



Sähköpyörätuolin ajomatkan määrittäminen

Saku Suominen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

SUOMINEN, SAKU:
Sähköpyörätuolin ajomatkan määrittäminen

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2019

Sähköpyörätuoli on käyttäjälleen korvaamaton apuväline. Laitteen avulla liikuntarajoitteinen henkilö kykenee ajamaan sisä- ja ulkotiloissa. Laitteelta vaaditaan luotettavuutta ja toimivuutta kaikissa olosuhteissa, sillä sähköpyörätuoli on käyttäjälleen ainoa mahdollinen tapa liikkua itsenäisesti. Sähköpyörätuolin tulee suoriutua kaikista sille luvatuista suoritearvoista, joista yksi on laitteen ajomatka.

Opinnäytetyössä tutkittiin sähköpyörätuoleilla saavutettavissa olevaa ajomatkaa. Laitteiden ajomatkan määrittäminen vaikuttaa olevan epäselvä jopa alalla työskenteleville henkilöille. Työn tilaajalle saapui aika-ajoin reklamaatioita, kun laite ei suoriutunutkaan siitä ajomatkasta, joka laitteelle oli käyttöohjeessa luvattu. Laitteiden käyttäjät tai niiden kanssa työskentelevät henkilöt ovat harvoin sähköalan ammattihenkilöitä, joten ajomatkaan vaikuttavien seikkojen selkeä määrittely oli tarpeen.

Kansainvälinen standardi ISO 7176-4 määrittelee sähköpyörätuolin teoreettisen ajomatkan mittaustavan. Tämä ajomatka on kuitenkin teoreettinen maksimiarvo ja todelliseen ajomatkaan vaikuttavat useat muuttujat, joita ovat ympäristön lämpötila, kuljettajan paino, maastonmuodot ja akkujen kunto. Näiden muuttujien vaikutusta laitteen suorituskykyyn käsitellään opinnäytetyössä. Eniten saavutettavaa ajomatkaa alentavat ylämäet ja pakkaskeli.

Opinnäytetyön lopputulosta voidaan pitää onnistuneena, sillä työssä tehdyt mittaukset onnistuivat ja raportista tuli kattava kokonaisuus. Aiheesta ei löytynyt aiemmin kootusti suomenkielistä materiaalia, joten raporttia voivat käyttää hyödyksi jo alalla työskentelevät tai aiheesta muuten kiinnostuneet henkilöt.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Power Engineering

SUOMINEN, SAKU:
Determination of Distance Range of Electric Wheelchair

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 6 pages
May 2019

Electric wheelchair is essential mobility aid for disabled person, since it is only way to move independently. Electric wheelchairs has to be reliable and functional in all conditions. Distance range is one of the most critical feature which wheelchairs has to accomplish.

The purpose of this thesis was to examine distance range of electric wheelchairs. Idea for this study appeared because determination of theoretical distance range for electric wheelchairs was unclear even for professionals, which caused misunderstandings. Some reclamations was reported when client could not receive range specified on manuals.

International standard ISO 7176-4 defines methods for determining theoretical distance range. This specific value is the one that manufacturers announce on user manuals. During measurements track was built on company's premises and energy consumed was measured. Test was made by using Alex wheelchair from Sunrise Medical.

Number of factors affects for accurate range. These factors was studied and results suggest that topography and ambient temperature has the greatest affect. Findings indicate that specified theoretical distance range is achievable only on ideal circumstances.

Key words: electric wheelchair, ISO 7176-4, distance range, battery

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TAUSTATIEDOT	7
	2.1 Tilaajan esittely	7
	2.2 Työn tarkoitus.....	8
3	TEORIA	9
	3.1 Yleistä sähköpyörätuoleista	9
	3.2 Sähköpyörätuolin rakenne	13
	3.3 Akut.....	14
	3.3.1 Lyijyakut	15
	3.3.2 Litiumioniakut.....	15
	3.3.3 Lämpötilan vaikutus akun suoristuskykyyn	16
	3.4 Lataaminen	17
	3.5 Moottorit ja voimansiirto	18
	3.6 ISO 7176-4 -standardi.....	19
	3.7 Yleinen liikeyhtälö	20
	3.7.1 Vierintävastus.....	21
	3.7.2 Ilmanvastus	23
	3.7.3 Gravitaatiovoima.....	24
	3.7.4 Kokonaisvoimat	25
4	TUTKIMUS	27
5	TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI.....	32
6	POHDINTA JA YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	36
	Liite 2. Buddy-latauslaitteen esite	37
	Liite 3. Akkujen datalehti	38
	Liite 4. Akun kapasiteetin mittaukset.....	39
	Liite 4. Betonilattioiden vaatimukset.....	41

LYHENTEET JA TERMIT

AGM-akku	Absorbent Glass Matt. Huoltovapaa lyijyakku, jossa elektrolyytti on imeytetty lasikuitumattoon
Ampeeri, A	Sähkövirran yksikkö SI-järjestelmässä
Ampeeritunti, Ah	Sähkövaraus, jonka ampeerin virta kuljettaa tunnin aikana
C-arvo	Akun purkausvirtaa kuvaava suure
Elektrolyytti	Ioneja kuljettava väliaine
Geeliakku	Lyijyakku, jossa elektrolyytti on geelimäistä
Ioni	Varausta kuljettava hiukkanen
Ohmi, Ω	Resistanssin eli sähkövastuksen yksikkö
Ominaisenergia	Varastoituneen energian ja massan suhde (Wh/kg)
Sisäinen resistanssi	Akun rakenteesta riippuva sisäinen vastus

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan sähkökäyttöisten pyörätuolien rakennetta ja tekniikkaa. Näiden lisäksi paneudutaan sähköisiin liikkumisen apuvälineisiin liittyviin standardeihin. Aiheesta ei juurikaan ole valmiiksi tuotettuna suomenkielistä aineistoa, joten työn on myös tarkoituksena toimia oppaana laitteiden parissa työskenteleville. Työn tilaajana toimii Haltija Group Oy, joka on suomalainen apuvälinealan yritys.

Työn alussa esitellään työn tilannut yritys. Tämän jälkeen siirrytään sähköpyörätuolien rakenteeseen ja käydään läpi vaiheittain niihin liittyvät komponentit. Tämän jälkeen siirrytään aiheeseen liittyvään standardiin ISO 7176-4. Työssä käydään läpi myös laitteiden suorituskykyyn liittyviä mittauksi käytännössä. Työn tavoitteena oli mallintaa, kuinka eri muuttujat vaikuttavat sähköpyörätuolilla saavutettavissa olevaan ajomatkaa.

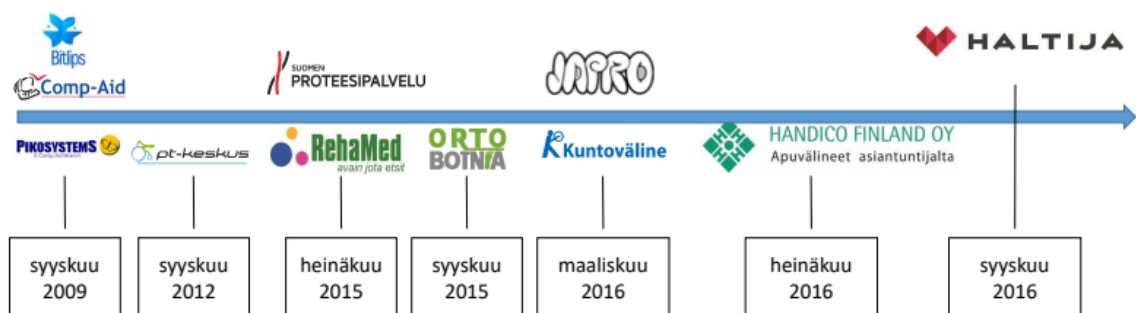
Työn lähteinä on käytetty pääasiassa erilaisia sähköiseen liikkumiseen liittyviä teoksia. Koska suoranaisesti sähköpyörätuoleihin liittyvää kirjoitettua suomenkielistä materiaalia ei ole saatavilla kovinkaan kattavasti, lähteinä onkin käytetty muun muassa sähköautoiluun liittyvää aineistoa.

2 TAUSTATIEDOT

2.1 Tilaajan esittely

Haltija Group Oy on yksi Suomen suurimmista apuvälinealan yrityksistä. Työn kirjoittamishetkellä yrityksen liikevaihto oli luokkaa 25 miljoonaa euroa ja siinä työskenteli 110 henkilöä. Yrityksen merkittävimpiä asiakkaita ovat sairaanhoitopiirit ja apuvälinekeskukset. Yksityisasiakkaat muodostavat pienemmän asiakasjoukon, sillä apuvälinehankinnat tekee julkinen sektori ja apuvälineen tarvitsijat saavat tarvitsemansa välineet veloitusetta käyttöönsä. Sosiaali- ja terveysalan yritykset muodostavat kuitenkin kasvavan osan asiakaskunnasta. Yritys palvelee asiakkaitaan valtakunnallisesti ja sillä on toimipisteitä monipuolisesti ympäri Suomea, yhteensä 11:llä eri paikkakunnalla.

Haltija on perustettu vuonna 2016 vastaamaan asiakaskunnan tarpeeseen saada rinnalleen monipuolinen ja kattava apuvälinepalveluja tuottava yritys. Haltija on syntynyt useamman alalla jo pitkään toimineen yrityksen fuusiosta. Fuusion tarkoituksena on ollut luoda Suomeen yritys, jonka on mahdollista täyttää kaikki apuvälineen hankkijan tarpeet. (Haltija Group Oy). Kuvassa 1 on esitetty Haltija-organisaation yhdistyneet yritykset.



KUVA 1. Haltija-organisaation synty (Haltija Group Oy 2017)

Vaikka Haltija on nuori yritys, on sillä kattavasti osaamista apuvälinealan eri osa-alueista. Alan pienempien osaajien kokemus on saatu nivottua yhteen yhdeksi toimijaksi, mikä mahdollistaa laaja-alaisen toiminnan.

2.2 Työn tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä sähkökäyttöisten liikkumisen apuvälineiden toimintaan. Sähköiset liikkumisen apuvälineet pitävät sisällään sähköpyörätuolit, sähkömopot ja erilaiset sähköiset lisävoimalaitteet. Tässä työssä pääpainona on sähköpyörätuolien tekniikkaan perehtyminen ja niiden ajomatkaan vaikuttavien suureiden tunnistaminen.

Opinnäytetyöprosessin aikana insinööriopiskelija toimi yrityksen palveluksessa. Työn tarkoituksena on tutkia, kuinka erilaiset tekijät vaikuttavat sähköpyörätuoleilla saavutettavaan ajomatkaan. Sähköpyörätuoleille on määritetty standardin mukainen tapa määrittää laitteella saavutettava tekninen ajomatka. Työn tarkoituksena on, että tekijä perehtyy kyseiseen standardiin ja suorittaa siihen liittyviä mittauksia. Mittauksiin liittyen tekijä perehtyy myös laitteisiin liittyvään tekniikkaan. Vastaisuudessa opinnäytetyön on tarkoitus toimia osana uusien työntekijöiden perehdyttämistä.

3 TEORIA

Tässä osiossa käydään läpi tutkimuksessa käytettyjä laitteita, standardeja ja muuta teoriaa, johon tutkimus perustuu. Aluksi käydään läpi sähköpyörätuolien historiaa, jonka jälkeen pureudutaan niiden toimintaan. Erillisissä kappaleissa käydään läpi sähköpyörätuolin akkutekniikka, akkujen lataaminen ja moottorit. Viimeisimpänä käydään läpi standardin ISO 7176-4 asettamat vaatimukset sähköpyörätuolin teoreettisen ajomatkan mittaamiselle.

3.1 Yleistä sähköpyörätuoleista

Sähköpyörätuolit ovat liikuntarajoitteisten henkilöiden liikkumiseen tarkoitettuja laitteita. Tyypillisesti nykyaikaisissa sähköpyörätuolissa käytetään ajamiseen napamoottoreita. Sähköpyörätuoleissa on kaksi vetävää pyörää ja kahdesta neljään tukipyörää, jotka pyörivät vapaasti pystysuunnassa. Sähköpyörätuolia saadaan ohjattua muuttamalla ajomoottorien nopeuksia.

Sähköpyörätuolit on tarkoitettu käyttäjille, jotka eivät pysty tuottamaan riittävästi voimaa normaalin pyörätuolin kelaamiseen. Sähköpyörätuolin keksijän pidetään kanadalaista George Kleiniä, joka valmisti laitteita toisessa maailmansodassa haavoittuneille sotilaille. (University of Toronto 2017.) Kuvassa 2 George Klein ja rakentamansa sähköpyörätuoli.



KUVA 2. Klein ja sähköpyörätuoli (University of Toronto 2017)

Kleinin valmistama pyörätuoli oli melko vastaava kuin mitä nykyiset käsikäyttöiset pyörätuolit, joissa on isot kelauspyörät ja pienet tukipyörät. Laitteet ovat muuttuneet merkittävästä Kleinin ajoista, mutta peruseriaate on edelleen sama; laitetta ohjataan käsiohjaimella ja molemmilla vetopyörillä on oma moottori. Laite kääntyy, kun moottorin pyörimisnopeus muuttuu suhteessa toiseen. Kuvassa 3 on esitetty nykyisin tyypillinen takavetoinen sähköpyörätuoli.



KUVA 3. Nykyaikainen takavetoinen sähköpyörätuoli (Haltija Group 2018)

Suomessa perustason sähköpyörätuolit ovat enimmäkseen takavetoisia. Takavetoisen laitteen etuna on edullinen ja yksinkertainen rakenne. Isojen pyörien avulla laite ylittää esteet, eikä monimutkaiselle jousitukselle ole tarvetta, koska renkaat vaimentavat värähdykset.

Perinteisten takavetoisten laitteiden lisäksi saatavilla on etu-, neli- ja keskivetoisia sähköpyörätuoleja. Erityisesti keskivetoiset laitteet ovat yleistyneet viimevuosina, johtuen niiden ajettavuuden parantumisesta. Tyypillisesti keskivetoiset sähköpyörätuolit ovat takavetoisia hieman arvokkaampia monipuolisemman jousituksen takia. Keskivetoisen laitteen etuna on johdonmukainen ajettavuus; laite kääntyy paikallaan oman akselinsa ympäri. Laite on tarkka ajettava, koska kuljettaja kulkee aina sinne, minne hän käsiohjaimella ohjaa. Keskivetoisessa pyörätuolissa kuljettaja istuu kääntyvän akselin päällä, jolloin kääntymiseen vaadittavan tilan hahmottaminen on helpompaa. Taka- ja etuvetoisilla kääntymiseen tarvittava tila on suurempi. Kuvassa 4 esiintyy nykyaikainen keskivetoinen sähköpyörätuoli.



KUVA 4. Keskivetoinen sähköpyörätuoli (Haltija Group 2019)

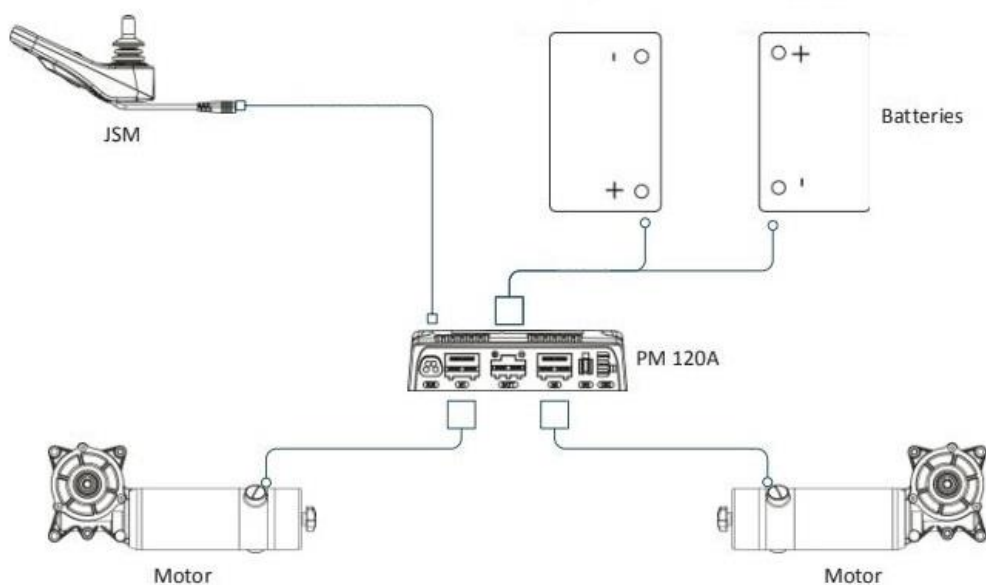
Ajo-ominaisuuden lisäksi nykyaikaisissa sähköpyörätuoleissa on saatavilla erilaisia sähkötoimintoja käyttäjän tarpeen mukaan. Sähkötoimintojen avulla käyttäjä pystyy korjaamaan istuma-asentoaan käsiohjaimen avulla. Käsiohjaimesta ohjaamalla voidaan säätää tuolin istuinkulmaa, selkänojan kulmaa sekä jalkalautojen asentoa. Lisäksi tuoli voi olla varustettu hissillä, jonka avulla käyttäjä voi nostaa itseään ylöspäin ylettyäkseen toimimaan esimerkiksi keittiön tasolla. Eri-tyisesti sähkökäyttöinen istuinkulman säätö on yleinen ominaisuus, koska sen avulla käyttäjä pystyy siirtämään painoansa selälleen ja näin ollen ehkäistä pitkään istumisesta aiheutuvia paineenvaivoja. Lisäksi erillisen sähköpyörätuoliryhmän muodostaa käyttäjän kokonaan seisoma-asentoon nostavat tuolit.

Sähkösäädön moottorit ovat normaaleja karamoottoreja. Moottorit on varustettu yleensä mikrokytkimillä. Esimerkiksi istuinkulman kallistuksessa on rajakytkin, jonka avulla laitteen elektroniikka tietää milloin istuin on säädetty taakse. Elektroniikka rajoittaa pyörätuolin ajonopeutta istuimen ollessa säädettyinä taakse, jottei laite kallistuisi kiihdytettäessä.

3.2 Sähköpyörätuolin rakenne

Nykyiset sähköpyörätuolit saavat voimansa tyypillisesti lyijyakuista. Yleensä laitteissa on kaksi 12 voltin akkua kytkettynä sarjaan, jolloin saadaan 24 voltin käyttöjännite. Akut ovat yleensä kapasiteetiltaan luokkaa 50-70 Ah. Normaalilla sähköpyörätuolilla saavutetaan täysillä akuilla noin 20-40 kilometrin teoreettinen ajomatka standardissa ISO 7176-4 määritellyn mittaustavan mukaan.

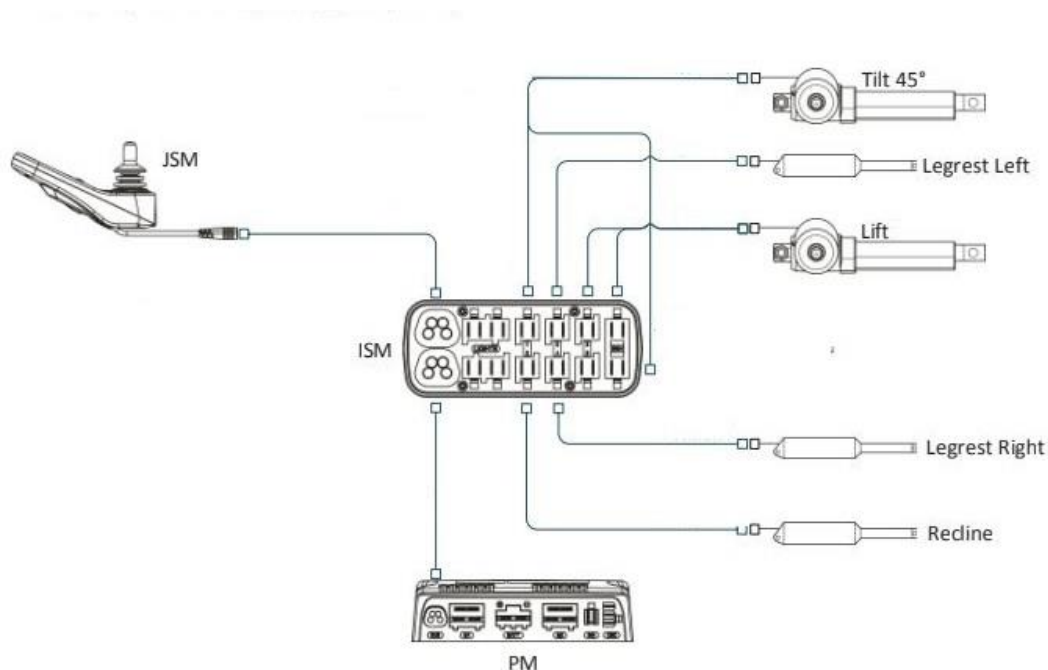
Ajoa ja laitteen muita ominaisuuksia ohjataan käsiohjaimen avulla. Kallistamalla ohjausrasian tikkua laitetta saadaan ohjattua haluttuun suuntaan. Ohjausrasia yhdistyy laitteen elektroniikkaan väyläkaapeleilla. Haltijan maahantuomissa sähköpyörätuoleissa on useimmissa Penny&Gilesin valmistama R-net-elektroniikka. Kuvassa 5 on esitetty R-net-elektroniikka yksinkertaisimmillaan, kun laite on varustettu pelkällä ajo-ominaisuudella.



KUVA 5. Kaaviokuva sähköpyörätuolin elektroniikasta, jossa on vain ajo-ominaisuus (Sunrise Medical 2014)

Kuvassa 5 JSM, *Joystick Module*, on laitteen ohjaamista varten tarkoitettu ohjausrasia. Ohjausrasia antaa tiedon laitteen elektroniikkayksikölle PM, *Power Module*. Ohjausrasian kautta tehdään myös akkujen lataus. Kuvassa oleva elektroniikkayksikkö on tehokkainta mallia, joka antaa moottoreille virtaa 120 ampeeriin asti.

Kuvassa 6 on esitetty sähköpyörätuolin elektronikka, kun laite on varustettu useammalla sähkötoiminnolla pelkän ajo-ominaisuuden lisäksi.



KUVA 6. Kaaviokuva sähköpyörätuolin elektronikkasta, kun sähköpyörätuoli on varustettu sähkötoiminnoilla (Sunrise Medical 2014)

Kun R-net-elektronikalla halutaan tuoliin lisäksi sähkötoimintoja, tarvitaan PM-elektronikkayksikön lisäksi toinen elektronikkayksikkö, ISM. Tämä on nimeltään *Intelligent Seat Module*, eli yksikkö, joka ohjaa karamoottoreille menevää virtaa. Kuvassa 5 *Tilt 45°* on istuinkulman säätö, jonka avulla sekä istuin ja selkänoja kallistuvat. *Legrest right* ja *legrest left* ovat jalkalautoja, joiden kulmaa voidaan säätää joko erikseen tai molempia puolia kerralla. *Lift* on istuinhissi, jonka avulla käyttäjä voi säätää istuinta ylemmäs. *Recline* eli istuinkulman säädön avulla saadaan säädettyä pelkän selkänojan kulmaa.

3.3 Akut

Sähköpyörätuolissa käytetyt akut ovat yhä nykyisinkin useimmiten lyijyakkuja. Syynä tähän on paitsi näiden hyvä saatavuus ja edullisuus, myös paino. Akut on

sijoitettu käyttäjän alle, jolloin painavilla akuilla laitteen painopiste saadaan alemmas. Näin laitteesta saadaan vakaampi.

Akkujen iso koko kuitenkin rajoittaa sähköpyörätuolin ominaisuuksia. Painavat akut hankaloittavat pyörätuolin liikuttamista. Lisäksi isot akut aiheuttavat haasteita tuolin mittojen suhteen. Isot lyijyakut ovat korkeita, jolloin tuolin istuinkorkeus voi jäädä käyttäjälle liian korkeaksi.

3.3.1 Lyijyakut

Sähköpyörätuolissa käytetyt akut ovat suljettua lyijyakkuja eli VRLA-akkuja. Näiden akkujen kaasujenpurkaantumista ohjaa ylipaineventtiili. Akut ovat yleisesti geelityyppisiä, jolloin akkujen elektrolyytti on geeli- muodossa. Akkujen tulee olla apuvälinekäytössä mahdollisimman huoltovapaita ja toimintavarmoja. VRLA-akkuja ei tarvitsekaan vesittää kuten avoimia lyijyakkuja.

Toinen sähköpyörätuoleissa käytettävä lyijyakkutyyppi on AGM-akku. AGM-akuissa elektrolyytti on kiinteässä muodossa imeytettynä lasikuitumattoon. Imeyttämällä elektrolyytti lasikuitumattoon saavutetaan akulle parempi värinänkestävyys. Yhteistä akuille on se, ettei elektrolyytti pääse purkautumaan akusta kuten avoimissa akussa häiriötilanteessakaan. VRLA-akkujen etu sähköpyörätuolikäytössä on myös niiden sijoittelu, sillä niiden ei tarvitse olla aina pystyasennossa. (Exide 2018)

3.3.2 Litiumioniakut

Litiumioniakkuja käytetään apuvälinekäytössä pääsääntöisesti kevyemmissä, normaaleihin pyörätuoleihin liitettävissä lisälaitteissa. Näitä lisälaitteita ovat erilaiset työntöavut, kelauksenkeventimet ja ajolaitteet. Lisävoimalaitteiden tarkoituksena on olla mahdollisimman kevyitä ja helposti kuljetettavia, joten on luonnollista, että kevyemmät litiumioniakut ovat syrjäyttäneet lyijyakut tässä käytössä.

Litiumioniakkujen käyttöä apuvälinekäytössä puoltaa niiden iso lataus-purkaus-syklien määrä. Lisäksi niiltä puuttuu muistiefekti ja ne kestävät pitkään varastointia. Isot litiumioniakut ovat kuitenkin huomattavasti arvokkaampi verrattuna vastaavan kokosiin lyijyakkuihin paitsi raaka-aineen, myös monimutkaisen suojajärjestyksensä takia. Alla olevassa taulukossa 1 vertaillaan yleisesti lyijyakun (VRLA) ja litiumioniakun ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Akkutyypin vertailu (Hietalahti 2013, muokattu)

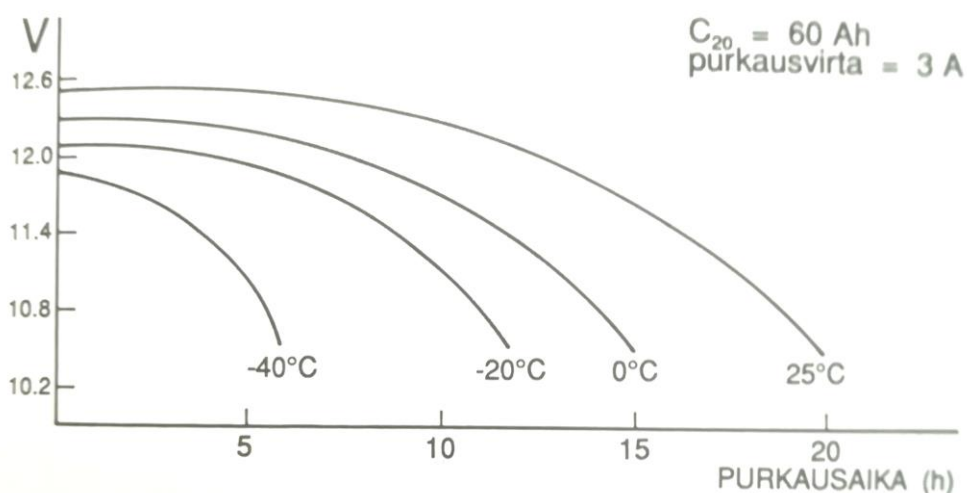
Tyyppi	Energiatiheys (Wh/kg)	Tehotiheys (W/kg)	Lataus- purkaus syklien lukumäärä	Käyttölämpötila (°C)
VRLA	25	80	300	-30...+70
Li-ion	80	260	2500	0....+35

Taulukon 1 tietojen mukaisesti saadaan litiumioniakuista kooltaan huomattavasti pienempiä kokonaisuuksia kuin vastaavan energiamäärän omaavista lyijyakuista. Litiumioniakkujen tekniikan kehittyessä ja hintojen alentuessa voidaan olettaa niiden yleistyvän sähköpyörätuolikäytössä. Ongelman näiden yleistymiselle aiheuttaa se, että isot litiumioniakut lasketaan vaarallisiksi aineiksi ja niiden kuljettamisesta on annettu omia säädöksiä. Esimerkiksi maantieliikenteessä 100 Wh on maksimikapasiteetti litiumioniakulle, josta eteenpäin kyseessä on vaarallisten aineiden kuljetus. (Posti 2019). Samoin lentoliikenteessä kansainvälinen lentoliikenneviranomaisen IATA valvoo litiumioniakkujen kuljetusta ja on asettanut omat ohjeensa. (IATA 2019)

3.3.3 Lämpötilan vaikutus akun suorituskykyyn

Lämpötila vaikuttaa akusta saatavaan kapasiteettiin. Akun kapasiteetti laskee lämpötilan laskiessa. Kapasiteetin lasku johtuu sisäisen vastuksen kasvusta ja aineensiirron hidastumisesta (Hämeenoja, 1993). Hämeenoja esittää kirjassaan, että akun kapasiteetti laskee kaavalla $1 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ ($100\%/25^{\circ}\text{C}$). Suluissa oleva merkintä tarkoittaa, että akku antaa täyden kapasiteettinsa lämpötilan ollessa 25°C .

Lämpötilan lasku yhdellä asteella tästä alentaa akun kapasiteetti yhdellä prosentilla. Pyörätuolin valmistaja ottaa saman asian huomioon käyttöohjeessaan ilmoittamalla, että 0 °C lämpötilassa akun kapasiteetti on noin 75 % nimellisestä kapasiteetista. Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty lämpötilan vaikutus akun purkausnopeuteen, kun 60 Ah:n akku puretaan tasaisella 3 ampeerin virralla.



KUVA 7. Lämpötilan vaikutus akun purkautumiseen (Hämeenöja 1993)

Yllä olevassa kuvassa 7 eri lämpötiloilla olevien käyrien alkujännitteen muutos johtuu akun sisäisen resistanssin kasvusta. Mitä matalammassa lämpötilassa akkua puretaan, sitä nopeammin se tyhjenee.

3.4 Lataaminen

Sähköpyörätuolit ladataan käsiohjaimessa olevan XLR-pistokkeen kautta. Tyypillinen laturin tuottama latausvirta on 5-10 ampeeria. XLR-pistoke on vakiintunut sähköpyörätoleissa helppokäyttöisyytensä ansiosta. Monelle sähköpyörätuolin käyttäjälle latauspistokkeen asettaminen voi olla haastavaa, joten liittimen tulee olla mahdollisimman helppo kiinnittää. Seuraavassa kuvassa 8 on esitetty sähköpyörätuolikäytössä tyypillinen EC-Buddy-latauslaite.

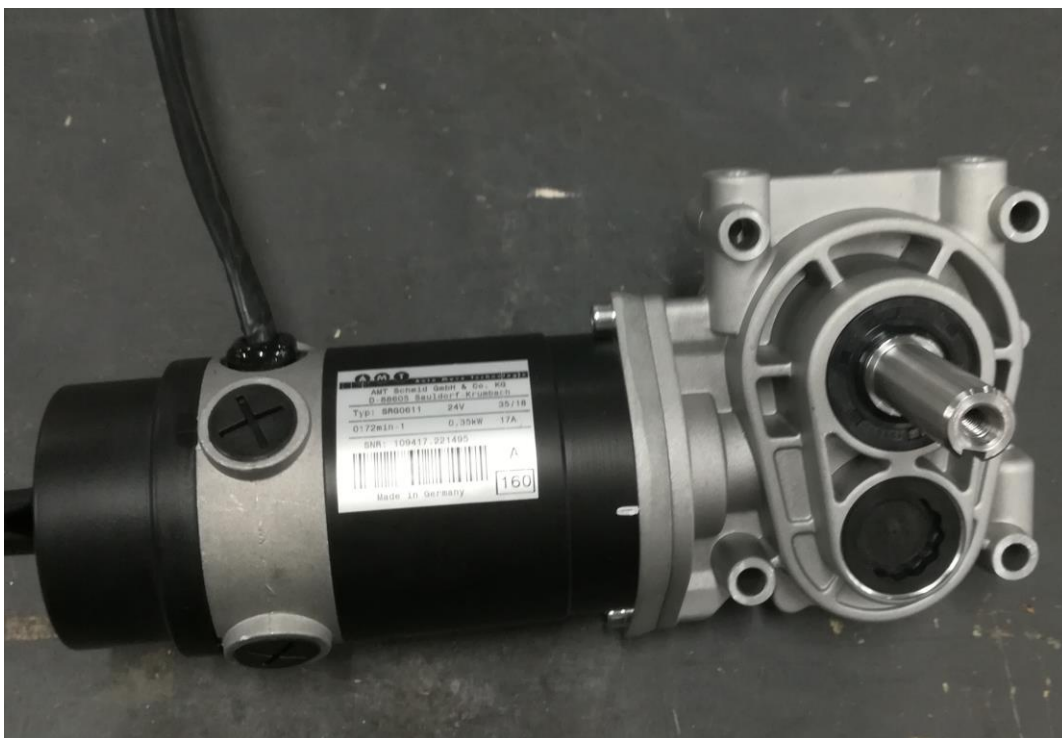


KUVA 8. Sähköpyörätuolin laturi

Kuvassa 8 oleva EC-Buddy-laturi lataa sähköpyörätuolin akkuja 8 ampeerin virralla. Latauslaite on varustettu XLR-liittimellä ja sen koteloitusluokka on IPx4, eli laite on suojattu roiskevedeltä (Liite 1). Sähköpyörätuolin akkujen latausaika on noin 8 h. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että akut ladataan yön yli päivän käytön jälkeen. Latauslaitteen tekniset tiedot on esitetty liitteessä 2.

3.5 Moottorit ja voimansiirto

Sähköpyörätuolit on yleensä varustettu kahdella erillisellä moottorilla. Laitetta käännetään ohjaamalla toista moottoria pyörimään eri nopeudella verrattuna toiseen moottoriin. Moottorit ovat 24 voltin jännitteellä toimivia DC-moottoreita. Kuvassa 9 on esitetty insinööriyön mittauksessa käytetyn Alex-sähköpyörätuolin moottori.



KUVA 9. Sähköpyörätuolin moottori

Kuvan mukaisesti sähköpyörätuolin voimansiirtolinja muodostaa yhden yhtenäisen paketin. Sähkömoottori ja vaihdelaatikko ovat kiinteä kokonaisuus ja laitteen vetopyörä kiinnittyy suoraan moottoripaketin akseliin.

Sähköpyörätuolista riippuen moottorit ovat yleensä 2- tai 4-hiillisiä. Testissä käytetyn laitteen moottori oli AMT:n valmistama 4-hiilinen (kuva 9), jonka nimellisteho on 350 W. Tasavirtamoottorien heikko puoli on niiden huollon tarve. Hiiliharjat kuluvat, joten niitä pitää vaihtaa säännöllisesti. Tasavirtamoottorit eivät myöskään sovellu suurille pyörimisnopeuksille. Moottorit antavat kuitenkin hyvät vääntöominaisuudet, joten niitä käytetään pienitehoisissa akkukäytöissä (Hietalahti, 2011).

3.6 ISO 7176-4 -standardi

Kansainvälinen standardi ISO 7176-4 *Energy consumption of electric wheelchairs and scooters for determination of theoretical distance range* määrittelee sähköisten liikkumisen apuvälineiden ajomatkan mittaustavan. Yleisen

standardin avulla eri laitevalmistajien ilmoittamat arvot ovat keskenään vertailukelpoisia. Standardista ei ole toimitettu suomenkielistä laitosta, jatkossa standardin nimeen viitattaessa käytetään nimitystä ISO 7176-4.

ISO 7176-4 määrittelee tarkasti oikeaoppisen ajomatkan määrittystavan. Mittaukset suoritetaan ajamalla suorakaiteen muotoista rataa. Radalla ajetaan 10 kierrosta kumpaankin suuntaan. Seuraavassa on esitetty oikeaoppisen mittauksen vaatimukset:

- Ympäristön lämpötila 18–25 °C
- Tasainen, kiinteä alusta jolla ei esteitä
- Testikuljettajan massa 100 kg
- Radan keskiviivan pituus 50–100 m
- Pisimmän sivun tulee olla riittävän pitkä, jotta pyörätuoli saavuttaa huippunopeutensa
- Radan leveys $2 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$

Tutkimuksessa vaatimukset täyttävä rata rakennettiin yrityksen toimipisteeseen mittausten suorittamista varten. Mittauksiin saatu rata on esitetty jäljempänä kuvassa 12.

3.7 Yleinen liikeyhtälö

Seuraavassa käydään läpi, mitkä kaikki voimat vaikuttavat sähköpyörätuoliin ajo-suorituksen aikana. Ajon aikana etenemistä vastustavat seuraavat voimat:

- vierintävastus, F_r
- ilmanvastus, F_ω
- gravitaatiovastus, F_g

Ajoneuvon ollessa tasapainotilassa, eli kun sen nopeus ei muutu, on siihen vaikuttamien voimien summa nolla.

$$F_{tr} - F_r - F_\omega - F_g = 0, \quad (1)$$

jossa F_{tr} on laitteen liikkeelle saava voima.

3.7.1 Vierintävastus

Vierintävastus syntyy ajoneuvon kumipyörän vierinnästä ajoradan pinnalla. Vastuksen suuruus määräytyy käytettyjen renkaiden ominaisuuksista, niiden ilmanpaineesta ja ajoradan ominaisuuksista (Hietalahti 2011 s. 5) Vierintävastuksen F_r suuruus voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$F_r = P \cdot f_r \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

jossa

P on ajoneuvon pyöränpaine alustaa vasten

f_r on ajoneuvon vierintävastuskerroin

α on alustan kulma vaaka-asentoon nähden

Koska pyöränpaineeseen vaikuttaa ajoneuvon massa ja maan putoamiskiihtyvyys, saadaan kaava johdettua muotoon:

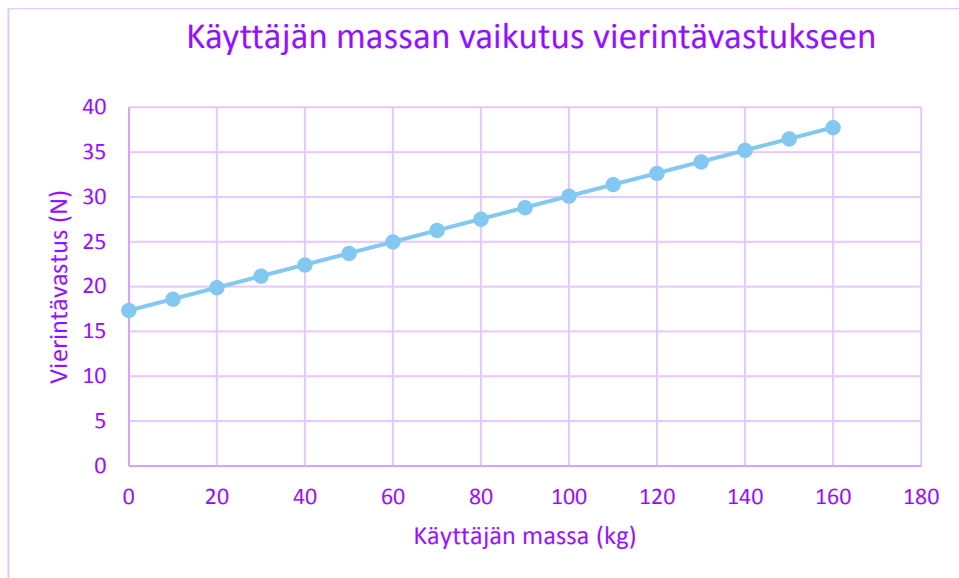
$$F_r = m_v \cdot g \cdot f_r \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

jossa

m_v on ajoneuvon massa

g on maan putoamiskiihtyvyys

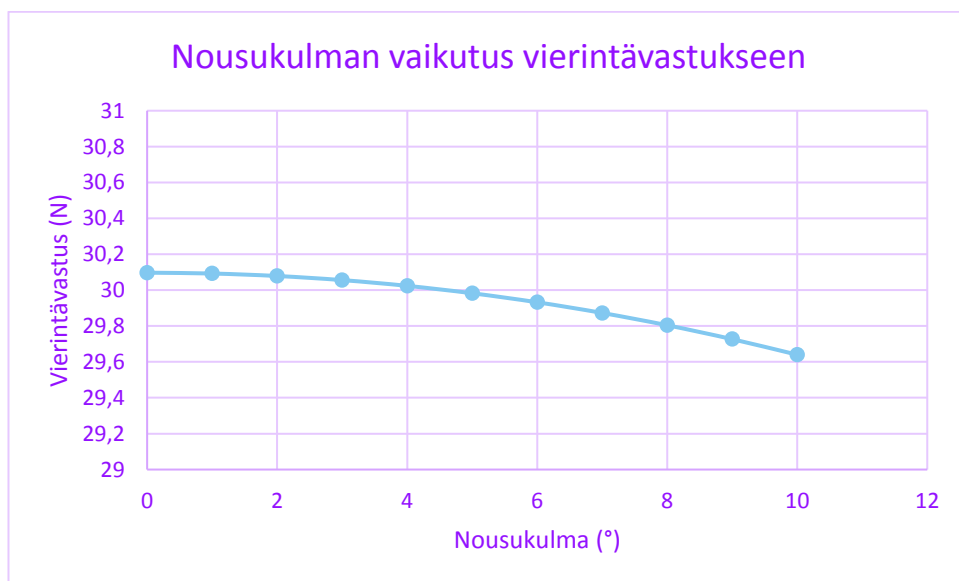
Seuraavassa kuviossa 1 on esitetty, kuinka sähköpyörätuolin kuljettajan massa vaikuttaa pyörän vierimisvastukseen. Kuvio 1 on saatu piirrettyä sijoittamalla kaavaan 4 eri käyttäjän painoja alustan ollessa suora. Isoimpana painona on 160 kg, koska se on valmistajan ohjeen mukaan suurin sallittu paino.



KUVIO 1. Käyttäjän massan vaikutus vierintävastukseen

Kuviosta 1 voidaan havaita, että käyttäjän massan noustessa myös vierintävastus kasvaa. Tämän kaavan perusteella käyttäjän painolla on jonkin verran vaikutusta sähköpyörätuolin ajosäteeseen.

Painon lisäksi vierintävastukseen vaikuttaa nousukulma. Kuviossa 2 on esitetty kuinka nousukulma vaikuttaa vastusvoimaan. Kuvion 2 piirtämiseksi kaavaan 4 on sijoitettu eri nousukulman arvoja käyttäjän painon pysyessä vakiona (100 kg). Valmistajan ohjeen mukaan laitteen suurin sallittu nousukulma on 10° , joten vierintävastuksen muutosta on tutkittu tähän kulmaan saakka.



KUVIO 2. Nousukulman vaikutus vierintävastukseen

Kuviosta 2 havaitaan, että nousukulman kasvaessa pyörän vierintävastus pienenee. Tämä johtuu siitä, että ylämäessä laitteen paino ei kohdistu enää suoraan pyörään ja laakeripintoihin, jolloin pyöränpaine alustaa vasten pienenee. Tämä muutos on kuitenkin hyvin pieni maltillisilla nousukulmilla, joten nousukulman muutosta vierintävastukseen voidaan tässä yhteydessä pitää merkityksettömänä.

3.7.2 Ilmanvastus

Ilmanvastuksen suuruus on riippuvainen ajoneuvon muotoilusta ja ajonopeudesta. Ajoneuvot pyritään yleensä mahdollisimman aerodynaamisiksi ilmanvastuksen pienentämiseksi. Sähköpyörätuolit ovat muotoilultaan hyvin epäaerodynaamisia kuljettajan istuvasta asennosta johtuen.

Ilmanvastuksen liikettä vastustava voima voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_f \cdot C_d \cdot (v + v_w)^2, \quad (5)$$

jossa

A_f on ilman kohtaaman ajoneuvon etuotsan pinta-ala

ρ on ilman tiheys

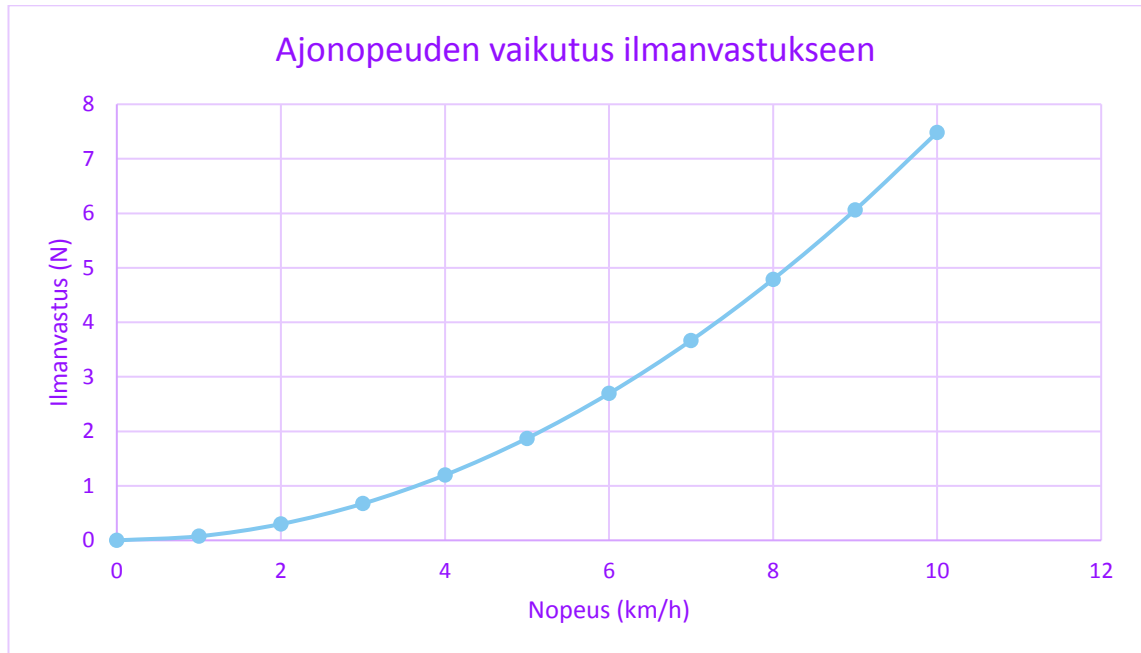
C_d on ilman vastuskerroin

v_w on tuulen nopeus

v on ajoneuvon nopeus

Laskennan avulla saadaan piirrettyä kuvio 3, joka havainnollistaa ilmanvastuksen riippuvuuden ajoneuvon ajonopeudesta. Kuvion 3 piirtämiseksi laitteen ilmanvastuskertoimeksi arvioitiin 1 ja otsapinta-alaksi 1,5 m². Nämä eivät ole laitteelle ek-

sakteja arvoja, mutta tuovat esille ilmiön vaikutuksen. Sähköpyörätuolin huippunopeus on 10 km/h, joten ilmanvastuksen nopeutta on varioitu tähän nopeuteen asti. Tuulen nopeus v_w pidettiin laskennassa nollana.



KUVIO 3. Ajonopeuden vaikutus ilmanvastukseen

Kuten kuviosta 3 ja kaavasta 5 voidaan havaita, ilmanvastus nousee neliöllisesti ajonopeuden kasvaessa. Erityisesti ilmanvastuksen haittoja tulee siis huomioida ajettaessa suurilla nopeuksilla. Koska sähköpyörätuolin ajonopeus on maksimissaan 10 km/h, on ilmavastuksen vaikutus tyynissä olosuhteissa melko pieni verrattuna muihin vastustaviin voimiin.

3.7.3 Gravitaatiovoima

Gravitaatiovoima vastustaa ajoneuvon liikettä kun ajoneuvo nousee ylämäkeen. Ylämäkiosuoksilla moottorin tehoa tarvitaan ajoneuvon potentiaalienergian kasvattamiseen eli massan nostamiseen pystysuunnassa. Gravitaatiovoima voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla:

$$F_g = m_v \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

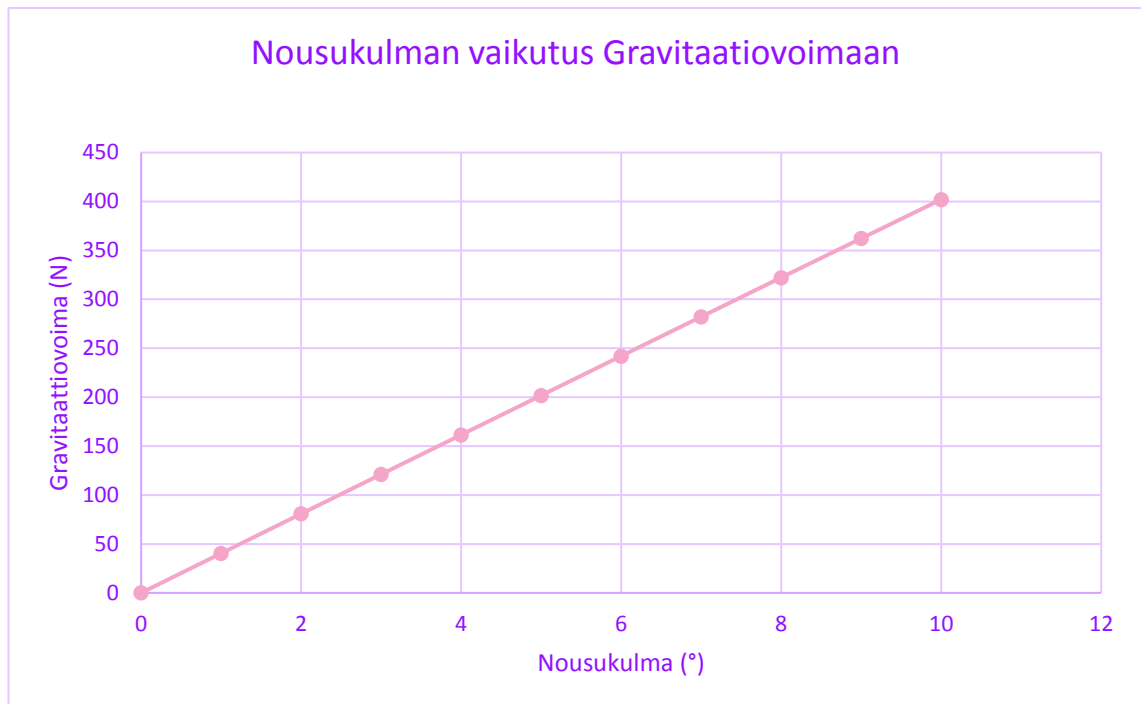
jossa

m_v on ajoneuvon massa

α on ajoneuvon nousukulma

g on maan putoamiskiikkyvyys

Yhtälön avulla saadaan piirrettyä seuraava kuvio 4. Kuvion piirtämiseksi laskennassa on pyörätuolin kuljettajan paino 100 kg.

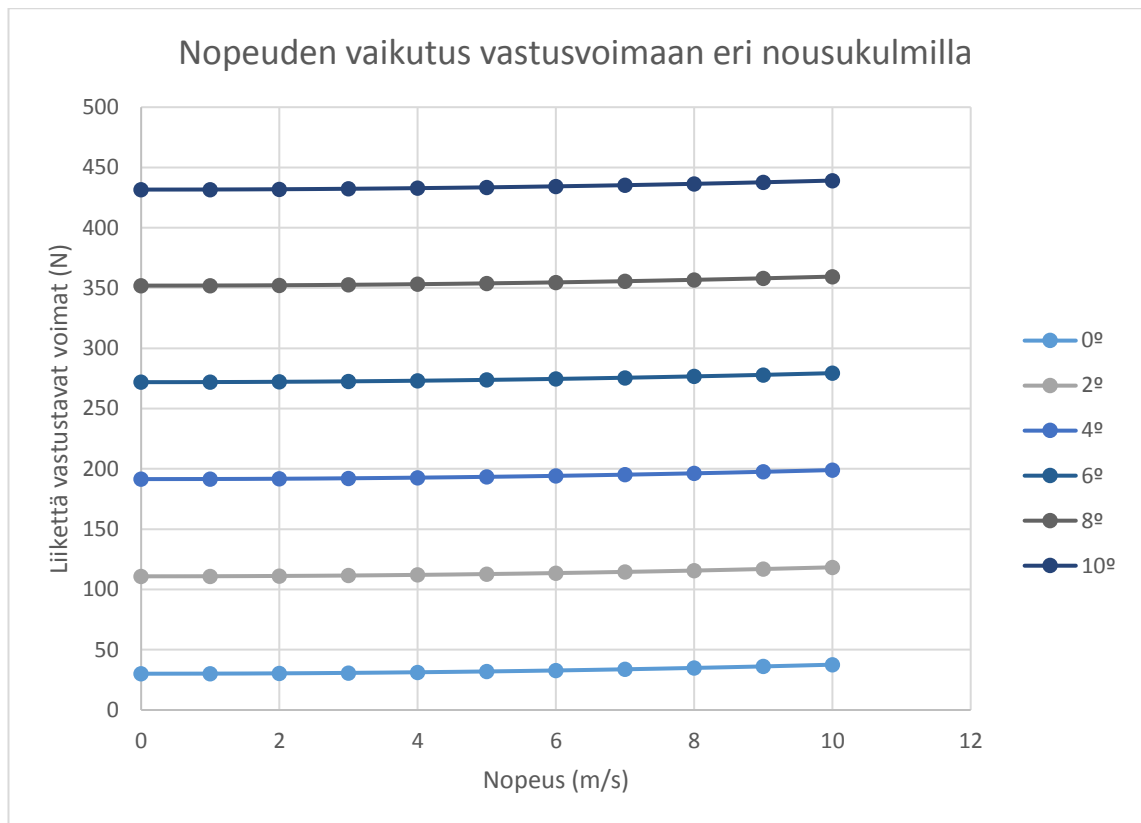


KUVIO 4. Nousukulman vaikutus gravitaatiovoimaan

Kuviosta 4 voidaan havaita, että ajoalustan nousukulmalla on merkittävä vaikutus liikkeen ylläpitämiseksi tarvittavaan voimaan. Toisaalta alamäkeen voiman suunta on eri, jolloin potentiaalienergiaa vapautuu.

3.7.4 Kokonaisvoimat

Kun on saatu ratkottua kunkin yksittäisen voiman vaikutus sähköpyörätuolin liikkeeseen, voidaan kokonaisvoima laskea yleisen liikeyhtälön avulla olettamalla laitteen olevan tasapainotilassa. Seuraavassa kuviossa 5 on esitetty kokonaisvoiman muutos sähköpyörätuolin eri ajonopeuksilla ja eri nousukulmilla. Voimat on laskettu kuljettajan painolla 100 kg.



KUVIO 5. Kokonaisvoimat

Kuviosta 5 voidaan havaita käyrän nousevan ajonopeuden kasvaessa, joka johtuu ilmanvastuksen kasvusta. Gravitaatiovoiman vaikutus tarvittavaan ajovoimaan on kuitenkin suurin.

4 TUTKIMUS

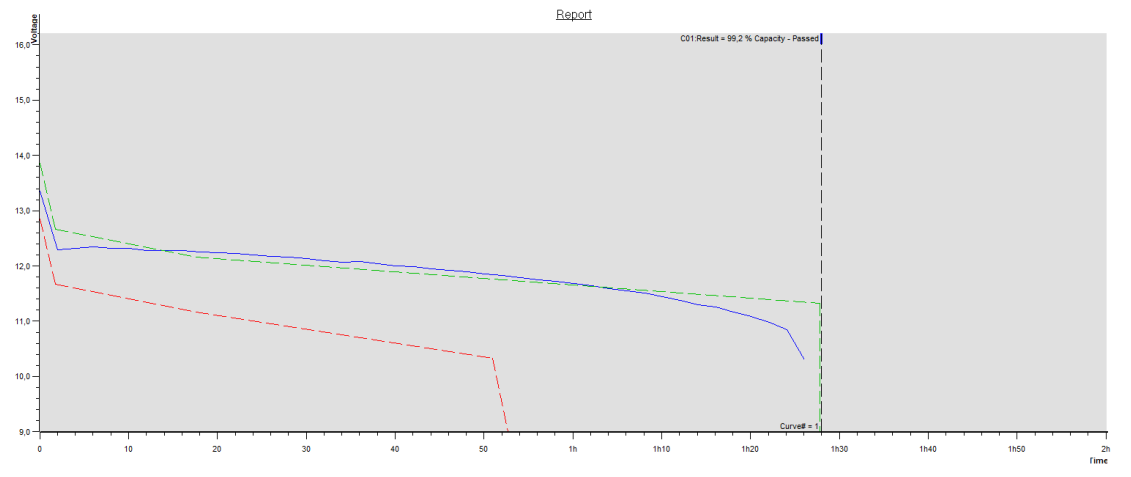
Työssä tutkittiin keinoa mitata sähköpyörätuolien akkujen kestävyyttä, ja verrattiin standardia ISO 7176-4 sekä käytäntöä toisiinsa. Mittausten tekemiseksi yrityksen toimipisteeseen rakennettiin standardin ISO 7176-4 mukainen rata. Tilan rajallisuuden vuoksi radan pituus jäi toivottua vaatimattommaksi, mutta se täyttää kuitenkin standardin vaatimuksen.

Mittausten alussa sähköpyörätuolin akkujen kunto tarkistettiin Alfabat-akutesterialla. Testauksessa käytetyt akut olivat Move MPG60-12 -akkuja, joiden nimelliskapasiteetti on 68 Ah. Akut ovat laitteen valmistajan käyttämiä ensiasennusakkuja. Tuolin kummallekin akulle tehtiin kolme mittausta, jotta voitiin varmistua tulosten oikeellisuudesta. Move-akkujen datalehti on esitetty liitteessä 3. Kuvassa 10 esiintyy akkujen kunnan varmistamiseen käytetty akkutesteri.



KUVA 10. Akkutesteri

Akkutesterin avulla akkujen todettiin olevan hyvässä kunnossa. Täten niitä voitiin käyttää laitteessa mittausten aikana. Alla olevassa kuvassa 11 on esitetty akkutesterin avulla saatu graafi. Loput mittaustulokset on esitetty jäljempänä liitteessä 4.



KUVA 11. Akun kapasiteetin mittaaminen

Kuvan 11 käyrän mukaan testattu akku on hyvässä kunnossa ja se antoi mittauksen perusteella 99,2 % kapasiteetin. Mitä lähempänä vihreää katkoviivaa sininen purkaukaskäyrä pysyttelee, sitä paremmassa kunnossa akku on. Purkauksen alussa näkyy hyvin sisäresistanssin vaikutus.

Kokeessa ajolaitteena käytettiin Sunrise Medicalin valmistamaa Alex-mallista sähköpyörätuolia (Kuva 12). Alex on takavetoinen sähköpyörätuoli, jonka testin aikaista varustusta voidaan pitää laitteelle tyypillisenä. Standardin mukaan laite tuli varustaa 100 kg:n kuormalla (ISO 7176-11). Koska ajosuoritteiden tekijän paino alitti määrätyn arvon, laitteen painoa lisättiin lisäpainoilla. Painot pyrittiin asentamaan mahdollisimman hyvin mukailen käyttäjän painojakaumaa.

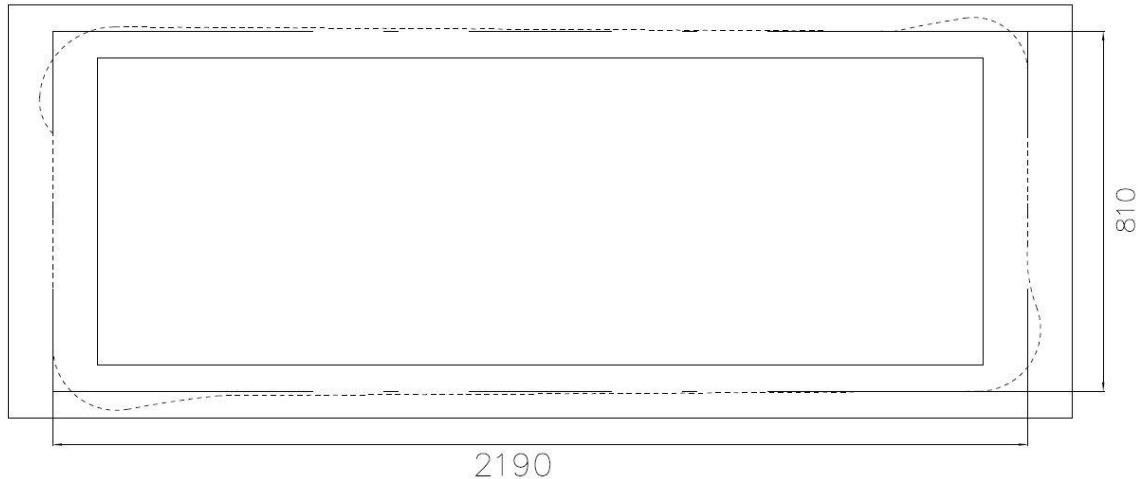


KUVA 12. Testeissä käytetty Alex-sähköpyörätuoli

Laitteen energiankulutusta mitattiin Fluke 435 II -sähkönlaatuanalysointilaitteella. Mittauksia varten olisi riittänyt vaatimattomampikin laite, mutta kyseisen mittalaitteen käyttöön päädyttiin, koska se oli helposti saatavilla. Tehoanalysointilaitteen avulla laitteen energian kulutus saatiin mitattua helposti ja siitä saatiin havainnollistavat kuvaajat. Saadut mittaustulokset tallennettiin myöhempää käyttöä varten, eikä niitä esitellä tarkemmin tämän työn puitteissa.

Rata rakennettiin yrityksen varasto- ja tuotantotilaan Pirkkalaan. Alustaltaan tila on betonia, joka soveltui hyvin ajokokeen alustaksi. Alusta oli pinnaltaan riittävän tasainen, jotta sitä voitiin käyttää mittauksissa. Koska tilassa kuljetaan trukilla, tulee lattian suoruuden täyttää betonilattian suoruuden laatuluokka A₀, jonka vaatimusten mukaan lattian kallistus saa olla enimmillään 2 mm 70 cm matkalla. (Suomen Betoniyhdistys 2013). Betonilattioiden vaatimukset on esitetty liitteessä 5.

Mittausten alussa tilan lämpötila oli 19 °C, tätä ei kuitenkaan seurattu mittausprosessin aikana. Oletuksen mukaan kiinteistön lämpötila pysyi mittauksen aikana annetuissa rajoissa. Tilojen rajallisuuden vuoksi radan pituudeksi saatiin vain 60 m, mikä oli pienoinen pettymys. Pituus on kuitenkin riittävä, jotta mittausta voidaan pitää soveltavana. Alla olevassa kuvassa 12 on esitetty hahmotelma radasta mittoineen, sekä kuljettajan oletettu ajolinja katkoviivalla.



KUVA 12. Testin ajorata

Mittausprosessi suoritettiin kahdesti, jotta mittauksessa mahdollisesti tapahtuvat häiriöt eivät häiritsisi tulosta. Ensimmäisessä mittauksessa akuilta purettiin enemmän energiaa kuin jälkimmäisessä. Tuloksen paraneminen jälkimmäisessä mittauksessa selittyi tasaisemmalla ajosuoritteella ajokokemuksen karttuessa. Tehoanalysointorilla tehtyjen mittauksen perusteella akuilta purettava kokonaisenergian kahden mittauksen keskiarvo oli 65 Wh. Näiden avulla saadaan lasketua pyörätuolin teoreettinen ajomatka seuraavasti:

Lasketaan aluksi kaavalla 7, paljonko energia laite kuluttaa kilometrillä

$$e_c = \frac{1000 \cdot E_c}{D_c}, \quad (7)$$

jossa E_c on akuilta purettu energia ja D_c ajon aikana ajettu matka.

Kun laitteen energiankulutus on tiedossa, voidaan seuraavaksi laskea laitteen teoreettinen ajosäde kaavalla 8.

$$R_c = \frac{E_{\text{BAT}}}{e_c}, \quad (8)$$

jossa E_{BAT} on akkujen nimellinen energiakapasiteetti.

Laitteessa käytettyjen akkujen valmistaja ei ole määritellyt akun nimellistä energiakapasiteettia. Energiakapasiteetti saadaan kuitenkin laskettua seuraavasti kaavalla 9:

$$E_{\text{BAT}} = V_{\text{NOM}} \cdot C_5, \quad (9)$$

jossa V_{nom} on akkujen nimellisjännite ja C_5 akkujen nimelliskapasiteetti viiden tunnin purkausajalla

Tällöin saadaan:

$$R_c = \frac{V_{\text{NOM}} \cdot C_5}{e_c} \quad (10)$$

Mittaustuloksien perusteella saadaan laitteen teoreettiseksi ajosäteeksi mittaus-tarkkuuden puitteissa 25 km. Laitteen valmistaja on kuitenkin ilmoittanut laitteen ajosäteeksi 40km. Kyseisestä sähköpyörätuolista on tarjolla useampaa eri mallia, ja valmistaja on mitannut 6 km/h kulkevan laitteen ajosäteen käytettäessä 74 Ah akkuja. Mikäli vastaava mittaus olisi suoritettu samoissa olosuhteissa käyttäen 74 Ah akkuja, olisi kaavan 10 avulla tulokseksi saatu 28 km.

5 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka standardin mukainen sähkökäyttöisten apuvälineiden ajosäde mitataan ja kuinka se poikkeaa todellisuudesta. Tutkimuksesta selviää, että suurimmat tulokseen vaikuttavat tekijät ovat maastonmuodot sekä ympäristön lämpötila. Ääritapauksissa laitteilla on erittäin lyhyt ajomatka verrattuna standardin mukaiseen mittaustilanteeseen.

Ajomatkan määrittämistä varten tehdyissä mittauksissa laitteen ajomatkaksi saatiin 25 km. Valmistajan käyttöohjeessa ilmoitettava arvo oli kuitenkin huomattavasti tätä suurempi, 40 km. Ero johtuu siitä, että valmistaja on ilmoittanut isommilla akuilla ja pienemmällä huippunopeudelle olevan laitteen ajomatka. Isommilla akuilla saadaan laitteella luonnollisesti parempi tulos.

Standardin määritelmän mukaan ajoradan pitkällä suoralla laitteen tulee saavuttaa huippunopeutensa. Koska radan pituus jäi sallitun mitan alapäähän, saatiin kiihdytysmatkasta lyhempi. On syytä olettaa, että sähköpyörätuolin valmistaja on tehnyt mittauksensa käyttämällä niin pitkää rataa kuin mahdollista saadakseen mahdollisimman hyvän tuloksen.

Myös laitteen loppunopeudella on suuri vaikutus sen liikuttamiseen tarvittavaan energiaan. Laitteen kiihdyttäminen 0-10 km/h vaatii paljon enemmän energiaa kuin sen kiihdyttäminen 0-6 km/h. Näiden eroavaisuuksien valossa mittauksessa saatua tulosta voidaan onnistuneena mittaustarkkuuden puitteissa.

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön tutkimus osoittaa, että sähköpyörätuoleille ilmoitettu teoreettinen ajomatka eroaa melkoisesti todellisuudesta. Teoreettista ajomatkaa voidaankin pitää tietynlaisena ihannearvona laitteelle. Tämä arvo soveltuu hyvin eri sähköpyörätuolimallien vertailuun, mutta muuta arvoa sillä ei paljoakaan ole.

Sähköpyörätuolien käyttäjien kanssa työskentelevien henkilöiden on syytä ohjeistaa, että käyttöohjeessa ilmoitettu arvo on tosiaankin vain maksimiarvo. Käyttäjien ja avustajien on syytä ymmärtää, että laitteen käyttötapa ja käyttöympäristö vaikuttaa merkittävästi saavutettavissa olevaan ajomatkaa.

Opinnäytetyötä voidaan pitää kokonaisuudessaan onnistuneena. Työn pääasiallinen tarkoitus oli, että tekijä perehtyy aihealueeseen ja siinä onnistuttiin. Työhön liittyvät mittaukset onnistuivat lähes toivotulla tavalla, radan pituus on ainoa asia, joka jätti toivomisen varaa. Tilojen rajallisuus johti siihen, että ajomatkan määrityksessä käytetty rata jäi standardin sallimien rajojen alapäähän. Olettaa voisi, että pidemmällä radalla mittaustuloksesta olisi saatu hieman pidempi, koska silloin nopeuden vaihteluita ja käännöksiä tulisi vähemmän suhteessa ajomatkaan.

Ajomatkaan liittyvät mittauksia ei voida pitää tieteellisesti täysin täsmällisinä. Laitteeseen liitettyjen lisäpainojen massaa ei tarkistusmitattu, vaan niiden painon luotettiin olevan ilmoitetun suuruiset. Mikäli vastaisuudessa tulee tarve vastaaville mittauksille, täytyy radalle varata isompi tila. Nyt tilan ahtauden vuoksi ajaminen oli paikoittain hankalaa viereen tulevan seinän johdosta.

Teoriaosuuden laskennassa jouduttiin osittain tyytymään epätieteelliseen arviointiin. Sähköpyörätuolin ilmanvastuksen laskennassa otsapinta-ala ja ilmanvastuskerroin on arvioitu käyttämällä hyväksi eri ajoneuvoille ilmoitettuja ohjeellisia arvoja. Olisi ollut mielenkiintoista päästä mittaamaan sähköpyörätuolin aerodynaamisia ominaisuuksia, mutta tuloksista heijastuu kuitenkin ilmiön vaikutus ja suuruusluokka. Laitteiden nopeusluokan vuoksi liiallinen paneutuminen tähän seikkaan olisi ollut liioiteltua.

LÄHTEET

Exide. Teknistä tietoa. Akkuohje. Ladattu 25.4.2018. <https://exide.fi/startbatteriets-konstruktion-och-funktion/>

Haltija Group Oy. N.d. Keskivetoiset sähköpyörätuolit. Tallennettu 16.4.2019. <https://www.haltija.fi/tuotteet/pyoratuolit/sahkopyoratuolit/keskivetoiset-sahkopyoratuolit/quickie-q700-m/>

Haltija Group Oy. Organisaation fuusioituminen. Yritysesittely. Ladattu 15.1.2019. Haltijan sisäinen tietokanta

Haltija Group Oy. N.d. Takavetoiset sähköpyörätuolit. Tallennettu 16.4.2019. <https://www.haltija.fi/tuotteet/pyoratuolit/sahkopyoratuolit/takavetoiset-sahkopyoratuolit/quickie-jive-r2/>

Hietalahti, L. 2011. Sähkökäyttö- ja hybriditeknikka. Ajoneuvo- ja työkonenäyttöön. 1.painos. Tampere. Tammertekniikka

Hämeenoja, E. 1993. Akkuopas. 1.painos. Espoo. Erkki Alhavuo Oy

IATA. N.d. 2019 Lithium Battery Guidance. Document. Ladattu 19.5.2019. https://www.dhl.fi/content/dam/downloads/g0/express/shipping/lithium_batteries/lithium_battery_guidance_document.pdf

Linden, D & Reddy, T. 2011. Linden's Handbook of Batteries. 4.painos. New York, McGraw-Hill

Posti. 2.1.2019. Litium-akkujen ja paristojen lähettäminen. Ladattu 19.5.2019. <https://support.posti.fi/liitteet-yrityksille/ohjeet/vak-litiumakut.pdf>

SFS-ISO 7176-4. 2008. Energy consumption of electric wheelchairs and scooters for determination of theoretical distance range. Helsinki. Suomen Standarditoimisto SFS. Luettu 2.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index.html.stx>

SFS-ISO 7176-11. 2012. Test Dummies. Helsinki. Suomen Standarditoimisto SFS. Luettu 2.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index.html.stx>

STEK. N.d. Sähkölaitteiden IP-luokitus. Luettu 16.4.2019. <https://stek.fi/perus-tietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>

Sunrise Medical. Alex sähköpyörätuoli. Huoltomanuaali. Luettu 13.3.2019. Haltijan sisäinen tietokanta.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2013. Betonilattia 2014. 1. painos. Helsinki. BY-koulutus Oy

Swede Electronics. 26.1.2016. EC-buddy datasheet. Tallennettu 16.4.2019. http://swedeelec.se/temp/doc/EC-Buddy_en.pdf

University of Toronto. 25.1.2017. The Maker: George Klein and the first electric wheelchair. Tallennettu 12.2.2019. <https://news.engineering.utoronto.ca/maker-george-klein-first-electric-wheelchair/>

Wetac. N.d. MPG60-12 datasheet. Tallennettu 7.1.2019. <https://www.wetac.nl/wp-content/uploads/MPG-60-12-2.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Sähkölaitteiden IP-luokitus (STEK 2019)

IP-luokitus

Sähkölaitteita käytetään hyvin erilaisissa olosuhteissa. Mitä vaativimpia olosuhteet ovat, sitä tärkeämpää on käyttää juuri niihin soveltuvia – esimerkiksi pölyn tai kosteudenkestäviä – sähkölaitteita.

Sähkölaitteiden vedenkestoisuutta arvioidaan *kansainvälisellä kotelointiluokituksella eli IP-koodilla* (International Protection). IP-luokitus ottaa huomioon vesisuojauksen sekä suojauksen vieraiden esineiden ja pölyn sisäänkärsylyä.

Laitteesta voi löytyä esimerkiksi koodi IP 21. Koodin ensimmäinen numero kertoo, miten laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn osalta. Koodin toinen numero kertoo, miten laite on suojattu vedeltä. Numeroiden jälkeen koodissa voi olla yksi tai kaksi lisäkirjainta, joilla ei tavallisen sähkönkäyttäjän kannalta ole yleensä merkitystä. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä suurempi numero, sitä paremmin laite on tältä osin suojattu.

Kun esitetään laitteille sijaintipaikkaan liittyviä vaatimuksia, voidaan sanoa esimerkiksi, että "koteloitiluokan on oltava vähintään IP X4". Tämä tarkoittaa, että vieraiden esineiden sisäänkärsylyyn suhteen laitteelle ei aseteta erityisiä vaatimuksia (tai ne vaatimukset vaihtelevat tapauksesta riippuen), mutta vesisuojauksen pitää olla numeroa 4 vastaava. Vastaavasti merkintä IP 4X määrittää vaatimuksen vieraiden esineiden kannalta, mutta jättää asian vesisuojauksen kannalta avoimeksi.

Ensimmäisellä numerolla ei useinkaan ole tavallisen sähkönkäyttäjän kannalta merkitystä, mutta esimerkiksi teollisuuden sähkölaitteiden osalta voi hyvä pölysuojaus olla hyvin oleellista.

Ensimmäinen numero

Laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänkärsylyä seuraavasti:

- 0 Suojaamaton
- 1 Kun esineen halkaisija on yli 50 mm
- 2 Kun esineen halkaisija on yli 12,5 mm
- 3 Kun esineen halkaisija on yli 2,5 mm
- 4 Kun esineen halkaisija on yli 1,0 mm
- 5 Pölysuojattu
- 6 Pölytiivis

Toinen numero

Laite on suojattu veden sisäänkärsylyä haitallisilta vaikutuksilta seuraavasti:

- 0 Suojaamaton
- 1 Pystysuoraan tippuvalta vedeltä
- 2 Tippuvalta vedeltä (+/- 15 astetta)
- 3 Satavalta vedeltä (+/- 60 astetta)
- 4 Roiskuvalta vedeltä
- 5 Vesisuihkulta (joka suunnasta)
- 6 Voimakkaalta vesisuihkulta
- 7 Lyhytaikaisesti upotettuna
- 8 Jatkuvasti upotettuna

Esimerkkejä

IP 21 - Suojattu esineeltä, jonka halkaisija on yli 12,5 mm ja pystysuoraan tippuvalta vedeltä

IP 44 - Suojattu esineeltä, jonka halkaisija on yli 1,0 mm ja roiskuvalta vedeltä.

Liite 2. Buddy-latauslaitteen esite (Swede Electronics)



EC FOR YOU!

EC-buddy helps the user become more independent and mobile, which increases the quality of life.

With a soft expression and a designed personality, the EC-buddy is like no other battery charger on the market.

The ergonomically designed handle and the direction of the cables increase the user friendliness.

The direction of the battery charger, gently angled rearwards and up, offers a good visibility of the display. The choice of familiar symbols together with colours makes it easy to see the status of the charger.

BATTERY CHARGER TYPE NO: ECB-401/ECB-801	
Rated current	4A/8A
Battery voltage	24V, 12 cells 25 to 80Ah
Mains voltage	230V 50Hz
Max. power consumption	260W 390 VA
Mains current	1,7A
Weight	1,3kg
Measurements(HxWxD)	205x179x90mm incl. handle
Casing class	IPX4
Insulation class	II(double insulated)






Phone: +46 (0)281 - 304 00
 Fax: +46 (0)281 - 306 66
 Mail: info@swedeelec.se

Embraces a mobile and independent daily life.

ECbuddy
 The battery charger

Liite 3. Akkujen datalehti (Wetac)

MOVE

MPG 60-12

12V-68Ah - Cyclic GEL Battery
VRLA regulated

APPLICATIONS

Powerchairs / home mobility equipment
Scooters, 3- and 4 wheels
Cleaning Machines
Personal Carriers
Utility Vehicles

SPECIFICATIONS

Nominal Voltage		12V
Nominal capacity @20 hour rate		68Ah
Capacity at 25°C	10 hour rate	60Ah
	5 hour rate	56Ah
	1 hour rate	37Ah
Shelf time @20°C up to 70%	in months	12
Internal resistance (at 1 KHz)		approx. 7,2 mΩ
Operating temperature for (dis)charge		-15°C to + 40°C

DIMENSIONS

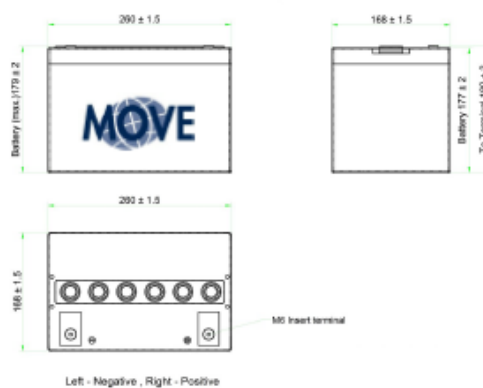
Dimensions LxWxH (T) in mm	260x168x179 (180)
Weight	21,5kg (±2%)
Electrolyte	Sulfuric Acid Thixotropic GEL
Case and cover	ABS
Terminal	Female M6
Torque setting (recommended)	M6: 5 Nm
Maximum allowable torque value	M6: 7 Nm

CHARGING

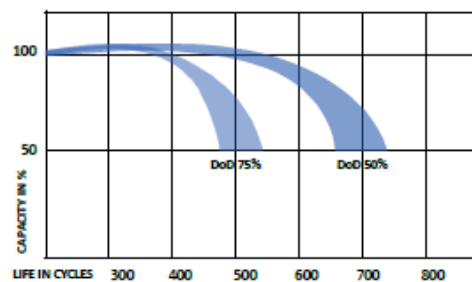
Charging Voltage cycle use 14,4 to 15 Volt
Float charge Voltage 13,5 to 13,8 Volt
Charging current, minimum 6,8A - maximum 13,6A

CYCLE LIFE

To maximize the cycle life of the battery, we recommend to charge the battery fully after use. The total life of the battery, is very dependant on the correct charge and depth of discharge per cycle.



BATTERY LIFE UNDER CYCLIC USE



* Cycle life is measured with a discharge current 0,2C, charged 16h and rest capacity of 2/3 Cn

Rev. 1.2/16

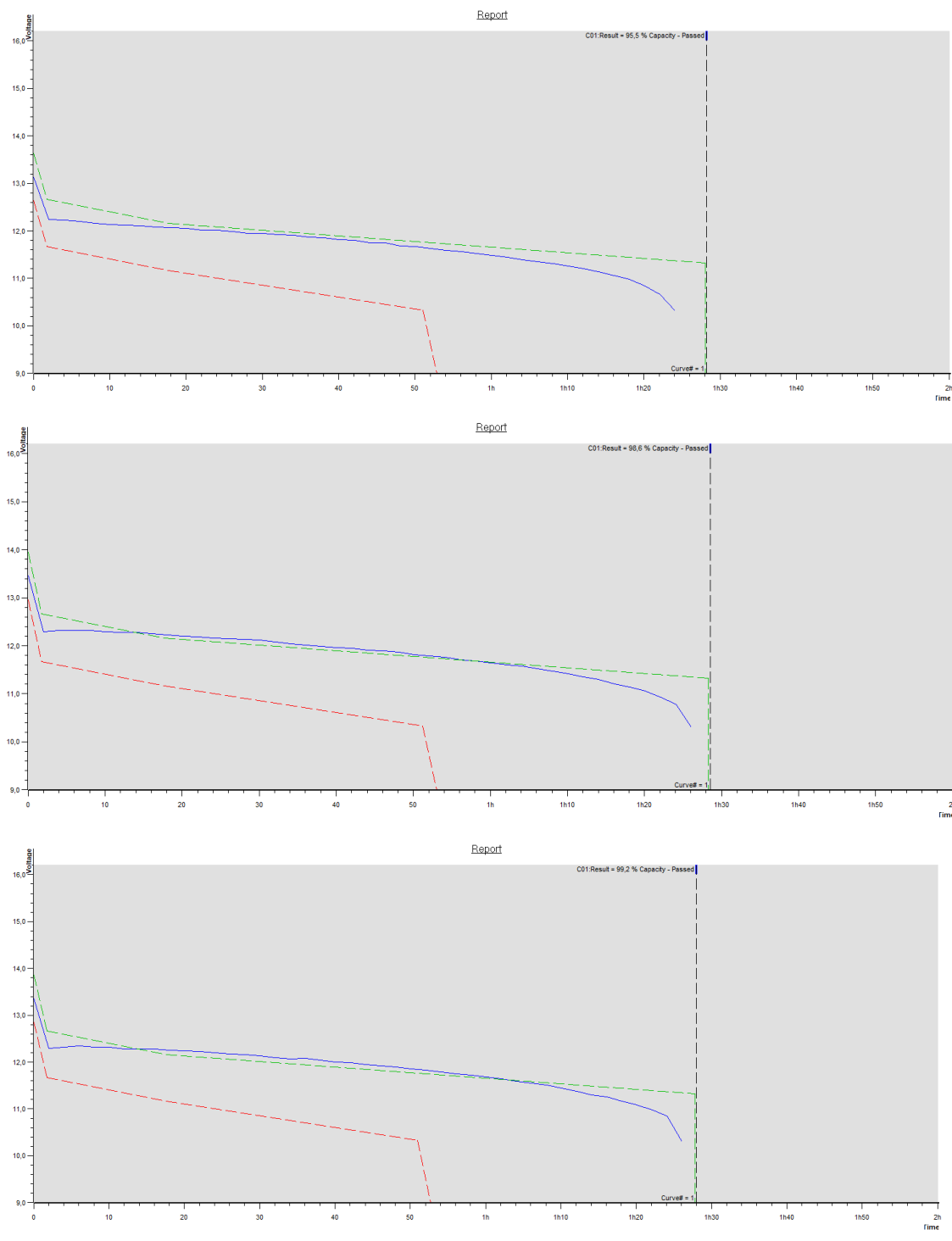
ISO14001, ISO9001, OHSAS 18001

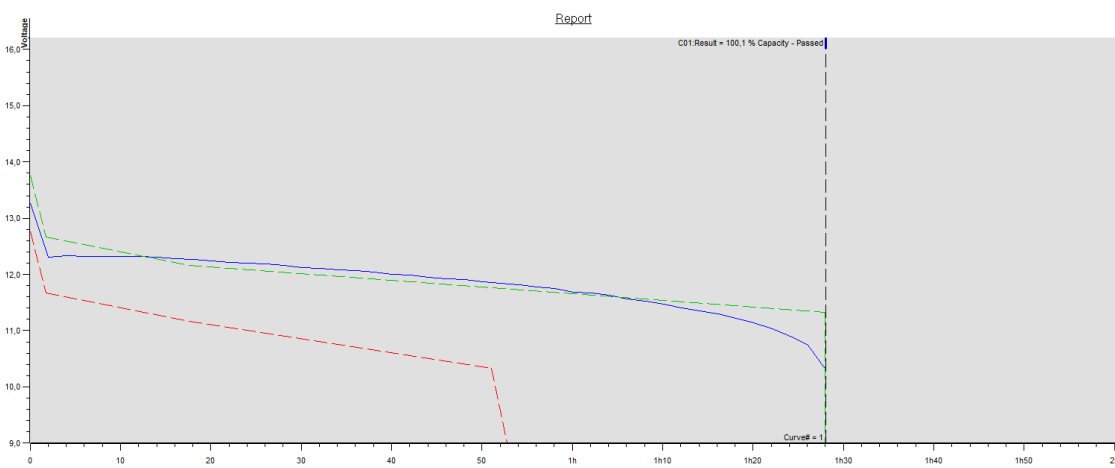
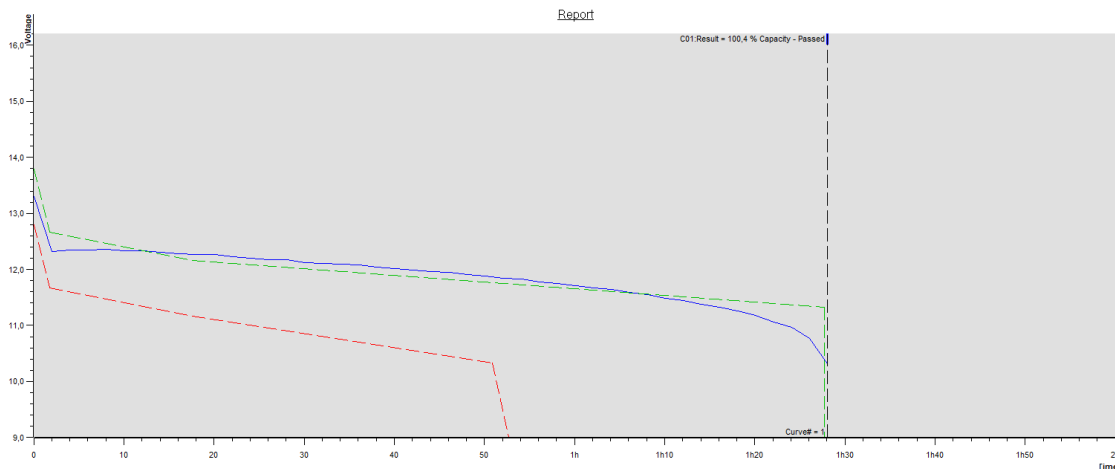
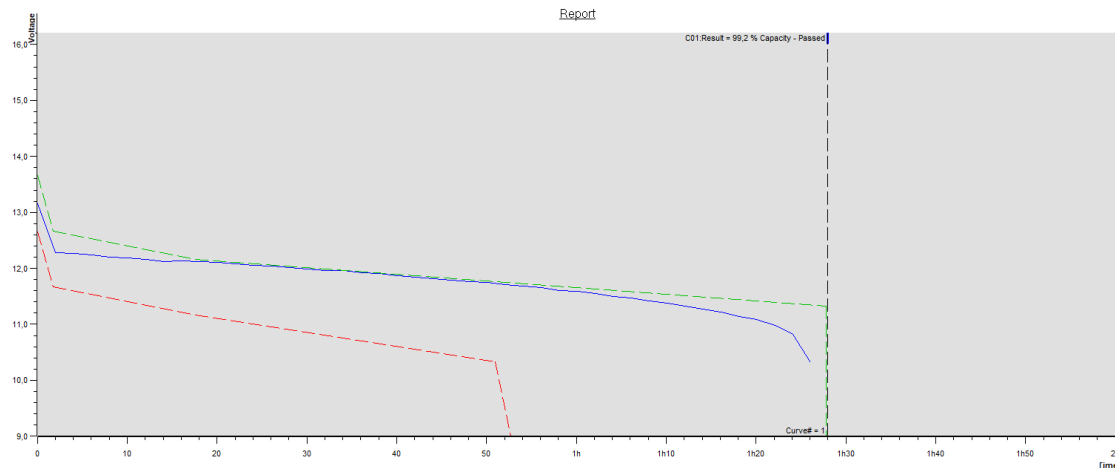


Contents in this data sheet are subject to change without prior notice to users. For clarifications and information, please contact us.

Liite 4. Akun kapasiteetin mittaukset

1 (2)





Liite 4. Betonilattioiden vaatimukset (Suomen Betoniyhdistys 2013)

Kohde	Laatuluokka		
	Suoruus	Kulutuskestävyys	Halkeilu
Asunnot ja toimistot	□		
Päällystettävät lattiat, sisätilat	A	3	III
Parvekkeet ym kylmät tilat ¹⁾	C	4	²⁾
Käytävä	C	4	II
Sauna ja pesuhuonetilojen päällystettävät kaatolattiat	A	4	II
Teollisuuslattiat			
-tasaisuus tärkeä laatutekijä, kuten korkeat varastot (esim. trukkiliikenne)	A ₀ (A)	2	II (I)
-kulutuskestävyys tärkeä laatutekijä (esim. suuret liikennekuormat, vilkas liikenne, pienet ja kovat trukin pyörät)	B	1 (2)	II (I)
-teollisuuslattiat yleensä (esim. pienteollisuustalot, kevyt teollisuus)	C	2	II
Pysäköintilaitokset			
-kulutuskestävyys ja pinnan karheus tärkeitä laatutekijöitä. Kaltevuudet suunnitellaan niin, että lattialle ei muodostu lammikoita.	B	2	II ²⁾
Toisarvoiset päällystämättömät tilat			
-esim. kellaritilat asuinrakennuksissa	C	3	III

¹⁾ Pakkasekestävyys varmistettava ulkorakenteissa.

²⁾ Kantavissa rakenteissa noudatetaan voimassa olevien suunnitteluohjeiden vaatimuksia.

Suoruspikkeama	Mittausluokka L [mm]	Suurin sallittu poikkeama [mm]			
		A ₀	A	B	C
Hammas		0	0	1	1
Poikkeama vaakasuorasta tai nimelliskaltevuudesta (katso kuva 1.1)	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28