



**LAUREA**  
AMMATTIKORKEAKOULU  
*Yhdessä enemmän*

# Luotettavan Raspberry Pi -kokoonpanon käyttöönotto ja testaaminen

Ruuskanen, Joni

2014 Kerava

Laurea-ammattikorkeakoulu  
Kerava

## Luotettavan Raspberry Pi -kokoonpanon käyttöönotto ja testaaminen

Ruuskanen, Joni  
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Lokakuu, 2014

Joni Ruuskanen

### Luotettavan Raspberry Pi -kokoonpanon käyttöönotto ja testaaminen

Vuosi 2014 Sivumäärä 50

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutustua Raspberry Pi -tietokoneeseen sekä sen käyttöönottoon ja testaamiseen.

Työssä käytiin läpi komponenttien valinta Raspberry Pi:lle sekä komponenttien laitteistotestaus. Tarkoituksena oli selvittää komponenttien vaikutus tietokoneen vakauteen ja kokonais-suorituskykyyn. Mittauksilla pystyttiin tutkimaan komponenttien toimivuutta sekä suorituskykyä. Virtalähteen luotettavuutta tutkittiin digitaalisen oskilloskoopin avulla. Muistikorttien suorituskykyä vertailtiin erilaisilla mittauksilla. Tavoitteena oli selvittää mahdolliset ongelmakohdat, joita voidaan kohdata Raspberry Pi:n käyttöönotossa.

Opinnäytetyössä tutustuttiin erilaisiin Raspberry Pi:n käyttömahdollisuuksiin. Laitteiston lisäksi työssä käytiin läpi saatavilla olevien käyttöjärjestelmien erot ja niiden sopivuus eri käyttötilanteisiin. Käyttömahdollisuuksien osalta tutustuttiin mediasoitinkäyttöjärjestelmiin, GPIO-liitäntään, HTTP- ja verkkolevyjako-palveluihin. Tutkielmassa perehdyttiin Raspbian-käyttöjärjestelmän asentamiseen. Opinnäytetyön esimerkeissä käytettiin useasti Raspbian-käyttöjärjestelmää.

Työssä käytiin etähallintajärjestelmän suunnittelun, joka mahdollistaa Raspberry Pi -tietokoneen hallinnan turvallisesti Internetin yli. Etähallinta toteutettiin VPN-tunnelia ja SSH-palvelua hyödyntäen. Lisäksi opinnäytetyössä käsiteltiin keinoja tietoturvan parantamiseen, kun laite kytketään julkisesti Internet-verkkoon. Tarkoituksena oli parantaa SSH-palvelun tietoturvaa ja rajoittaa tarpeeton verkkoliikenne palomuurin avulla.

Työn lopputuloksena saatiin aikaan edullinen ja varmatoiminen Raspberry Pi -kokoonpano, jota voidaan turvallisesti etähallita Internetin yli.

Joni Ruuskanen

### Deploying and testing a reliable Raspberry Pi system

Year	2014	Pages	50
------	------	-------	----

---

The objective of this Bachelor's thesis was to learn how to deploy and test Raspberry Pi computer.

This thesis introduced choosing and testing hardware components for Raspberry Pi. The purpose was to research the component's impact on the computer's stability and on overall performance. Measurements tested component's stability and performance. The reliability of the power supply was tested by using digital oscilloscope. The performance of different memory cards was tested by various benchmarks. The goal was to determine possible problems that the user might encounter while deploying Raspberry Pi.

This thesis introduced different ways in which Raspberry Pi can be used. In addition to hardware this thesis compared different operating systems available for Raspberry Pi and their suitability for different uses. The thesis covered the usage of media operating systems, GPIO connection, HTTP service and network drive share service. The installing process of Raspbian operating system is covered in this work. The examples in this work mostly referred to the Raspbian operating system.

This thesis introduced how to plan a remote access system that allows securely controlling Raspberry Pi over the Internet. Remote access was deployed using VPN tunnel and SSH service. This thesis suggested how to improve system security if the device is connected publicly to the Internet. Improving network security by various techniques is also covered in this work. The purpose was to improve security of the SSH service and filtering unnecessary network traffic using a firewall.

As a result of this thesis, cheap and reliable Raspberry Pi system was achieved which is securely remote accessible over the Internet.

Keywords: Raspberry Pi, Linux, Raspbian, hardware testing, remote access

## Sisällys

1	Johdanto .....	7
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	7
1.2	Tutkimuksen rajaaminen.....	8
1.3	Tutkimustapa .....	8
1.4	Keskeiset käsitteet.....	8
1.5	Reliabiliteetti ja validiteetti .....	9
2	Raspberry Pi.....	9
3	Linux-käyttöjärjestelmän valinta .....	12
3.1	Käyttöjärjestelmien eroavaisuudet .....	13
3.2	Raspbian .....	14
3.3	Raspbian-käyttöjärjestelmän asentaminen.....	14
4	Raspberry Pi:n käyttömahdollisuudet .....	16
4.1	Olohuoneen mediasoitin .....	16
4.2	Elektroniikkakomponenttien kytkeminen GPIO-liitännän avulla.....	18
4.3	Verkkolevypalvelimen käyttöönotto .....	20
4.4	Nginx HTTP-palvelimen käyttöönotto .....	20
5	Komponenttien valinta.....	21
5.1	Virtalähdevaatimukset .....	21
5.2	Virtalähteen testaaminen oskilloskoopilla .....	23
5.3	Muistikortti .....	26
5.4	Muistikorttien suorituskyky mittaukset ja käytännön suorituskyky .....	27
5.4.1	Luku- ja kirjoitusnopeuden testaaminen.....	27
5.4.2	Suorituskyvyn mittaamista tietokantasovelluksella .....	29
5.4.3	Käynnistymisajat eri muistikorttien välillä .....	30
6	Mahdolliset ongelmat Raspberry Pi:ssa .....	31
6.1	Muistikortin rajoitettu kirjoitusmäärä.....	32
6.2	Heittotiedoston käytön vähentäminen .....	32
6.3	Tiedostojärjestelmän korruptoituminen .....	33
6.4	Muistikortin korruptoitumisen toteaminen .....	34
6.5	Muistikorttipaikan löystyminen .....	35
6.6	USB-laitteiden kytkemisongelma .....	35
7	Etähallinta SSH- ja VPN-palvelua käyttäen.....	36
7.1	SSH-palvelun käyttöönotto .....	36
7.2	Palomuuriongelmat ja niiden kiertäminen .....	37
8	Tietoturvan parantaminen .....	39
8.1	Verkkoa käyttävien prosessien listaus .....	39
8.2	SSH-palvelun tietoturvan parantaminen .....	40

8.2.1	Vakioportin vaihtaminen ja Fail2Ban-ohjelman käyttöönotto.....	40
8.2.2	Root-tunnuksella kirjautumisen estäminen.....	41
8.2.3	Kirjautuminen ilman salasanaa käyttäen SSH-salausavainta .....	41
8.2.4	Palomuuuri.....	42
8.2.5	Päivitykset.....	43
9	Yhteenveto ja loppupäätelmät .....	44
	Lähteet .....	46
	Kuvat .....	48
	Taulukot .....	49
	Kuviot .....	50

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua yhden piirilevyn Raspberry Pi -tietokoneeseen ja sen käyttöönottoon. Työssä tutustutaan Raspberry Pi:n ominaisuuksiin sekä osoitetaan sen eroavaisuuksista perinteisiin tietokoneisiin verrattuna.

Opinnäytetyö on jaettu pääpiirteittäin kahdeksaan osaan. Luvussa kaksi tutustutaan laitteistoon ja sen eroavaisuuksiin perinteisiin tietokoneisiin verrattuna. Kolmannessa luvussa käydään läpi lyhyesti saatavilla olevia käyttöjärjestelmiä. Raspbian-käyttöjärjestelmän asentaminen käydään läpi samassa luvussa. Neljännessä luvussa tutustutaan eri käyttötilanteisiin, joihin Raspberry Pi:ta voidaan käyttää. Luvussa viisi käydään läpi oheiskomponenttien valintaa sekä komponenttien vaatimuksia. Luvussa viisi suoritetaan mittauksia, joilla voidaan mitata kokoonpanon vakautta ja suorituskykyä. Kuudennessa luvussa perehdytään mahdollisiin ongelmiin, joita voidaan kohdata Raspberry Pi:n käyttöönotossa. Luvussa seitsemän suunnitellaan toimiva ja tietoturvallinen etähallintajärjestelmä, jolla voidaan hallita Raspberry Pi -tietokonetta Internetin yli. Luvussa yhdeksän käydään läpi tutkimuksen tuloksia ja loppupäätelmiä.

### 1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on saavuttaa luotettava ja tietoturvallinen Raspberry Pi -kokoonpano, jota voidaan etähallita Internetin yli. Työssä tutkitaan eri komponenttien vaikutusta toimivuuteen sekä kokonaissuorituskykyyn.

Virtalähteen luotettavuuden testaamiseen käytetään apuna digitaalista oskilloskooppia, jolla pystytään seuraamaan jännitetason muutoksia eri kuormitusasteilla. Mittauksella on tarkoitus selvittää mitä ongelmia voi ilmetä käytettäessä huonolaatuista tai alimitoitettua virtalähdettä.

Muistikortin nopeustestien tavoitteena on selvittää nopeuserojen vaikutus laitteen kokonaissuorituskykyyn. Tutkimuksessa suoritetaan luku- ja kirjoitusnopeustestejä sekä käytännön suorituskykymittauksia eri käyttötilanteissa.

Tutkimuksessa on tarkoitus saada vastaus seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä Raspberry Pi:lla voi tehdä?
- Saadaanko Raspberry Pi:lla aikaan luotettava käyttöympäristö?
- Miten komponenttien luotettavuutta sekä suorituskykyä voidaan mitata?
- Miten tietoturallinen etähallinta voidaan toteuttaa?

## 1.2 Tutkimuksen rajaaminen

Tutkimuksessa käydään lyhyesti läpi Raspberry Pi:n virallisilla nettisivuilla listattuja käyttöjärjestelmiä. Tarkemmin perehdytään Raspbian käyttöjärjestelmään ja sen asentamiseen. Ohjeet muistikortin kirjoittamiseen pätee myös muille käyttöjärjestelmille. Useissa esimerkeissä käytän Raspbian-käyttöjärjestelmää. Raspberry Pi:n kehittäjä suosittelee Raspbian-käyttöjärjestelmää käytettäväksi normaaleissa käyttötilanteissa (Raspberry Pi. d).

Laitteistotutkimuksessa on rajattu tutkimusta koskemaan vain laitteiston toiminnallisuuden kannalta kriittisiä komponentteja. Tutkimuksessa keskitytään syvällisemmin virtalähteen ja muistikortin merkitykseen kokoonpanon luotettavuuteen sekä suorituskykyyn.

Etähallinnan osalta käydään läpi SSH-palvelun käyttöönotto. VPN-palvelimen käyttöönottoa ei käydä opinnäytetyössä läpi, koska käyttöönotto on monimutkainen toimenpide. VPN-palvelimen hyötyihin ja toimintaan tutustun teoriatasolla.

## 1.3 Tutkimustapa

Tutkimuksessani käytän laadullista tutkimustapaa. Opinnäytetyössä tutkitaan useita osaluokkia, joista saadaan tutkimuksen edetessä laajempi kokonaiskuva. Tutkimustani kokonaisuutta ei voida mitata määrällisesti. Joitain tutkimusosioita ilmaisen määrällisesti, varsinkin nopeustestit. Lopputulos koostuu useista kokonaisuuksista joita ei voida määrällisesti ilmaista. Varsinkaan ohjelmistopuolen tarvittavia ylläpitoratkaisuja ei voida määrällisesti tulkita. Lopputulokseksi halutaan kokoonpanon, joka on toiminnaltaan varma. Tutkimus on luonteeltaan toimintamuotoinen. Toimintatutkimuksessa pyritään havainnoimaan mahdolliset ongelmat tutkimuksen edetessä (Kuula 2006). Ongelmien ilmestyessä tutkitaan ongelmaa ja yritetään löytää toimiva ratkaisu ongelman korjaamiseksi.

Määrällistä tutkimustapaa hyödynnän suorituskykymittausten muodossa. Mittauksissa tarkastellaan suorituskykyä numeeristen arvojen perusteella. Mittauksista saatujen arvojen perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä komponenttien suorituskykyeroista.

## 1.4 Keskeiset käsitteet

ARM = Advanced RISC Machines. ARM on suoritinarkkitehtuuri, jota käytetään Raspberry Pi tietokoneessa.

GPIO = General purpose input/output. Liitinrivistö, joka mahdollistaa elektroniikkakomponenttien kytkemisen (Raspberry Pi. a).



Kernel = Järjestelmän ydin joka toimii laitteiston ja ohjelmien välissä rajapintana.

Raspbian = Linux-käyttöjärjestelmä, jota Raspberry Pi:n kehittäjä suosittelee käytettäväksi normaalissa käyttöympäristössä (Raspberry Pi. d).

SSH = Secure shell. Salattu protokolla jonka avulla voidaan siirtää tiedostoja ja luoda etähallintayhteys (Lonvick, Ylönen 2006).

VNC = Virtual network computing. VNC on protokolla graafisen etähallintayhteyden muodostamiseen.

VPN = Virtual private network mahdollistaa näennäisverkkojen luomisen tietoverkon yli (Geier 2013).

XBMC = Käyttöympäristö mediatiedostojen toistamiseen (XBMC).

## 1.5 Reliabiliteetti ja validiteetti

Reliabiliteetti tarkoittaa mittaustulosten toistettavuutta. Mittauksista pitäisi saada yhtenäinen lopputulos, kun mittaukset tehdään uudestaan (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2001, 213). Reliabiliteetti ei kuitenkaan takaa tulosten validiteettia. Validiteetilla tarkoitetaan oikeiden asioiden tutkimista (Kananen 2012, 173). Väärien mittarien valinta aiheuttaa ei-haluttuja tutkimustuloksia. Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa pitää pohtia millä mittareilla tutkimusongelmaa tulisi tarkastella. (Hirsjärvi, ym. 2001, 213.)

Laitteiden testaamiseen valitaan mittauskeinot, jotka ovat toistettavissa sekä valideja. Suunnitteluvaiheessa pohditaan mitä asioita tulee mitata ja analysoida. Virtalähteen tutkimisessa käytetään apuna digitaalista oskilloskooppia, jonka avulla voidaan tarkastella virtalähteen riittävyttä. Mittaukset ovat toistettavissa millä tahansa oskilloskoopilla tai yleismittarilla. Muistikortin nopeusmittauksiin käytetään muun muassa ohjelmaa nimeltä dd, joka yleensä löytyy Linux-käyttöjärjestelmistä.

## 2 Raspberry Pi

Laitteen valmistaja Raspberry Pi Foundation kehitti luottokortinkokoisen tietokoneen, joka on vähävirtainen ja edullinen. Tietokone on rakennettu yhdelle piirilevyille, joka sisältää useita eri mikropiirejä. Raspberry Pi:n tavoitteena oli edistää lasten ja aikuisten tietotekniikan osaamista. Laite julkaistiin 29.2.2012. kahdella eri malliversiolla, mallilla A ja mallilla B. En-

simmainen 10 000 kappaleen erä malli B:tä myytiin nopeasti loppuun (Tom's hardware 2012). Tämä valtava suosio kaatoi laitteen jakelijoiden Premier Farnellin ja RS Componentsin nettisivut. Kesäkuussa 2014 Raspberry Pi Foundation ilmoitti ylittäneensä kolmen miljoonan myydyin laitteen rajapyykin (Upton 2014).

Karsitumpi malli A maksaa 25 dollaria, joka on 10 dollaria halvempi kuin malli B. Mallien välillä on pieniä eroja. Malli A:ssa on yksi USB 2.0 portti kahden sijasta. Keskusmuistia on 256 megatavua, joka on puolet Malli B:n keskusmuistimäärästä. Malli B:n ensimmäisessä versiossa tosin keskusmuistia oli myös 256 megatavua, mutta reversio 2:n myötä se nostettiin 512 megatavuun. Malli A:sta puuttuu kokonaan verkkosovitin. Raspberry Pi:sta ei löydy sisäistä langatonta verkkosovitinta. Erillisen langattoman verkkosovittimen voi asentaa jälkikäteen. Molemmissa versioissa suorittimena toimii ARM suoritinarkkitehtuurin perustuva 700MHz ARM11 suoritin. Suoritin sijaitsee Broadcom BCM2835 järjestelmäpiirissä, joka sisältää suorittimen lisäksi myös mm. näytönohjainpiirin ja keskusmuistin. Tietokone on pienikokoinen. Kokonaisuudessaan laite on 8.6 cm leveä, 5.4 cm korkea ja 1,7 cm paksu. Se painaa vain 45 grammaa.

Heinäkuussa 2014 julkaistiin uusi paranneltu malli B versiosta, nimeltään Raspberry Pi Model B+. Malli B+ korvasi vanhemman malli B:n. Uutuutena malli B+:ssa oli vain pientä hienosäätöä. USB-porttien määrä nostettiin kahdesta neljään. Virrankulutusta saatiin laskettua hieman, noin 0.5 - 1W. Muistikorttipaikka koki muutoksia. Uudessa mallissa on siirrytty pois SD kokoisesta muistikorttipaikasta pienempään MicroSD kokoon. Myös äänenlaatu parani. GPIO liittimiä tuli 40 kappaletta, kun niitä vanhassa oli vain 24. Myös ulkoisten liittimien sijoittelu kehittyi. Uudessa mallissa kaikki liittimet sijoitettiin kahdelle laidalle, kun vanhemmassa mallissa niitä oli kolmella laidalla. Suorituskyky ei muuttunut uuden mallin myötä. (Raspberry Pi. c.)

Vähäisen virrankulutuksen vuoksi virtalähteeksi riittää tavallinen matkapuhelimen laturi, jossa on MicroUSB liitin. Raspberry Pi:n malleilla on erilaiset virtavaatimukset, johtuen mallien rakenteellisista eroista. Useita USB- tai GPIO-laitteita käyttäessä on syytä valita virranantokyvyltään tehokas virtalähde. Alimitoitettu virtalähde aiheuttaa epävakautta ja muita toimintahäiriöitä.

Raspberry Pi:ssä ei käytetä tallennusmediana kiintolevyä tai SSD-levyä, joita tavallisesti käytetään pöytätietokoneissa ja kannettavissa tietokoneissa. Tallennusmediana voidaan käyttää SD-, MMC- tai SDIO-muistikorttia. Muistikortin käyttäminen tallennusmediana tekee laitteesta äänettömän sekä pienikokoisen, mutta suorituskyvyn kustannuksella. Virrankulutus on vähäistä muistikorttia käyttäen verrattuna kiintolevyyn tai SSD-levyyn.

Raspberry Pi:n toiminnallisuutta voidaan laajentaa kahdella tavalla, USB-laitteilla tai GPIO-liittimeen kytkevillä laitteilla. USB 2.0 standardin liittimiä löytyy Raspberry Pi:sta mallista riippuen 1-4 kappaletta. Raspberry Pi sisältää GPIO-liitäntän, jonka avulla voidaan laajentaa laitteen toiminnallisuutta erillisillä mikropiireillä ja elektroniikkakomponenteilla. Komponentteja pystytään ohjamaan ohjelmallisesti Raspberry Pi:lla. Kuva- ja äänisignaali voidaan siirtää yhdellä HDMI-kaapelilla monitorille tai televisiolle. Kuva voidaan siirtää komposiittisignaalinä RCA-liitintä käyttäen, jos näyttölaite ei tue HDMI-signaalia. Äänisignaalia ei voida siirtää samassa komposiittisignaalinä. Tässä tapauksessa voidaan käyttää Raspberry Pi:n analogista äänisignaalia, joka saadaan 3,5 mm liittimestä. Malli B+ssa on yhdistetty komposiittivideosignaali ja analoginen äänisignaali yhteen liittimeen. Uuden liittimen käyttäminen vaatii sopivaa haaroitinkaapelia, jolla signaalit voidaan erottaa. Kuvassa yksi on rinnakkain uudempi malli B+ ja vanhempi malli B.



Kuva 1: Raspberry Pi Model B+ ja Model B.

Raspberry Pi on herättänyt paljon kiinnostusta ympäri maailmaa kokonsa, matalan hintansa ja matalan virrankulutuksensa takia. Pieni koko ja liikkuvien osien puuttuminen mahdollistavat laitteen vapaan sijoittamisen. Laite voidaan sijoittaa seinälle, monitorin taakse tai jopa ulostoisin tarpeeksi suojattuna. Vähäisen virrankulutuksensa ansioista Raspberry Pi ei vaadi tuuletimia komponenttien jäähdyttämiseen.

Suorinteholtaan Raspberry Pi on suhteellisen heikko. Raspberry Pi:n ARM1176JZF-S suoritin perustuu 32-bittiseen ARM suoritinarkkitehtuuriin, jota käytetään myös moderneissa matkapuhelimissa. Raspberry Pi:n ARM suoritin on vanhempaa ARMv6 käskykantaan kuin nykyisissä matkapuhelimissa. Suoritin toimii 700 MHz kellotaajuudella. Suorituskyky on heikompaa kuin moderneissa matkapuhelimissa, joissa käytetään uudempaa suorintekniikkaa sekä korkeampia kellontaajuuksia. Raspberry Pi ei sovellu paljon laskentatehoa vaativille sovelluksille. Runsaasti laitteistoresursseja vaativat ohjelmat, varsinkin graafisella käyttöliittymällä varustetut ohjelmat, voivat tuntua hitailta käyttöä.

Raspberry Pi:hin ei voi asentaa Microsoft Windows -käyttöjärjestelmää (Raspberry Pi. j). Windows-käyttöjärjestelmä vaatii toimiakseen x86 suoritinarkkitehtuuriin perustuvan suorittimen. Poikkeuksena on Windows RT -tablettikäyttöjärjestelmä, joka toimii yksinoikeudella Microsoftin ARM suoritinarkkitehtuurin Surface-tablettitietokoneilla. Raspberry Pi:lle on kuitenkin tarjolla useita ilmaisia käyttöjärjestelmiä. Raspberry Pi:n virallisilla nettisivuilla on listattuna useita tuettuja käyttöjärjestelmiä. Saatavilla olevat käyttöjärjestelmät ovat yleensä Linux-pohjaisia.

Raspberry Pi ei sisällä RTC-piiriä, joka ylläpitää kellonaikaa ja päivämäärää. RTC-piiri on yleensä varustettu paristolla, joka säilyttää aikatiedot, siinäkin tilanteessa, että tietokoneesta katkaistaan virta. Ilman RTC-piiriä kellonaika ja päivämäärä katoavat aina sammutuksen yhteydessä. Ongelma on ratkaistavissa NTP-protokollalla, joka on tarkoitettu kellonajan ja päivämäärän synkronointiin. NTP-asiakasohjelma hakee ajan Internetissä sijaitsevilta NTP-palvelimilta. RTC-piirin lisääminen olisi nostanut laitteen hintaa ja vienyt ylimäärästä tilaa piirilevyiltä. Erillinen RTC-piiri on mahdollista asentaa jälkikäteen GPIO-liitännän avulla.

Pienen koon vuoksi Raspberry Pi:ssa käytetään fyysisesti pienikokoista ja vähävirtaista muistikorttia perinteisen kiintolevyn tai SSD-levyn sijaan. Muistikortin avulla laitteesta on saatu hyvin pienikokoinen, eikä laite tarvitse yhtä paljon virtaa kuin kiintolevyä tai SSD-levyä käyttäen. Raspberry Pi:ssa käytettävät muistikortit eivät yllä nopeudeltaan lähellekään nykyisten kiintolevyjen tai SSD -levyjen tasolle, joka voi tuntua hitautena luku- tai kirjoitusoperaatioiden aikana. Tutkimuksen edetessä tutustun paremmin muistikorttien nopeuksiin ja niiden vaikutukseen kokonaissuorituskykyyn.

### 3 Linux-käyttöjärjestelmän valinta

Raspberry Pi:lle on tarjolla useita ilmaisia käyttöjärjestelmiä. Kehittäjän suosittelemiin käyttöjärjestelmiin löytyy linkit Raspberry Pi:n virallisilta verkkosivuilta. Sivulla on listattuna seuraavat käyttöjärjestelmät: Raspbian, Pidora, OpenELEC, RaspBMC ja RISC OS.

Risc OS -käyttöjärjestelmää lukuun ottamatta kaikki käyttöjärjestelmät perustuvat Linux-käyttöjärjestelmään. Nettisivuilla on tarjolla asennuslataaja nimeltä NOOBS, joka mahdollistaa useiden käyttöjärjestelmien asentamisen samalle muistikortille.

NOOBS sisältää käynnistyslataajan, joka mahdollistaa useiden eri käyttöjärjestelmien asentamisen ja kokeilun Raspberry Pi:ssa. NOOBS versio 1.3.10 mahdollistaa seuraavien käyttöjärjestelmien asentamisen: Raspbian, Pidora, OpenELEC, RaspBMC, RISC OS ja Arch Linux. NOOBS käynnistyessä ilmestyy ruutuun valintaruutu, josta voidaan valita ladattava käyttöjärjestelmä. Käyttöjärjestelmän valinta mahdollistaa käyttöjärjestelmän vaihtamisen nopeasti ja yksinkertaisesti, ilman muistikortin vaihtamista.

Ensikertalaiselle NOOBS on hyvä valinta, jos käyttäjä ei tiedä vielä mitä käyttöjärjestelmää haluaa jatkossa käyttää. Useita käyttöjärjestelmiä asentaessa on syytä käyttää tallennustilaa vähintään kahdeksan gigatavun muistikorttia. Asentaminen pienemmälle muistikortille on mahdollista, mutta vapaata tilaa voi olla liian vähän käytettävissä eri käyttötarkoituksiin. Yhtä käyttöjärjestelmää käyttäen suositellaan käytettäväksi vähintään neljän gigatavun muistikorttia.

Kyseisiä Linux-käyttöjärjestelmiä yhdistää käyttöjärjestelmässä käytetty Linux-ydin. Ydin sijaitsee ohjelmien ja laitteiston välissä, jonka avulla ohjelmat voivat hyödyntää tietokoneen laitteita sekä oheislaitteita. Suurimmat erot Linux-käyttöjärjestelmien välillä syntyvät asennettujen ohjelmien sekä pakettihallinnan osalta. Ohjelmia voidaan asentaa käyttöjärjestelmään pakettihallinnan avulla. Pakettihallinta hoitaa ohjelmien lataamisen Internetistä sekä ohjelmien asentamisen. Kaikki asennetut ohjelmat voidaan päivittää uusimpaan versioon pakettihallinnan avulla, eikä ohjelmia tarvitse päivittää yksitellen.

### 3.1 Käyttöjärjestelmien eroavaisuudet

Raspbian-käyttöjärjestelmä pohjautuu Debian Linux-käyttöjärjestelmään, joissa molemmissa käytetään Aptitude-pakettihallintaa. Käytän tutkimuksessa usein Raspbian-käyttöjärjestelmää esimerkeissä, koska Raspbian on monipuolinen ja hyvin dokumentoitu käyttöjärjestelmä. Linux-käyttöjärjestelmää vähän käyttäneille henkilöille Raspbian on hyvä valinta, koska Internetistä löytyy hyvin ohjeita eri käyttö- ja ongelmatilanteisiin. RaspBMC on mediakäyttöön tarkoitettu käyttöjärjestelmä tarjoten monipuolisen XBMC-käyttöliittymän. RaspBMC on rakennettu Raspbian-käyttöjärjestelmän päälle, joka mahdollistaa saman pakettihallinnan sekä ohjelmien käyttämisen kuin Raspbian-käyttöjärjestelmässä.

Toinen mediakäyttöön tarkoitettu Linux-käyttöjärjestelmä on OpenELEC, joka tarjoaa saman XBMC-käyttöliittymän kuin RaspBMC. OpenELEC poikkeaa muista nettisivuilla listatuista Linux-

käyttöjärjestelmistä olemalla itsenäinen Linux-käyttöjärjestelmä. OpenELEC ei pohjaudu mihinkään olemassa olevaan Linux-jakeluun. OpenELEC on hyvin karsittu käyttöjärjestelmä, johon on valittu vain tarpeelliset ohjelmat toiminnan kannalta. Karsitumpi käyttöympäristö vapauttaa enemmän resursseja tarpeellisille ohjelmille, koska taustalla ei ajeta ylimääräisiä ohjelmia joita ei tarvita. OpenELEC ei sisällä ollenkaan pakettinhallintaa, joka hankaloittaa erillisten ohjelmien asentamista käyttöjärjestelmään. Viimeisenä Linux-käyttöjärjestelmänä nettisivuilla listataan Pidora. Pidora perustuu Fedora Linux -käyttöjärjestelmään, joka käyttää pakettihallintaa nimeltä Yum. Eri pakettihallinnoissa on eroa saatavilla olevien ohjelmien sekä ohjelmaversioiden osalta.

### 3.2 Raspbian

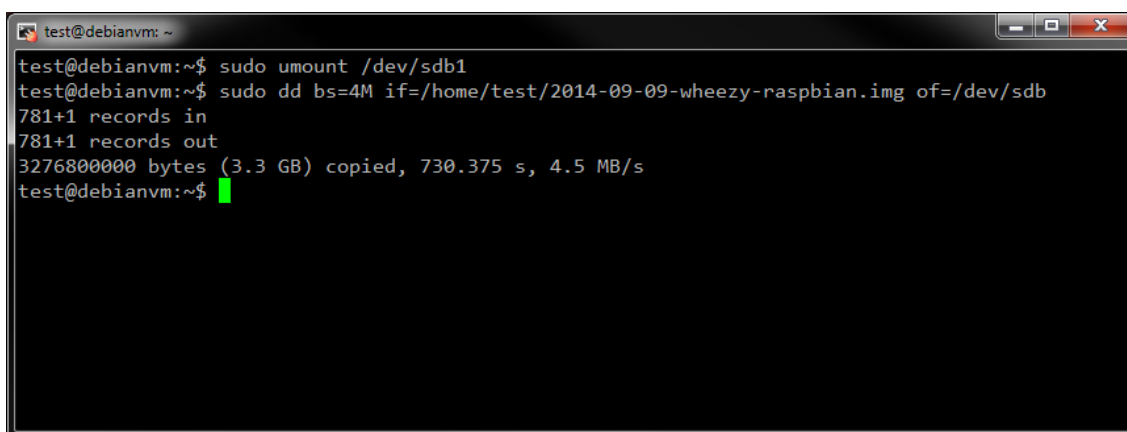
Raspbian-käyttöjärjestelmä perustuu Debian Linux-jakeluun, jossa käytetään Aptitude-pakettihallintaa. Samoin Raspbian käyttöjärjestelmässä käytetään Aptitude-pakettihallintaa, jolla voidaan asentaa tai poistaa ohjelmia sekä päivittää nykyiset ohjelmat. Pakettihallinnassa on saatavilla yli 35 000 ohjelmistopakettia (Raspbian). Pakettihallintaohjelma helpottaa käyttäjän arkea tarjoamalla ohjelmapaketit yhdestä ja samasta paikasta sekä pitää huolta pakettien ajantasaisuudesta.

Raspbian-käyttöjärjestelmässä ohjelmistopaketit on valmiiksi käännetty lähdekoodista, eikä käyttäjän tarvitse erikseen asentaa tarpeellisia työkaluja ohjelman kääntämiseen käyttöjärjestelmälle ymmärrettävään muotoon. Ohjelmien kääntäminen lähdekoodista konekieliseksi voi olla todella aikavievää, jos kyseessä on monimutkainen ohjelma. Kääntäminen vaatii myös laitteelta paljon laskentatehoa. Raspberry Pi on melko tehoton laite, siksi ohjelmien kääntäminen laitteella ei ole järkevää. On olemassa Linux-jakeluita, joissa pakettihallinta tarjoaa vain ohjelmien lähdekoodit, jotka käännetään konekielille käyttäjän koneella, esimerkiksi Gentoo ja Arch Linux.

### 3.3 Raspbian-käyttöjärjestelmän asentaminen

Raspbian-käyttöjärjestelmä voidaan asentaa kahdella tavalla: lataamalla NOOBS-levykuva tai lataamalla Raspbian-levykuva. Levykuva kirjoitetaan muistikortille, jota käytetään Raspberry Pi:ssa. Kirjoittaminen onnistuu Linux- ja Mac OS X- käyttöjärjestelmässä ohjelmalla nimeltä dd. Ohjelmalle annetaan "if" parametreina lähdetiedosto tai lähdelaitte, josta luetaan tietoa, joka on tässä tapauksessa tiedosto, jossa levykuva sijaitsee. Tämän jälkeen annetaan "of" parametrina kohdelaitte, jonne tietoa kirjoitetaan. Tähän syötetään parametriksi muistikortinlukijan polku. Esimerkki Linux-ympäristössä, jossa levykuva sijaitsee polussa `"/home/test/2014-09-09-wheezy-raspbian.img"` ja muistikortinlukija polussa `"/dev/sdb"`. Tässä vaiheessa pitää olla erittäin tarkkana kohdelaitteen polun suhteen, koska antamalla

väärän polun, voidaan levykuva ylikirjoittaa väärälle asemalle, joka johtaa tiedon häviämiseen. Ennen kirjoittamista on syytä vapauttaa muistikortin tiedostojärjestelmä Linux-käyttöjärjestelmältä komennolla ”sudo umount” jolle annetaan parametrina muistikortinlukijan polku. Kirjoitusprosessia voidaan nopeuttaa antamalla lisäparametrin ”bs=4M”, joka määrittelee kirjoituksen tapahtuvan neljän megatavun lohkoissa. Kirjoituskomennoksi tälle esimerkitapaukselle muodostuu ”sudo dd bs=4M if=/home/test/2014-09-09-wheezy-raspbian.img of=/dev/sdb”. Komento vaatii pääkäyttäjän oikeudet, joten kirjoitetaan sudo ennen ohjelmaa. Kuvassa kaksi nähdään kirjoitusprosessi.

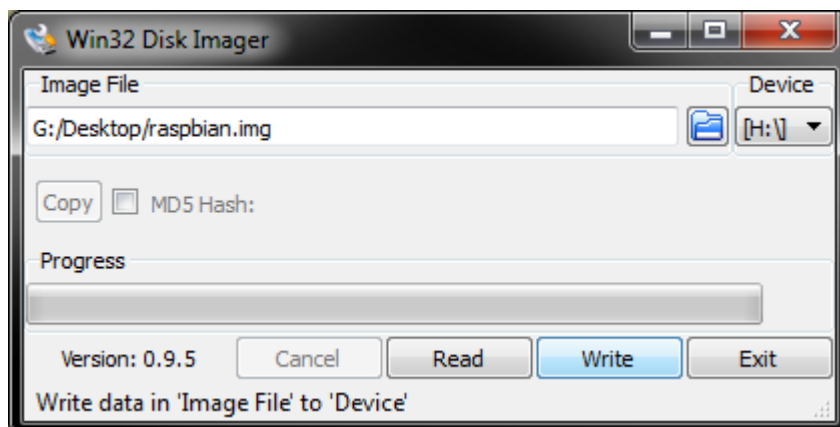


```
test@debianvm: ~  
test@debianvm:~$ sudo umount /dev/sdb1  
test@debianvm:~$ sudo dd bs=4M if=/home/test/2014-09-09-wheezy-raspbian.img of=/dev/sdb  
781+1 records in  
781+1 records out  
3276800000 bytes (3.3 GB) copied, 730.375 s, 4.5 MB/s  
test@debianvm:~$
```

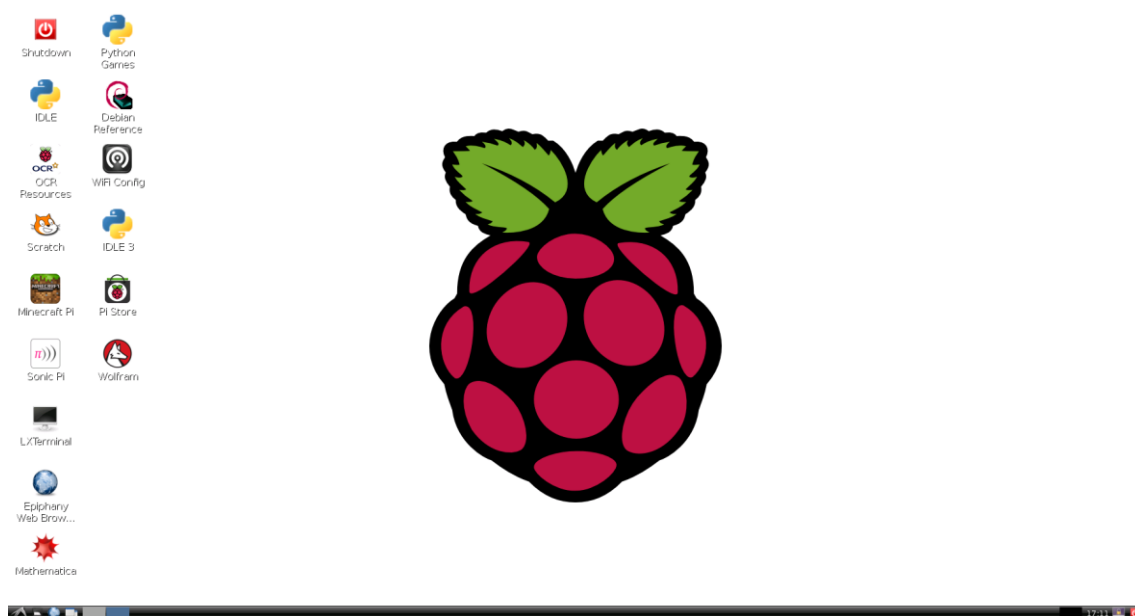
Kuva 2: Muistikortin kirjoitus.

Windows-käyttöjärjestelmässä ei ole vakiona ohjelmaa, jolla voidaan kirjoittaa levykuva suoraan muistikortille. Raspberry Pi:n ohjesivulla neuvotaan lataamaan ohjelma nimeltä ”Win32DiskImager”, joka mahdollistaa levykuvan kirjoittamisen (Raspberry Pi. b). Ennen kirjoittamista osioidaan ja alustetaan muistikortti FAT32 tiedostojärjestelmällä, jotta Win32DiskImager tunnistaa osion. Ohjelma on yksinkertainen käyttää eikä käyttäjän tarvitse syöttää kuin tiedostojointi, jossa levykuva sijaitsee, sekä muistikortinlukijan asematunnus. Ennen kirjoitusta pitää varmistaa, että asematunnus on varmasti oikean laitteen asematunnus. Väärän asematunnuksen syöttäminen johtaa kohdeaseman tiedostojen ylikirjoittamiseen. Lopulta kirjoitus tapahtuu painamalla ”Write”-näppäintä. Ennen kirjoitusta on mahdollista ottaa varmuuskopio muistikortista painamalla ”Read”-näppäintä. Kuvassa kolme nähdään Win32DiskImager ohjelman käyttöliittymä.

Muistikortin valmistelun jälkeen voidaan asentaa muistikortti Raspberry Pi -tietokoneeseen. Käynnistyksen jälkeen asetuksia voidaan vaihtaa ohjelmalla ”raspi-config”, joka käynnistyy automaattisesti ensimmäisellä käynnistyskerralla. Kuvassa neljä nähdään Raspbian-käyttöjärjestelmän työpöytä.



Kuva 3: Win32DiskImager.



Kuva 4: Raspbian käyttöjärjestelmän työpöytä näkymä.

#### 4 Raspberry Pi:n käyttömahdollisuudet

Tässä luvussa perehdytään lyhyesti Raspberry Pi:n erilaisiin käyttömahdollisuuksiin. Käyn läpi miten Raspberry Pi:sta voidaan tehdä mediasoitin, lämpötilalokipalvelin, verkkolevypalvelin tai HTTP-palvelin. Käyn läpi RaspBMC ja OpenELEC mediasoitinkäyttöjärjestelmien eroavaisuuksia. Käytin Raspbian käyttöjärjestelmää lämpötilaloki-, verkkolevy- ja HTTP-palvelimen käyttöönotossa.

##### 4.1 Olohuoneen mediasoitin

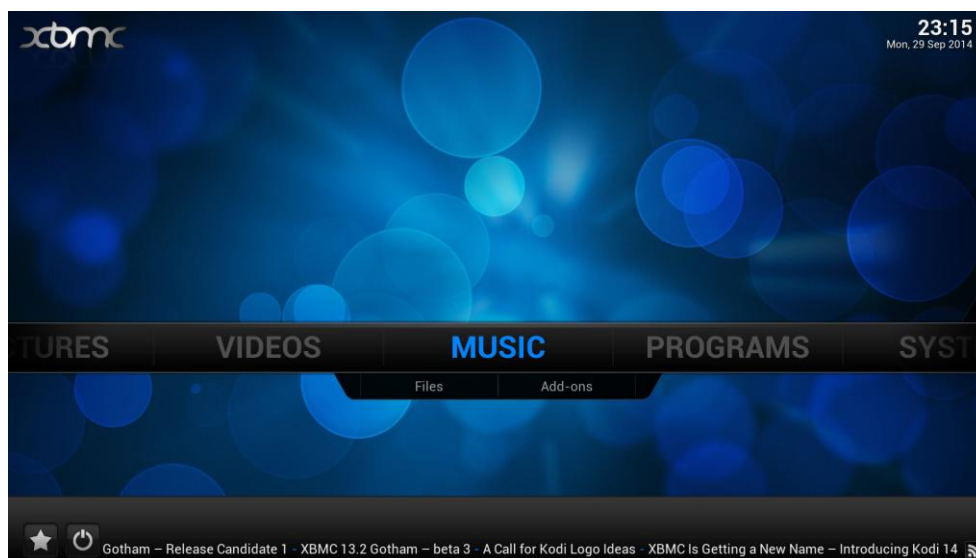
Raspberry Pi mahdollistaa äänettömän ja vähävirtaisen mediasoitimen. Se sopii vaikkapa olohuoneeseen. Pienen kokonsa lisäksi se on monipuolinen. Mediakäyttöön Raspberry Pi:lle on



kaksi suosittua käyttöjärjestelmää: RaspBMC ja OpenELEC. Kumpikin tarjoaa monipuolisen XBMC-mediaympäristön. Molemmat käyttöjärjestelmät löytyvät Raspberry Pi:n virallisilta kotisivuilta. RaspBMC perustuu Raspbian Linux-käyttöjärjestelmään. OpenELEC tosin ei perustu mihinkään olemassa olevaan Linux-jakeluun. OpenELEC on alusta asti räätälöity Linux-käyttöjärjestelmä mediasoittimeksi. Molemmat tarjoavat kuitenkin saman XBMC mediaympäristön.

Kuvassa viisi nähdään OpenELEC-käyttöjärjestelmän aloitusnäkyä. OpenELEC on hieman karitumpi ja kevyempi kuin Raspbmc-käyttöjärjestelmä. Molemmat käyttöjärjestelmät tarjoavat saman XBMC-käyttöliittymän. Vaikka Raspberry Pi:n suorituskyky on suhteellisen heikko, laite pystyy toistamaan sulavasti jopa Full HD -resoluution videoita. OpenELEC ja RaspBMC hyödyntävät tehokkaasti Raspberry Pi:n grafiikkapiiriä ja laitteistokiihdytyksen avulla Full HD videoiden prosessointi onnistuu moitteettomasti. Laitteistokiihdytys mahdollistaa videon prosessoinnin grafiikkapiirillä vähentäen kuormaa prosessorilta. Grafiikkapiiri on sisäänrakennettuna samaan Broadcom BCM2835 järjestelmäpiiriin, jossa myös suoritin sijaitsee.

XBMC-käyttöliittymän navigoinnissa ei tarvita välttämättä ollenkaan hiirtä tai näppäimistöä. XBMC tukee HDMI CEC -standardia, joka mahdollistaa navigoinnin suoraan television kaukosäätimellä (High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3a). Television tosin pitää myös tukea HDMI CEC -standardia. Standardi ei vaadi käyttäjältä mitään toimia eikä ylimääräisten johtojen kytkemisiä. Kaukosäätimen ohjaussignaali kulkee saman HDMI johdon läpi kuvan ja äänen kanssa televisiolta Raspberry Pi:lle. Kaukosäätimen avulla käyttöliittymässä on helppo siirtyä valikossa ja ruutuun ilmestyvä virtuaalinäppäimistö mahdollistaa tekstin syöttämisenkin. Tosin tekstin syöttäminen tällä tavoin on hidasta. Suositeltavaa on erillisen näppäimistön kytkeminen etenkin, jos tekstiä syötetään usein.



Kuva 5: XBMC käyttöliittymä.

OpenELEC tai RaspBMC-käyttöjärjestelmän käyttöönotto on nopea ja yksinkertainen. Raspberry Pi:n sivuilta ladataan asennuslevykuva, joka kirjoitetaan muistikortille. Kun käyttöjärjestelmä on asennettu muistikortille, muistikortti voidaan kytkeä laitteeseen. Etenkin ensikäynnistyksessä on suositeltavaa, että laite kytketään verkkoon, jotta käyttöjärjestelmä voi tarkistaa verkosta uusimmat päivitykset.

RaspBMC-käyttöjärjestelmästä on saatavilla kaksi asennuslevykuva. Toinen on täysikokoinen käyttöjärjestelmä ja toinen minimaalinen asennus. Ensikäynnistyksessä minimaalinen asennus vaatii Internet yhteyden, koska käynnistyksen jälkeen käyttöjärjestelmä hakee tarvittavat ohjelmistopakettit verkosta. Täysikokoinen asennuslevykuva sisältää kaikki tarvittavat ohjelmistopakettit, mutta on kooltaan reilusti isompi kuin minimalistinen asennuslevykuva. Täysikokoinen versio on kooltaan 261 megatavua kun taas minimalistinen versio on vain 18 megatavua. RaspBMC ylläpitäjä suosittelee käytettäväksi minimalistista asennuslevykuva, joka hakee ohjelmistopakettit vasta ensikäynnistyksessä. Verkoasennus takaa, että käytössä on uusin ohjelmistoversio. OpenELEC:ssä on vain yksi versio asennuslevykuvasta, joka sisältää valmiiksi tarpeelliset ohjelmistopakettit. XBMC päivittäminen on mahdollista myös jälkikäteen asetusvalikoiden kautta.

XBMC-mediaympäristössä voi videoiden lisäksi katsella valokuvia ja toistaa musiikkia paikallisesti sekä nettiradion kautta. Toistettavat mediat voidaan hakea lähiverkon yli verkkolevyiltä tai USB-kiintolevyiltä. USB-kiintolevyssä on syytä olla erillinen virransyöttö, koska Raspberry Pi:ssa ei välttämättä riitä virtaa ulkoiselle kiintolevyille. Mahdollista on myös toistaa mediatiedostoja suoraan muistikortilta. Ongelmaksi voi kuitenkin tulla varsinkin tallennustilaltaan pienikokoisen muistikortin tallennuskapasiteetin riittämättömyys.

#### 4.2 Elektroniikkakomponenttien kytkeminen GPIO-liitännän avulla

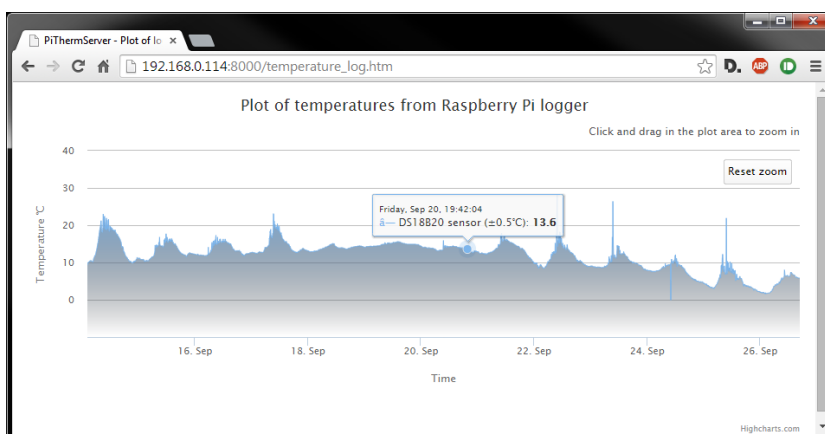
GPIO-liitäntä mahdollistaa erilaisten laitteiden kytkemisen suoraan Raspberry Pi:hin (Raspberry Pi. a). Erillisillä antureilla, mikropiireillä ja elektroniikkakomponenteilla voidaan laajentaa Raspberry Pi:n käyttömahdollisuuksia. Laitteita voidaan hallita Raspberry Pi:lla ohjelmallisesti. Kuvassa kuusi on kaksirivinen LCD-näyttö, joka on kytketty Raspberry Pi:n GPIO-liittimeen. Kuvan näyttöä voidaan ohjata kuvassa näkyvillä näppäimillä.



Kuva 6: LCD-näyttö.

Raspberry Pi:hin voidaan lisätä edullinen, muutaman euron hintainen DS18B20 lämpötila-anturi. Lämpötila-anturin johdot kytketään GPIO-liittimen pinneihin. Raspberry Pi voidaan ohjelmoida pitämään kirjaa lämpötilasta, joka voidaan esittää graafisesti verkkoselaimelle.

PiThermServer tarjoaa kokonaisen paketin lämpötilojen kirjaamiseen, sekä tietojen esittämiseen nettisivulla. PiThermServer kirjaa lämpötilat SQLite tietokantaan, josta NodeJS HTTP-palvelin hakee tiedot. Highchart JavaScript kirjastolla näytetään lämpötilatiedot interaktiivisessa kaaviossa. PiThermServer:in lähdekoodi on ilmaiseksi ladattavissa GitHub verkkopalvelusta. Kuvassa seitsemän on PiThermServerin käyttöliittymä, jota voidaan tarkastella verkkoselaimella.



Kuva 7: PiThermServer.

#### 4.3 Verkkolevypalvelimen käyttöönotto

Raspberry Pi ei ole niin tehokas tietokone, että sillä voitaisiin ajaa useita raskaita palvelinsovelluksia. Vähän resurssia vaativat palvelut pyörivät moitteetta laitteella. Ulkoisella USB-kiintolevyllä voidaan Raspberry Pi:sta tehdä verkkolevypalvelin, jolla voidaan jakaa kiintolevyn sisältöä muille sisäverkon laitteille. Palvelulla nimeltä Samba on mahdollista levyjen ja tulostimien jakaminen lähiverkossa SMB-protokollaa käyttäen. SMB-protokollaa voidaan käyttää useilla eri käyttöjärjestelmillä. Modernit Windows- ja OS X-käyttöjärjestelmät tukevat suoraa SMB-protokollaa ilman erillisiä ohjelmia. Linux-käyttöjärjestelmä vaatii Samba-asiakasohjelman, jolla voidaan yhdistää verkkojakoihin.

Raspbian-käyttöjärjestelmä sisältää Samba-palvelun pakettihallinnassa. Ohjelma voidaan asentaa komennolla `"sudo apt-get install samba"`. Aptitude-pakettihallinta hoitaa niin tiedostojen lataamisen kuin asennuksen. Asennuksen jälkeen muokataan Samba-palvelun asetustiedostoa. Asetustiedossa voidaan määritellä asemat sekä polut, jotka jaetaan Samba-palvelussa. Muokkaamisen jälkeen palvelu käynnistetään uudestaan, jotta asetukset tulevat voimaan. Uudelleenkäynnistyminen tapahtuu komennolla `"sudo service samba restart"`. Uudelleenkäynnistyksen jälkeen verkkojako on valmiina ottamaan yhteyksiä vastaan. Suurikoisten tiedostojen siirtoon Raspberry Pi ei välttämättä sovellu hyvin, koska verkkosovitin toimii 100 Mb/s nopeudella modernien 1000 Mb/s verkkosovittimien sijaan.

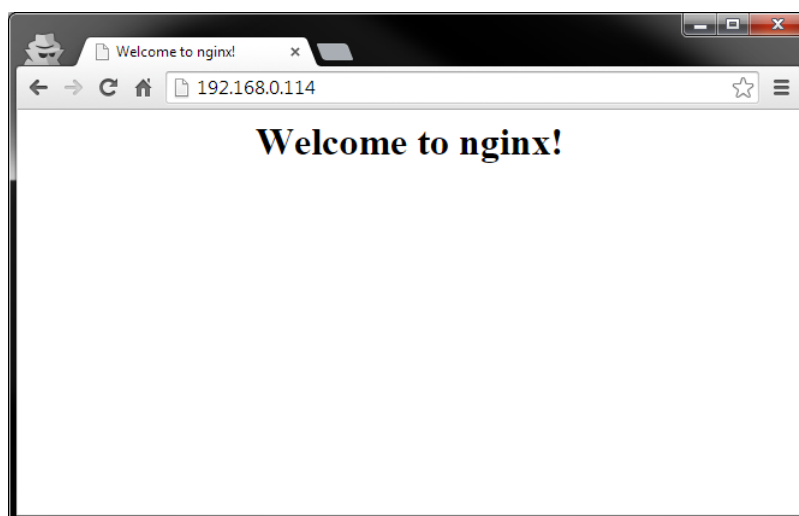
#### 4.4 Nginx HTTP-palvelimen käyttöönotto

Raspberry Pi:sta on mahdollista tehdä HTTP-palvelin, jolla voidaan tarjota verkkosivuja selaimelle. Selain yhdistää Raspberry Pi:n HTTP-palvelimeen ja HTTP-palvelin hoitaa verkkosivun tarjoamisen takaisin selaimelle. Tiedonsiirto selaimen ja HTTP-palvelimen välillä tapahtuu HTTP-protokollaa käyttäen. Verkkosivujen lisäksi voidaan ladata ja lähettää tiedostoja.

Raspbian sisältää useita eri verkkosivupalveluita pakettihallinnassa. Laajalti käytetty Apache-palvelu ei sovellu hyvin Raspberry Pi:lle. Apache vaatii paljon resursseja laitteelta verrattuna toisiin kevyempiin palveluihin. Resurssien loppuminen aiheuttaa palvelun hidastumisen tai täydellisen toiminnan estymisen. Lighttpd ja Nginx ovat verkkosivupalveluita, jotka eivät vaadi yhtä paljon resursseja kuin Apache. Raspberry Pi:n resurssit eivät riitä suurille käyttäjämäärille, mutta pienelle käyttäjämäärälle suorituskyky on riittävä. Apache, Lighttpd ja Nginx ohjelmien asentaminen onnistuu helposti Aptitude-pakettihallinnalla.

Käyn läpi Nginx-palvelimen käyttöönoton Raspbian-käyttöjärjestelmässä. Asennus tapahtuu komennolla `"sudo apt-get install nginx"`. Asentamisen jälkeen Nginx-palvelimen asetuksia voidaan muokata `"/etc/nginx/"` polusta. Kansio sisältää useita asetustiedostoja eri moduuleille.

Nginx on rakenteeltaan modulaarinen; moduuleita voidaan lisätä tai poistaa käytöstä. Moduulit voivat esim. tuoda käyttöön uusia toimintoja tai parantaa tietoturvaa. Nginx pääasetustiedosto on polussa `"/etc/nginx/nginx.conf"` sitä voidaan muokata tekstieditorilla. Asetusten muokkaamisen jälkeen voidaan käynnistää palvelu. Käynnistäminen onnistuu komennolla `"sudo service nginx start"`. Palvelu on tämän jälkeen käynnissä ja valmiina ottamaan yhteyksiä vastaan. Selaimella voidaan luoda yhteys palvelimeen kirjoittamalla osoitekenttään Raspberry Pi:n IP-osoite. Jos palvelu on otettu käyttöön onnistuneesti, sivulle pitäisi ilmestyä teksti `"Welcome to nginx!"`, kuten nähdään kuvassa kahdeksan. WWW-sivuja voidaan lisätä kopioimalla WWW-sivut kansioon `"usr/share/nginx/www"`.



Kuva 8: Selain yhdistänyt Nginx palvelimeen.

## 5 Komponenttien valinta

Tässä luvussa käydään läpi tarvittavien komponenttien vaatimukset sekä niiden testaaminen. Testeillä pyrin havainnoimaan miten komponenttien vaikutus vaikuttaa laitteen yleiseen suorituskykyyn sekä vakauteen.

### 5.1 Virtalähdevaatimukset

Raspberry Pi poikkeaa virransyötöltään perinteisistä pöytätietokoneista ja kannettavista tietokoneista. Pöytätietokoneissa käytetään tavallisesti ATX-standardin virtalähteitä, jotka tarjoavat useita eri virtalähtöjä eri komponenteille. Tehokasta virtalähdettä tarvitaan, jos pöytätietokoneessa on käytössä paljon virtaa kuluttava prosessori, tehokas näytönohjain tai koneeseen on kytketty paljon komponentteja. Kannettavissa tietokoneissa virransyöttö tyypillisesti hoidetaan tietokoneeseen kytkettävällä erillisellä virtapalikalla. Se muuttaa virran verkovirrasta tietokoneelle sopivaksi. Kannettavat tietokoneet on suunniteltu vähävirtaiseksi eikä

niihin tarvita niin tehokasta virtalähdettä kuin pöytätietokoneisiin. Tästä syystä erillinen kannettavan tietokoneen virtalähde on saatu huomattavasti pienemmäksi ja äänettömäksi.

Raspberry Pi kuluttaa virtaa todella vähän eikä näin ollen tarvitse yhtä järeitä virtalähdetarkaisuja kuin pöytätietokoneissa tai kannettavissa tietokoneissa. Virransyöttö hoidetaan MicroUSB-liittimen avulla. Sitä käytetään akun lataamiseen melkein kaikissa moderneissa matkapuhelimissa ja tablettitietokoneissa. MicroUSB-laturit ovat edullisia verrattuina pöytätietokoneen tai kannettavan virtalähteisiin. Kuitenkaan kaikki laturit eivät ole tarpeeksi laadukkaita tai laturissa on liian matala virranantokyky. Paremman virransyöttökykynsä ansiosta tablettitietokoneiden laturit soveltuvatkin yleensä paremmin Raspberry Pi:lle kuin matkapuhelinten laturit.

Raspberry Pi:n virtalähteenä ei ole suositeltavaa käyttää tietokoneen USB-portteja. Yleisesti käytetyssä USB 2.0 -portissa tulee rajoittavaksi tekijäksi virranantokyky. USB 2.0 -standardi tarjoaa 500 mA virtaa, joka voi joissain tapauksissa riittää vähävirtaisille malli A:lle ja B+:lle (Universal serial bus specification 2000). Kuormituksessa ja useita USB-laitteita käyttäen Raspberry Pi voi vaatia enemmän virtaa kuin USB 2.0 -standardi sallii. Virtarajoituksen ylittäminen voi aiheuttaa USB-portin vaurioitumisen. Uudempi USB 3.0 -standardi pystyy tarjoamaan virtaa 900 mA, tämä ei kuitenkaan riitä Raspberry Pi:n kaikkiin käyttötarkoituksiin. Poikkeuksena on USB Battery Charging -standardi. Standardi mahdollistaa latausportin, joka on tarkoitettu lataamaan laitteita USB-portin avulla. Tämän standardin avulla virtaa voidaan syöttää 1500 mA. Latausportti tarjoaa riittävästi virtaa Raspberry Pi:lle edellyttäen, että laitteeseen ei kytketä useita lisälaitteita.

Mallien välillä on olemassa hieman eri virtavaatimuksia. Pienimmät virtavaatimukset ovat karusissa Raspberry Pi:n malli A:ssa. Valmistaja ilmoittaa sen vaativan virtaa 500 mA ilman kytkettyjä lisälaitteita USB- tai GPIO-liittimeen. Malli B vaatii hieman enemmän virtaa monimutkaisemman rakenteensa takia. Malli B sisältää verkko-ohjaimen, jota ei ole malli A:ssa sekä mahdollisuuden kytkeä kaksi USB-laitetta yhden sijaan. Malli B:n virrankulutus liikkuu tyypillisesti 700-1000 mA välillä riippuen kytkettyjen lisälaitteiden määrästä sekä laitteen kuormitustasosta. Uusi paranneltu malli B+ on entistä vähävirtaisempi. Virrankulutus siinä on tyypillisesti vähintään 600 mA, mikä on 100mA vähemmän kuin malli B:ssä. Toisaalta malli B+ voi käyttää virtaa jopa 2500 mA, jos kaikkiin neljään USB-porttiin kytketään runsaasti virtaa vieviä laitteita. (Raspberry Pi. h.)

Pian uuden malli B+:n julkaisun jälkeen nimimerkki "Gordon" kirjoitti blogissaan keinon, jolla uudessa mallissa voidaan nostaa Raspberry Pi:n USB-porttien virranantokykyä. USB 2.0 standardi määrittelee virransyötön ylärajaksi 500 mA. Blogikirjoituksessa mainitulla keinolla voidaan nostaa Raspberry Pi:n USB-porttien virranantokykyä yli standardimääritysten jopa 1200

mA:iin asti. Muutos mahdollistaa ulkoisen USB-kiintolevyn kytkemisen Raspberry Pi:hin, joka on varustettu tehokkaalla virtalähteellä. Blogissa ei suositella muutosta pitkäaikaiseen käyttöön. (Henderson 2014.)

Edullisen MicroUSB-laturin käyttömahdollisuuden lisäksi matalalla virrankulutuksella on muitakin hyötyjä. Vähäinen virrankulutus tarkoittaa myös pientä lämmöntuottoa. Raspberry Pi ei tarvitse jäädytysosia eikä tuulettimia pitääkseen laitteiston toimintakunnossa. Laite on passiivinen eikä sisällä liikkuvia osia. Se tekee laitteesta täysin äänettömän. Käytännössä laite voidaan sijoittaa minne tahansa. Raspberry Pi voidaan laittaa myös sille suunniteltuun koteloon, jossa on pienet ilmanvaihtoaukot lämpimän ilman poistumiselle kotelosta. Omien kokemusteni perusteella yksikään laite ei ole ylittänyt prosessoripiirin osalta 60 °C:n lämpötilaa.

Raspberry Pi Foundationin toimitusjohtaja Eben Upton kirjoitti Raspberry Pi:n virallisille sivuille, että Raspberry Pi:n suoritus voidaan ylikellottaa ilman takuun raukeamista. Ylikellottaessa nostetaan suorittimen kellontaajuutta yli vakiokellontaajuuden. Asettamalla korkein ylikellotusvalinta Turbo raspi-config -asetusohjelmassa, kellontaajuus nousee 700 MHz:sta 1000 MHz:iin. Kellontaajuutta lasketaan automaattisesti alaspäin, jos lämpötila saavuttaa 85 °C:n lämpötilan. Ylikellottaminen nostaa suorituskykyä, mutta voi aiheuttaa laitteen epävakautta. Ylikellottaminen ei ole suositeltavaa tapauksissa, joissa laitteen vakaus on tärkeämpää kuin suorituskyky. (Upton 2012.)

## 5.2 Virtalähteen testaaminen oskilloskoopilla

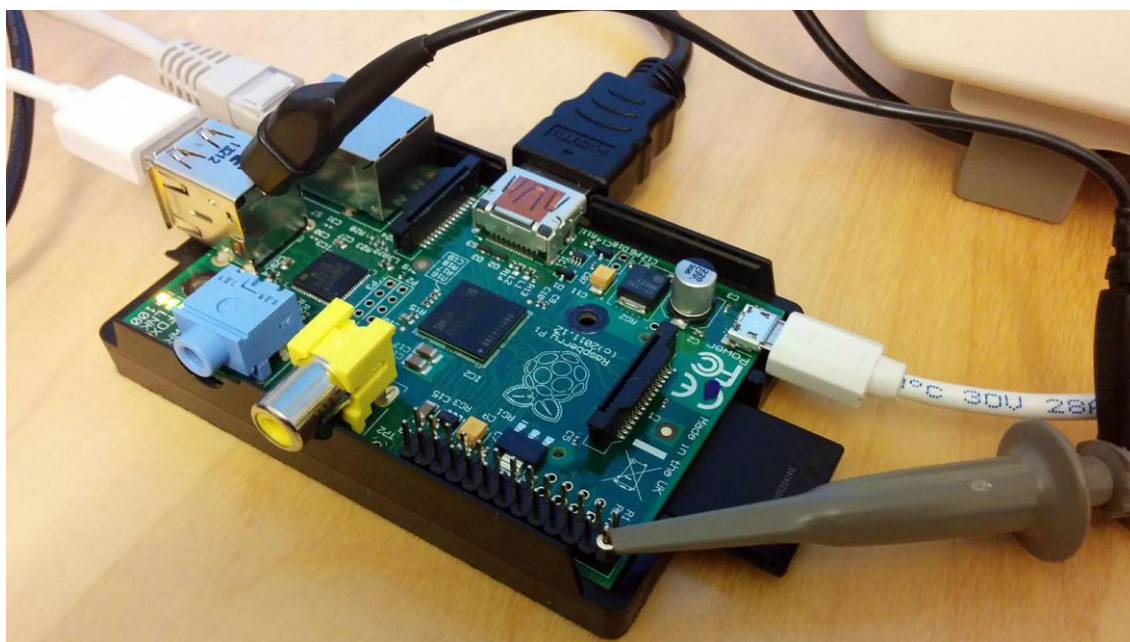
Tutkin oskilloskoopilla Raspberry Pi:n virransyötön jännitetasoja. Oskilloskoopilla voidaan mitata tarkasti jännitetasoa usean sekunnin ajalta. Oskilloskoopin ruutuun piirtyy kuvaaja, josta käy ilmi jännitteen heittäytyä määritetyllä aikavälillä. Oskilloskooppi osaa laskea useita asioita jännitekuvaajasta. Tärkeimmät mittauskohteet olivat jännitteen yläarvo ja ala-arvo sekä jännitteen keskiarvo asetetulla aikavälillä. Jännitteen yläarvon ja ala-arvon erotus kertoo, kuinka paljon jännite vaihtelee. Käytin mittauksessa Rigol DS1052E digitaalista oskilloskooppia. Kuvassa yhdeksän on nähtävillä mittauksessa käytetty kokoonpano.

Käytin Raspberry Pi:n virtalähteenä Zte Blade -matkapuhelimen laturia. Valitsin testaamiseen kyseisen virtalähteen, koska se on melko heikkotehoinen antaen virtaa ulos vain 700 mA 5 voltin jännitteellä. Tällä virtalähteellä pystyn osoittamaan, mitä ongelmia heikkolaatuaisella tai alimitoitetulla virtalähteellä voi ilmetä. Kuvassa yhdeksän nähdään mittauskokoonpano. Mittausten aikana Raspberry Pi:hin oli kytkettynä 10” TFT-kosketusnäyttö, ethernet-verkkokaapeli, USB-jakaja, johon oli kytkettynä langaton hiiri, langallinen näppäimistö sekä kosketusnäytön ohjain. Mittauspisteinä käytin 5 voltin jännitetasoa GPIO-liittimen pinni 2:sta.

Maadoituspisteenä käytin USB-porttien maadoitettua runkoa. Kuvassa kymmenen tulee ilmi mittajohdinten kytkentäpisteet.



Kuva 9: Kokoonpano.



Kuva 10: Mittauskytkennät.

Suoritin mittaukset sekä ilman kuormitusta että kuormituksen kanssa. Ilman kuormitusta jännitetaso oli noin 5,0 voltia, mikä on hyvä arvo ja pysyi hyvin USB 2.0 -standardiin määritettyjen käyttöjännitetasojen sisällä. USB 2.0 -standardi sallii jännitteen vaihtelun viidellä prosentilla 5 voltin molemmin puolin. Jännite voi siis alimmillaan olla 4,75 voltia ja enimmillään



5,25 voltia (Universal serial bus specification 2000). Liian korkea jännite voi vaurioittaa USB-laitteita. Liian matala jännite taas voi aiheuttaa USB-laitteiden kytkeytymisen pois päältä. Eri USB-laitteet käyttäytyvät matalalla jännitteellä eri tavoin. Toiset USB-laitteet voivat toimia moitteetta USB-standardin alittavalla jännitetasolla kun taas toiset USB-laitteet sammuvat tai laitteen toiminta häiriintyy.

Lepotilamittausten jälkeen siirryin rasittamaan Raspberry Pi:ta, jotta saadaan selville virtalähteen todellinen virranantokyky. Suoritin rasituksen seuraavalla skriptillä.

```
#!/bin/bash
yes >/dev/null &

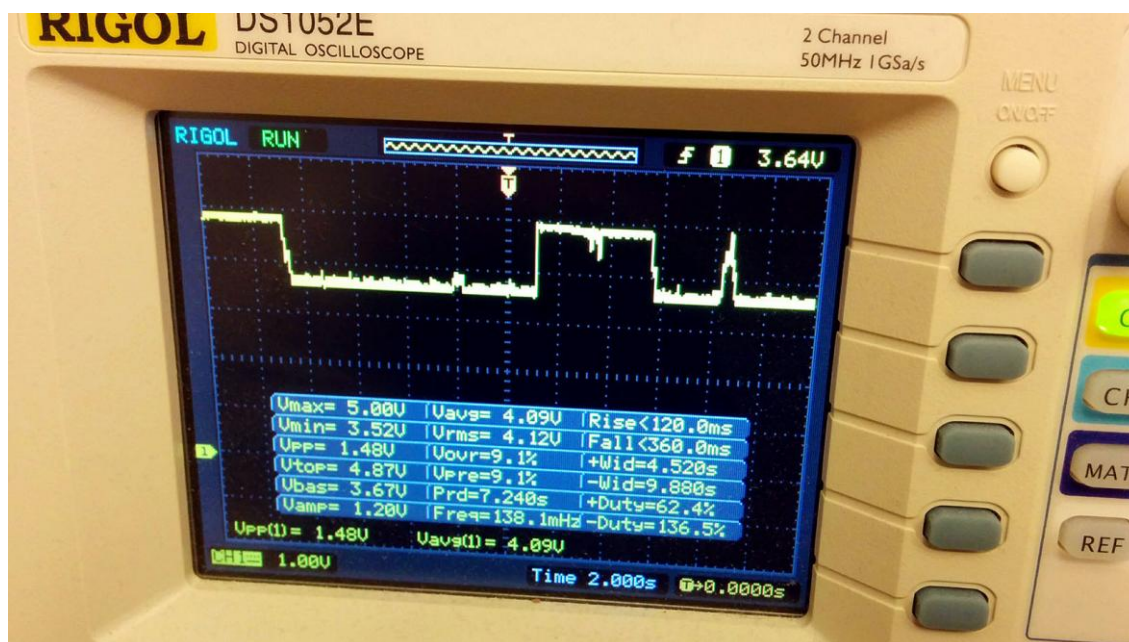
while [ 1=1 ]
do
    dd bs=4M if=/dev/mmcblk0 of=/dev/null
done
```

Rasitin prosessoria komennolla ”yes >/dev/null &”. Komentoa ajetaan taustalla loputtomasti kunnes käyttäjä käsin sulkee prosessin. Ohjelma kuormittaa prosessoria tehokkaasti ja varaa kaikki saatavilla olevat prosessoriresurssit. Tämän jälkeen ohjelma ajaa loputtomassa silmukassa ohjelmaa, joka lukee muistikorttia alusta loppuun. Kortin lukeminen tuo lisää räsitusta, joka puolestaan lisää virrankulutusta.

Heti skriptin ajettua huomataan jännitteen tippuvan noin viiden voltin lepojännitteestä noin 3,52 volttiin. Laite toimi hetken aivan moitteetta kunnes muutaman sekunnin kuluttua USB-ohjain sammuu liian vähäisen jännitteen takia. Tämä aiheuttaa kaikkien USB-laitteiden sammumisen sekä verkkoyhteyden katkeamisen. Raspberry Pi:ssa verkkopiiri on kytketty toimimaan USB-mikropiirin läpi, mikä aiheuttaa myös verkkoyhteyden katkeamisen matalan jännitetason takia. USB-piirin sammuminen nosti jännitteen takaisin viiteen volttiin. Muutaman sekunnin kuluttua USB-piiri kytkeytyi uudelleen päälle ja jännite laski jälleen noin 3,5 voltin tasolle. Kuvassa 11. nähdään jännitteen putoaminen sekä USB-mikropiirin kytkeytyminen uudestaan päälle. Vaaka-akseli kuvaa aikaa, jossa yksi lohko vastaa kahta sekuntia. Pystyakseli näyttää jännitearvon. Kuvassa nähdään erilaisia mitta-arvoja, esimerkiksi kuvan Vpp ilmaisee jännitteen ylä- ja ala-arvon vaihteluvälin.

Tämä USB-mikropiirin sammuminen ja uudelleen käynnistyminen jatkui jatkumistaan räsituksessa valitsemallani heikolla virtalähteellä. USB-mikropiirin sammuminen voidaan todeta käyttöjärjestelmän lokeista. Niistä nähdään USB-laitteiden häviäminen USB-mikropiirin sammussa ja kytkeytyminen takaisin, kun USB-mikropiiri kytkeytyy päälle. Räsituksessa jännite ei laske-

nut liikaa että Raspberry Pi olisi sammunut matalan jännitteen takia. Riittävä virtalähde pitää jännitteen USB 2.0 -standardiin määritetyn jännitealueen sisällä rasituksessakin.



Kuva 11: Virtalähteen mittaamista oskilloskoopilla.

### 5.3 Muistikortti

Raspberry Pi:ssa käytetään tallennusmediana muistikorttia perinteisten kiintolevyjen ja SSD-levyjen sijasta (Raspberry Pi. e). Valmistaja ilmoittaa Raspberry Pi:n vaativan SD-yhteensopivan muistikortin. Kuvassa 12. on vierekkäin malli B ja malli B+. Vasemmalla on vanhempi malli B, jossa käytetään isompaa SD-muistikortin kokoista korttipaikkaa. Uudessa B+:ssa käytetään pienempää MicroSD kokoa.



Kuva 12: Muistipaikkaerot.

Muistikortin kapasiteetti määräytyy käyttöympäristöstä, sekä asennusmuodosta. NOOBS-asennuslataajaa käyttäen voidaan asentaa useita käyttöjärjestelmiä samalle muistikortille. Useiden käyttöjärjestelmien asentaminen vaatii enemmän tallennustilaa, kuin yksittäinen käyttöjärjestelmä. Yhtä käyttöjärjestelmää käyttäen on suositeltavaa käytettävän ainakin neljän gigatavun muistikorttia. Useiden käyttöjärjestelmien asentaminen vaatii vähintään kahdeksan gigatavun muistikortin. Kahdeksan gigatavun muistikortin tallennustila voi riittää, jos muistikortille tallennetaan paljon tietoa. Raspberry Pi tukee muistikortteja 32 gigatavuun asti (Raspberry Pi. i).

#### 5.4 Muistikorttien suorituskykymittaukset ja käytännön suorituskyky

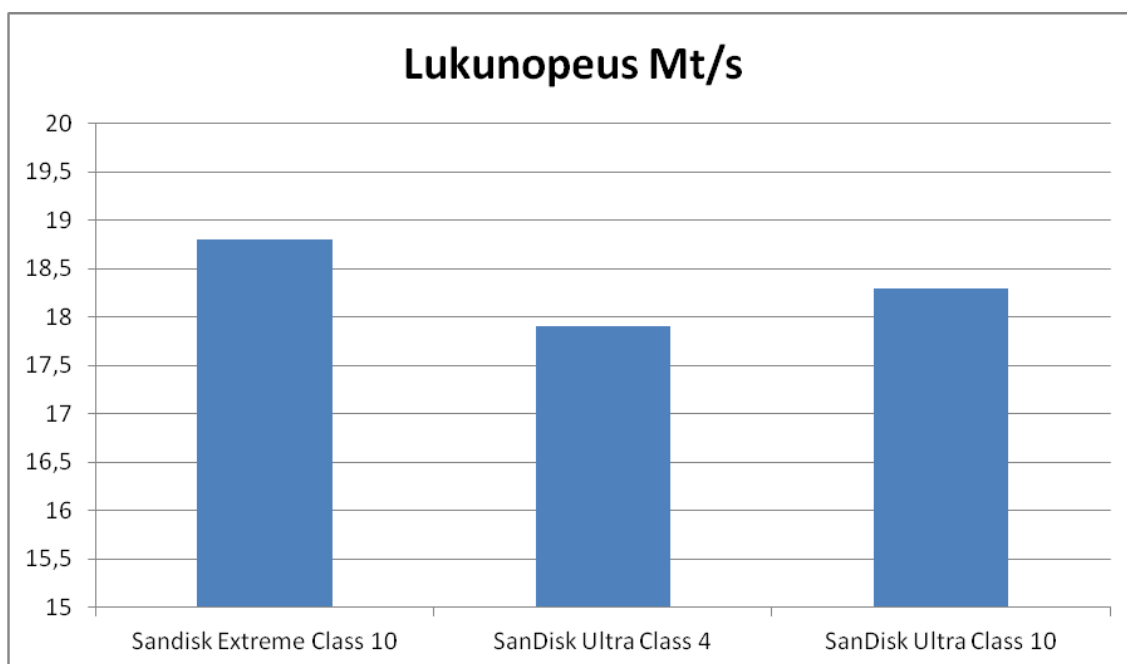
Tutkin kolmella eri MicroSD-muistikortilla vaikutusta Raspberry Pi:n käytännön suorituskykyyn. Tarkoituksena oli tutkia, onko eri muistikortilla suurta vaikutusta laitteen kokonaissuorituskykyyn. Tutkimukseen otin kolme SanDisk:in valmistamaa MicroSD-muistikorttia: SanDisk Ultra 8Gt Class 4, SanDisk Ultra 8Gt Class 10 ja SanDisk Extreme 16Gt Class 10. Class-merkintä ilmaisee kirjoitusnopeusluokan. Eri luokille on määritelty oma vähittäiskirjoitusnopeus, joka muistikortin on ylitettävä. Class 10 -luokalle on määritetty vähittäiskirjoitusnopeudeksi kymmenen megatavua sekunnissa. Vastaavasti Class 4 -kortin vähittäiskirjoitusnopeus on neljä megatavua sekunnissa.

##### 5.4.1 Luku- ja kirjoitusnopeuden testaaminen

Luku- ja kirjoitusnopeutta tutkin kolmella sisällöltään identtisellä muistikortilla. Kirjoitin muistikortit samasta Raspbian-käyttöjärjestelmän levykuvasta, jotta voidaan varmistua, että kokoonpano on yhtenäinen ja vertailukelpoinen. Tutkin, millaisiin luku- ja kirjoitusnopeuksiin eri muistikorteilla Raspberry Pi:lla voidaan päästä. Nopeuksien testaamiseen käytin ohjelmaa nimeltä dd. Ohjelma löytyy valmiiksi Raspbian-käyttöjärjestelmästä ja sillä pystyy suorittamaan luku- ja kirjoitustestit. Suoritin molemmat testit kolmesti, jotta mittaukset olisivat mahdollisimman vertailukelpoiset. Tämän jälkeen laskin kolmen suorituskerran perusteella keskiarvon, jolla vertailin nopeuksia muistikorttien kesken.

Lukutestissä käytin komentoa `dd if=/dev/mmcbk0 of=/dev/null`. Ohjelma dd lukee kortin sisällön alusta loppuun. Parametri `if` määrittelee mistä tietoa luetaan. Raspbian-käyttöjärjestelmässä muistikorttilaite sijaitsee polussa `/dev/mmcbk0`. Tämän jälkeen ohjelmalle annetaan lisäparametri `of`, joka määrittää, minne luettu tieto vietään. Lukutestissä tietoa ei haluta kirjoitettavan minnekään, koska tarkoituksena on mitata pelkkää lukunopeutta. Linuxissa voidaan käyttää `/dev/null` erikoistiedostoa, jos halutaan, että sinne syötetty tieto hävitetään heti eikä sitä tallenneta minnekään.

Kuviossa yksi nähdään erot lukunopeuksissa. Lukunopeudet olivat hyvin samankaltaiset kaikilla muistikorteilla. SanDisk Extreme oli lukunopeudeltaan testin nopein tuloksella 18,8 Mt/s. Toisena testistä suoriutui SanDisk Ultra Class 10 18,3 Mt/s ja hitaimpana oli Ultra Class 4 17,9 Mt/s. Erot jäivät alle yhden Mt/s. Nämä arvot ovat käytännössä korkeimmat mahdollisimmat, mitä Raspberry Pi -tietokoneella voidaan saada. Raspberry Pi:n muistikortinlukijan väylä rajoittaa siirtonopeudet noin 20 Mt/s, eikä tätä nopeutta pysty ylittämään.



Kuvio 1: Lukunopeudet dd ohjelmalla.

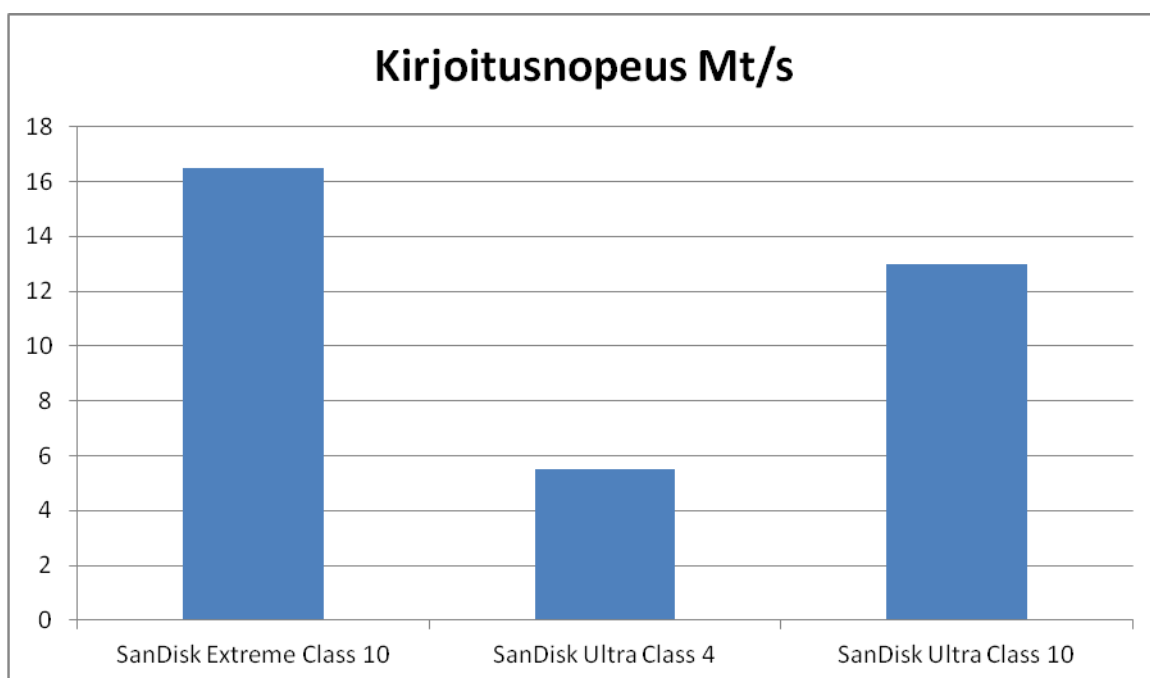
Kirjoitusnopeuksissa oletettavasti tulee eroja, koska SanDisk Ultra Class 4 -muistikortti on hitaamman luokiteltu hitaammaksi, kuin kaksi muuta Class 10 -luokituksen omaavaa muistikorttia. Kirjoitusnopeutta testasin samalla dd-ohjelmalla, jolle annoin erilaiset parametrit kirjoitusta varten.

```
dd bs=1M count=1000 if=/dev/zero of=output-file conv=fdatasync
```

Esimerkkikomento lukee erikoistiedoston `"/dev/zero"` sisältöä ja kirjoittaa sisällön tiedostoon `"output-file"` tuhat kertaa yhden megatavun lohkoina. Tiedoston lopulliseksi kooksi muodostuu 1000 megatavua. `"conv=fdatasync"` parametri varmistaa tiedostovälimuistin tyhjentämisen. Tiedostovälimuisti parantaa levyjärjestelmän suorituskykyä, mutta voi aiheuttaa epärealistisia mittaustuloksia, jos tietoa on valmiiksi välimuistissa. Kirjoitustestin ajoin kolmesti ja laskin keskiarvon niiden perusteella.

Kuviossa kaksi nähdään ero kirjoitusnopeuden osalta. Kirjoitustestissä ilmeni eroja muistikorttien välillä. Hitain kirjoitusnopeus oli SanDisk Ultra Class 4 muistikortilla, joka kirjoitti keskimäärin 5,5 Mt/s. SanDisk Ultra Class 10 kirjoitusnopeus oli keskimäärin 13 Mt/s. Nopein 16,5

Mt/s kirjoitusnopeus saavutettiin SanDisk Extreme Class 10 muistikortilla, joka oli keskimäärin 3,5 Mt/s nopeampi kuin saman nopeusluokituksen omaava SanDisk Ultra.



Kuvio 2: Kirjoitusnopeus dd-ohjelmalla.

#### 5.4.2 Suorituskyvyn mittaamista tietokantasovelluksella

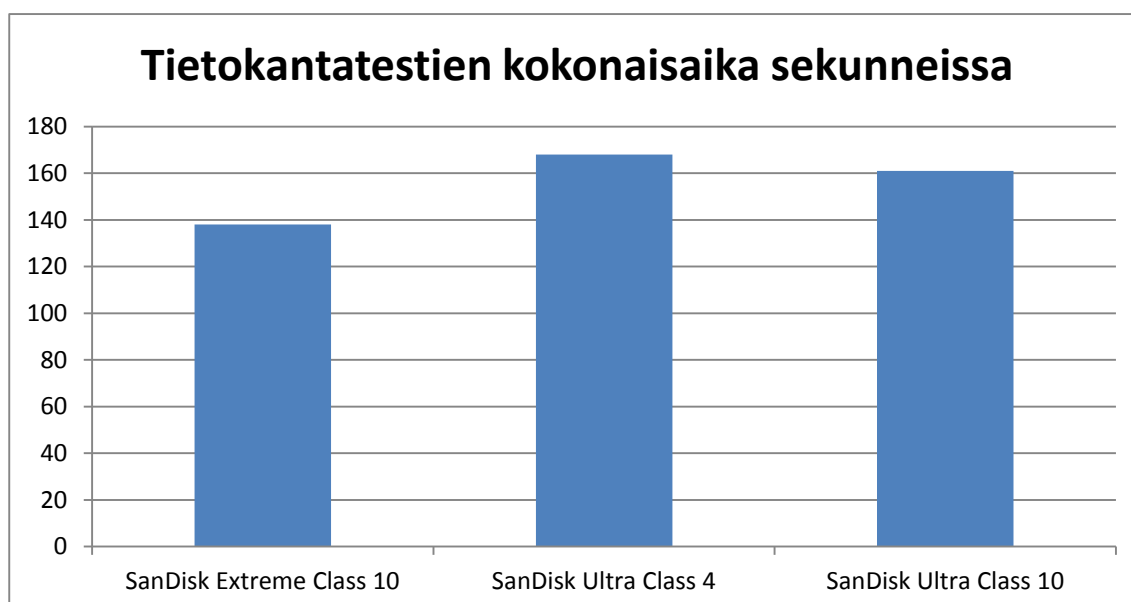
Useat ohjelmat käyttävät tietokantaa tiedon säilömiseen. Tietokantaa säilytetään tyypillisesti tallennuslevyllä, jonka takia tallennuslaitteen suorituskyky voi merkittävästikin vaikuttaa ohjelman suorituskykyyn. Tämän takia tutkin muistikorttien nopeuseroja Sqlite3-tietokantasovelluksella. Sqlite on tietokantasovellus, joka soveltuu hyvin laitteille, joissa keskusmuistia ja tallennustilaa on melko vähän (Sqlite. a). Sqlite vaatii tallennustilaa laitteelta todella vähän, jopa alle 512 kilotavua riippuen laitteistoarkkitehtuurista. Sqlite:llä on hyvin vähäiset riippuvuudet erillisiin ohjelmakirjastoihin, ja ohjelma soveltuu hyvin jopa pieniin sulautettuihin laitteisiin. Tietokannan käyttöönotto on tehty helpoksi, koska ohjelma ei vaadi käyttäjältä ollenkaan asetusten määrittämistä. Tietokantasovellusta ei myöskään tarvitse ajaa taustaprosessina kuten tyypillisesti muissa tietokannoissa on tapana.

Sqlite-tietokantaa käytetään hyvin laajalti eri ohjelmissa useilla eri käyttöjärjestelmillä, mm. Mozilla Firefox ja Google Chrome käyttävät Sqlite-tietokantaa tiedon tallennukseen (Sqlite. b). Tietokannan käsittelynopeus vaikuttaa hyvin paljon ohjelman kokonaissuorituskykyyn. Ohjelmasta riippuen tietokanta voi vaatia paljon tiedon lukemista ja kirjoittamista tallennuslevylle.

Suoritin suorituskykymittauksen kolmella muistikortilla, joissa oli identtiset asetukset ja ohjelmistoversiot. Testissä käytin Sqlite-ohjelman versiota 3.7.13. Apuna mittauksissa käytin

speedtest.tcl skriptiä. Skriptitiedosto löytyy Sqlite:n virallisesta lähdekoodipaketista. Skripti luo 15 erilaista tietokantatestiä, jotka sisältävät erilaisia tietokantatoimintoja tiedon kirjoittamisesta tiedon lukemiseen. Ajoin kaikki testit kolmesti jokaisella muistikortilla ja kirjasin testissä kuluneen kokonaisajan. Tämän jälkeen laskin kolmen testin perusteella keskiarvon.

Kuviossa kolme nähdään erot muistikorttien välillä tietokantatestissä. Parhaimman tuloksen testeistä sai SanDisk Extreme -muistikortti. Etenkin kirjoitusnopeutta vaativissa tehtävissä SanDisk Extreme -muistikortti oli muita muistikortteja selvästi nopeampi. Ensimmäisessä testissä kirjoitetaan tuhat riviä tietoa tietokantaan. Testin nopeimmin suorituneella SanDisk Extreme -muistikortilla kului testiin keskiarvoltaan 29 sekuntia. SanDisk Ultra Class 10:lta meni 46 sekuntia ja testin hitaimmalta SanDisk Ultra Class 4 muistikortilta 52 sekuntia.



Kuvio 3: Tietokantatesti.

Muissa testeissä ei tullut suurempia eroja korttien välillä. Lukunopeuksien osalta Raspberry Pi:n muistikortin siirtonopeus tuli jälleen rajoittavaksi tekijäksi. Jokainen muistikortti saavutti väylän maksiminopeuden lukutesteissä eikä selviä eroja päässyt muistikorttien välillä syntymään. Erot muistikorttien välillä selittyvät kirjoitusnopeuksissa. Jos Raspberry Pi:lla on tarkoitus ajaa sovelluksia, jotka vaativat paljon kirjoitustoimintoja tietokantaan, on suositeltavaa hankkia nopean kirjoitusnopeuden omaava muistikortti.

#### 5.4.3 Käynnistymisaikat eri muistikorttien välillä

Tutkin Raspberry Pi:n käynnistysaikaa Raspbian-käyttöjärjestelmää käyttäen. Kirjoitin Raspbian-käyttöjärjestelmän muistikorteille ja laitoin identtiset asetukset kaikille muistikorteille. Asetin käyttöjärjestelmän käynnistymään graafiseen käyttöliittymään tekstikonsolin sijaan.

Graafisen käyttöliittymän käynnistäminen vaatii enemmän tiedon lukemista muistikortilta verrattuna pelkän tekstiterminaalin lataamiseen. Otin sekuntikellolla aikaa virrankytkemistä kunnes Raspbian-käyttöjärjestelmä on käynnistynyt graafiseen käyttöliittymään. Päätin ajanoton siihen, kun työpöytä ja ikonit olivat ilmestyneet näytölle. Toistin testin kolmesti, jotta mittaustulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoiset sekä ajanoton epätarkkuus tasoittuu. Tämän jälkeen laskin keskiarvot kolmen mittauksen perusteella.

Käynnistysajat olivat käytännössä identtiset kaikilla kolmella muistikortilla, kuten nähdään taulukossa yksi. Muistikortin lukunopeuden lisäksi hakuajalla on käynnistyksessä merkitystä. Lukunopeuksissa Raspberry Pi:n muistikortin väylä oli rajoittava tekijä. Kirjoitustoimintoja ei tapahdu paljoa käynnistyksessä ohjelmien lataamisen yhteydessä eikä nopeasta kirjoitusnopeudesta ollut hyötyä käynnistyksessä. Näillä kolmella eri muistikorteilla on melko identtiset lukunopeudet sekä hakuajat Raspberry Pi tietokoneella eikä tämän takia synny merkittäviä korttien välillä. Erot muistikorttien välillä olivat vain yhden sekunnin luokkaa, mikä on hyvin vähän. Lisäksi mittaus sekuntikellolla voi aiheuttaa pientä epätarkkuutta mittaustuloksiin.

Muistikortti	Keskimääräinen käynnistymisaika työpöydälle
SanDisk Extreme Class 10	38 sekuntia
SanDisk Ultra Class 4	39 sekuntia
SanDisk Ultra Class 10	39 sekuntia

Taulukko 1: Käynnistymisajat.

## 6 Mahdolliset ongelmat Raspberry Pi:ssa

Tässä luvussa käyn läpi ongelmia, joita voidaan kohdata Raspberry Pi -kokoontenossa. Tutustuin muistikorttien enimmäiskirjoitusmääriin ja keinoja kirjoitusaktiivisuuden vähentämiseen Linux-käyttöjärjestelmässä. Kerron ongelmista, joita olen havainnut kymmenien Raspberry Pi -kokoontenonjen kasaamisen perusteella. Ongelmat yleensä liittyivät muistikorttiin ja sen toimintaan.

## 6.1 Muistikortin rajoitettu kirjoitusmäärä

Raspberry Pi käyttää tallennusmediana muistikorttia, joka perustuu flash-muistiin. Flash-muisteilla on rajattu kirjoitusmäärä eikä rajan ylityksen jälkeen kortille voida enää tallentaa uutta tietoa. Tietoa voidaan tosin lukea kortilta rajoittamattomasti eikä lukeminen kuluta muistikorttia. Kirjoitusmäärät vaihtelevat eri valmistajien välillä. Valmistaja SanDisk ilmoittaa SD-korttien teknisissä tiedoissa muistikortin kestävän 100 000 kirjoituskertaa per sektori (SanDisk Corporation. 2004). Kortin pitäisi kestää kymmenen vuotta, vaikka se kirjoitetaan täyteen kolmesti tunnissa, kahdeksan tuntia päivässä ja 365 päivää vuodessa.

Kortin lukemis- ja kirjoitusaktiivisuutta voidaan tarkastella iotop nimisellä ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan seurata kuinka paljon tietyt ohjelmat kirjoittavat tai lukevat tietoja. Raspbian käyttöjärjestelmä ei sisällä vakiona tätä ohjelmaa. Asennus onnistuu komennolla ”apt-get install iotop”.

Kortin ennenaikaista kulumista voidaan rajoittaa vähentämällä ohjelmien kirjoitustarvetta. Varsinkin ohjelmien lokitiedostojen jatkuva kirjoittaminen muistikortille kuluttaa muistikorttia. Jatkuva kirjoittaminen voi hidastaa laitteen suorituskykyä. Usein lokitiedostojen tasoa voidaan muuttaa. Tasot määrittävät mitä tapahtumia kirjoitetaan lokitiedostoon. Lokitiedostoon kirjoitetaan tapahtumat jotka täsmäävät tai ylittävät ennalta määritetyn tason.

## 6.2 Heittotiedoston käytön vähentäminen

Keskusmuistin loppuminen voi koitua ongelmaksi Raspberry Pi:ssa, jos laitteella ajetaan paljon keskusmuistia vaativia ohjelmia. Linux-käyttöjärjestelmä pyrkii estämään ohjelmien kaatumisen keskusmuistin loputtua kirjoittamalla keskusmuistin sisältöä heittotiedostoon tai heitto-osiolle. Raspbian käyttöjärjestelmässä heittotiedot kirjoitetaan tiedostoon, joka sijaitsee Raspberry Pi:n muistikortilla.

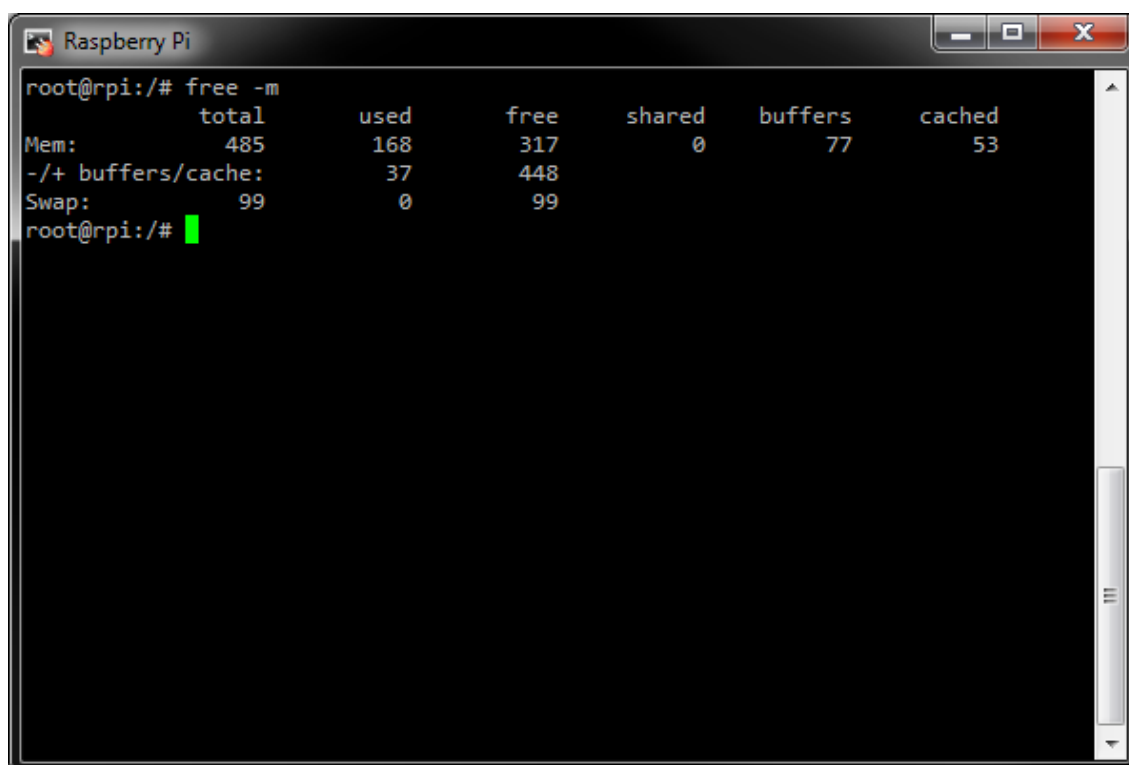
Kirjoittaminen ja lukeminen muistikortilta on todella hidasta verrattuna laitteen keskusmuistiin. Tietojen lukeminen muistikortilta keskusmuistiin tai kirjoittaminen keskusmuistista muistikortille hidastaa merkittävästi laitteen toimintaa. Samalla jatkuva kirjoittaminen kuluttaa muistikorttia ja vähentää kortin elinikää vuosien saatossa.

Linuxissa on mahdollista säätää arvoa, jolla voidaan hallita, kuinka aggressiivisesti käyttöjärjestelmä alkaa käyttää heittotiedostoa, kun keskusmuisti alkaa loppua. Raspbian käyttöjärjestelmässä tätä arvoa ohjataan merkinnällä ”vm.swappiness = X” joka lisätään tiedostoon /etc/sysctl.conf . Korvaa X numerolla, joka on 0 - 100 väliltä. Mitä korkeampi luku, sitä aikaisemmin Linux alkaa kirjoittaa heittotiedostoon, vaikka vapaata keskusmuistia olisikin



jäljellä. Arvo 0 poistaa heittotiedon käytön kokonaan, vaikka heittotiedosto tai heitto-osio on määritetty käyttöön. Asettamalla arvon matalalle, esimerkiksi arvoksi 1, voidaan vähentää heittotiedon käyttöä ja ehkäistä muistikortin enneaikaista kulumista. Raspbian-käyttöjärjestelmässä tämän arvo on vakiona 1. (GitHub 2014.)

Heittotiedoston käyttöä voidaan tarkkailla komennolla ”free -m”, kuten nähdään kuvassa 13. Kuvan esimerkissä nähdään heittotiedoston koko, joka on 99 megatavua. Heittotiedostosta on vapaana 99 megatavua, eli heittotiedostoa ei ole käytetty ollenkaan.



```

Raspberry Pi
root@rpi:/# free -m
              total        used        free      shared    buffers     cached
Mem:           485          168          317           0           77           53
-/+ buffers/cache:           37          448
Swap:           99             0           99
root@rpi:/#

```

Kuva 13: Heittotiedoston käyttö.

### 6.3 Tiedostojärjestelmän korruptoituminen

Raspberry Pi:ssa voi esiintyä muistikortin tiedostojärjestelmän korruptoitumista, joka voi estää kokonaan käyttöjärjestelmän käynnistymisen. Lievimmissä tapauksissa vain osa tiedostojärjestelmästä on korruptoitunut. Tiedostojärjestelmän tarkistus käynnistyksen yhteydessä onnistuu usein korjaamaan tilanteen.

Tiedostojärjestelmän korruptoitumista esiintyy myös perinteisissä pöytätietokoneissa sekä kannettavissa tietokoneissa. Raspberry Pi on kuitenkin hieman herkempi korruptoitumiselle. Syitä on useita. Heikko tai alimitoitettu virtalähde sekä liikaa virtaa vievät USB-laitteet voivat aiheuttaa korruptoitumisen. Muistikortin yhteensopivuusongelma voi myös aiheuttaa ongelmia

Raspberry Pi:n kanssa. Huonolaatuinen tai alimitoitettu virtalähde voi aiheuttaa luku- ja kirjoitusvirheitä jännitteen laskiessa.

Luku- tai kirjoitusvirheen tapahtuessa pitäisi Linux-kernelin lokeihin ilmestyä viitteitä ongelmasta. Samoin liikaa virtaa vievät USB-laitteet voivat aiheuttaa saman ongelman. Raspberry Pi pitäisi aina sammuttaa hallitusti komennolla halt tai sammuttaa laite graafisesta käyttöliittymästä. Sähköjen äkillinen katkeaminen, sähkökatko tai virtajohdon irrottaminen voi korruptoida tiedostojärjestelmän, mikäli laitteella on kesken kirjoitusoperaatiot muistikortille. Tiedostovälimuistissa olevaa tietoa ei voida kirjoittaa muistikortille, jos laitteelta katkeaa virta. Raspberry Pi:n ylikellottaminen voi myös aiheuttaa muistikortin korruptoitumista.

#### 6.4 Muistikortin korruptoitumisen toteaminen

Olen havainnut muistikortin korruptoitumista kahdessa eri Raspberry Pi -tietokoneessa. Muistikorttina oli SanDiskin valmistama SanDisk Ultra 8 Gt Class 10 MicroSD-kortti. Korruptoitumiset alkoivat viikkojen kuluttua käyttöönotosta ja havaitsin ongelman ylläpitoskriptillä, joka kerää tarpeellisia tietoja laitteelta. Lokiin oli tulostunut virheitä, jotka viittasivat ongelmiin muistikortin luku- ja kirjoitusyrityksissä. Nämä olivat ensimmäiset vikaantuvat muistikortit omalla kohdallani. Samoja kortteja on käytössä useissa kymmenissä Raspberry Pi laitteissa. Laitteet ovat ympärivuorokautisessa käytössä ja osa laitteista ollut käytössä jo reilun vuoden ajan. Näissä muissa laitteissa ei ole ilmennyt ongelmia, vaikka muistikortit ovat samoja ja samalla kokoonpanolla. Kuvassa 14. on esimerkki laitteen Linux-kernel lokista. Virheilmoitukset mmc0 ja mmcblk0 liittyvät muistikortin lukemiseen ja kirjoittamiseen. Nämä virheet jatkuivat säännöllisesti, kunnes muistikortti korruptoitui liikaa ja käyttöjärjestelmä kaatui.

```
[5457167.675627] mmc0: resetting ongoing cmd 18DMA before 4096/4096 [1]/[1] complete
[5457167.677929] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 12967936, nr 8, cmd response 0x900, card status 0x80b00
[5457167.677951] mmcblk0: retrying using single block read
[5457167.681619] mmc0: DMA IRQ E ignored - results were reset
[5457167.681689] mmc0: resetting ongoing cmd 18DMA before 512/512 [1]/[1] complete
[5457167.682112] mmc0: DMA IRQ E ignored - results were reset
[5457167.682161] mmc0: resetting ongoing cmd 18DMA before 512/512 [1]/[1] complete
[5457167.682520] mmc0: DMA IRQ E ignored - results were reset
[5457167.682592] mmc0: resetting ongoing cmd 18DMA before 512/512 [1]/[1] complete
[5457167.682954] mmc0: DMA IRQ E ignored - results were reset
[5457167.683005] mmc0: resetting ongoing cmd 18DMA before 512/512 [1]/[1] complete
[5457170.369718] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 12967940, nr 4, cmd response 0x900, card status 0x80b00
[5457170.369753] end_request: I/O error, dev mmcblk0, sector 12967940
[5457173.056396] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 12967941, nr 3, cmd response 0x900, card status 0x80b00
[5457173.056433] end_request: I/O error, dev mmcblk0, sector 12967941
[5457175.743088] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 12967942, nr 2, cmd response 0x900, card status 0x80b00
[5457175.743124] end_request: I/O error, dev mmcblk0, sector 12967942
[5457178.429794] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 12967943, nr 1, cmd response 0x900, card status 0x80b00
[5457178.429830] end_request: I/O error, dev mmcblk0, sector 12967943
[5457178.429976] mmc0: DMA IRQ E ignored - results were reset
[5457188.448555] mmc0: Timeout waiting for hardware interrupt - cmd25.
[5457188.448598] mmc0: resetting ongoing cmd 25DMA before 4096/4096 [1]/[1] complete
[5457188.451809] mmcblk0: error -110 transferring data, sector 3855408, nr 8, cmd response 0x900, card status 0xc00
[5457188.452580] mmc0: DMA IRQ 6 ignored - results were reset
[5459597.560067] EXT4-fs error (device mmcblk0p2): htree_dirblock_to_tree:861: inode #31139: block 9882: comm tar: bad entry
in directory: rec_len is smaller than minimal - offset=0(0), inode=0, rec_len=0, name_len=0
[5459597.671486] EXT4-fs error (device mmcblk0p2): __ext4_ext_check_block:475: inode #1995: comm tar: bad header/extent: in
valid magic - magic 0, entries 0, max 0(0), depth 0(0)
[5459597.704250] EXT4-fs error (device mmcblk0p2): __ext4_ext_check_block:475: inode #1995: comm tar: bad header/extent: in
valid magic - magic 0, entries 0, max 0(0), depth 0(0)
```

Kuva 14: Kuvankaappaus Linux kernel-lokista.

Otin tarkempaan testaukseen pari viallista MicroSD-korttia jotka olin todennut korruptoivan laitteen tiedostojärjestelmää. Tyhjensin muistikortit ja ajoin pari kertaa badblocks-ohjelman, joka kirjoittaa kortin täyteen ennalta määritetyllä tiedolla ja kirjoituksen jälkeen vertaa kirjoitettua tietoa ennalta määritettyyn tietoon. Ohjelma ilmoittaa, jos luettu tieto poikkeaa kirjoitetusta tiedosta. Poikkeavuus kertoo, että kortissa on vikaa eikä tieto pysy kortilla yhtenäisenä. En havainnut virheitä kummallakaan muistikortilla. Tämän jälkeen kirjoitin kortille Raspbian käyttöjärjestelmän uudestaan ja laitoin kortit eri Raspberry Pi -laitteisiin, jotta voim poissulkea vian johtuvan edellisestä Raspberry Pi -laitteistosta. Ensi alkuun kortit näyttivät toimivan moitteetta, mutta muutamien päivien jälkeen samat virheet ilmestyivät käyttöjärjestelmän kernel-lokiin. Tämä viittaa vahvasti siihen, että vika oli muistikorteissa. Molemmat muistikortit olivat samasta tilauserästä. On mahdollista, että kyseessä on huono valmistuserä, joka aiheutti ongelmat kyseisillä muistikorteilla.

## 6.5 Muistikorttipaikan löystyminen

Vanhemmissa malleissa - malleissa A ja B - olen havainnut ongelmia Raspberry Pi:n -muistikorttipaikan löystymisessä. Löystymisen voi havaita muistikorttia laittaessa muistipaikkaan. Väljässä muistikorttipaikassa voi tuntea muistikortin liikkuvan melko paljon ylös- ja alaspäin kun korttia heiluttaa. Samoin väljässä muistikorttipaikassa ei tunnu juurikaan vastusta, kun muistikortti työnnetään muistikorttipaikkaan. Ongelma voidaan havaita, kun Raspberry Pi ei käynnisty ollenkaan vaikka muistikortti on toimiva ja todettu toimivaksi toisessa laitteessa.

Luultavasti ongelma johtuu muistikorttipaikan kontaktipintojen kulumisesta, jotka ajan kuluessa painuvat hieman kasaan. Kontaktipinnejä Raspberry Pi:ssa voi yrittää varovasti nostaa neulalla, jotta kontaktipinnat nousisivat hieman ylöspäin ja mahdollistaisivat paremman kontaktin muistikorttiin. Riskinä on kuitenkin pinnien vaurioituminen. En ole kuitenkaan onnistunut kontaktipinnien nostamisessa. Sen sijaan olen kiertänyt ongelman laittamalla muistikortin kokoisen ohuen paperin- tai pahvinpalan muistikortin selkäpuolelle. Ohut pala muistikortin päällä tekee muistikorttipaikasta jämekämmän sekä parantaa kontaktia kontaktipintojen välillä. Tämän jälkeen Raspberry Pi on käynnistynyt ongelmitta jokaisella käynnistyskerralla. Uudessa malli B+ :ssa ei tätä ongelmaa ole uuden MicroSD-muistikorttipaikan ansiosta.

## 6.6 USB-laitteiden kytkemisongelma

Vanhemmissa Raspberry Pi -malleissa eli malli A:ssa ja malli B:ssä voi tulla ongelmia joidenkin USB-laitteiden hotplug toiminnan kanssa. USB-laitteiden hotplug toiminto mahdollistaa laitteen kytkemisen ja käyttöönoton tietokoneeseen virran ollessa päällä. Tietokone osaa ottaa laitteen käyttöön laitteen kytkemisen jälkeen. Raspberry Pi:ssa enemmän virtaa vaativien

USB-laitteiden hotplug kytkentä voi aiheuttaa tietokoneen kaatumisen ja uudelleenkäynnistymisen jännitelaskun takia.

Omien kokemusten perusteella Element14 valmistama WiPi-niminen WiFi USB-laite aiheuttaa Raspberry Pi:n kaatumisen, kun WiFi laite kytketään kiinni tietokoneen ollessa käynnissä. Uudessa Model B+ -mallissa on paranneltu USB-väylän virransyöttöä ja hotplug toimivuutta. WiPi toimii moitteetta uudemmassa Model B+ -mallissa kaatuilematta.

## 7 Etähallinta SSH- ja VPN-palvelua käyttäen

Tässä luvussa käyn läpi Raspberry Pi:n etähallintaa Internetin yli. Etähallinta tuo ylläpitäjälle mahdollisuuden hallita Raspberry Pi tietokonetta Internetin yli. Ylläpitäjä voi hallita laitetta verkon yli aivan kuin käyttäisi laitetta paikallisesti. Laitteelle voidaan ajaa ohjelmistosta uudempi versio ja käyttöjärjestelmän ohjelmistot voidaan päivittää. SSH-protokollalla voidaan ottaa etähallinta yhteys laitteen komentoriviterminaaliin. Tiedostojen siirtäminenkin onnistuu laitteiden välillä SSH-palveluun sisäänrakennetulla SFTP-protokollalla (Raspberry Pi. f). Graafisen käyttöliittymän etähallinta on myös mahdollista VNC protokollalla. Käyn tässä luvussa läpi SSH etähallinnan käyttöönoton. Lisäksi käyn läpi miten VPN-tunnelointi voi auttaa yhteyden muodostamisessa etähallittavaan tietokoneeseen. (Raspberry Pi. g.)

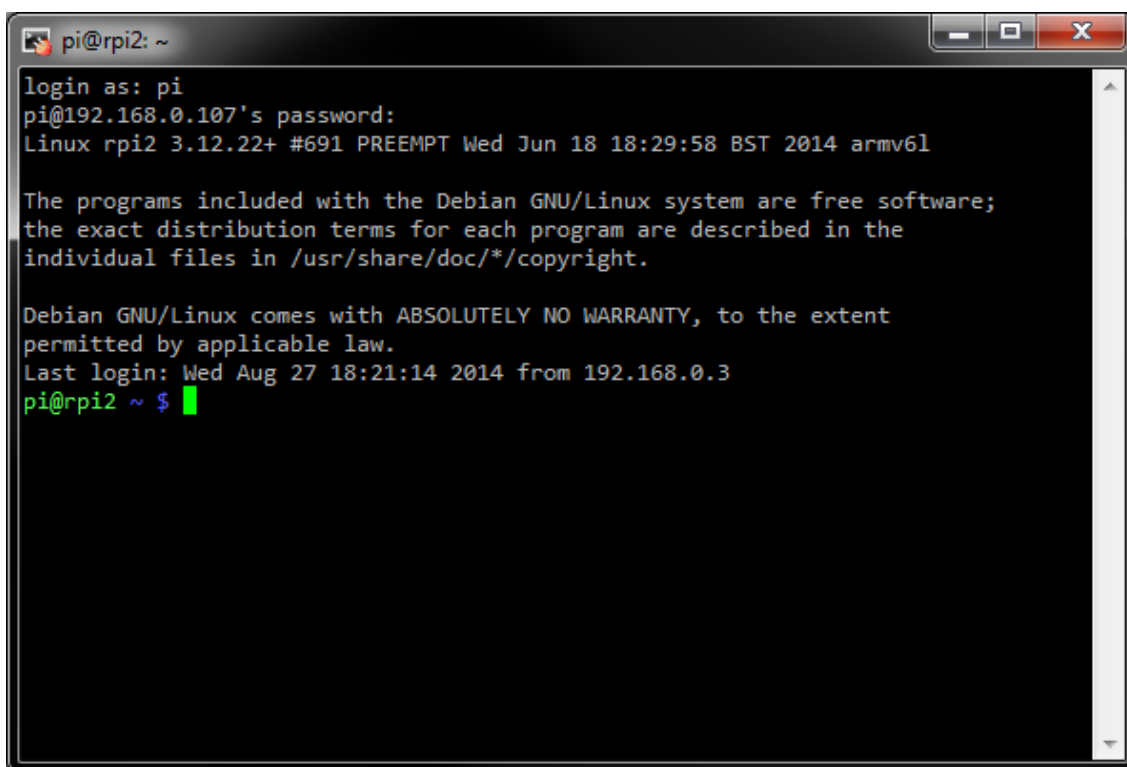
### 7.1 SSH-palvelun käyttöönotto

Raspbian-käyttöjärjestelmässä on valmiiksi asennettu OpenSSH-palvelinohjelma, jonka käyttöönotto onnistuu helposti raspi-config -asennusohjelmalla. Asennusohjelmaan päästään komentamalla ”sudo raspi-config”. Eteen avautuu valikko josta valitaan ”8 Advanced Options” ja tämän jälkeen mennään kohtaan ”A4 SSH”. Ohjelma kysyy, halutaanko SSH-palvelu kytkeä päälle. Kuvassa 15. valitaan ”Enable” ja asennusohjelma hoitaa SSH-palvelun käyttöönoton ja käynnistämisen.



Kuva 15: SSH-palvelun käyttöönotto.

Asennusohjelma lisää SSH-palvelun käynnistymään automaattisesti käynnistyksen yhteydessä. Nyt SSH-palvelu on käynnissä ja valmiina ottamaan yhteyksiä vastaan TCP portissa 22. Laitteeseen voidaan ottaa yhteys millä tahansa SSH-asiakasohjelmalla. Windows alustalle suosittu yhteysohjelma on Putty. Kuvassa 16. on otettu SSH-yhteys Putty-asiakasohjelmalla. Linux ja Mac OS X eivät vaadi yleensä erillisiä yhteysohjelmia. SSH-asiakasohjelmia on myös saatavilla älypuhelimelle. Linuxissa ja OS X:ssä voidaan yhteys muodostaa komentoriviltä komennolla ”ssh”. Ohjelmalle annetaan parametrina ”käyttäjänimi@ip-osoite”. Esimerkiksi otetaan yhteys Raspberry Pi tietokoneeseen joka sijaitsee IP-osoitteessa 192.168.0.107 ja yhdistetään vakiokäyttäjänä ”pi”. Komennoksi muodostuisi ”ssh pi@192.168.0.107”. Yhteyden muodostettua SSH-palvelu tarjoaa käyttäjälle terminaalin, jolla voidaan hallita laitetta samalla tavalla kuin paikallisesti terminaalista.



```
pi@rpi2: ~
login as: pi
pi@192.168.0.107's password:
Linux rpi2 3.12.22+ #691 PREEMPT Wed Jun 18 18:29:58 BST 2014 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Wed Aug 27 18:21:14 2014 from 192.168.0.3
pi@rpi2 ~ $
```

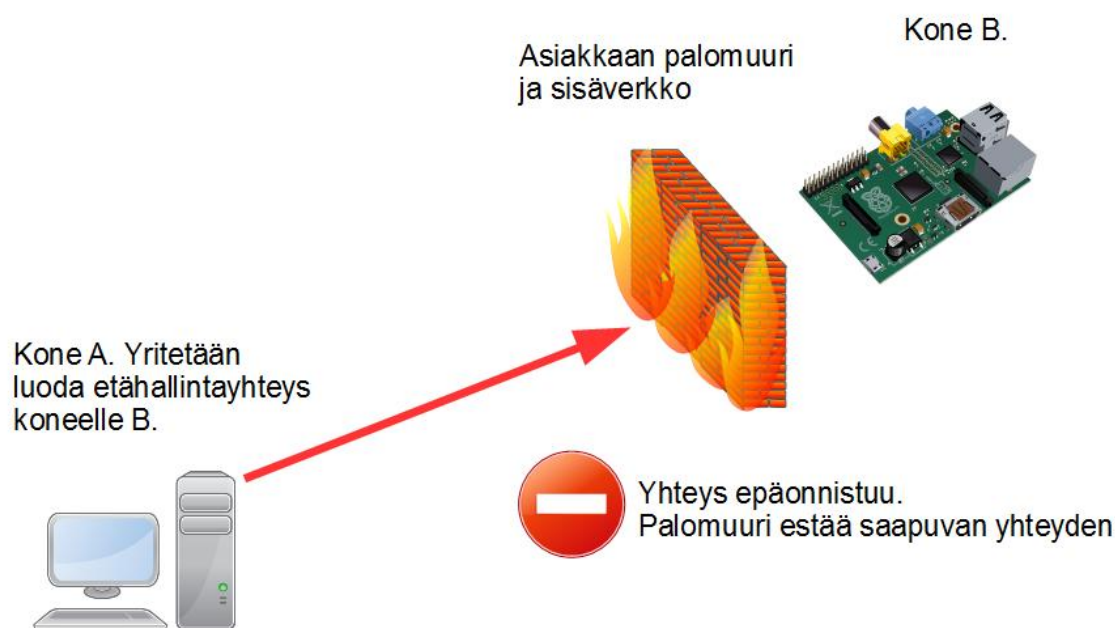
Kuva 16: SSH-yhteys.

## 7.2 Palomuuriongelmat ja niiden kiertäminen

Etähallintayhteyden muodostaminen Internetin yli voi olla ongelmallista useiden syiden takia. Internetin yli yhteyden muodostaminen vaatii kohdepalvelimelta julkista IP-osoitetta tai kohdereitittimen asetusten muuttamista, joka sallii porttien uudelleenohjaamisen kohdepalvelimelle. Reitittimen palomuurisääntöjä joudutaan mahdollisesti muuttamaan sallimaan tarvittavat yhteydet. Varsinkin jos laite kytketään asiakkaan verkkoon, voi nämä muutokset olla asiakkaalle kohtuuttomia ja hankalasti toteutettavissa. Porttien uudelleenohjaus heikentää

tietoturvaa, koska palvelu on avoinna julkiseen verkkoon. Tietomurron yhteydessä hyökkääjä voi saada pääsyn sisäverkon laitteisiin. Jokainen avoin portti Internetiin heikentää tietoturvaa, koska hyökkääjällä on enemmän vaihtoehtoja hyökkäyksen toteuttamiseen.

Kuvassa 17. kone A yrittää luoda etähallintayhteyden koneeseen B, joka sijaitsee asiakkaan sisäverkossa ja palomuurin takana. Yhteys epäonnistuu, koska palomuuuri ei salli yhteyttä eikä portin uudelleenohjausta ole määritetty.



Kuva 17: Etäyhteys ilman VPN-tunnelia.

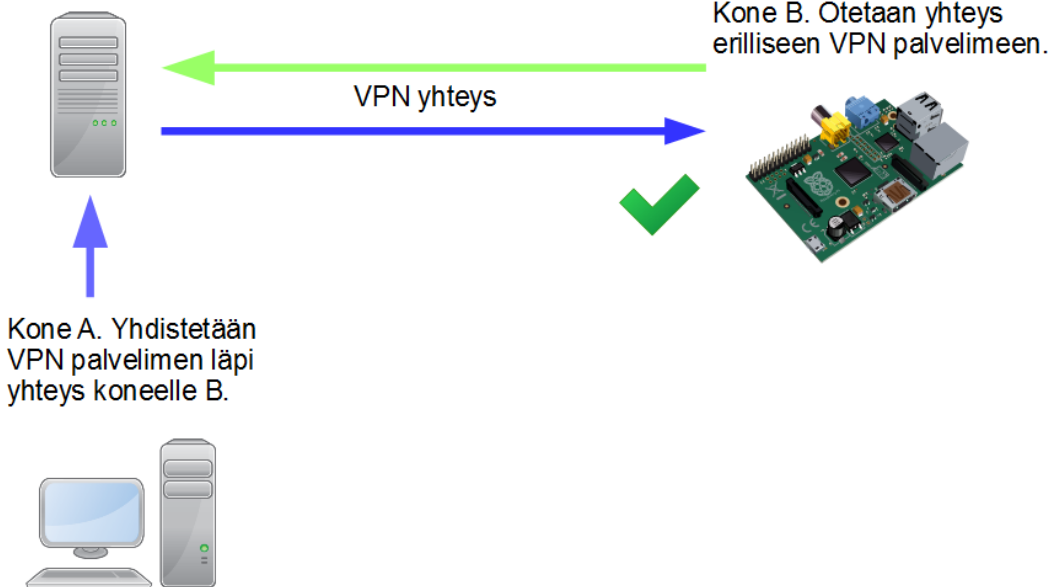
Yhteysongelma on kuitenkin kierrettävissä melko helposti. Tässä tapauksessa ei oteta yhteyttä Raspberry Pi laitteeseen vaan Raspberry Pi ottaa yhteyden meidän omaan erilliseen VPN-palvelimeen, joka on valmiina ottamaan saapuvia yhteyksiä vastaan Internetistä. Kuvassa 18. nähdään yhteyden muodostaminen VPN-tunnelin avulla. Ylläpitäjä ottaa koneelta A yhteyden koneelle C, jossa ajetaan VPN-palvelua, johon kone B on jo luonut VPN-tunnelin. Koneelta C pystytään yhdistämään koneelle B, vaikka laite olisi palomuurin takana.

Asiakkaan palomuuuriin ei tarvitse avata portteja sisäänpäin tulevalle liikenteelle. Mahdollisesti asiakkaan verkossa pitää sallia yhteyden muodostaminen ulospäin VPN-palvelimeen. VPN-palvelimen VPN-palvelu voidaan asettaa toimimaan TCP-protokollan porttiin 80 (HTTP) tai 443 (HTTPS). Nämä portit ovat tyypillisesti sallittuja ulospäin, koska ilman näitä portteja ei pystytä luomaan yhteyttä selaimella verkkosivuihin. Salaamattomat HTTP-protokollan verkkosivut kuuntelevat portissa 80. Salatut HTTPS-protokollan verkkosivut toimivat portissa 443. Tämän

jälkeen ylläpitäjä voi ottaa etähallintayhteyden VPN-palvelimelta Raspberry Pi-laitteisiin SSH- tai VNC-yhteydellä.

Kone C. VPN palvelin.

Sallitaan saapuvat yhteydet VPN palveluun.



Kuva 18: Etäyhteys VPN-tunnelia käyttäen.

## 8 Tietoturvan parantaminen

Tässä luvussa käsitellään tapoja, joilla tietoturvaa voidaan lisätä ja käydään läpi asioita, jotka pitää ottaa huomioon, kun laite kytketään julkiseen verkkoon. Haavoittuvainen järjestelmä voi altistaa koko sisäverkon tietomurroille. Luvussa käydään läpi tapoja, joilla voidaan parantaa SSH-palvelun tietoturvaa entisestään.

### 8.1 Verkkoa käyttävien prosessien listaus

Linuxissa komennolla "netstat" voidaan seurata prosesseja jotka ottavat yhteyksiä vastaan. Komennolla "sudo netstat -ap" tulostuu listaus muodostuneista yhteyksistä ja ohjelmista, jotka ovat luoneet yhteyksiä. Parametri "a" listaa kaikki yhteydet ja parametri "p" selvittää yhteyttä käyttävän ohjelman nimen.

Kuvassa 19. ajetaan komento "sudo netstat -ap", jolla nähdään ohjelmat jotka kuuntelevat yhteyksiä. Kuvassa nähdään korostettuna Raspberry Pi:n kuuntelevan yhteyksiä TCP-protokollan porteissa 80 Nginx ja portissa 22 sshd-palvelu.

```

pi@rpi2: ~
Active Internet connections (servers and established)
Proto Recv-Q Send-Q Local Address           Foreign Address         State       PID/Program name
tcp        0      0 0.0.0.0:80             0.0.0.0:*               LISTEN      2521/nginx
tcp        0      0 0.0.0.0:22             0.0.0.0:*               LISTEN      2061/sshd
tcp        0      0 192.168.0.107:22       192.168.0.3:51513      ESTABLISHED 2149/sshd: pi [priv
udp        0      0 0.0.0.0:68            0.0.0.0:*               *          1955/dhclient
udp        0      0 192.168.0.107:123     0.0.0.0:*               *          2025/ntpd
udp        0      0 127.0.0.1:123         0.0.0.0:*               *          2025/ntpd
udp        0      0 0.0.0.0:123          0.0.0.0:*               *          2025/ntpd
udp        0      0 0.0.0.0:22289        0.0.0.0:*               *          1955/dhclient
Active UNIX domain sockets (servers and established)
Proto RefCnt Flags               Type           State         I-Node  PID/Program name  Path
unix    2      [ ]                 DGRAM          *             2459    1874/thd           /var/run/thd.socket
unix    8      [ ]                 DGRAM          *             2479    1876/rsyslogd      /dev/log
unix    2      [ ACC ]             STREAM        LISTENING     2551    1981/dbus-daemon   /var/run/dbus/system_bu
unix    2      [ ACC ]             SEQPACKET     LISTENING     508     157/udev           /run/udev/control

```

Kuva 19: Netstat listaus.

## 8.2 SSH-palvelun tietoturvan parantaminen

SSH on ylläpidon kannalta lähes välttämätön palvelu. SSH-yhteydellä saadaan luotua komentoriviterminaali ja saadaan täysi kontrolli laitteeseen. SSH-palvelu on tärkeä suojata mahdollisimman hyvin. Raspbian-käyttöjärjestelmässä SSH-palvelun asetustiedosto löytyy polusta `"/etc/ssh/sshd_config"`. Tiedostoa päästään muokkaamaan tekstieditorilla. Käytän esimerkiksi nano-tekstieditoria. Tiedoston muokkaamiseen tarvitaan root-tason oikeudet, jonka saadaan komennolla `sudo`. Ajamalla komento `"sudo nano /etc/ssh/sshd_config"` päästään muokkaamaan tiedostoa.

### 8.2.1 Vakioportin vaihtaminen ja Fail2Ban-ohjelman käyttöönotto

Vakiona SSH-palvelu kuuntelee TCP-protokollan portissa 22. Portin muuttaminen onnistuu vaihtamalla asetustiedostossa arvo kohdassa `"Port 22"`. Tämän vakioportin muuttaminen voi olla suotavaa, jos laitetta pidetään julkisessa IP-osoitteessa Internetissä. Portin vaihtaminen vakioportista vähentää bottiverkkojen hyökkäysten määrää, koska bottiverkko ei välttämättä tunnista, mitä prosessia ajetaan kyseisessä portissa. Bottiverkot tutkivat Internetissä olevia laitteita ja tutkivat, mitä portteja laitteella on avoinna. Bottiverkko yrittää systemaattisesti hyökätä porttiin 22, kun se on havaittu avoimeksi.

Bottiverkkojen estämiseen voidaan ottaa avuksi Fail2ban-ohjelma. Fail2ban on tietoturvaohjelman, joka laittaa hyökkääjän IP-osoitteen estolistalle, kun IP-osoitteesta on tullut liian monta epäonnistunutta kirjausyritystä. Fail2ban lisää estetyn IP-osoitteen palomuurisääntöihin. Raspbian-käyttöjärjestelmässä fail2ban onnistuu helposti komennolla `"sudo apt-get install fail2ban"`. Tämän jälkeen Fail2ban-ohjelman asetuksia pääsee vaihtamaan Raspbian-käyttöjärjestelmässä menemällä kansioon `"/etc/fail2ban/jail.conf"`, jossa asetustiedostot sijaitsevat. Asetuksia ei tarvitse muuttaa, jos halutaan Fail2ban-ohjelman seuraavaan pelkäs-



tään SSH-palvelun kirjautumisyriytyksiä. Fail2ban voidaan integroida muihinkin palveluihin, mm. VPN- ja sähköpostipalveluun.

### 8.2.2 Root-tunnuksella kirjautumisen estäminen

Tietoturva voidaan lisätä estämällä sisäänkirjautuminen root-tunnuksella. Linux-käyttöjärjestelmissä root-tunnuksella on pääkäyttäjän oikeudet. Hyökkääjä olettaa root-tunnuksen löytyvän järjestelmästä, jos tunnistetaan kohteen olevan Linux-käyttöjärjestelmä. Jos hyökkääjä onnistuu murtamaan root-tunnuksen salasanan, on hyökkääjällä täydet oikeudet käyttöjärjestelmään.

SSH-palvelun asetustiedostosta voidaan muuttaa merkintä "PermitRootLogin yes". Korvaataan kohta "yes" arvolla "no". Tämä muutos ei estä käyttäjien ajamasta komentoja root-tunnuksella, mutta estää hyökkääjän sisäänpääsyä root-tunnuksella.

### 8.2.3 Kirjautuminen ilman salasanaa käyttäen SSH-salausavainta

SSH-palvelu mahdollistaa kirjautumisen ilman salasanoja käyttäen salausavaimia. Kirjautuminen voidaan suorittaa pelkällä varmenneavaimella eikä salasanaa tarvitse syöttää kirjauksen yhteydessä. Varmenneavaimet voidaan luoda komennolla "ssh-keygen -t rsa -b 2048", joka ajetaan koneella jossa ajetaan SSH-palvelua. Tämä esimerkkikomento luo vahvan 2048 bittisen varmenteen käyttäen RSA-salausalgoritmia. Ohjelma kysyy käyttäjältä salasanaa, joka vaaditaan kirjautumisessa varmenteen lisäksi. Salasanaa ei tarvitse syöttää jos halutaan kirjautumisen tapahtuvan pelkästään varmenteella. Ohjelma luo kaksi varmennetiedostoa, salaisen ja julkisen salausavaimen. Salainen salausavain pidetään asiakaskoneella, jolla otetaan yhteys palvelinkoneeseen, jossa ajetaan SSH-palvelua. Julkinen salausavaimen sisältö tallennetaan palvelinkoneelle käyttäjän ".ssh/authorized\_keys" tiedostoon.

Raspbian-käyttöjärjestelmässä oletuskäyttäjänä on pi eli tässä tapauksessa täydellinen polku tiedostolle olisi "/home/pi/.ssh/authorized\_keys". Kun kirjautuminen on todettu onnistuneeksi käyttäen varmennetta, voidaan estää SSH-palvelun asetuksista kirjautuminen pelkällä salasanalla. Salasanan poistaminen käytöstä estää tehokkaasti bottiverkkojen brute-force-hyökkäykset, joissa yritetään järjestelmällisesti murtautua kohteeseen eri salanoilla. SSH-palveluun ei voi kirjautua, jos asiakaspäätteen salainen varmenneavain ei täsmää SSH-palvelun julkiseen varmenneavaimen.

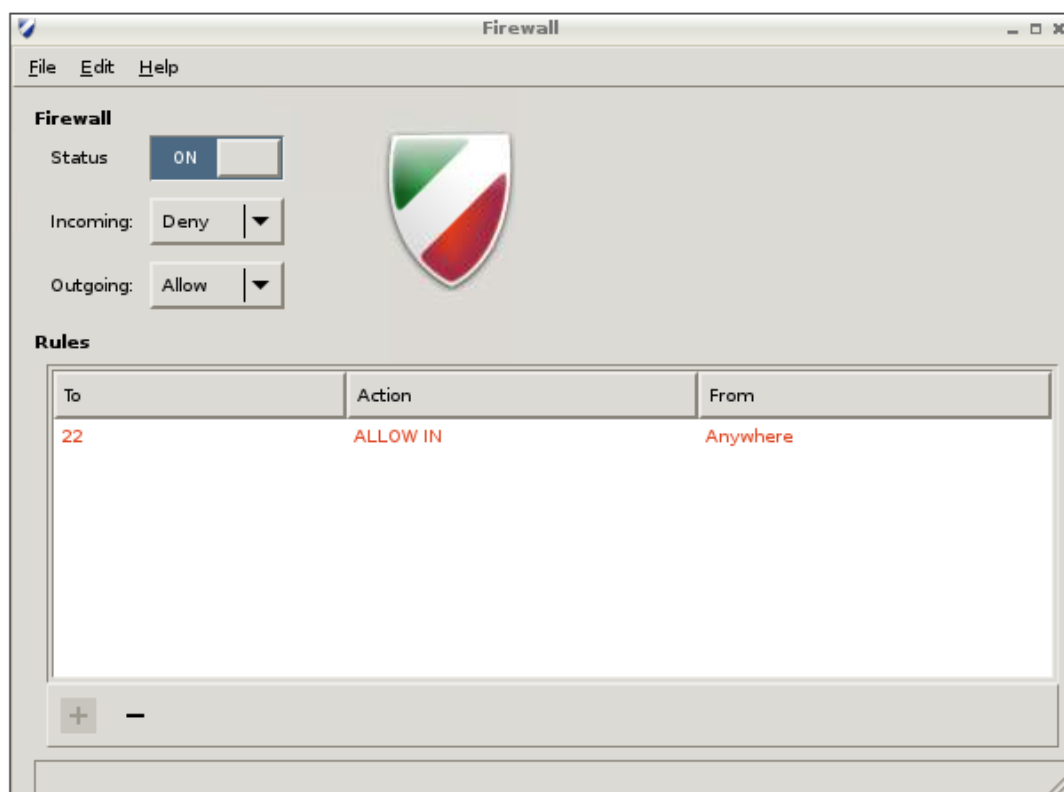
#### 8.2.4 Palomuuuri

Vaikka Raspberry Pi on sisäverkossa eikä siihen voida luoda suoraa yhteyttä Internetistä, voidaan laitteeseen ottaa yhteys sisäverkosta. Tämä altistaa laitteen hyökkäyksille sisäverkosta. On suositeltavaa asettaa palomuuuri sallimaan yhteydet vain tarpeellisiin palveluihin. Jos käytössä on toimiva VPN-yhteys, voidaan estää koko sisäverkosta tuleva liikenne ja sallia pelkästään yhteydet VPN-osoiteavaruudesta.

Linuxissa verkkoliikennettä voidaan hallita iptables nimisellä ohjelmalla. Iptables on Linux-ytimessä olevan netfilter-pakettisuodattimen tekstipohjainen hallintaohjelma. Iptables voi olla alkuun vaikea käyttää, koska käyttäjän pitää ymmärtää palomuurin toimintalogiikka sekä ohjelman komentoriviparametrit joilla saadaan haluttu toiminto tehtyä. Iptables sisältää sääntöketjuja eri tilanteille, mm. saapuvalle, lähtevälle ja uudelleenohjausta vaativalle liikenteelle. Sääntöketjuilla voidaan rajoittaa tai sallia haluttua verkkoliikennettä.

Palomuurin hallintaan on muita helppokäyttöisempiä ohjelmia, jotka hoitavat iptables-palomuurisääntöjen hallinan. Suosittu iptables-hallintaohjelma on UFW. UFW on lyhenne sanoista ”uncomplicated firewall”. UFW ohjataan käyttäjäystävällisillä komennoilla, jotka on helppo oppia. Sisääntulevan liikenteen salliminen SSH-palveluun onnistuu komennolla ”sudo ufw allow 22/tcp”. SSH-palvelu vakioasetuksilla ajetaan portissa 22 ja protokollana käytetään TCP:tä. Allow parametrilla määritellään liikenne sallituksi sekä parametri 22/tcp määrittää protokollan TCP ja kohdeportin 22:ksi. Liikenteen estäminen onnistuu korvaamalla edellisen komennon parametri allow parametrilla deny. Vastaavasti saman säännön salliminen iptables-ohjelmalla vaatii monimutkaisemman komennon ”sudo iptables -I INPUT -p tcp --dport 22 -j ACCEPT”.

Palomuuria voidaan myös hallita graafisen käyttöliittymän avulla, jos komentorivipohjaiset ohjelmat tuntuvat liian haastavilta. Gufw on graafinen käyttöliittymä UFW-ohjelmalle. Gufw voidaan hoitaa samat palomuurin hallintatoiminnot kuin UFW-ohjelmalla. Käyttäjän ei tarvitse käyttää ollenkaan komentoriviä sääntöjen hallintaan. Kuvassa 20. estetään kaikki muu saapuva liikenne paitsi SSH-palvelun liikenne porttiin 22 Gufw-käyttöliittymän avulla. Kuvassa 21. lisätään Gufw-palomuurisääntöihin VNC-palvelu, joka sallitaan.



Kuva 20: Gufw-palomuurisäännöt.



Kuva 21: Palomuurisäännön lisääminen

### 8.2.5 Päivitykset

Ylläpitäjän on syytä pitää ohjelmistot ajan tasalla, varsinkin, jos laitteella ajetaan verkkopalveluita. Linux-käyttöjärjestelmä vaatii ohjelmien päivittämistä siinä missä muutkin käyttöjärjestelmät. Vanhat ja haavoittuvaset ohjelmat voivat heikentää laitteen ja koko verkon tietoturvaa. Entistä enemmän tarkkaavaisuutta vaaditaan, jos laite on kytkettynä Internetiin ja palveluita on avoinna Internetiin.

Raspbian-käyttöjärjestelmässä ohjelmien päivittäminen tapahtuu ajamalla ensiksi komento ”apt-get update”, joka päivittää pakettihallinnan pakettilistauksen ja tämän jälkeen ajetaan komento ”apt-get upgrade”. Upgrade parametri tutkii mitkä ohjelmat vaativat päivitystä ja hoitaa ohjelmapakettien lataamisen sekä päivittämisen. Yleensä prosessi on automatisoitu eikä ohjelma pyydä käyttäjältä syötteitä kesken päivityksen. Joissain tapauksissa päivitysohjelma kysyy käyttäjältä halutaanko säilyttää vanhat ohjelma-asetukset vai käytetäänkö uusia asetusmalleja. Yleensä ohjelmien päivittäminen ei vaadi laitteen uudelleenkäynnistämistä. Päivitykset tulevat käyttöön ohjelman käynnistämällä, jonka päivitysohjelma yleensä hoitaa.

## 9 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Tutkimuksessa saatiin vastaukset tutkimukselle asetettuihin kysymyksiin. Raspberry Pi:sta on mahdollista kasata edullinen, luotettava ja monikäyttöinen tietokone. Käyttöönottoon ei vaadita kuin muistikortti, MicroUSB-laturi, näppäimistö, hiiri ja näyttölaite. Laitteelle on saatavilla ilmaisia käyttöjärjestelmiä eri käyttötarkoituksiin.

Raspbian käyttöjärjestelmällä saadaan käyttöön toimiva Linux-käyttöjärjestelmä graafisella käyttöliittymällä. Graafinen käyttöympäristö mahdollistaa mm. Internetin selaamisen ja toimisto-ohjelmien käyttämisen. RaspBMC ja OpenELEC -käyttöjärjestelmillä saadaan käyttöön monipuolinen XBMC mediaympäristö. Raspberry Pi:lla voidaan toistaa sulavasti Full HD resoluution videoita, vaikka laite on suorituskyvyltään suhteellisen heikko.

Elektroniikkaharrastajalle Raspberry Pi on käyttökelpoinen alusta GPIO-liitännän vuoksi. GPIO-liitäntä laajentaa Raspberry Pi:n käyttömahdollisuuksia erillisten mikropiirien ja komponenttien avulla. Laitteita voidaan ohjelmallisesti ohjata laitteita GPIO-liitännän läpi. Raspberry Pi:lle on saatavilla kaupallisia laitteita, jotka hyödyntävät laitteen GPIO-liitäntää.

Virtalähteeseen on syytä kiinnittää huomiota. Halvin mahdollinen virtalähde ei välttämättä ole tarpeeksi laadukas tai pysty tarjoamaan tarpeeksi virtaa kaikille komponentille. Riittämätön virtalähde voi aiheuttaa useita ongelmia. Riittämätön virranantokyky aiheuttaa merkittävää jännitteen laskua, joka voi ilmetä USB-laitteiden laitteiden toimintahäiriöinä tai jopa laitteen sammumisena. Tiedostojärjestelmän korruptoituminen on mahdollista riittämättömällä virtalähteellä. Tiedostojärjestelmän korruptoituminen voi johtaa tietojen katoamiseen ja käyttöjärjestelmän toimimattomuuteen.

Ennen muistikortin hankkimista on suositeltavaa tarkistaa eLinux.org sivustolta muiden käyttäjien kokemukset muistikortista. Sivulla on listattuna Raspberry Pi:lle soveltuvat muistikortit, sekä muistikortit, joilla on ongelmia laitteessa (Elinux 2014). Muistikortin tallennuskapasiteetti riippuu täysin käyttötarkoituksesta. Valmistaja suosittelee yli neljän gigatavun muisti-

korttia. Neljän gigatavun muistikortti voi olla riittämätön, jos käytetään useita käyttöjärjestelmiä samalla muistikortilla NOOBS käynnistyslataajalla. Yhdelle käyttöjärjestelmälle neljän gigatavun tallennustila on yleensä riittävä. Useita käyttöjärjestelmiä käyttäessä on suositeltavaa käyttää vähintään kahdeksan gigatavun muistikorttia, jotta tallennustilaa on riittävästi jokaiselle käyttöjärjestelmälle.

Käyttöympäristö ja käytettävät ohjelmat määrittävät tarvitaanko nopealla kirjoitusnopeudella varustettua muistikorttia, vai riittääkö edullisempi muistikortti. Muistikortin lukunopeudet ovat yleensä hyvin lähellä toisiaan Raspberry Pi:lla. Raspberry Pi:n muistikorttiväylä rajoittaa tiedonsiirron käytännössä noin 20 megatavuun sekunnissa. Kirjoitustesteissä syntyi selkeitä eroja muistikorttien välillä. Tutkimuksessa käytetyt muistikortit eivät kirjoitusnopeuden osalta saavuttaneet muistikorttiväylän nopeusrajoitusta. Nopeasta kirjoitusnopeudesta ei välttämättä ole suurta hyötyä, jos käytettävät ohjelmat eivät kirjoita useasti tietoa muistikortille.

Tietoturvallinen etähallinta Internetin yli voidaan toteuttaa VPN-tunnelilla. VPN-tunnelin läpi voidaan luoda terminaaliyhteys SSH-protokollalla tai graafinen etähallinta VNC-protokollalla. Erillisen VPN-palvelimen avulla voidaan kiertää reitittimistä ja palomureista johtuvat yhteysongelmat. Kaikki tieto kulkee VPN-tunnellissa salattuna, eikä ulkopuoliset pääse lukemaan liikenteen sisältöä. Laitteiden väliseen tiedostojen siirtämiseen ei tarvita erillistä palvelua. Tiedostoja voidaan siirtää SSH-palveluun sisäänrakennetulla SFTP-palvelulla.

Tutkimuksessa saatiin aikaan reliabilisia mittaustuloksia. Mittaukset voitiin suorittaa useita kertoja, saaden sama lopputulos. Virtalähteen ja muistikortin mittaukset olivat valideja. Mittaukset tarkastelivat komponenttien tärkeimpiä toimintoja. Virtalähteen mittauksista voidaan todeta mitä ongelmia riittämätön virtalähde voi aiheuttaa. Muistikorttitestien osalta voidaan havainnoida missä yhteyksissä eroja voi syntyä muistikorttien välillä, ja onko tarpeellista hankkia käyttötarkoitukseen kalliimpi ja nopea muistikortti.

## Lähteet

### Kirjalliset lähteet

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2001. Tutki ja kirjoita. 6. -7. painos. Vantaa: Tummavuoren kirjapaino.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä : JAMK.

### Sähköiset lähteet

Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips. 2000. Universal serial bus specification. Viitattu 19.10.2014 [http://sdpha2.ucsd.edu/Lab\\_Equip\\_Manuals/usb\\_20.pdf](http://sdpha2.ucsd.edu/Lab_Equip_Manuals/usb_20.pdf)

Elinux. Rpi SD cards. 2014. Viitattu 19.10.2014 [http://elinux.org/RPi\\_SD\\_cards](http://elinux.org/RPi_SD_cards)

Geier, E. 2013. How (and why) to set up a VPN today. Viitattu 19.10.2014 <http://www.pcworld.com/article/2030763/how-and-why-to-set-up-a-vpn-today.html>

GitHub. 2014. Linux/vm.txt. Viitattu 19.10.2014 <https://github.com/torvalds/linux/blob/master/Documentation/sysctl/vm.txt>

Henderson, G. 2014. Testing & Setting the USB current limiter on the Raspberry Pi B+. Viitattu 19.10.2014 <https://projects.drogon.net/testing-setting-the-usb-current-limiter-on-the-raspberry-pi-b/>

Hitachi, Ltd., Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Philips Consumer Electronics International, B.V., Silicon Image, Inc., Sony Corporation, Thomson Inc., Toshiba Corporation. 2006. High-Definition Multimedia Interface Specification Version 1.3a. Viitattu 19.10.2014 <http://www.microprocessor.org/HDMI/Specification13a.pdf>

Kuula, A. 2006. Toimintatutkimus. Viitattu 14.10.2014. [http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5\\_4.html](http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_4.html)

Lonvick, C. & Ylönen, T. 2006. The secure shell (SSH) authentication protocol. Viitattu 19.10.2014 <https://tools.ietf.org/html/rfc4252>

Raspberry Pi. a. GPIO. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>

Raspberry Pi. b. Installing operating system images using Windows. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/windows.md>

Raspberry Pi. c. Model B+. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/products/model-b-plus/>

Raspberry Pi. d. Raspbian . Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/README.md>

Raspberry Pi. e. SD cards. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/installation/sd-cards.md>

Raspberry Pi. f. SFTP. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/sftp.md>

Raspberry Pi. g. SSH (Secure shell). Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/README.md>

Raspberry Pi. h. What are the power requirements?. Viitattu 19.10.2014  
<http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#powerReqs>

Raspberry Pi. i. What size SD card can it support?. Viitattu 19.10.2014  
<http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#sdMax>

Raspberry Pi. j. Will it run the Windows 8 ARM edition?. Viitattu 19.10.2014  
<http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#softwareWin8>

Raspbian. Welcome to Raspbian. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspbian.org/>

SanDisk Corporation. 2004. SanDisk SD Card. Viitattu 19.10.2014  
<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Components/General/SDSpec.pdf>

Sqlite. a. About SQLite. Viitattu 19.10.2014 <https://www.sqlite.org/about.html>

Sqlite. b. Well-known users of Sqlite. Viitattu 15.10.2014  
<https://www.sqlite.org/famous.html>

Tom's hardware. 2012. \$35 Raspberry Pi Model B Sold Out Within Minutes. Viitattu 19.10.2014  
<http://www.tomshardware.com/news/Raspberry-Pi-Eben-Upton-RS-Components-Premier-Farnell-Linux,14851.html>

Upton, E. 2012. Introducing Turbo mode: up to 50% more performance for free. Viitattu 19.10.2014 <http://www.raspberrypi.org/introducing-turbo-mode-up-to-50-more-performance-for-free/>

Upton, L. 2014. Raspberry Pi at Buckingham Palace, 3 million sold. Viitattu 19.10.2014  
<http://www.raspberrypi.org/raspberry-pi-at-buckingham-palace-3-million-sold/>

XBMC. About. Viitattu 19.10.2014 <http://xbmc.org/about/>

## Kuvat

Kuva 1: Raspberry Pi Model B+ ja Model B. ....	11
Kuva 2: Muistikortin kirjoitus. ....	15
Kuva 3: Win32DiskImager. ....	16
Kuva 4: Raspbian käyttöjärjestelmän työpöytä näkymä. ....	16
Kuva 5: XBMC käyttöliittymä. ....	17
Kuva 6: LCD-näyttö. ....	19
Kuva 7: PiThermServer. ....	19
Kuva 8: Selain yhdistänyt Nginx palvelimeen. ....	21
Kuva 9: Kokoonpano. ....	24
Kuva 10: Mittauskytkennät. ....	24
Kuva 11: Virtalähteen mittaamista oskilloskoopilla. ....	26
Kuva 12: Muistipaikkaerot. ....	26
Kuva 13: Heittotiedoston käyttö. ....	33
Kuva 14: Kuvankaappaus Linux kernel-lokista. ....	34
Kuva 15: SSH-palvelun käyttöönotto. ....	36
Kuva 16: SSH-yhteys. ....	37
Kuva 17: Etäyhteys ilman VPN-tunneliä. ....	38
Kuva 18: Etäyhteys VPN-tunneliä käyttäen. ....	39
Kuva 19: Netstat listaus. ....	40
Kuva 20: Gufw-palomuurisäännöt. ....	43
Kuva 21: Palomuurisäännön lisääminen. ....	43



## Taulukot

Taulukko 1: Käynnistymisajat.....	31
-----------------------------------	----

## Kuviot

Kuvio 1: Lukunopeudet dd ohjelmalla.....	28
Kuvio 2: Kirjoitusnopeus dd ohjelmalla. ....	29
Kuvio 3: Tietokantatesti. ....	30