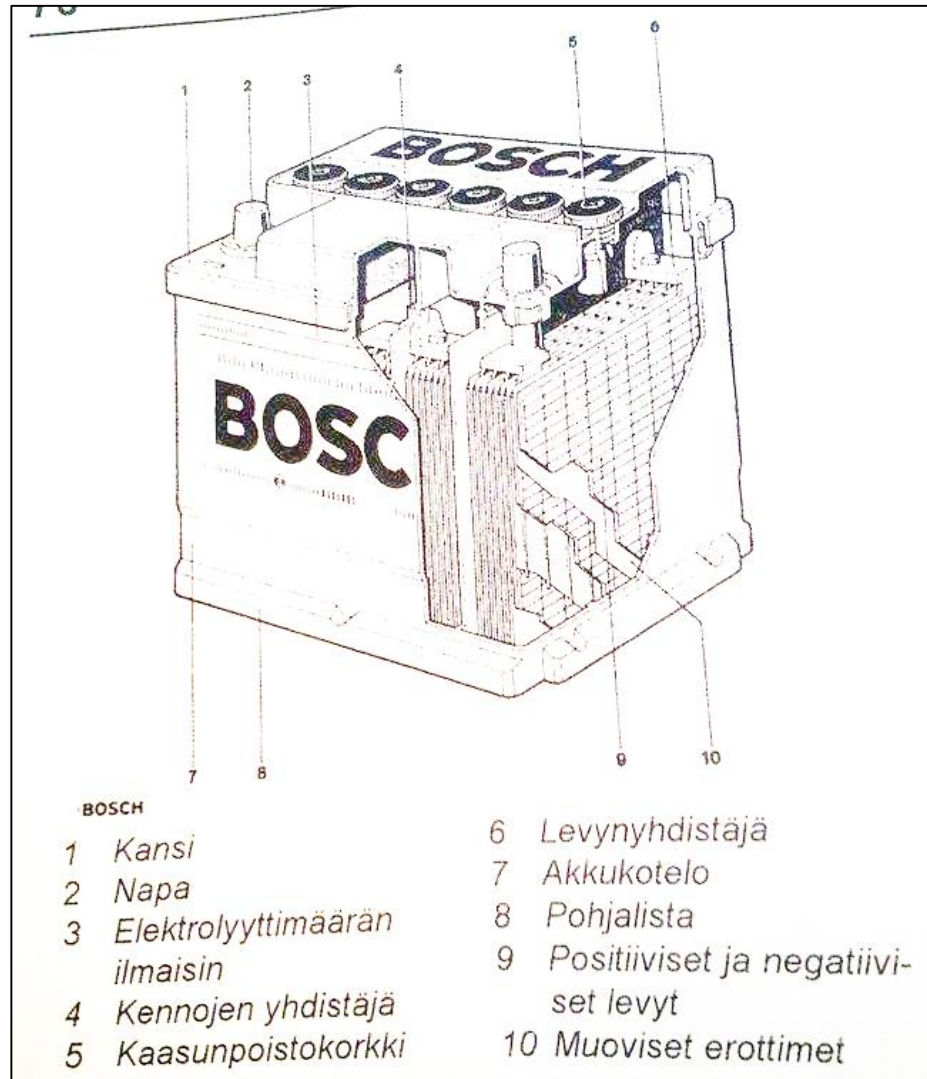
Jotta saamme moottoriin toimivan sytytysjärjestelmän, täytyy tietää, mistä osista se koostuu. Toimiva sytytysjärjestelmän yksi kantavimmista osista on akku. Akku toimii sähköenergian varastona. Sen tärkeimpiä tehtäviä on varastoinnin lisäksi

luovuttaa varastoimansa kemiallinen energia sähköenergiana käynnistyksessä tai silloin, kun generaattorin tuottama energia ei riitä kulutukseen. Akku myös ta-saa jännitehuippuja. Autokäytössä yleisin akku on lyijyakku. Tämän tyylistä akkua tulemme myös käyttämään moottorissamme.

Lyijyakku koostuu kennoista, joiden lähdejännite on 2 voltia. Niitä kytketään sar-jaan, jotta saadaan järjestelmä, jonka jännite on 6, 12 tai 24 voltia. Kuuden voltin akkuja käytetään erittäin vähän, sillä se vaatii suuret johtimien poikkipinta-alat ja siinä syntyvät jännitehäviöt ovat suuret. Henkilö- ja pakettiautoissa yleisimpänä akkujärjestelmänä toimii 12 voltin järjestelmä. Tämän kokoinen akku on mitä suu-riimmalla todennäköisyydellä myös valitsemamme akku.

Akun rakenteeseen kuuluu kennojen lisäksi myös akkukotelo sekä kansi. Nämä on valmistettu haponkestävästä kovakumista tai muovista. Kotelon pohjalle on varattu tila akkulevyistä irtoavalle massalle, jottei se pääse aiheuttamaan oiko-sulkua levypakettiin. Kansirakenteita on kahta tyyppiä: monikansiakku ja yhten-äiskansiakku. Monikansiakussa jokaisella kennolla on oma kantensa, kun taas yhtenäiskansirakenteessa yhtenäinen kansi peittää koko akun. Yhtenäiskansi on kansiratkaisuna tiivis ja näin ollen akku pysyy kuivana ja siistinä, eikä itsepurkau-tumista pääse pintapurkauksena juurikaan tapahtumaan. Haittapuolena on se, ettei akkua pystytä korjaamaan. (Kari 1997.)

Akussa on myös kennotulpat, joiden tehtävänä on taata akun nestetiiviys, mutta samalla sen täytyy päästää akussa syntyvät kaasut esteettömästi pois akusta ja sinne takaisin (kuva 2).



Kuva 2. Akun rakenne. (Kari 1997)

Akkulevyt muodostavat kennon elektrolytin (akkunesteen) ohella akun sähköä varaavan ja luovuttavan osan. Levystöt koostuvat positiivisista, negatiivisista ja eristelevyistä. Positiivisissa levyissä on lyijyoksidia. Negatiivisissa levyissä on huokoista lyijyä. Eristelevyt eli erottimet ovat puuta, huokoista kovakumia, lasiviljaa tai huokoista muovilevyä. Akkulevyypaketissa samanmerkkiset levyt on kytketty rinnan levysilloin. Eri kennojen levyt on taas kytketty toisiinsa sarjaan kennoyhdistelmillä. Akkuneste (elektrolytti) on tislattun veden ja rikkihapon seos. Seossuhde on noin 36 % rikkihappoa ja 64 % tislattua vettä. (Kari 1997.)

Virta akusta otetaan akkunavoista, jotka ovat sarjakytkenän päätykennoissa. Napojen tunnusmerkit ovat seuraavanlaiset: positiivisessa navassa on plusmerkki (+), punainen värirengas sekä suurempi koko kuin miinusnavassa. Negatiivisen navan tunnusmerkkejä ovat miinusmerkki (-), sininen värirengas sekä se, että sen halkaisija on plusnapaa pienempi.

Akussa tapahtuu varautumisen aikana kemiallista reaktiota, jossa miinuslevyn lyijysulfaatti muuttuu lyijyksi, pluslevyn lyijysulfaatti muuttuu lyijyoksidiksi sekä elektrolyytinesteessä vesi vähenee ja rikkihappo lisääntyy.

Nykyisin on olemassa myös huoltovapaita akkuja. Akun aktiiviset levyt eivät ole aivan puhdasta lyijyä, sillä se on materiaalina liian pehmeää. Tämän vuoksi lyijyyn on sekoitettu antimonia (noin 5-7%). Tämä lisää levyn lujuutta. Antimonia sisältävillä akuilla on kuitenkin tapana ylilatautua ja tämä aiheuttaa elektrolyytin kaasuuntumista. Tästä johtuen akun navat korrodoituvat eli hapettuvat sekä akku alkaa kärsiä vesihukasta. Nykyajan huoltovapaat akut ovat pääosin lyijy-kalsiumakkuja. Näissä akuissa on antimoni pyritty poistamaan kokonaan. Näin myös vesihukka, napojen korroosio ja itsepurkautuminen on saatu minimoitua. Levyt on valmistettu lyijy-kalsiumseoksesta. (Kari 1997.)

Akkuun on usein merkitty myös sen nimelliskapasiteetti (K). Nimelliskapasiteetti lasketaan purkausvirran ja purkausajan tulona ( $K = I \cdot t$ ), ja sen mittayksiköksi tulee ampeeritunti (Ah). Tällä tavoin laskettuun kapasiteetin arvoon vaikuttaa paljon myös se, kuinka suuri on purkausvirta ja purkausaika sekä mikä on lopputilan kennojännite. Nämä suureet on täytynyt normittaa. Määrittämissä on kaksi: amerikkalainen ja saksalainen. Amerikkalaisessa normissa ( $K_{20}$ ) purkausaika on 20 tuntia ja elektrolyytin lämpötila +27 astetta celsiusta. Saksalaisessa ( $K_{10}$ ) purkausaika on 10 tuntia ja elektrolyytin lämpötila on +20 astetta celsiusta. Kummassakin normissa kennojännitteen loppuarvo on 1,75 V. Käynnistysakkujen nimelliskapasiteetti ilmoitetaan tavallisesti amerikkalaisen normin mukaan. (Nieminen 1994.)

*”Esimerkkinä voidaan ottaa akku, jonka kapasiteetiksi on ilmoitettu amerikkalaisen normin mukaan 80 Ah. Tämä tarkoittaa, että täyteen*

*varattua akkua voidaan purkaa +27 asteen lämpötilassa 20 tuntia 4 ampeerin virralla ennen kuin kennojännitteet ovat purkautumisen takia pudonneet 1,75 volttiin.” (Nieminen 1994.)*

Yksinkertainen laskukaava tälle on  $80 \text{ Ah} / 20 \text{ h} = 4 \text{ A}$ .

Jos akkua ladataan ulkopuolisella latauslaitteella, sopiva virta-arvo on noin  $1/10 - 3/10$  akun kapasiteettiarvosta. Esimerkiksi 60 Ah:n akkua tulee ladata 6...18 A:n latausvirralla. Yleensä autoissa latausvirran suuruus säätyy lataussäätimen avulla. Latausvirta riippuu akun varaustilasta, joka on puolestaan sidoksissa siihen, miten akkua on kuormitettu. Tähän vaikuttavat myös akun kunto ja ikä. Akun pikalatausta tulee käyttää ainoastaan poikkeustilanteissa. Tällöin akku voidaan ladata korkeintaan 70 % - 80 %:n varaustilaan noin 30 – 60 minuutin aikana. Pikalataus rasittaa akkua ja lyhentää sen käyttöikää. Huoltovapaita akkuja ei tulisi pikaladata laisinkaan. (Nieminen 1994.)

Tyypillisiä vikoja akuissa on itsepurkautuminen, sulfatoituminen sekä akun ylivarautuminen. Itsepurkautuminen ei ole varsinaisesti vika, vaan yleinen vaiva, joka esiintyy kaikissa akuissa pitkään käyttämättä olon vaikutuksesta. Itsepurkautumisen syynä on akun sisällä syntyvät pienet purkausvirrat ja likaisen tai märän akun kannen päällä syntyvät purkausvirrat. Itsepurkautuminen verottaa vuorokaudessa noin 0,2 % - 1 % akun kapasiteetista, riippuen akun iästä. Sulfatoituminen aiheutuu, kun akkua pidetään käyttämättömänä pitkiä aikoja, tai akun nestemäärä on jatkuvasti liian pieni. Pienen nestemäärän vaikutuksesta lyijysulfaatti muuttuu aktiivisilla levyillä kiteiksi. Sulfatoituminen pienentää akun kapasiteettia sekä estää akun lataamista, jolloin akku lämpenee voimakkaasti.

Ylivarautuminen johtuu siitä, kun akkua varataan jatkuvasti yli. Tämä aiheuttaa sen, että positiivisilla levyillä tapahtuu muutoksia, jotka saavat levyt turpoamaan. Tämä johtaa oikosulkuihin tai kannen nousemiseen ylös.

Omaan moottoriimme valitsimme varsinkin kevytmoottoripyörissä ja pienkooneissa käytetyn akun. Akku on Bosch MP-akku M4 –F19 12N5.5-3B. Akun jännite on 12 V, kapasiteetti 6 Ah ja kylmäkäynnistysvirta 40 A. Kooltaan akku on varsin

maltillinen 136 mm pitkä, 61 mm leveä sekä 131 mm korkea (kuva 3). Tämä akku täytyy hapottaa ennen käyttöönottoa. Hinnaltaan akku on edullinen.



Kuva 3. Omavalmistemoottoriimme valittu Bosch M4-F19 12N5.5-3B -akku.

## 2.4 Generaattori

Vaikka moottorista ei rakentamishetkellä ole tarkoitus saada virtaa apulaitteille, näimme järkeväksi suunnitella siihen toimivan generaattorin. Tämän avulla moottorin jatkojalostus, tai jopa kaupalliseen tuotantoon kehittäminen, helpottuu. Lähtökohtaisesti generaattorin tehtävänä on sähköenergian tuotto käynnistykseen, sytytykseen, valoihin yms. apulaitteisiin, joita nykypäivän moottoriajoneuvoissa on yhä enemmän. Akkua ladataan tasavirralla, joten on käytettävä tasavirta-generaattoria tai yhdistettävä tasasuuntaaja vaihtovirtageneraattoriin.

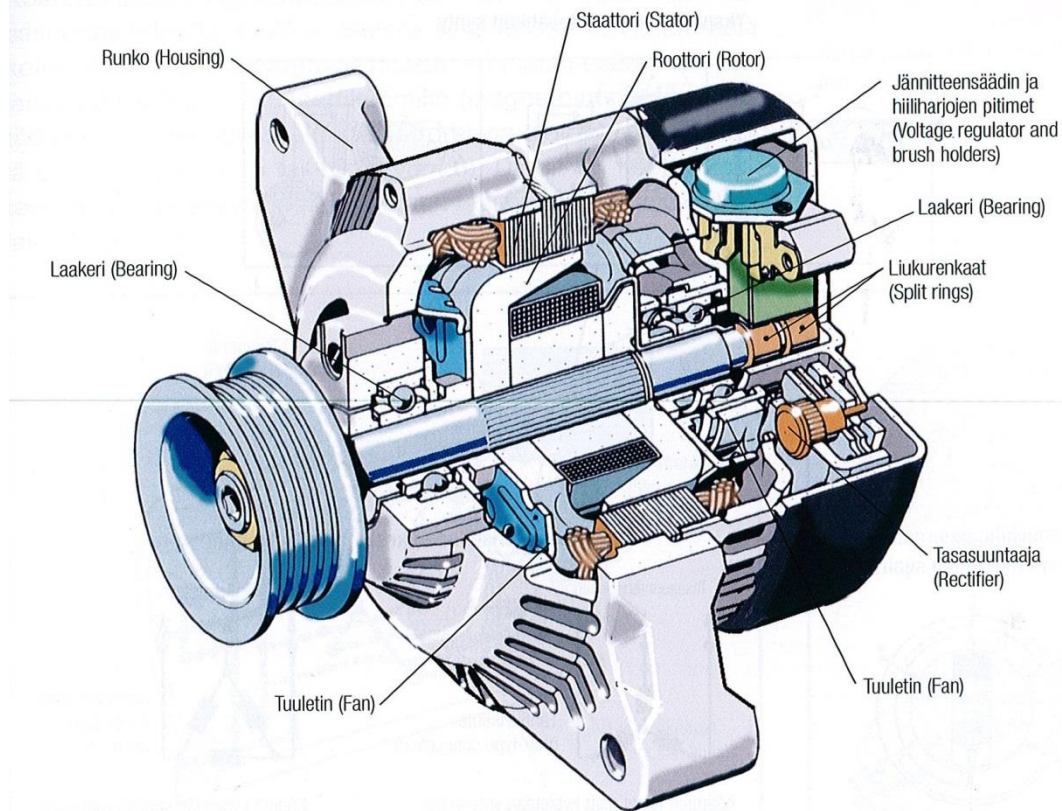
Käyttövoiman generaattori ottaa hihnan avulla moottorista. Hihnan vuoksi täytyy moottoriin suunnitella oma hihnapyöränsä. Koska kampiakseli pyritään pitämään mahdollisimman pienenä moottorin tasaisen käynnin ja laakerien mahdollisimman vähäisen rasituksen vuoksi, tulee hihnapyörän suunnittelusta työlästä. Sytytysjärjestelmä kiinnitetään nokka-akselin ulommaiseen päähän, jotta kampiakselille jäisi tilaa mahdollisimman käytännöllistä vauhtipyörää varten. Jos akselin toi-

seen päähän suunniteltaisiin hihnapyörä, täytyy tarkistaa myös vauhtipyörän vaikutus vastapään lisääntyvään painoon / kampiakselin kasvavaan pituuteen. Tämä johtaa mahdolliseen laakereiden uudelleen valintaan.

Moottorin kierrosluvunsäätö tuo myös vaikeutensa generaattorin valintaan. Koska moottori on yksisylinterinen kaasutinmoottori, jossa ei ole erillistä säädintä kierroslukujen säätöön. Moottorissa on ainoastaan rajoitin, joka estää kierrosten nousemisen liian korkeisiin lukemiin. Generaattorin toiminta täytyy sopeuttaa tähän. Normaalisti generaattorit tarvitsevat moottoreiden laajasta pyörintänopeusalueesta johtuen oman säätimen tuottojännitteen vakioimiseen. Ilman säädintä generaattorin tuottama jännite nousisi jopa 140 volttiin ja tämä aiheuttaisi sen, että sekä akku että generaattori palaisivat. Nykyisin elektroninen säädin pitää roottorin keskimääräisen virran sopivana katkomalla ja kytkemällä sitä nopeassa tahdissa. Tällöin generaattorin lähtöjännite pysyy 14,2 voltissa. Rakennettavassa moottorissa ei ole samankaltaista laajaa pyörintänopeusalueta kuin mm. autoissa ja moottoripyörissä, joten generaattorien säädin ei ole mitä työstämäämme moottoriin tulemme tarvitsemaan. (Nieminen 1994.)

Generaattorin valintana viisaimpana pidän vaihtovirtageneraattoria. Tasavirta-generaattorin suurimpia ongelmia ovat kykenemättömyys ladata akkua joutokäynnillä sekä hiilet, joiden läpi kulkee koko latausvirta. Rasitus tulee myös olemaan suuri generaattorille, suhteellisen pienen pyörintänopeuden vuoksi. Vaihtovirtageneraattorissa päävirtakäämit ovat paikoillaan, samalla kuin kenttäkäämit pyörivät. Kenttäkäämit ovat kevyitä ja voivat tämän vuoksi pyöriä suurellakin nopeudella. Kunhan hihnapyörä on oikeanlainen, saadaan vaihtovirtageneraattori pyörimään riittävän nopeasti jo joutokäynnillä. Vaihtovirtageneraattori on kooltaan myös kevyempi ja vaatii vähemmän huoltoa. Se ei myöskään tarvitse takavirtarelettä. Yksinkertaisuus ja mahdollisimman vähäinen huoltotarve on ensisijainen tavoite moottorille, joten vaihtovirtageneraattori (kuva 4) on näiden rajojen puitteissa oikea valinta moottoriin.





Kuva 4. Vaihtovirtageneraattorin rakenne. (Wikipedia 2015)

Generaattorit jaotellaan myös sen mukaan kuinka monta käämiryhmää kuuluu staattoriin. Generaattoreita löytyy yksi-, kaksi- tai kolmevaiheisina. Generaattori, jossa on yksi käämipari, tuottaa yksivaiheista sinimuotoista vaihtovirtaa. Tämä on riittävää, jos sähkön tarve on pieni.

Yleensä yksivaihegeneraattorien tuottama teho jää liian pieneksi ja tämän vuoksi on kehitelty kaksi- ja kolmevaihegeneraattorit, jotka ovat huomattavasti tehokkaampia. Niissä kummassakin staattorilla on kolme käämiryhmää, jotka peittävät tehokkaasti koko staattorin kehän. Kolmivaihegeneraattorissa kolme erillistä käämiä voidaan kytkeä toisiinsa kahdella erilaisella tavalla. Tällöin ulostulojännite voidaan ottaa kolmesta johtimesta kuuden sijaan. Näitä kytkentöjä kutsutaan kolmio- ja tähtikytkennöiksi.

*”Tähtikytkennässä koko generaattorin jännite on 1,732 x yhden vaiheen jännite. Kolmiokytkennässä jännite on sama kuin yhden vaiheen jännite, mutta virta 1,732 x yhden vaiheen virta.”* (Kari 1997.)

Suuria virtoja tarvittaessa käytetään siten kolmiokytkentää. Yleisesti ottaen kak-sivaihegeneraattori on erittäin harvinainen ja tämän vuoksi emme tule sitä moottorissamme käyttämään.

Generaattorin valinnassa täytyy myös ottaa huomioon moottorin käyttöolosuhteet. Jos moottori tullaan jatkojalostamaan tieliikennekäyttöön, täytyy ottaa huomioon vaihtovirtageneraattorin mahdollinen lämpötilan kohoaminen käytön aikana. Generaattorin sijoittamisessa täytyy ottaa huomioon pakosarjan sijainti ja laturin läheisyys moottoriin. Yleisesti vaihtovirtageneraattorit ovat suunniteltu toimimaan maksimissaan 70-80 asteen lämpötiloissa. On turvallista uskoa, ettei kehittelemämme moottori tule generaattoria näin korkeisiin lämpötiloihin alistamaan.

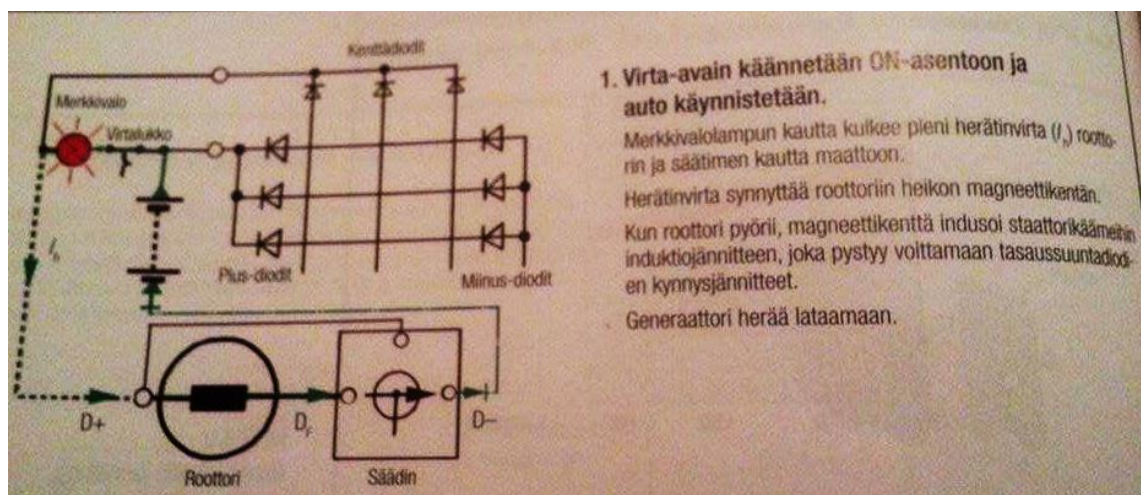
Myös jännitteensäätimen (latausreleen) olemassa olo on tärkeä huomioida generaattorin valinnassa. Nykyaikaisissa generaattoreissa tämä löytyy integroituna, mutta on myös tapauksia, joissa säädin on erillään generaattorista. Jännitteensäädin on tärkeä, sillä ilman sitä ei latausjännite pysyisi tarpeeksi tasaisena. Normaalisti generaattori sekä säädin sijaitsevat huomattavan kaukana itse akusta, ja tästä ja kuormituksesta johtuen jännite saattaa olla generaattorissa korkeampi kuin akulla.

Akun napajännitettä on mahdollista seurata erillisen johdon avulla, joka kulkee akun / solenoidin plusnavasta säätimen liittimeen. Kyseisen kytkennän avulla onnistuisimme säätämään generaattorin latausjännitteen akun napajännitteen perusteella. Jännitteensäätimen lisäksi ei vaihtosähkögeneraattori tarvitse muunlaisia säätimiä. Se rajaa omalla toiminnallaan maksimikuormitusvirran ja tasasuuntausdiodit estävät sen, että akku alkaisi purkautua generaattorin kautta. (Niemi-nen 1994.)

Vaihtovirtageneraattori ei pysty itsenäisesti aloittamaan latausta, koska roottorin rautamassassa oleva jäännösmagnetismi ei riitä kasvattamaan induktiojännitettä staattorikäämeissä niin suureksi, että se ylittäisi tasasuuntausdioidien kynnysjännitteen. Tämän ongelman ratkaisuna on se, että roottorin magnetointikäämiin annetaan pieni virta virtalukon kautta akusta, jolloin magneettikenttä voimistuu ja

sen vaikutuksesta induktiojännite ylittää diodien kynnsjännitteen ja lataus käynnistyy. Tämä generaattorin heräämiseen tarvittavan virran suuruus rajataan latauksen merkkivalon lampulla (kuva 5). (Nieminen 2008.)

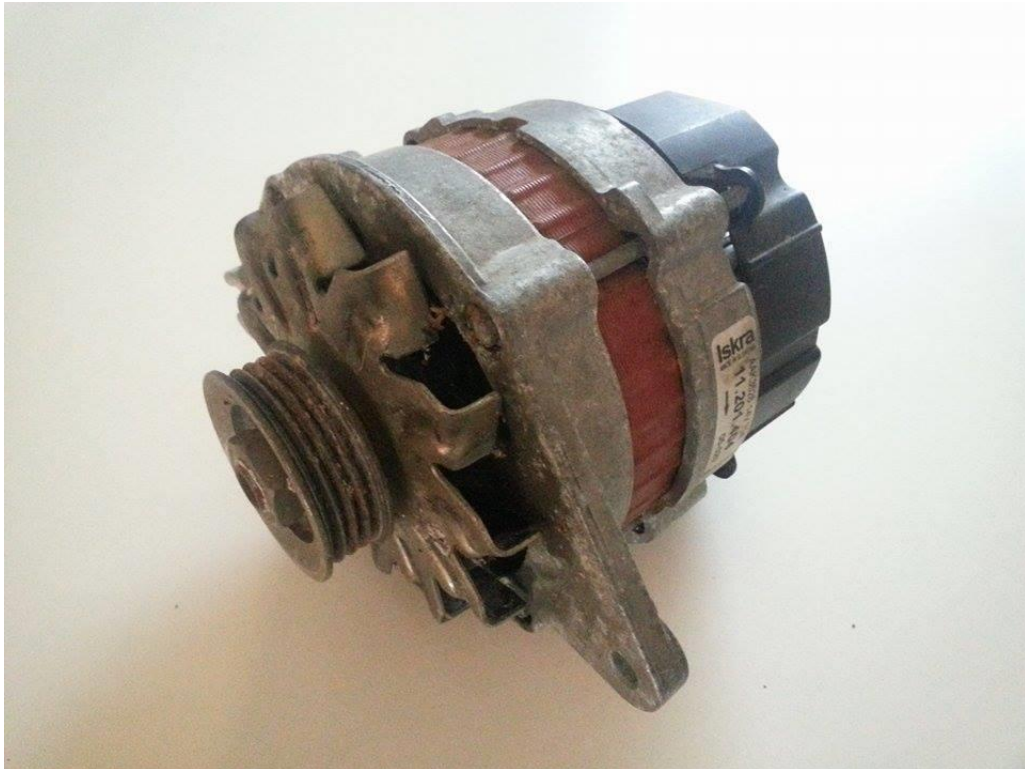
Kun virta kytketään päälle, jännite kytkeytyy latauksen merkkivalon lampun kautta generaattorin roottoriin, jonne alkaa kulkea pieni sähkövirta. Kun generaattori on herännyt, sen napajännite kasvaa hetkessä säätöjännitteen suuruiseksi. Tämän jännitteen suunta on latauksen merkkivalon kannalta vastakkainen herätinjännitteelle. Tällöin merkkivalo sammuu, mikä puolestaan ilmaisee, että generaattori toimii. Jos merkkivalo jää palamaan moottorin käynnistymisen jälkeen tai syttyy ajon aikana, napajännite on jäänyt akun napajännitettä pienemmäksi. Tämä on merkki järjestelmän viasta. Myös latausjärjestelmän jännitehäviöt saavat merkkivalon syttymään (kuva 5). (Nieminen 2008.)



Kuva 5. Merkkivalon kytkentäkaavio (Nieminen 2008).

Generaattoriksi valitsimme Iskran valmistaman generaattorin (kuva 6). Kyseinen generaattori on mallia AAK 3528 ja se tuottaa 14V ja 70A. Kyseinen generaattori toimii aluksi kokeilutarkoituksessa. Kooltaan se on järeä pelkän moottorin käyttämiseen. Jos tulemme lisäämään moottoriin toimilaitteita, tulee generaattori valita uudelleen. Tämä generaattori on toimilaitteiden käyttöön hieman liian tehoton. Pelkän moottorin generaattorina toimisi pienemmällä tuotolla oleva generaattori.

Kooltaan ja painoltaan generaattori on sen verran suurikokoinen, että se vaatii kiinnitykseen oman telineen. Tämän kokoista generaattoria emme voi emmekä kykene kiinnittämään suoraan moottorilohkoon, joten meidän täytyy suunnitella sille oma telineensä. Moottoriin generaattori yhdistetään moniurahihnalla, jota emme vielä ole valinneet hihnapyörien suunnitelmien puuttumisesta johtuen.



Kuva 6. Iskra AAK3528 14V 70A – generaattori.

## 2.5 Sytytystulppa

Käytännössä sytytystulppa tulee valita sen mukaan, kuinka kuumana moottori tulee käymään. Jos moottori on kuuma, tulee tulpaksi valita kylmä tulppa ja päinvastoin. Jos moottoriin valitaan kylmä tulppa, vaikkei se itsessään ole kovin kuuma, alkaa tulppa karstoittua. Jos moottori käy kylmänä, täytyy valita kuuma tulppa. Jos moottori kuumenee liikaa, voi tällainen tulppa jopa sulaa männästä läpi. Käytettävän tulpan lämpöarvo riippuu koneen puristussuhteesta ja viritysas-



teesta. Liian lämmin tulppa menettää tehonsa, kun moottori lämpenee ja liian kylmällä tulpalla on moottoria vaikea saada käyntiin, eikä kipinä ole tarpeeksi tehokas.

Häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi tarvitsee tulpan palotilassa olevan eristeosan pysyä tietyssä lämpötilassa. Alaraja tähän on yleensä itsepuhdistumislämpötila eli noin 450 astetta. Tämä lämpötila varmistaa, että sytytystulpan kärkiosaan syntyvä noki- ja hiilikarsta palaa. Ylärajana toimii hehkusytytyslämpötilaksi kutsuttu lämpötila, joka on noin 900 astetta. Tämän lämpötilan yläpuolella tulppa alkaa hehkusytyttää polttoaine-ilmaseosta. Tällöin palamisen alkua ei enää voi hallita sytytyslaitteilla. Tulpan kärkiosan lämpötilan määrää tulpan rakenne ja sen lämmönjohtamiskyky, mutta myös moottorin rakenne ja kuormitusaste. Nämä ovat tärkeitä lähtötietoja tulpan valintaan. (Nieminen 1994.)

Sytytystulpaksi valitsimme C7HSA NGK- tulpan (kuva 7). Kyseisen tulpan kierteen pituus on 12,7mm eli  $\frac{1}{2}$  tuumaa, tulpan kierrekoko on 10mm ja avainväli 16mm, kärkiväli on 0,7mm. Lämpöarvo kyseiselle tulpalle on 7, joka tarkoittaa tulpan olevan kylmä. Lämpöarvot määritellään numerolla, mitä alhaisempi numero sen kylmempi tulppa. Pienmoottoreissa ja autoissa lämpöarvo tulpalla on 1-25. Kyseisessä tulpassa elektrodit työntyvät ulos. Tulppa on yleinen ja se sopii laajalle lämpöarvoalueelle.



Kuva 7. NGK C7HSA -sytytystulppa (NGK 2015).

Valitsimme kyseisen tulpan pääosin sen mittojen ja koon puolesta. Emme pysty tekemään moottoriimme kovinkaan suurta reikää sytytystulppaa varten, joten jo alussa moottori piti suunnitella moottori tietyn tulpan ympärille. Kyseinen tulppa on muissakin saman kokoluokan moottoreissa käytetty ja arvoiltaan sopiva myös omaamme. Hinta ei tässä tulpassa ole todellakaan este, ja se sopii ominaisuuksiltaan täydellisesti meidän suunnittelemaamme moottoriin.

## 2.6 Sytytyspuola

Sytytyspuola on sytytysjärjestelmän osa, joka yhteistyössä sytytystulpan sekä katkojan kanssa muodostaa tarvittavan kipinän seoksen sytyttämiseen. Puola on rakenteeltaan kela, jonka käämi koostuu kahdesta osasta: pienjännitekäämistä sekä suurjännitekäämistä. Näitä kutsutaan myös nimillä ensiö – ja toisiokäämit. Toisiokäämissä on noin 20 000 kierrosta ohutta emaloitua lankaa kierrettynä eristetyn rautasydämen päälle. Tämän käämin päälle on kierretty ensiökäämi, jossa on noin 300 kierrosta emaloitua noin 0,5 mm:n paksuista lankaa, joka pystyy kuljettamaan noin 3 A:n ensiövirran akusta. Käämit eristetään toisistaan paperi- tai teippikerroksilla, ja näin ne muodostavat yhdessä muuntajan, jolla jännite saadaan korotettua suhteessa 66:1. Magneettikentän kuljettamista varten on uritettu rautainen ulkovaippa. (Kari 1997.)

Puolan ensiökäämin läpi johdetaan aluksi akusta katkojan kärkien läpi sähkövirta, joka puolestaan synnyttää rautasydämeen magneettikentän. Jotta kipinä saadaan synnytettyä, katkaistaan virta äkisti avaamalla katkojan kärjet. Tämä johtaa siihen, että magneettikenttä purkautuu ja indusoi toisiokäämin korkeajännitteen, joka puolestaan purkautuu kipinästä sytytystulppien kärkien kautta.

Suunnittelemaamme moottoriin päätimme valita Daytonan valmistaman puolan (kuva 8). Päädyimme kyseiseen puolaan pääosin siitä syystä, että samanlaista puolaa käytetään hyvinkin samankaltaisissa moottoreissa. Myös hinta oli suhteellisen edullinen, joka puolsi päätöstämme valita kyseinen puola.



Kuva 8. Daytona – sytytyspuola.

### 3 MOOTTORIN KÄYNNISTYS JA ANTURIT

Moottorin käynnistäminen tuo mukanaan omia ongelmia. Haluamme pitää vauhtipyörän niin yksinkertaisena kuin suinkin on vain mahdollista, ja tämän vuoksi normaalin käynnistinmoottorin liittäminen moottoriin ei käy päinsä. Tarkoituksena ei ole käyttää hammastettua vauhtipyörää, vaan mahdollisimman yksinkertaisen muotoista rautakappaletta.

Väliaikaisesti käynnistys tullaan hoitamaan erittäin yksinkertaisella tavalla. Ideanamme on lähtökohtaisesti käynnistys ulkoisella apuvälineellä, todennäköisesti porakoneella. Ongelmaksi tässä kohtaa tulee porakoneen mahdollinen kärehtäminen ja tapa, jolla saamme porakoneen irti moottorista käynnistymisen tapahduttua.

Kehittelimme tähän tarkoitukseen seuraavanlaisen idean. Kampiakselin kärkiosa viilattaisiin vastaamaan normaalia 6-kulmaisen mutterin muotoa ja itse porakoneeseen kiinnittäisimme räikkävaimen vääntöosan. Räikkävaimen luonnollisesti laittaisimme kampiakselin muodon mukaisen hylsyn. Kun tällä systeemillä pyöritetään kampiakselia aina käynnistyshetkeen asti, ei tarvitse huolehtia sen suuremmin kytkennän irrottamisesta. Kun moottori käynnistyy, antaa räikkä periksi, eikä näin pistä moottorille hanttiin. Tämän jälkeen porakone on helppo irrottaa pyörivästä kampiakselista. Tämä on toisin sanoen erittäin pelkistetty käynnistinjärjestelmämme. Lopullisena tavoitteena olisi, että moottorin saisi käymään akun avulla, tässä tapauksessa akku ja laturi toimisivat ns. sähkömoottorina

Mutta jotta saisimme mahdollisesti käytännöllisemmän ja haasteellisemmän käynnistysjärjestelmän moottoriimme, täytyy miettiä muita mahdollisia vaihtoehtoja. Koska vauhtipyörän monimutkaistaminen ei tule kysymykseen, täytyy normaalille käynnistinmoottorille etsiä sopiva vaihtoehto. Koska moottoriin on tulossa, ainakin tulevaisuudessa, akku ja latausjärjestelmä, yritimme miettiä tapaa, jolla akun voima saataisiin valjastettua käynnistykseen. Tästä kehittyi idea, että käyttäisimme laturia sähkömoottorina, ja tämän avulla saisimme toimivan käynnistysmoottorin käyttöömmme.



Tähän sisältyy monta muuttujaa. Voima laturilta kampiakselille tulee siis välittää muutoin kuin hammastuksen avulla. Suoraa kosketusta ei siis tule tapahtumaan laturin ja kampiakselin välillä. Tämä jättää vaihtoehtoiksi vain erinäiset hihna- ja ketjuvälitykset. Hihnavälityksessä törmäämme moniin ongelmiin. Kukin itsessään on varmasti huomannut joskus autojen latureiden tai muiden apulaitteiden hihnojen vinkuvan. Tämä johtuu puhtaasti kosketuspintojen kitkan vähäisyydestä. Jotta siis käynnistykseen tarvittava voima saadaan välitettyä, tulee hihnan ja hihnapyörien välisen kitkan oltava suuri, ettei hihna pääse luistamaan. Tämä tarkoittaa suurta kiristysmomenttia, joka rasittaa niin hihnaa, kuin hihnapyörän laakereita ja kiinnityksiä.

Yleensä suurin akusta saatava teho vaaditaan käynnistyksessä. Tämän vuoksi myös akku on valittava oikein, että virta riittää käynnistykseen. Itse näen ketjuvälityksen kyseiseen tarkoitukseen parhaana. Ketju vaatii hammaspyörät, mutta ketju ei luista, ja myöskin sen momentin kesto on aivan eriluokkaa kuin hihnan. Koska mahdollisimman huoltovapaan moottorin rakentaminen on ykkösasia, on ketju myös huoltovapain vaihtoehto tähän tarkoitukseen.

Mutta kuinka sitten saamme laturin toimimaan samalla myös käynnistinmoottorina? Käynnistysmoottorin tulee toimiakseen antaa momentti, joka voittaa moottorin sisäisen kitkan ja puristuksen aiheuttamat vastamomentit ja lisäksi sen on kyettävä pyörittämään moottorin kampiakselia riittävän nopeasti, jotta muodostuisi käynnistykseen vaadittava syttymiskelpoinen polttoaineilmaseos.

Vaihtovirtalaturista on mahdollista tehdä harjaton sähkömoottori. Tarvitaan kolmivaihelaturin virranlähde ajamaan staattoria ja tasavirtalähde ajamaan roottoria. Jotta vaihtovirtageneraattori saataisiin edes teoriassa toimimaan sähkömoottorina, täytyy siitä poistaa jännitteensäädin (jos on) ja siihen täytyy tehdä ulkoiset liitokset kaikkiin kolmeen vaiheeseen sekä tasavirtaan roottorin magnetoimiseksi. Jos laturissa on tasasuuntaaja, tulee sekin poistaa. Laturin staattorikäämit tulee kiinnittää säätimen lähtöön ja magnetointikäämille tasavirtaa. Jos kaikkien käämien molemmat päät on esillä, tulee ne kytkeä joko tähteen tai kolmioon ja sitten säätimeen. Käämien keskinäisellä kytkennällä ei ole yleensä juurikaan väliä. Yh-

tenä varteenotettavana säätimenä toimii 70A harjaton R/C ESC 24V-nopeuden-säädin, joka ajaa staattoria. Roottori yhdistetään yhteen kolmesta vaiheesta ESC:stä ja maa 20 watin resistoriin, joka tulisi maan ja roottorin väliin. (Murobbs 2015.)

Vaihtovirtalaturin muuttaminen harjattomaksi sähkömoottoriksi poistaisi kokonaan sen käytön akun lataukseen. Tämän takia meidän ei kannata alkaa kehittämään käynnistysjärjestelmää harjattoman sähkömoottorin ympärille. Harjattoman sähkömoottorin valmistaminen laturista on muutenkin äärimmäisen työlästä ja tietoa siihen löytyy erittäin niukalti. Markkinoilla on huomattavasti enemmän vaihtoehtoja halvemman sekä yksinkertaisemman toimivan käynnistysjärjestelmän tekoon. Tällä hetkellä päädyimme räikkäavaimesta tehtävään hyvin yksinkertaiseen käynnistysjärjestelmään, joka saa voimansa akkukäyttöisestä porakoneesta.

### 3.1 Megasquirt

Pohdimme myös Megasquirt-järjestelmän asentamista moottoriin. Kyseisen virittelmän suhteellisen kovan hinnan vuoksi päätimme kuitenkin jättää Megasquirt järjestelmän vain teoreettiselle tasolle. Megasquirt on polttoaineen suihkutuksen ohjain. Käsite Megasquirt sisältää sekä ohjelmiston että laitteiston. Yleisesti ottaen Megasquirt on luotu kipinäsytytteisille polttomoottoreille. Megasquirt ei ole valmis laite, vaan itse koottava projekti. Kuitenkin valmiita rakennussarjoja löytyy tähän käyttötarkoitukseen markkinoilta, mutta ovat hinnaltaan meille liian kalliita.

Megasquirt – kokoonpano vaatii toimiakseen paljon antureita. Koska Megasquirt ohjelma vaatii paljon tietoa moottorin toiminnasta, vallitsevista olosuhteista sekä sille annetuista käskyistä, tulee moottoriin asentaa eri antureita. Tämä itsessään on jo kompastuskivi moottorissamme. Alkuperäisissä suunnitelmissa päätimme tyytyä kaasuttimeen ruiskutuksen sijaan ja tästä suunnitelmasta poikkeaminen toisi tunneittain lisää työtä suunnittelun ja rakentamisen kanssa. Moottorimme tarvitsisi myös oman ECU:n ohjaamaan sytytysjärjestelmää sekä polttoaineensyöttöä. Kaiken tämän valitseminen, suunnittelu sekä hintakustannukset pois sulivat vaihtoehdon käyttämisen. (Megamanual 2015.)

Jotta Megasquirt toimisi kunnolla, vaatii se jatkuvaa dataa käyttöönsä, kuten tiedot ilman sekä jäähdytysnesteeseen lämpötilasta, kaasuläpän asennon, imusarjan paineen, sekä moottorin sen hetkisen pyörintänopeuden. Näiden tietojen avulla Megasquirt saa säädettyä sytytyksen sekä polttoaineen syötön optimaaliseksi. Lämpötilan mittaamiseksi moottoriimme tulisi asentaa lämpötila-anturi. Moottoriimme on suunniteltu ilmajäähdytteiseksi, joten tavallinen jäähdytysnesteeseen lämpötilan mittaava anturi ei tulisi kysymykseenkään. Myös imuilman lämpötilan mittaamiseen tarvittaisiin oma anturinsa. Kaasuläpän asentotunnistin pitäisi valita, ja tämän kautta myös läppä tulisi suunnitella anturia tukevaksi.

Kampiakselin asennon tunnistamiseksi Megasquirtissa käytetään kahta eri anturia. VR-anturi on induktio-anturi, joka koostuu rautaytimeistä, jonka ympärille toiseen päähän on käämitty johdin ja toiseen päähän on kiinnitetty kestopagneetti. VR-anturi ei tarvitse ulkoista virtalähdettä. Toinen vaadittava anturi on Hall-anturi. Se on Hall-efektiin perustuva muunnin. Anturi sisältää johtimen, ja lisäksi useimmissa Hall-antureissa on sisäänrakennettu mikropiiri signaalin muuntoa varten. Muut tarvittavat anturit ovat lambda-anturi, joka mittaa jäännöshapen määrää pakokaasuista, sekä paineanturi, jolla mitataan imusarjassa vallitsevaa painetta. (Megamanual 2015.)

Kaikki nämä anturit vaativat myös releet / sulakkeet ja omat johtosarjansa. Tämä toisi valtavan lisätyön moottorin rakennuksen oheen ja on suuri syy miksi emme valinneet Megasquirttia sytytysjärjestelmäksi. Vaikkakin säätömahdollisuudet ovat toista luokkaa kuin muissa järjestelmissä, eivät hyödyt olisi kuitenkaan vajaan nähden tarpeeksi suuret.

### 3.2 Nakutuksentunnistin

Nakutus tarkoittaa kun seos syttyy ennenaikaisesti räjähdysmäisesti. Tämä niin kutsuttu haitallinen nakutus syntyy silloin, kun liekki syttyy kipinästä, mutta kauempana sytytystulpasta esimerkiksi sylinterin reunalla tapahtuu itsesytyminen ja nämä kaksi paineaaltoa kohtaavat keskenään. Itsesytyminen voi johtua mm. paineen ja lämpötilan vaikutuksesta esim. kuumana hehkuvien karstanjäämien aikaansaamasta syttymisestä. Nakutus aikaansaa moottorin tehon heikentymistä

sekä rasittaa moottoria sekä termisesti että mekaanisesti. Paras mahdollinen hyötysuhde saadaan, kun moottoria käytetään juuri nakutusrajalla. (Kari 1997.)

Lyhytaikaisesti tapahtuva nakutus ei vielä ole haitallista moottorille. Lyhytaikaista nakutusta esiintyy esimerkiksi kiihdytysten aikana. Raskaalla kuormituksella esiintyvä nakutus on paikoitellen jopa erittäin haitallista moottorille. Nakutuksen syntyminen on monien osien summa. Siihen vaikuttaa huono sylinterinkannen suunnittelu, ilma/polttoaineseos (laiha seos on alttiimpi seoksen detonaatiolle eli räjähdykselle), polttoaineen laatu (puristussuhde ja polttoaineen oktaaniluku ovat sidoksissa toisiinsa, korkea puristussuhde vaatii korkeaoktaanisen polttoaineen) sekä sytytysennakko. Polttoaineen oktaanilukua nostamalla saadaan ennaltaehkäistä nakutusta. Myös kuormituksen vähentäminen sekä sytytyksen myöhentäminen voivat auttaa nakutuksen poistoon sekä ennaltaehkäisyyn. (Kari 1997.)

Nykyajan moottoreissa käytetään nakutuksen tunnistamiseen omaa anturia. Tätä kutsutaan nakutuksentunnistimeksi. Sen tehtävä on ennakoida nakutus ja säätää ahtopainetta sekä sytytyksen ajoitusta ja näin estää nakuttaminen. Nakutuksen tunnistin havaitsee tietyllä taajuudella esiintyvän värähtelyn. Satunnaisissa tapauksissa moottorissa on osia, joiden liike aiheuttaa taajuudelle osuvan värähtelyn ja saa näin aikaan hetkellisen virhetulkinnan. Tämä on kuitenkin harvinaista.

Varsinaista nakutuksentunnistinta emme tule ainakaan prototyypimoottoriimme tekemään. On kuitenkin hyvä pitää silmällä nakutuksentunnistimen rakennetta, jos päätämme ottaa sellaisen joskus käyttöön. Tämä kuitenkin vaatisi jo elektronista moottorinohjausta omine ohjelmineen.

### 3.3 CDI (Capacitor discharge ignition) - boksi

CDI-boksi valittiin sytytysjärjestelmään, jotta saisimme parannettua suorituskykyä. CDI-boksin saimme valmiin sytytysjärjestelmämme mukana. CDI-boksin tarkoitus on tuottaa korkeampi sytytysjännite kuin mitä perinteinen sytytysjärjestelmä saisi aikaan. Tämän avulla aikaansaadaan myös kuumempi kipinä. Jännite nousee nopeammin, joten kipinä on täten lyhyempi. Tällä aikaansaadaan tarkempi ajoitus. CDI käyttää kondensaattoriin latautunutta jännitettä kipinän aikaansaamiseen.

### 3.4 Kierrostenrajoitin

Moottoriin on tarve kehittää myös kierrostenrajoitin, joka rajaa kierrokset haluttuun maksimiin. Tämän hetkisten arvioiden mukaan noin 3000rpm olisi meidän toivomamme maksimikierrosluku. Markkinoilla on valmiita ratkaisuja kierrosten rajoittamiseen. Varsinkin mopojen käytössä nämä kierrosrajoittimet ovat tuttuja.

Kierrostenrajoittimen peruserä on seuraavanlainen. Kondensaattori muodostaa impulssikäänin sisäisen resistanssin kanssa aikavakion, joka puolestaan aiheuttaa sytytyksen myöhästymisen. Sytytystä myöhentämällä vaikutetaan suoraan myös saatavaan tehoon. Mitä myöhäisempi sytytys on, sitä tehottomampi on palotapahtuma. Kun kondensaattorin kokoa suurennetaan, kasvaa myös aikavakio. Tämä johtaa pienempään sytytysennakkoon sekä pienempään tehoon. Näin se toimii samoin kuin nakutuksentunnistin, mutta voimakkaampana versiona. (Motot 2015.)

Moottorin käymisen vaikeuttaminen aiheuttaa ainakin osittaista pätkimistä ja käynnin häiriötä. Kuitenkaan rajoittimesta aiheutuva seoksen syttymättä jääminen ei ole haitallista moottorille. Tämä kuitenkin lisää hiilivetypäästöjä, mutta onneksi käyntijaksot, jolloin polttoaine jää syttymättä, ovat melko lyhytaikaisia. Käynnin rajoittaminen tapahtuu palamisen paineen laskemisella kun sytytysennakkoa lyhennetään. Alhaisempi syttymisen paine vähentää mäntään kohdistuvaa rasitusta.

Minkälainen rajoittimen siis valitsemme moottoriimme? Markkinoilla on monenlaisia valmiita rajoittimia, jotka ovat suosittuja varsinkin mopojen viristysten ohessa.

CGC - rajoitin on säädettävä 16 asteen kytkin. Se toimii lähes kaikissa mopoissa ja moposkoottereissa, joista löytyy CDI-sytytys. Hinta tämänytyllisissä rajoittimissa on halpa. Lähtökohtaisesti moottoristamme löytyy CDI-sytytys, joten tämänytyllinen rajoitin sopii käyttöömmme mainiosti. Rajoitinta valmistavat myös monet valmistajat, joten markkinoilla on valinnanvaraa. (Motot 2015.)

CGC – rajoittimen asennus toteutetaan seuraavanlaisesti. Punainen johto asennetaan CDI-boksin ja impulssikäämin väliseen johtoon ja musta johto akun miinusnapaan tai rungon maalaamattomaan pintaan kiinni. (Motot 2015.)

Markkinoilta löytyy myös toinen, mutta huomattavasti kalliimpi vaihtoehto rajoittimelle. Phot-eco nimellä kulkeva rajoitin. Se toimii välittömästi moottorin virtojen kytkeydyttyä sekä sitä pystytään säätämään suoraan kaukosäätimellä. Phot-eco kytketään kiinni asentamalla CDI:n ja impulssikäämin välille vihreä johto. Mustakeltainen johto on maajohto, joka kytketään kiinni maalaamattomaan runkoon tai akun miinusnapaan. Punainen johto asennetaan kiinni sellaiseen johtoon, josta saa virtaa heti kun moottoriin saa eloa esim. virtalukkoon tai vastaavaan. Missään nimessä kyseistä punaista johtoa ei saa asentaa suoraan akun plus-johtoon. Phot-eco-säätimessä on 10 asteinen kytkin, josta pääsee säätämään rajoituksen voimakkuuden. (Motot 2015.)

Päädyimme valitsemaan Tec-X-merkkisen kierrostenrajoittimen (kuva 9), joka on suhteellisen yleinen mopojen ja moposkoottareiden kierrostenrajoittamiseen käytettävä rajoitin. Asentaminen on yksinkertainen, sillä se vaatii vain johtoliitoksen yhden rinnankytkennän toimiakseen. Säätimessä on yksi On/Off-kytkin, jolla rajoittimen saa kytkettyä päälle ja pois. Kyseinen rajoitin sopii kaikkiin CDI- sekä pick-up- yksiköllä varustettuihin moottoreihin. Rajoittimen voi säätää niin, että se aloittaa kierrosten rajoittamisen halutussa kohdassa.



Kuva 9. Tec-X – kierrostenrajoitin. (Sparewheel 2015)

## 4 VALITSEMAMME SYTYTYSJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Magneetto

Magneetto on sähkögeneraattori, joka tuottaa sytytysvirran sekä akun mahdollisen latausvirran. Magneetto toimii lähes poikkeuksetta moottorin vauhtipyöränä, joka mahdollistaa moottorin tasaisen ja vääntöä tuottavan käynnin. Vanhemmissa moottoreissa magneetto on yleensä erillinen laite, joka toimii yksinomaan sytytyskoneena eikä tuota virtaa muille laitteille. Magneeton rakenne ja toimintaperiaate on sama kuin vaihtovirtageneraattoreissa.

Magneeton toiminta perustuu induktioon. Magneettien välissä on magneetikenttä. Vauhtipyörän pyöriessä leikkaa magneetikenttä puolan käämitystä. Käämiin indusoituu sähköä, joka johdetaan suljettua virtapiiriä pitkin käyttöön. Virta ja jännite riippuvat johdon määrästä, magneeton pyörimisnopeudesta ja magneettivuon voimakkuudesta. Virtaa on mahdollista säätää omalla säätimellään, joka säätää magneettien voimakkuutta. Magneetossa ja generaattorissa syntyy vaihtovirtaa, joka täytyy muuttaa tasavirraksi tasasuuntaamalla akkua varten. (Nieminen 1994.)

Päädyimme omassa moottorissamme magneettosytytykseen, mutta toteutamme sen pienellä muutoksella. Normaalisti magneettosytytys on yhteydessä vauhtipyörään, mutta meidän aikomuksenamme on yhdistää se nokka-akseliin.

### 4.2 Valittu sytytysjärjestelmä

Valitsimme sytytysjärjestelmäksemme laitteen nimeltä 138cc Magnetic Flying Wheel Igniter (kuva 10). Kyseessä on magneettosytytys-järjestelmä, johon kuuluu myös CDI-yksikkö. Tämän avulla pääsemme haluttuun ratkaisuun vauhtipyörän kanssa, sekä saamme sytytysjärjestelmästäimme mahdollisimman yksinkertaisen. Kyseinen tuote on magneettinen roottori. Sen avulla pääsee eroon vauhtipyörän painavasta roottorista, ja näin moottori saadaan kevyemmäksi.





Kuva 10. 138cc Magnetic Flying Wheel Igniter.

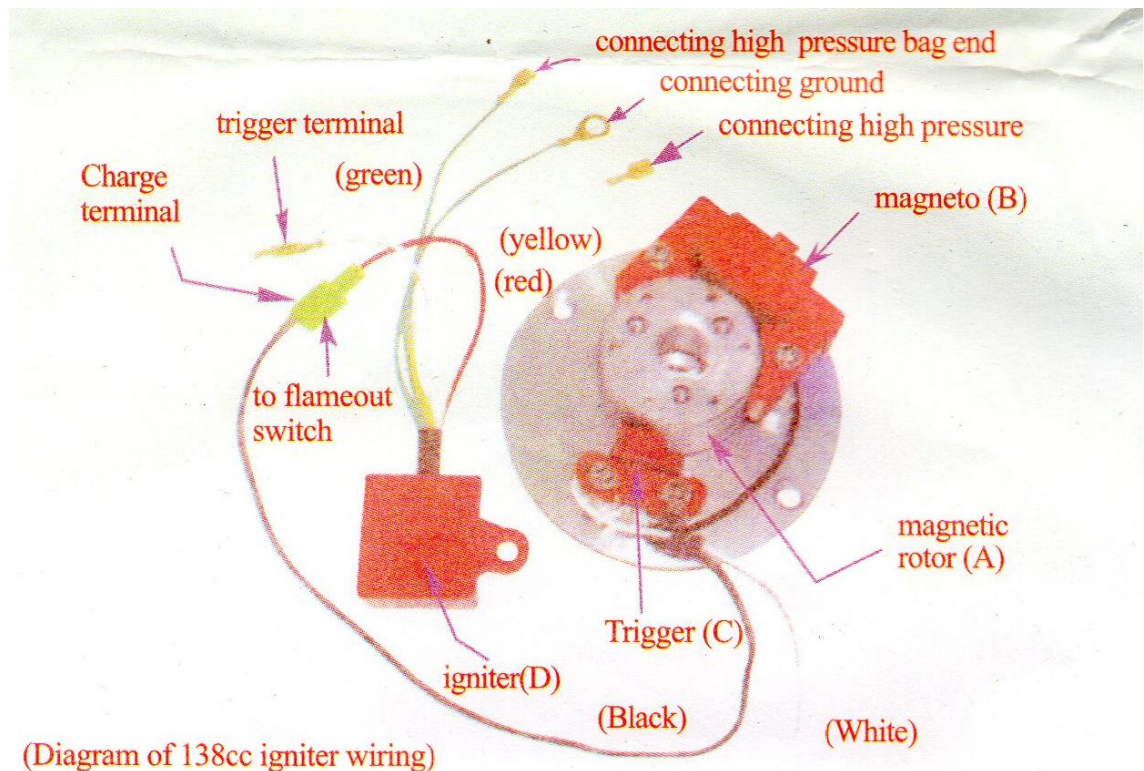
Sytytysjärjestelmän avulla on teoreettisesti mahdollista saavuttaa jopa 15 000 kierroksen minuuttinopeus, mutta näin suuriin lukemiin emme tule moottoriamme alistamaan.

Kyseinen tuote on erittäin monikäyttöinen ja sopii mainiosti useaan moottoriin jollaisenaan. Näin saamme sytytysjärjestelmän, joka ei tarvitse muita komponentteja, puola ja sytytystulppaa lukuun ottamatta. Koska ensisijainen käyttökohteemme sytytyksen rakentamiselle oli käyttää nokka-akselia vauhtipyörän sijaan, oli tämä pieni ja kevyt yksikkö meille sopivin vaihtoehto.

Yksikön toiminta on seuraavanlainen. Magneettinen roottori kääntää indusoitua magneettia, joka tuottaa virtaa. Tämän jälkeen virta tuottaa tarvittavaa aallonmuotoista ja jaksottaista impulssiivista virtaa triggerin ja sytyttimen avulla. Kor-

keapainelaite tuottaa korkeapaineimpulssia siten että laitteeseen yhdistetty sytytysluppa tuottaa kipinän, jolla seos saadaan syttymään säännöllisesti sylinterissä.

Sytytyksen säätäminen onnistuu löysäämällä magneeton aluslevyn kiinnitysruuvit ja pyörittämällä levyä haluttuun suuntaan. Sytytyksen aikaistamiseen aluslevyä tulee pyörittää vastapäivään ja myöhäisemmälle myötäpäivään (kuva 10).



Kuva 11. Magneto Flying Wheel Igniter -kaavio.

Kuvassa 11 on sytytysjärjestelmän kaavio. Magneetto (B) kytketään valkoisella johdolla sytyttimeen (D). Sytyttimen (D) keltainen johto on yhdistetty korkeapainelaitteeseen. Yksi sytyttimen (D) kahdesta vihreästä johdosta on kytketty korkeapainelaitteeseen ja toinen vihreä johto, joka toimii maadoituksena, yhdistetään yleiseen maajohtoon.

Sytytinjärjestelmä on halpa kopio laadukkaampana tunnetun valmistajan Kitacon vastaavasta. Käyttämämme paketti hankittiin eBay – verkkokaupasta muutaman

kymmenen euron hintaan. Koska haluamme ensin testata, toimiiko kyseinen paketti moottorin sytytysjärjestelmänä, emme viitsineet ostaa Kitacon alkuperäistä järjestelmää (kuva 12).



Kuva 12. Kitaco Inner Rotor Set.

Kopiojärjestelmän pahimmat viat ovat toivottoman heikkorakenteiset liittimet, sekä CDI-boksin puuttuva kiinnitys. Liittimet ovat erittäin pehmeää metallia sekä suojamuovit johdoissa ovat erittäin ohutta muovia. Koska CDI-boksia ei saa kiinni moottoriimme kuin soveltamalla, tuo tämä ongelmia moottorin tärinän kanssa. Tärinä aiheuttaa pahaa pätkimistä CDI-boksissa, joka vaikuttaa moottorin käymiseen. Seuraava ongelma on sytytyksen ajoittamisessa. Oikean ajoituksen saaminen tuntuu miltei mahdottomalta. Muutenkin koko paketti on todella halvanoloinen kopio. Jos moottoriimme toimii moitteettomasti tämän kopiojärjestelmän avulla, alkuperäisen ostaminen tuntuu järkevältä vaihtoehdolta. On oletettavaa, että eBayn versio ei ole kovinkaan pitkäikäinen.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus:

Kari, K. 1997. Auton sähkövarusteet. Helsinki: Alfamer Oy.

Nieminen, S. 1994. Auton sähkötekniikka. WSOY Auto- ja kuljetustekniikka

Nieminen, S. 2008. Auton Sähkölaitteet. Helsinki: WSOY

### Internet-lähteet:

Murobbs 2015. Auton vaihtovirtalaturin modaus moottoriksi ja nopeudensäädinten konfigurointi. Viitattu 1.4.2015

<http://murobbs.muropaketti.com/threads/auton-vaihtovirtalaturin-modaus-moottoriksi-ja-nopeudensaaedinten-konfigurointi.661154/>

Motot 2015. Kierrosrajoittimet ja niiden rakentaminen. Viitattu 18.3.2015

[http://www.motot.net/wiki/Kierrosrajoittimet\\_ja\\_niiden\\_rakentaminen](http://www.motot.net/wiki/Kierrosrajoittimet_ja_niiden_rakentaminen)

Wikipedia 2015. Latausgeneraattori. Viitattu 16.6.2015

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Latausgeneraattori>

Megamanual 2015. Megasquirt, Frequently Asked Questions. Viitattu 8.4.2015

<http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>

NGK 2015. NGK 4629 C7HSA – sytytystulppa. Viitattu 10.3.2015

<http://www.ngk.com/product.aspx?zpid=9618>

Sparewheel. 2015. Tec-X -kierrostenrajoitin, yleismalli. Viitattu 16.6.2015.

[https://sparewheel.fi/product\\_info.php/products\\_id/1129](https://sparewheel.fi/product_info.php/products_id/1129)

Vemssupport 2015. Ignition Timing Theory. Viitattu 16.6.2015 <http://www.vemssupport.com/forum/index.php?topic=97.0>