

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2020

Johannes Koski

NAS-JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN RASPBERRY PI -YMPÄRISTÖSSÄ

Johannes Koski

NAS-JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN RASPBERRY PI -YMPÄRISTÖSSÄ

Nyky-yhteiskunnassa tiedon määrä kasvaa jatkuvasti. Yhä useammat ihmiset siirtävät tietojaan verkkoon ja ottavat seuraavan askeleen kohti digitalisaatiota. Tieto halutaan pitää turvassa ja sitä halutaan käyttää useilla eri laitteilla. Tiedon säilyttämiselle kehitetään ja suunnitellaan jatkuvasti uusia järjestelmiä. Erityisesti tavallisten käyttäjien henkilökohtaiset tiedontallennusjärjestelmät ovat nousseet suosioon. Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan henkilökohtaisten tallennusjärjestelmien kysyntään.

Verkkotallennusjärjestelmät pyrkivät ratkaisemaan tiedon tallennuksen kysymyksiä. Network Attached Storage (NAS) -järjestelmät ovat palvelimia, joihin käyttäjät voivat tallentaa omia tietojaan. NAS-järjestelmiä käytetään verkon välityksellä, ja siksi ne ovat usein saatavilla monelle eri alustalle ja käyttäjälle samaan aikaan. Valmiit palvelinkokonaisuudet ovat usein hyvin kalliita ja tavalliselle käyttäjälle mahdottomia. Lisäksi niillä on usein hyvin rajalliset laajennusmahdollisuudet ja voivat olla hankalia käyttää. Tämä opinnäytetyö pyrkii esittelemään edullisen ja vaihtoehdoisen version NAS-palvelimesta.

Työssä tavoitteena oli luoda vaihtoehtoinen toteutus NAS-järjestelmästä. Järjestelmä pohjautuu Raspberry Pi -alustaan ja pitää sisällään useita eri palvelinkomponentteja. Luotu järjestelmä on edullinen, helppokäyttöinen ja antaa mahdollisuuden myös lisäominaisuuksiin. Opinnäytetyö kertoo, mitä eri komponentit tekevät järjestelmässä ja esittelee tarvittavat vaiheet konfiguraation määrittämisessä.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin vaihtoehtoinen toteutus NAS-järjestelmästä. Valitut komponentit soveltuivat hyvin järjestelmään ja niiden konfigurointi onnistui suunnitelmien mukaan. Komponentit osoittautuivat lähes yhtä tehokkaiksi valmiiden NAS-komponenttien kanssa, joskin suorituskyky ei vastannut valmiiden NAS-palvelinten suorituskykyyn. Toteutettu järjestelmä onnistui lähettämään ja vastaanottamaan käyttäjien tiedostoja, tarjoten skaalautuvan tallennustilan tulevaisuutta varten.

ASIASANAT:

palvelimet, mikrokontrollerit, tieto, tiedonsiirto

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communications Technology

2020 | 32 pages

Johannes Koski

DEVELOPING A NAS-SYSTEM IN A RASPBERRY PI ENVIRONMENT

In a modern society the amount of information increases constantly. More and more people move their information to digital platforms and take their next step towards digitalization. Information is to be kept safe, secure and accessible from multiple devices. To hold all this new information, new and exciting solutions are being developed every day. Regular user based personal information storage solutions have risen to popularity. This thesis aims to answer to the demand of personal data storage systems.

Network-based storage solutions aim to solve this question. Network Attached Storage (NAS) -systems are in practice regular servers that users can access to store their information. NAS-systems are accessible through network connections and for this reason are usable on multiple different platforms and multiple users at the same time. Premade solutions are often expensive and difficult to use for average users. They are also often very limited in their scalability. This thesis aims to provide an affordable and alternative version of NAS-system.

The objective of the thesis was to develop a custom NAS-system and to determine whether a custom solution can match a premade NAS-system. The system is based on Raspberry Pi -board with multiple different server components attached to it. The system created in this thesis is both affordable and easy to use for any type of user. It also features many possible ways of expansion for the future. This thesis explains every single component in the system and describes their role in operation. The thesis also compares the created solution to two models already in the market.

The outcome of this thesis was a full working design of a NAS-system. All of the components were suitable for the system and were successfully configured to work in a NAS-system. The components matched the level of premade NAS-system components, although the overall performance of the custom NAS did not match the system performance of premade NAS-systems. The system was able to handle data transmission with Samba software and provide users with scalable data storage.

KEYWORDS:

servers, microcontrollers, information, data transmission

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	1
2 NAS-PALVELIN	2
3 RASPBERRY PI	5
4 PALVELIMEN KOMPONENTIT	7
4.1 Raspberry Pi 4 model B	7
4.2 MicroSDHC-muistikortti	7
4.3 Virtalähteet	7
4.4 Tallennustila	8
4.5 USB 3.0 -jakaja	8
5 LÄHIVERKKO	9
5.1 Yleisesti verkkolaitteista	9
5.2 ASUS DSL-N16	10
6 TYÖN TOTEUTUKSEEN KÄYTETYT OHJELMAT	11
7 PALVELIMEN TOTEUTUS	12
7.1 Käyttöjärjestelmän asentaminen	12
7.2 SSH-yhteys	13
7.3 Käyttöjärjestelmän konfigurointi	15
7.4 Tallennustilan alustaminen	15
7.5 Samban konfigurointi	17
8 VERKKOASEMAN KÄYTTÄMINEN	19
9 VALMIIT NAS-PALVELIMET VAI RASPBERRY PI	21
9.1 Valmiit NAS-palvelimet	21
9.2 Raspberry Pi NAS	22
10 LOPUKSI	23
LÄHTEET	25

KUVAT

Kuva 1. NAS-palvelimen yleiskatsaus (FS 2018).	2
Kuva 2. RAID0- ja RAID1-tasot yhdistettynä (Rouse 2020).	3
Kuva 3. Raspberry Pi 4 -alustan komponentit (Odunlade 2020).	6
Kuva 4. Käyttöjärjestelmän kirjoittaminen MicroSDHC -muistikortille.	12
Kuva 5. NAS-palvelimen kokoonpano.	13
Kuva 6. IP-osoitteen etsiminen.	14
Kuva 7. SSH-yhteyden muodostaminen.	14
Kuva 8. Osion luominen ja levyn formatointi.	16
Kuva 9. Kovalevy havaittavissa.	17
Kuva 10. Samban SMB-konfiguraatio.	18
Kuva 11. Resurssienhallinnan näkymä.	19
Kuva 12. Verkkoaseman määrittäminen.	19
Kuva 13. Verkkoaseman kansio.	20

TAULUKOT

Taulukko 1. Komponenttien hinnat (Jimms 2020) (Verkkokauppa.com Oyj 2020).	8
Taulukko 2. WLAN-standardit (Microwaves101 2020).	9

KÄYTETYT LYHENTEET

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, verkkokytkintekniikka
AFP	Apple Filing Protocol, Applen laitteiden tiedonsiirtoprotokolla
CIFS	Common Internet File System, SMB:n vaihtoehtoinen versio
DDR4	Keskusmuistin tyyppi tietokoneessa
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol, verkkoprotokolla automaattiseen IP-osoitteiden jakamiseen
EXT4	Tiedostojärjestelmä Linux-käyttöjärjestelmässä
IP	Internet Protocol, tietoliikenteen paketteja ohjaava protokolla
LAN	Local Area Network, lähiverkko
Micro-HDMI	Micro High Definition Interface, digitaalisen kuvan tiedonsiirtoon käytettävä liitäntä
MicroSDHC	Micro Secure Digital High Capacity, muistikorttityyppi
NAS	Network Attached Storage, tallennusjärjestelmä verkossa
NFS	Network File System, tiedonsiirtoprotokolla
RAID	Redundant Array of Independent Disks, useamman tallennusaseman yhdistäminen
SATA	Serial ATA, sarjamuotinen liitäntä kovalevyille ja optisille asemille
SMB	Server Message Block, tiedonsiirtoprotokolla
SSH	Secure Shell Connection, suojattu etäyhteys protokolla
USB	Universal Serial Bus, sarjaväylä oheislaitteiden yhdistämiseen
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line, nopea verkkokytkintekniikka
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa maailmassa tietojen tallentaminen ja käsitteleminen ovat tärkeässä roolissa. Tiedon määrä, ja samalla myös tallennustilan tarve, kasvaa jatkuvasti. Tietoyhteiskunta perustuu tiedon määrälle, saavutettavuudelle ja hyödyntämiselle. Uusien ratkaisujen kehittämiseksi on suuri tarve. Innovatiiviset ja kustannustehokkaat ratkaisut antavat mahdollisuudet tietoyhteiskunnan kehitystä varten. (Deng 2009.)

Tässä työssä esitetään kustannustehokas ratkaisu tietoyhteiskunnan tiedon tallennuksen tarpeeseen. Työssä perehdytään verkkotallennukseen mikrokontrolleriympäristössä sekä työssä tehtyyn verkkotallennusratkaisuun. Tämän yhteydessä perehdytään tarkemmin Raspberry Pi -alustan ominaisuuksiin ja sen mahdollisuuksiin verkkotallennuksen alustana.

Työn tavoitteena oli luoda vaihtoehtoinen ja edullinen versio Network Attached Storage -järjestelmästä sekä verrata luotua ratkaisua jo markkinoilla oleviin versioihin. Tavoitteena oli myös syventyä tarkemmin Raspberry Pi -alustaan, käytettyihin komponentteihin ja tiedonsiirtoon verkossa.

Opinnäytetyön alussa selitetään, mikä NAS-palvelin on, ja mihin käyttöön se soveltuu. Lisäksi perehdytään verkkotallennukseen ja NAS-palvelimen toimintaperiaatteeseen. Tämän jälkeen tutustutaan Raspberry Pi 4 model B -yhden piirilevyn tietokoneeseen ja sen teknisiin tietoihin ja ominaisuuksiin.

Palvelimen toteuttaminen esitellään opinnäytetyössä yksityiskohtaisesti. Työn aikana käytetyt komponentit, ohjelmistot ja työtavat luetellaan yksi kerrallaan. Työssä perehdytään tarkemmin myös valittuun Raspberry Pi OS Lite -käyttöjärjestelmään.

Palvelimen konfigurointiosuuden jälkeen verrataan luotua NAS-järjestelmää olemassa oleviin ratkaisuihin. Työssä mainitaan ja esitellään jo markkinoilla olevia valmiita NAS-palvelimia sekä pohditaan mahdollisia syitä rakentaa oma palvelin.

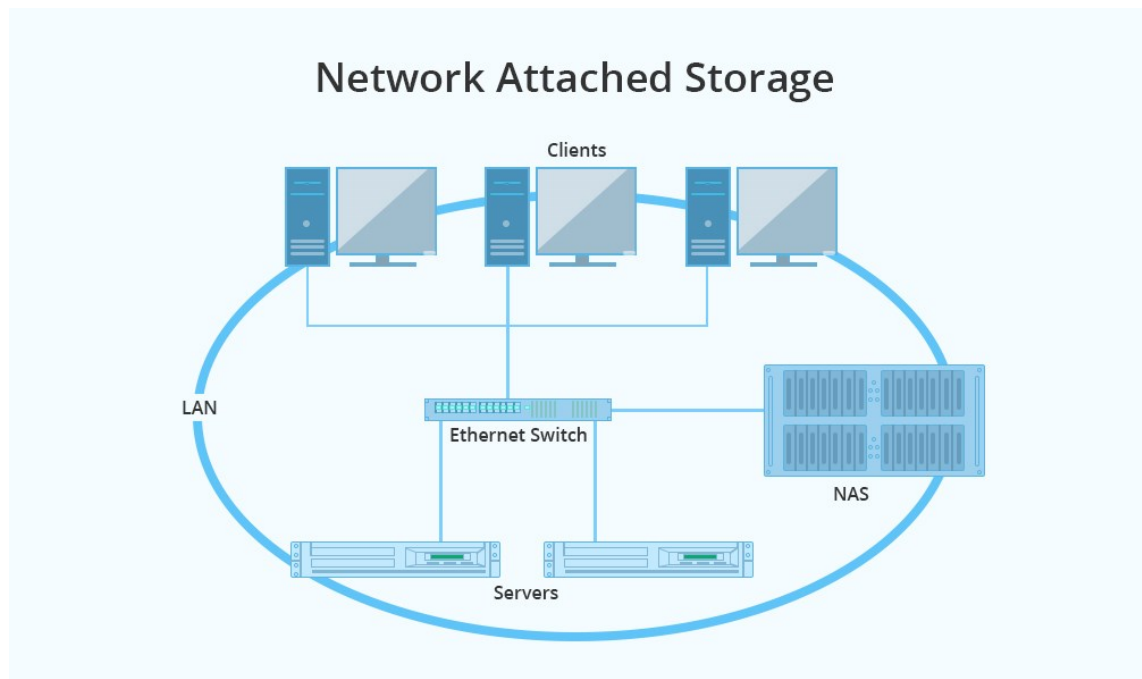
Työn lopulla kootaan tieto yhteen ja pohditaan saatuja tuloksia. Lopussa pohditaan myös tulevaisuudessa tehtäviä päivityksiä NAS-järjestelmään ja kerrotaan opinnäytetyössä opituista asioista.

2 NAS-PALVELIN

Tämän luvun tarkoituksena on perehdyttää lukija NAS-palvelimien teoriaan. Lisäksi luvussa luetaan palvelimien yleisimpiä ominaisuuksia ja selitetään ilmiötä NAS-palvelimien kasvun taustalla.

NAS-palvelin on tiedostojen ja datan tallennukseen ja toistamiseen kehitetty järjestelmä. Palvelimet ovat saaneet yleisesti hyväksytyin maineen maailmassa. Gigabit Ethernet yhteyksien ja nopeiden tiedonsiirtoprotokollien myötä NAS-palvelimet ovat nousseet laajaan käyttöön ympäri maailmaa. Tietoliikenne määrät Internetissä kasvavat jatkuvasti, jopa kaksinkertaistuvat vuosi vuodelta. Tallennettavan datan määrä kasvaa koko ajan mikä edesauttaa myös NAS-palvelimien käyttöönottamista laajemmin. (Deng 2009.)

NAS-palvelimet mahdollistavat yhden tai useamman käyttäjän tiedostojen tallentamisen samaan palvelimeen (Kuva 1). Palvelimen tehtäviin kuuluu myös yhden käyttäjän tiedostojen jakamisen muille käyttäjille. Palvelimet koostuvat yhdestä tai useammasta eri tallennusmediasta, kuten kovalevyistä, prosessorista sekä keskusmuistista. Tässä mielessä NAS-palvelimet ovat hyvin samankaltaisia tavallisten palvelimien kanssa. Tallennustilan kasvattaminen on mahdollista järjestelmän mahdollisuuksien mukaan. (Deng 2009.)

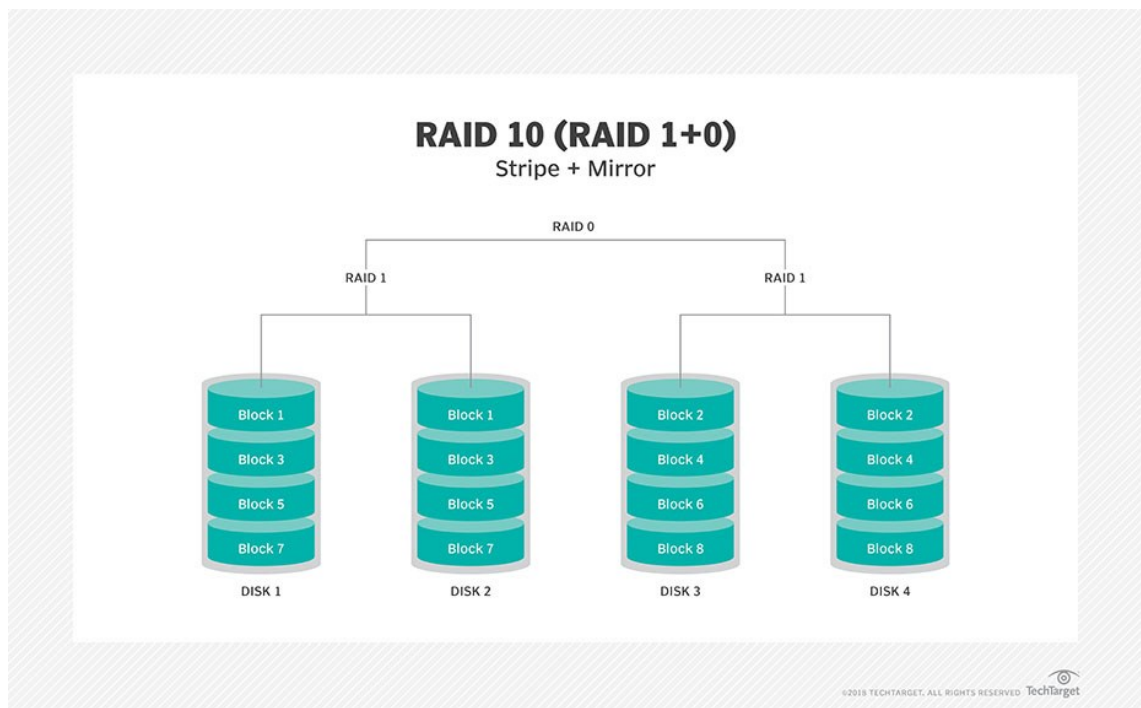


Kuva 1. NAS-palvelimen yleiskatsaus (FS 2018).

Useimmissa tapauksissa NAS-palvelimet hyödyntävät useamman kovalevyn käyttämistä RAID-asetuksilla. RAID-tasojä on monia, mutta NAS-palvelimet suosivat tasoja RAID0 ja RAID1. Tasot voidaan myös yhdistää RAID10-tasoksi. Kuvassa 2 esitetään RAID10 yhdistelmä.

RAID0-asetus jakaa tiedostot useammalle levyille, mikä mahdollistaa nopeammat siirto- ja lukunopeudet sekä suuremman tallennustilan kapasiteetin. RAID0-tason asetus ei takaa tiedon turvallisuutta, sillä yhden tallennuslevyn tuhoutuessa menetetään kaikki tallennettu tieto. Tämä asetus sopii erityisesti nopean saatavuuden vaativissa tilanteissa, kuten videontoistossa. (Millman 2019.)

RAID1-asetus sen sijaan kopioi samat tiedostot kahteen eri tallennuslevyyn. Tämä takaa useamman kopion tallennetusta tiedosta. Tallennettu tieto on turvattu hyvin, sillä järjestelmä voi käyttää molempia sijainteja tarvittaessa. Mahdollisesti tuhoutunut tallennuslevy voidaan vaihtaa uuteen, jolloin osion sisältävä tallennuslevy kopioi tiedon uudelle levyille. RAID1-asetuksen haittapuolena on tiedontallennuskapasiteetin väheneminen puoleen maksimikapasiteetista. (Millman 2019.)



Kuva 2. RAID0- ja RAID1-tasot yhdistettynä (Rouse 2020).

NAS-palvelimet käyttävät useita eri standardeja tiedostojen jakamiseen. Yleisimpiä ovat Network File System (NFS), Common Internet File System (CIFS), Server Message

Block (SMB) ja Apple Filing Protocol (AFP). Protokolla valitaan käyttöjärjestelmän mukaan. Useimpiin NAS-palvelimiin on mahdollista luoda yhteys myös tietokoneen tai puhelimen selaimella. (Red Hat, Inc. 2020.)

3 RASPBERRY PI

Tässä luvussa kerrotaan opinnäytetyössä käytetystä Raspberry Pi 4 model B -yhden piirilevyn tietokoneesta. Luku esittelee tietokoneen ominaisuuksia ja teknisiä tietoja.

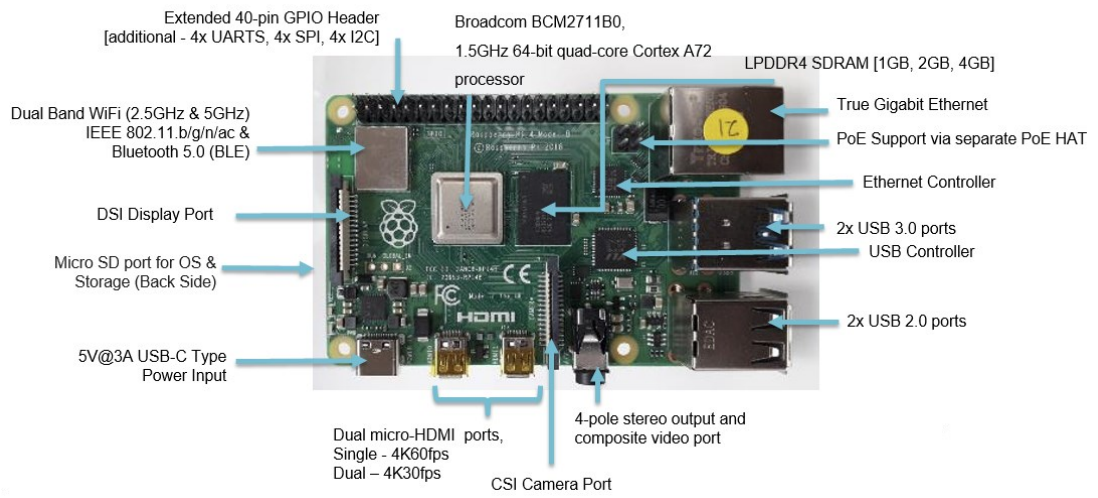
Raspberry Pi sai alkunsa vuonna 2006, kun keksijä Eben Upton sai ajatuksen uudesta yksinkertaisemmasta tietokoneesta. Upton ajatteli, että nuorille ja opiskelijoille ei ollut saatavilla edullista kehitysalustaa ohjelmointitaitojen kehittämistä varten. Tarkoituksena oli kehittää alusta, joka olisi sekä edullinen että kompakti saatavilla oleviin tietokoneisiin verrattuna. (Heath 2018.)

Raspberry Pi on kehittynyt useaan otteeseen historiansa aikana. Raspberry Pi 400 on tuoteperheen uusin tulokas, joka julkaistiin vuonna 2020. Opinnäytetyössä käytettiin Raspberry Pi 4 model B -versiota, joka edelsi vuoden 2020 julkaisua. Edullisen hintansa vuoksi Raspberry Pi on suosittu myös eri elektroniikkaharrastajien keskuudessa. (Raspberry Pi Foundation 2020.)

Raspberry Pi 4 model B käyttää 64-bittistä ARM Cortex-A72 neliydinprosessoria. Vakiona prosessorin kellotaajuus on 1.5 GHz. Tietokonetta on saatavilla 2, 4 tai jopa 8 Gt:n keskusmuistilla. Opinnäytetyössä käytettiin 4 Gt:n versiota. Aiempiin versioihin verrattuna, Raspberry Pi 4 tarjoaa kaksi erillistä Micro-HDMI porttia kahta näyttöä varten, USB 3.0 tuen, paremman prosessorin, nopeamman keskusmuistin, tehokkaamman näyttöohjaimen sekä 4K-laadun videotuen. (Raspberry Pi Foundation 2020.)

Näyttöohjaimena Raspberry Pi 4 model B -alustassa on Broadcomin VideoCore 4. Näyttöohjain on tehokkaampi edelliseen versioon verrattuna. Näyttöohjaimessa on OpenGL ES 3.0- ja OpenVG-tuki sekä se kykenee käyttämään jopa H.265-videonpakkausstandardia 4K-kuvanlaadun takaamiseen. (Raspberry Pi Foundation 2020.)

Raspberry Pi 4 vaatii vähintään 2 A:n virran 5 V:n jännitteellä toimiakseen. Opinnäytetyössä käytettiin Raspberry Pi 4 -alustan virallista virtalähdettä takaamaan 3 A:n virran järjestelmälle. Luotettava virtalähde on olennainen osa järjestelmän toimintaa. Virtakatkokset ja epätasaisuus voivat aiheuttaa Raspberry Pi -alustan käyttöjärjestelmän korruptoitumisen. Kuvassa 2 esitellään Raspberry Pi 4 -alustan komponentit.



Kuva 3. Raspberry Pi 4 -alustan komponentit (Odunlade 2020).

4 PALVELIMEN KOMPONENTIT

Tämä luku käsittelee opinnäytetyössä NAS-palvelimen rakentamiseen käytettyjä komponentteja. Komponentteja valittaessa haluttiin kiinnittää huomiota niiden edullisuuteen sekä monikäyttöisyyteen. Komponenttien tulee toimia hyvin keskenään ja olla luotettavia NAS-palvelimen vuorokauden ympäri tapahtuvaa toimintaa varten. Lisäksi komponentteja valittaessa muistettiin palvelimen käyttöjärjestelmän vaatimukset. Taulukossa 1 luetellaan komponenttien hinnat.

4.1 Raspberry Pi 4 model B

Luvussa 3 esitelty Raspberry Pi 4 soveltui hyvin vaadittuun palvelin konfiguraatioon. Yhden piirilevyn tietokone toimii matalalla virralla ja on hyvin luotettava palvelintehtäviin. Raspberry Pi on laajalti käytössä maailmalla eri verkkoratkaisuissa. Tietokone on kaiken lisäksi hyvin pienikokoinen, joten se mahtuu pieneen tilaan ja voidaan tämän vuoksi yhdistää muihin Raspberry Pi -alustoihin.

4.2 MicroSDHC-muistikortti

Työhön valittiin Verbatim-yrityksen Class 10 16 Gt:n muistikortti Raspberry Pi -alustan käyttöjärjestelmää ja ohjelmistopaketteja varten. Raspberry Pi OS Lite vaatii vähintään 4 gigatavua suuruisen muistikortin toimiakseen. Suurempi tilavuus mahdollistaa laajemman valikoiman ohjelmistopaketteja ja takaa myös riittävän tilan asennuksien yhteydessä tapahtuvaan pakattujen tiedostojen purkamiseen. Verbatim lupaa jopa 80 MB/s lukunopeuden tämän luokan muistikorteilleen. (Verbatim 2020.)

4.3 Virtalähteet

Raspberry Pi -alustan virtavaatimusten takaamiseksi työhön valittiin kyseisen alustan virallinen Raspberry Pi Foundationin virtalähde. Virtalähde yhdistettiin alustan USB-C liitäntään. Virtalähde antaa tasaisen 5 V:n ja 3.1 A:n virran alustalle suoraan verkkovirrasta. NAS-palvelimessa käytetty ulkoinen USB 3.0 kovalevy liitettiin erilliseen Transcend HUB3 SuperSpeed USB 3.0 -jakajaan. Jakaja liitettiin tämän jälkeen

Raspberry Pi -alustan USB-porttiin. Työhön valittiin jakaja, sillä Raspberry Pi:n USB-portin kautta antama virta ei riitä ulkoisen kovalevyn tasaiseen ylläpitämiseen. (Total Phase, Inc. 2020.)

4.4 Tallennustila

NAS-palvelimen tallennustila toteutettiin ulkoisen kovalevyn avulla. Kovalevyksi valittiin Seagate Expansion Portable 1 Tt:n SATA-kovalevy. Kovalevy tarjoaa USB 3.0 liitännän avulla 120 MB/s kirjoitusnopeuden ja 130 MB/s lukunopeuden. Kovalevyn voi tarvittaessa vaihtaa uudempaan Solid State Disk (SSD) tallennuslevyyn. Työssä todettiin, että SSD-levyt nostaisivat NAS-palvelimen rakennuskulut liian korkeiksi. Lisäämällä palvelimeen toisen tallennuslevyn olisi mahdollista hyötyä RAID-tasojen konfiguraatioista. Tallennustilan lisääminen on mahdollista järjestelmän rajojen puitteissa.

4.5 USB 3.0 -jakaja

Palvelinkokoonpanossa käytettiin ulkoista USB 3.0 -jakajaa antamaan virtaa ulkoiselle kovalevylle. Ulkoiseksi jakajaksi valittiin Transcend HUB3 SuperSpeed 3.0. Jakaja kytketään verkkovirtaan. Ulkoinen kovalevy liitetään jakajaan, joka yhdistetään Raspberry Pi -alustan USB 3.0 -liitäntään.

Taulukko 1. Komponenttien hinnat (Jimms 2020) (Verkkokauppa.com Oyj 2020).

Komponentti	Hinta (€)
Raspberry Pi 4 model B	69,90
Seagate Expansion Portable	62,00
Transcend HUB3 SuperSpeed USB 3.0 -jakaja	29,90
Verbatim C10 16 Tt microSDHC -muistikortti	9,90
USB-C Virtalähde	14,90
Yhteensä	169,65

5 LÄHIVERKKO

Tässä luvussa käsitellään lähiverkkoa ja sen osuutta opinnäytetyön NAS-palvelimessa. Luvussa käydään läpi tarvittavien asetusten määrittäminen lähiverkossa, jotta lähiverkon reititin mahdollistaisi SSH-yhteyksien käyttämisen ja määrittämisen. Luvussa esitellään myös työssä käytetty reititin.

5.1 Yleisesti verkkolaitteista

Markkinoilla on useita eri verkkolaitteiden valmistajia. Yleisimpiä ovat ASUS, TP-LINK, Zyxel ja Cisco. Reitittimen tai modeemin tarkoituksena on mahdollistaa laitteiden pääsy ulkoverkkoon ja rakentaa sen pohjalta suljettu lähiverkko. Modeemi on pakollinen silloin, jos rakennuksessa ei ole toteutettu yleiskaapelointia verkkoa varten eli verkkoyhteydet on toteutettu ADSL- tai VDSL-tekniikalla. Tällöin modeemi kytketään puhelinpistokkeeseen RJ-11 liitännällä. Jos kuitenkin rakennuksessa on yleiskaapelointi verkoille, voidaan käyttää uudempia RJ-45 kaapeleita suoraan. Reititin jakaa verkkoyhteyden yhdelle tai useammalle laitteelle. Käytettäessä langatonta WLAN-yhteyttä, reititin käyttää sille asetettua WLAN-standardin mukaista nopeutta. WLAN-standardeja on tällä hetkellä kuusi kappaletta. (Taulukko 2).

Taulukko 2. WLAN-standardit (Microwaves101 2020).

Standardi	Taajuus (GHz)	Maksiminopeus (Mb/s)
802.11a	5	54
802.11b	2,4	11
802.11g	2,4	54
802.11n	2,4/5	600
802.11ac	5	1000/500
802.11ax	2,4/5	10000 (arvio)

5.2 ASUS DSL-N16

Työhön valittiin jo olemassa oleva ASUS DSL-N16. Reititin tukee ADSL- ja VDSL-tekniikkaa, joten se sopii hyvin opinnäytetyön projektiin. Reitittimestä löytyy neljä kappaletta RJ-45 porttia, joten useamman laitteen liittäminen LAN-verkkoon on mahdollista. Reititin kytkettiin puhelinpistokkeeseen RJ-11 liitännän avulla. Reititintä voi käyttää DSL-modeemireitittimenä tai erillisenä langattomana reitittimenä. Reititin kykenee antamaan jopa 300 Mb/s yhteyden 802.11n-standardilla, mutta työssä käytettiin noin 80 Mb/s yhteyttä kiinteällä LAN-verkolla. Langattomana reititin käyttää 2,4 GHz:n N-standardin WLAN-yhteyttä. Reititin mahdollistaa lähiverkon käyttämisen NAS-palvelinta varten. (ASUSTek Computer Inc. 2020.)

6 TYÖN TOTEUTUKSEEN KÄYTETYT OHJELMAT

BalenaEtcher-ohjelmistoa käytettiin Raspberry Pi OS -käyttöjärjestelmän näköistiedoston kirjoittamiseen microSDHC -kortille. Se on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, joka on ladattavissa osoitteesta <https://www.balena.io/etcher/>. Ohjelmisto on helppokäyttöinen ja näköistiedoston kirjoittaminen ulkoiselle asemalle sujuu minuuteissa. (Balena 2020.)

MobaXterm on avoimen lähdekoodin ohjelmisto lähes kaikkiin eri etäyhteyksiin eri tietokoneiden välillä. Ohjelmisto tarjoaa intuitiivisen käyttöliittymän eri palvelinyhteyksiä varten ja tukee Linux-komentoja Windows käyttöjärjestelmässä. Ohjelmistolla luotiin yhteys Raspberry Pi -tietokoneeseen käyttäen SSH-yhteyttä. Ohjelmiston voi ladata ilmaiseksi osoitteesta <https://mobaxterm.mobatek.net/>. (Mobatek 2020.)

Angry IP Scanner on avoimen lähdekoodin ohjelmisto verkkoyhteyksien hallitsemiseen. Ohjelmistolla pystyy etsimään kaikki lähiverkossa olevat laitteet ja niiden IP-osoitteet, isäntänimet sekä MAC-osoitteet. Ohjelmiston käyttäminen mahdollistaa Raspberry Pi -alustan lähiverkon osoitteen paikantamisen varsinkin DHCP-protokollan ollessa käytössä verkossa. Toimiakseen ohjelmisto vaatii Java-tuen. Ohjelmiston voi ladata ilmaiseksi osoitteesta <https://angryip.org/>. (Keks 2020.)

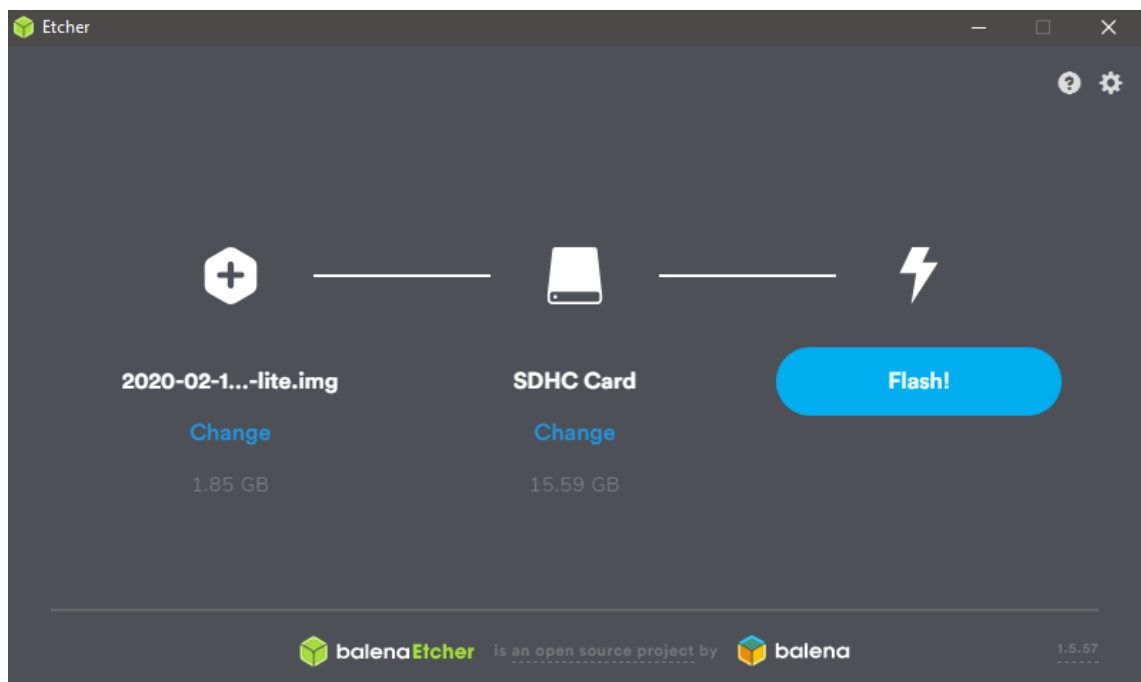
Samba on avoimen lähdekoodin ilmainen ohjelmisto, joka julkaistiin alkuperäisessä muodossaan vuonna 1992. Se tarjoaa SMB/CIFS protokollan välityksellä Windows käyttöjärjestelmälle yhteyden UNIX-pohjaisiin käyttöjärjestelmiin. Sen tarkoitus on luoda saatamaton yhteys käyttöjärjestelmien välille. Opinnäytetyössä Samba käytetään luomaan NAS-palvelimen yhteys käyttäjiin. <https://www.samba.org/>. (Samba 2020.)

7 PALVELIMEN TOTEUTUS

Tässä luvussa kerrotaan NAS -palvelimen toteutuksesta ja tarvittavista vaiheista ennen toimivaa kokoonpanoa. Käyttöjärjestelmäksi valittiin Raspberry OS Lite, sillä se sisältää vain välttämättömät paketit käyttöjärjestelmän toimintaan. Alustan ohjaaminen ja siihen kirjautuminen suoritetaan komentoriviltä ilman varsinaista käyttöliittymää. Luku esittelee myös vaadittavat käyttöjärjestelmän konfiguraatioiden määrytykset NAS-palvelinta varten.

7.1 Käyttöjärjestelmän asentaminen

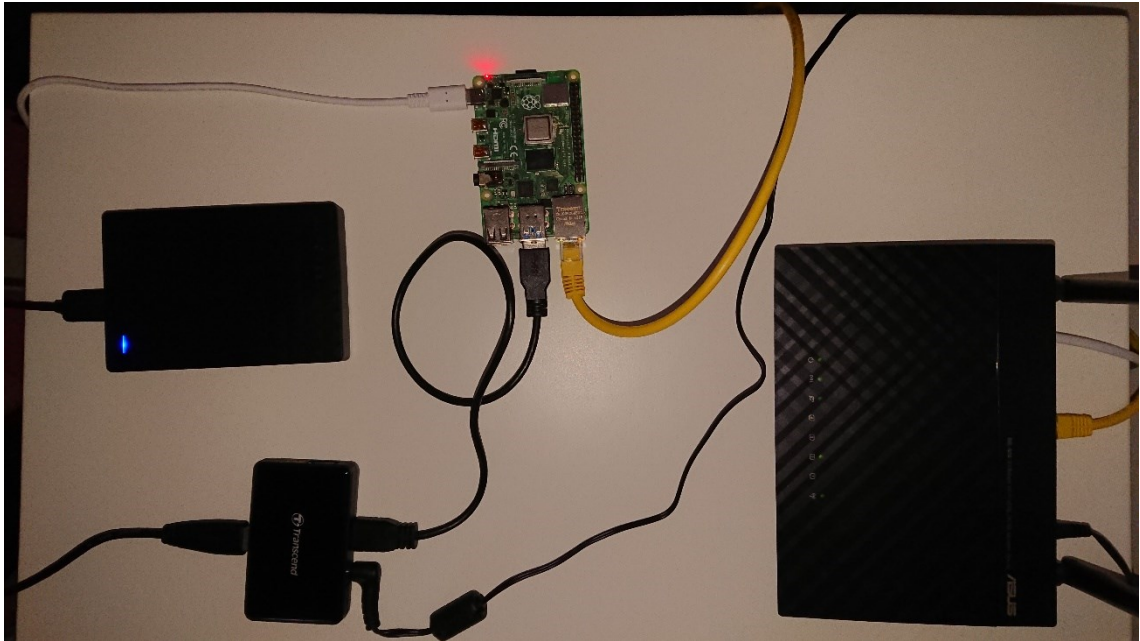
Käyttöjärjestelmän asennus aloitettiin kirjoittamalla käyttöjärjestelmän näköistiedosto MicroSDHC-muistikortille. Kirjoittaminen sujui nopeasti, sillä käyttöjärjestelmän Lite-versio mahdollisti vain käyttöjärjestelmän toiminnan kannalta tärkeiden tiedostojen ja pakettien asentamisen. Kuvassa 4 esitellään balenaEtcher-ohjelmiston käyttöliittymä.



Kuva 4. Käyttöjärjestelmän kirjoittaminen MicroSDHC -muistikortille.

Muistikortille luotiin tyhjä tiedosto nimeltä `ssh`, jotta Raspberry Pi -alustaan saatiin yhteys käyttäen SSH-yhteyttä MobaXterm -sovelluksen komentoriviltä.

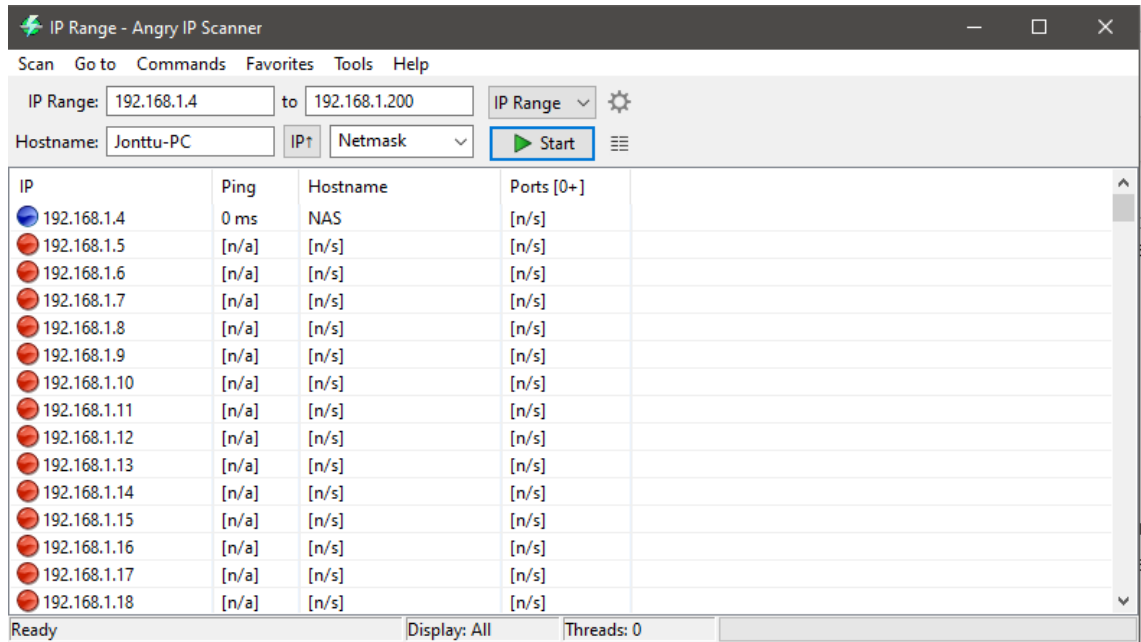
Kirjoittamisen jälkeen muistikortti poistettiin turvallisesti tietokoneesta, jotta vältettiin muistikortin korruptoituminen. Raspberry Pi -alustaan kytkettiin itse muistikortti, USB-C virtalähde, verkkokaapeli, sekä kovalevy NAS-palvelimen tallennustilaa varten. Järjestelmä liitettiin verkkovirtaan. Kuvassa 5 esitellään fyysinen kokoonpano NAS-palvelimelle.



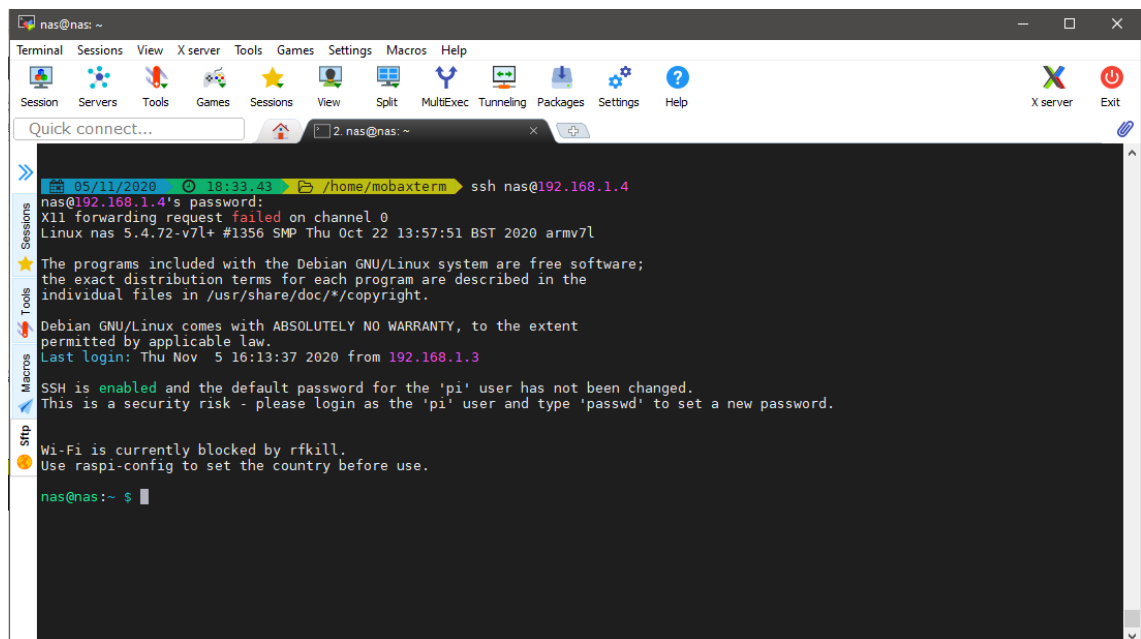
Kuva 5. NAS-palvelimen kokoonpano.

7.2 SSH-yhteys

Työssä haluttiin muodostaa yhteys tietokoneelta Raspberry Pi -alustaan käyttämällä SSH-yhteyttä (Kuva 7). Kappaleen 4.2 MobaXterm-ohjelmisto mahdollistaa erilaisten etäyhteyksien muodostamisen laitteiden välille. Aluksi oli selvitettävä Raspberry Pi -alustalle reitittimen DHCP:n antama IP-osoite. Tähän tehtävään käytettiin kappaleen 4.3 Angry IP-Scanner-ohjelmistoa. Ohjelma syöttää automaattisesti lähiverkon osoitteiston hakuehdoiksi. Haun päätyttyä havaittiin Raspberry Pi -alustan IP-osoitteeksi lähiverkon osoite 192.168.1.4 (Kuva 6).



Kuva 6. IP-osoitteen etsiminen.



Kuva 7. SSH-yhteyden muodostaminen.

7.3 Käyttöjärjestelmän konfigurointi

Raspberry Pi -alustan konfiguroiminen suoritettiin SSH-yhteydellä MobaXtermin komentoriviltä. Aluksi lisättiin uusi käyttäjä *nas* käyttöjärjestelmän tietokantaan *sudo adduser* komennolla. Uudelle käyttäjälle annettiin korkeimman tason käyttöoikeudet järjestelmään komennolla *sudo visudo*. Komento avasi konfiguraatitiedoston, jossa käyttöoikeudet annettiin lisäämällä rivi *nas ALL=(ALL:ALL) ALL*.

Seuraavaksi asetettiin muutamia perusrajoituksia alustan SSH-yhteyttä varten. Komento *sudo nano /etc/ssh/sshd_config* avasi tekstitiedoston SSH asetuksia varten. Tiedostoon tehtiin seuraavat muutokset:

- AllowTcpForwarding no
- X11Forwarding no
- PermiRootLogin no
- DenyUsers pi
- AllowUsers nas

Nämä asetukset tekivät SSH-yhteyden käytöstä turvallisempaa. Konfiguraatitiedostossa on mahdollista asettaa lukuisia rajoituksia yhteydelle.

7.4 Tallennustilan alustaminen

Opinnäytetyöhön valitun kovalevyn oletusformaatti oli NTFS. Tämä tiedostojärjestelmä on erityisesti käytössä Microsoftin Windows -käyttöjärjestelmässä. Linux-pohjaiset käyttöjärjestelmät tukevat luonnostaan NTFS-tiedostomuotoa, mutta sen käyttäminen tallennusmedioissa saattaa aiheuttaa korkeampaa prosessorin rasitusta. Tämän vuoksi työssä päädyttiin alustamaan kovalevy uudelleen ja siirtymään EXT4-tiedostojärjestelmään (Kuva 8). Linux-käyttöjärjestelmät osaavat hyödyntää EXT4-tiedostojärjestelmää luonnostaan hyvin.

Tallennustilan alustaminen aloitettiin komennolla

```
sudo lsblk -o UUID,NAME,FSTYPE,SIZE,MOUNTPOINT,LABEL,MODEL.
```

Komento osoitti saatavilla olevat osiot, lisälaitteet ja tallennustilat. Seagate kovalevy havaittiin sijainnissa */dev/sda* (Kuva 9). Seuraavaksi luotiin kansio, johon kovalevy

kiinnitettäisiin tiedostojärjestelmässä komennolla `sudo mkdir /mnt/disk`. Tässä vaiheessa oli viisasta käynnistää levyn formatointi komennolla `sudo fdisk /dev/sda`. Formatointiohjelmasta valittiin uuden osion luominen ja osio sai nimen `sda1`. Tämän jälkeen formatoitiin juuri luotu osio EXT4-tiedostojärjestelmäksi komennolla `sudo mkfs.ext4 /dev/sda1`.

```
nas@nas:~$ sudo fdisk /dev/sda
Welcome to fdisk (util-linux 2.33.1).
Changes will remain in memory only, until you decide to write them.
Be careful before using the write command.

Command (m for help): g
Created a new GPT disklabel (GUID: 3437B9BF-1813-194D-8B6C-A7FE750062F0).
The old dos signature will be removed by a write command.

Command (m for help): n
Partition number (1-128, default 1):
First sector (2048-1953525133, default 2048):
Last sector, +/-sectors or +/-size{K,M,G,T,P} (2048-1953525133, default 1953525133):

Created a new partition 1 of type 'Linux filesystem' and of size 931.5 GiB.
Partition #1 contains a ext4 signature.

Do you want to remove the signature? [Y]es/[N]o: Y

The signature will be removed by a write command.

Command (m for help): w
The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.

nas@nas:~$ sudo mkfs.ext4 /dev/sda1
mke2fs 1.44.5 (15-Dec-2018)
Creating filesystem with 244190385 4k blocks and 61054976 inodes
Filesystem UUID: d6d44459-d498-4eea-b7c0-34cda8bd1425
Superblock backups stored on blocks:
    32768, 98304, 163840, 229376, 294912, 819200, 884736, 1605632, 2654208,
    4096000, 7962624, 11239424, 20480000, 23887872, 71663616, 78675968,
    102400000, 214990848

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Creating journal (262144 blocks): done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done
```

Kuva 8. Osion luominen ja levyn formatointi.

Formatoinnissa luotu tallennusmedia kiinnitettiin aiemmin luotuun kansioon komennolla `sudo mount /dev/sda1 /mnt/disk`. Kiinnityksen poistuminen jokaisen uudelleenkäynnistyksen myötä estettiin muokkaamalla käynnistyskonfiguraatiota `sudo nano /etc/fstab` komennolla. Tiedostoon lisättiin rivi `UUID=d6d44459-d498-4eea-b7c0-34cda8bd1425 /mnt/disk ext4 defaults,auto,users,rw,nofail 0 0`. Kyseisen rivin ansiosta tallennusasema pysyy kiinnitettynä järjestelmän sammussa ja käynnistyessä.

```

nas@nas:~ $ sudo lsblk -o UUID,NAME,FSTYPE,SIZE,MOUNTPOINT,LABEL,MODEL
[sudo] password for nas:
UUID                                NAME      FSTYPE  SIZE MOUNTPOINT LABEL  MODEL
d6d44459-d498-4eea-b7c0-34cda8bd1425  └─sda1    ext4    931.5G /mnt/disk
4AD7-B4D5                               mmcblk0
2887d26c-6ae7-449d-9701-c5a4018755b0  └─mmcblk0p1 vfat    256M /boot    boot
└─mmcblk0p2 ext4    14.3G /        rootfs

```

Kuva 9. Kovalevy havaittavissa.

7.5 Samban konfigurointi

Samba asennettiin etäyhteyden avulla komennolla `sudo apt-get install samba samba-common-bin`. Ohjelmisto asentui nopeasti ja oli käyttövalmis heti asennuksen jälkeen. Samba varten luotiin tallennusmedian kiinnityskansioon tiedostojen jakoa varten kansio `/mnt/disk/share`. Ohjelmistoa ohjataan muokkaamalla sen konfiguraatiotiedostoa (Kuva 10). Komennolla `sudo nano /etc/samba/smb.conf` avattiin SMB-protokollan asetukset. Tiedoston loppuosaan kirjoitettiin seuraavia parametreja:

- [share]
- path=/mnt/disk/share, tiedostojen tallennussijainnin polku
- comment=Shared Files, tallennussijainnin kuvaus
- writeable=yes, antaa käyttäjille kirjoitusoikeudet tiedostoihin lukuoikeuksien lisäksi
- create mask=0777, pakottaa käyttäjän luomat tiedostot kirjoitus- ja lukutilaan
- directory mask=0777, pakottaa käyttäjän luomat kansiot kirjoitus- ja lukutilaan sekä ajettaviksi
- public=no, asettaa tallennussijainnin yksityiseksi
- hide files=/lost+found/, piilottaa EXT4-tiedostojärjestelmän kansiot käyttäjältä

```
# Windows clients look for this share name as a source of downloadable
# printer drivers
[print$]
  comment = Printer Drivers
  path = /var/lib/samba/printers
  browseable = yes
  read only = yes
  guest ok = no
# Uncomment to allow remote administration of Windows print drivers.
# You may need to replace 'lpadmin' with the name of the group your
# admin users are members of.
# Please note that you also need to set appropriate Unix permissions
# to the drivers directory for these users to have write rights in it
; write list = root, @lpadmin

[share]
path=/mnt/disk/share
comment=Shared Files
writeable=Yes
create mask=0777
directory mask=0777
public=no
hide files=/lost+found/
```

[Cancelled]

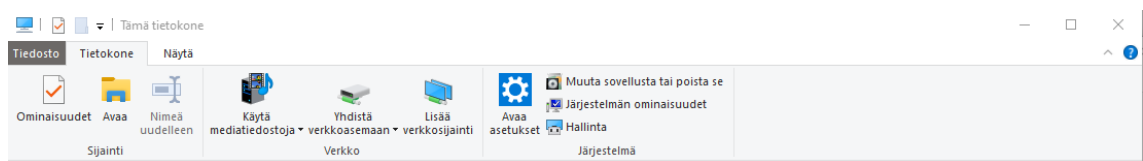
Get Help	Write Out	Where Is	Cut Text	Justify	Cur Pos	Undo	Mark Text
Exit	Read File	Replace	Uncut Text	To Spell	Go To Line	Redo	Copy Text

Kuva 10. Samban SMB-konfiguraatio.

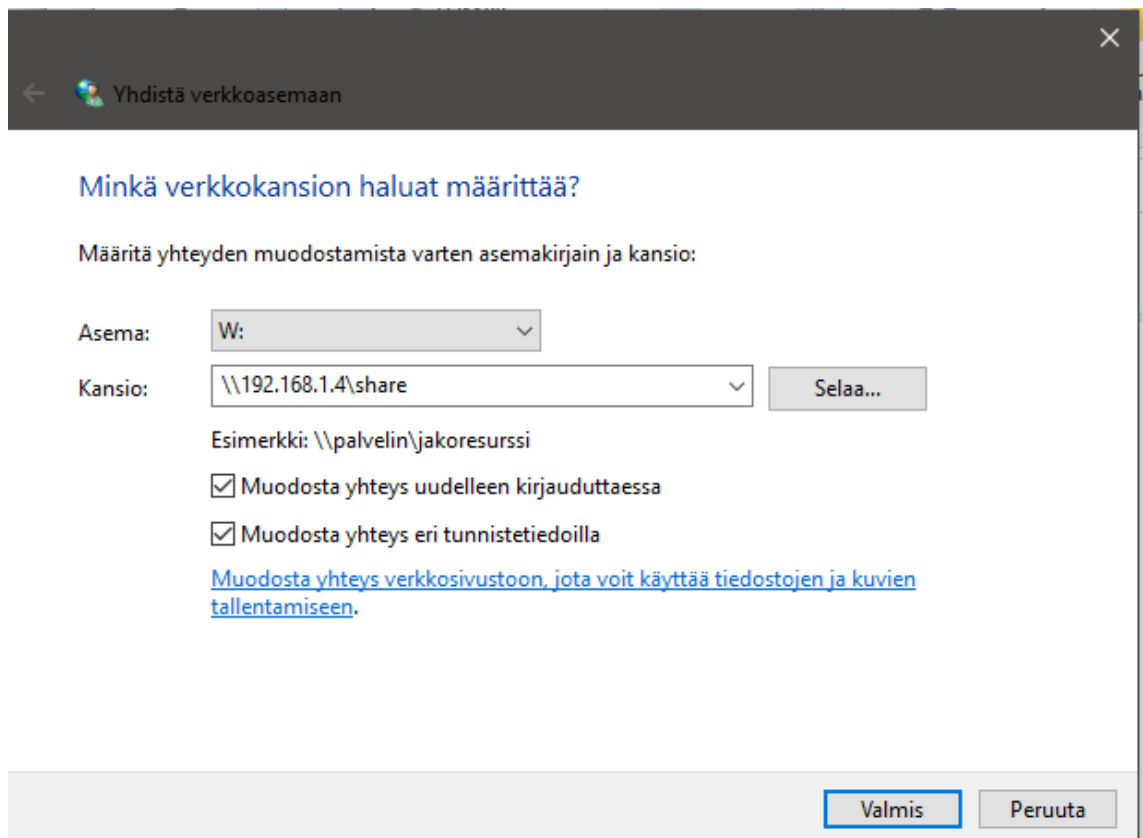
8 VERKKOASEMAN KÄYTTÄMINEN

Tässä luvussa kerrotaan, miten luvussa 7 luotua NAS-palvelinta käytetään. Luvussa näytetään yksityiskohtaisesti palvelimen käyttäminen Windows -käyttöjärjestelmässä.

Windows 10 -käyttöjärjestelmässä verkkosemaan yhdistäminen tapahtuu resurssienhallinnan kautta. Avaamalla resurssienhallinnan pääsee Tietokone-välilehdelle (Kuva 11). Välilehdessä painamalla *Yhdistä verkkosemaan* pääsee kirjautumaan palvelimen osoitteeseen (Kuva 12).



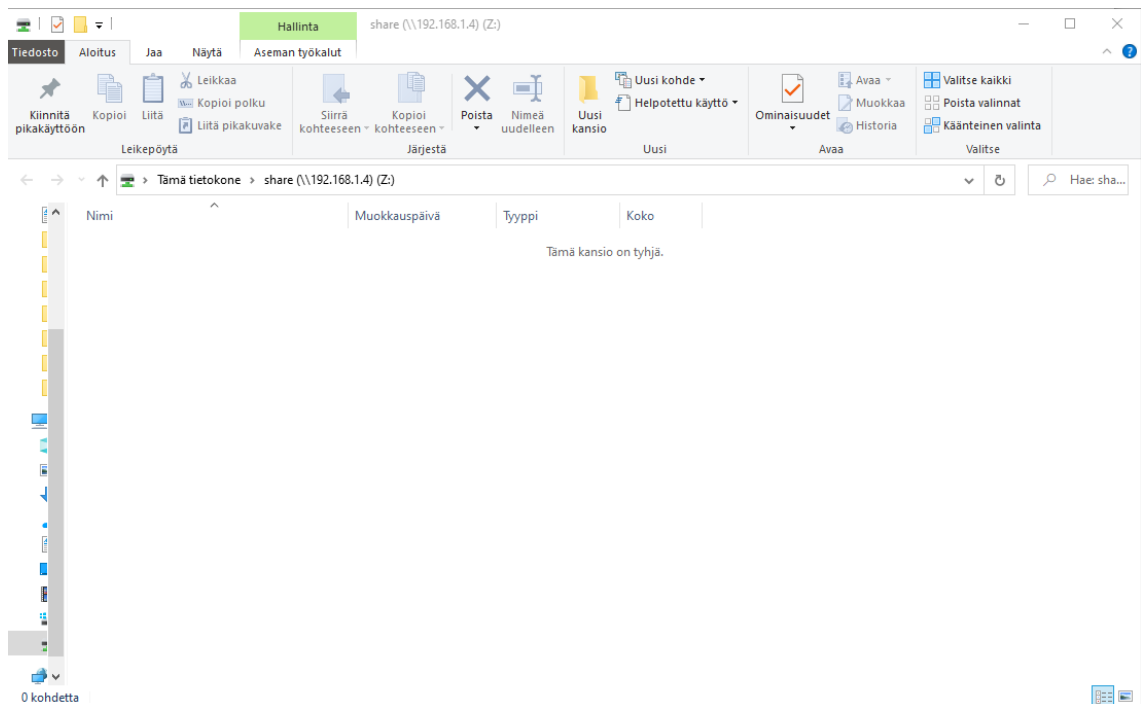
Kuva 11. Resurssienhallinnan näkymä.



Kuva 12. Verkkoseman määritysnäkymä.

Verkko-osoitteen määrittämisen jälkeen palvelin pyytää käyttäjää kirjautumaan palvelimelle. Kirjautumisen onnistuttua käyttäjä on valmis käyttämään palvelimella olevia tiedostoja (Kuva 13).

NAS-palvelimen yhteyksien testaamiseksi luotiin 1 Gt:n tyhjä tiedosto Windowsin komentorivillä. Tiedosto kopioitiin palvelimeen kokonaisuudessaan. Tiedoston siirtämiseen kului 1,5 minuuttia 11,4 MB/s kirjoitusnopeudella. Vaikka palvelimen tallennuslevy lupaa yli 100 MB/s kirjoitusnopeuksia, järjestelmä on riippuvainen USB-väylästä ja siksi kärsii hitaammista nopeuksista.



Kuva 13. Verkkoaseman kansio.

9 VALMIIT NAS-PALVELIMET VAI RASPBERRY PI

Tässä luvussa kerrotaan erilaisista valmiista NAS-palvelin ratkaisuista. Luvussa pohditaan itse tehdyn Raspberry Pi NAS -järjestelmän etuja ja haittoja. Esiteltyjä ratkaisuja verrataan opinnäytetyössä kehitettyyn Raspberry Pi -pohjaiseen NAS-palvelimeen.

9.1 Valmiit NAS-palvelimet

Markkinoilta löytyy useita eri tason valmiita NAS-palvelimia. Useimmissa tapauksissa ne sisältävät tietokonekomponenttien taseisia osia ja ovat siksi hyvin tehokkaita. Palvelimille on laadittu yhteensopiva ohjelmisto, joka mahdollistaa käyttäjän tiedostojen tallentamisen palvelimelle. Opinnäytetyössä tutkittiin kahta saman valmistajan NAS-palvelinta. Palvelimiksi valittiin Synology DS220+ ja DS218Play. Synology DS220+ maksaa noin 372,90 €, joten se on huomattavasti kalliimpi Raspberry Pi -pohjaiseen ratkaisuun nähden (Verkkokauppa.com Oyj 2020a.). Synology DS218Play maksaa noin 237,90 € ja on täten myös kalliimpi kuin opinnäytetyössä toteutettu NAS-palvelin (Verkkokauppa.com Oyj 2020b.).

Synology DS220+ sisältää Intel Celeron J4025 64-bittisen kaksiydin prosessorin 2,0 GHz:n vakiotaajuudella ja 2,9 GHz:n burst-taajuudella. Keskusmuistia laitteella on vakiona 2 Gt DDR4-muistia, mikä on laajennettavissa kolminkertaiseksi. Palvelin tukee RAID0 ja RAID1 asetuksia sekä useita eri tiedostojärjestelmiä, kuten opinnäytetyössä käytettyä EXT4-tiedostojärjestelmää. Palvelin ei sisällä tallennustilaa, joten käyttäjän on hankittava itse kovalevyjä. Palvelimen maksimi virrankulutus on 14,69 W sen ollessa käytössä. (Synology Inc. 2020.)

Synology DS218Play käyttää Realtek RTD1296 64-bittistä neliydin prosessoria, jossa vakio kellotaajuudeksi esitetään 1,4 GHz:n lukemaa. Keskusmuistia laitteella on 1 Gt DDR4-muistia. Palvelimelle voi asettaa RAID0- ja RAID1-tuet sekä useimmat tiedostojärjestelmät. DS218Play ei myöskään sisällä tallennuslevyjä. Palvelimen maksimi virrankulutus on 16,67 W sen ollessa käytössä. (Synology Inc. 2020.)

9.2 Raspberry Pi NAS

Raspberry Pi 4 esiteltiin tarkemmin ja sen tekniset tiedot lueteltiin luvussa 3. Verrattaessa luotua Raspberry Pi NAS -järjestelmää kahteen kappaleessa 9.1 mainittuun NAS-palvelimeen voi huomata muutamia eroavaisuuksia. Raspberry Pi 4 model B käyttää 64-bittistä ARM Cortex-A72 neliydinprosessoria, jossa vakiokellotaajuus on 1,5 GHz:iä. Kellotaajuuden ja ydinten määrän vertailussa Raspberry Pi asettuu juuri esiteltyjen mallien väliin. On kuitenkin huomattava, että pelkkä kellotaajuus tai ydinten määrä ei kerro suoranaisesti suorituskyvyn absoluuttisesta tasosta. Kellotaajuus kertoo suoritettavien kellojaksojen määrästä sekunnissa. Suurempi kellotaajuus siis takaa yhä suuremman käskykannan (eng. instruction set) suorittamisen lyhyemmässä ajassa. Ydinten määrä mahdollistaa käskykannan ja tehtävien jakamisen eri ytimille eli yhä useampi tehtävä suoritetaan samanaikaisesti. Raspberry Pi 4 -alustan prosessorin suorituskky on täten verrattaen hyvä Synologyn palvelimiin nähden. (Intel Corporation 2020.)

Raspberry Pi sisältää 4 Gt:n DDR4-keskusmuistin. Keskusmuistia on enemmän kuin kappaleessa 9.1 mainituissa NAS-palvelimissa. Tämä mahdollistaa ohjelmien ja tiedostojen nopeamman avaamisen. Keskusmuistiin lisätään avattavat ohjelmat ja tiedostot, jotta niiden käyttäminen olisi nopeampaa. Keskusmuistin lisääminen mahdollistaa suuremman joukon tehtävien käynnistämisen ja käyttämisen samaan aikaan.

Opinnäytetyössä toteutettuun NAS-palvelimeen sisältyy yksi tallennustilan kovalevy. Kovalevyn vaihtaminen uudempaan ja nopeampaan Solid State Disk (SSD) -levyyn lisäisi teoreettisia luku- ja kirjoitusnopeuksia. Opinnäytetyön NAS-palvelin on kokonaisuudessaan pienikokoinen Synologyn palvelimiin verrattuna.

NAS-järjestelmän suorituskky on riippuvainen käytössä olevista liitännöistä ja protokollista. Palvelin käyttää 80 MB/s latausnopeutta reitittimen lähiverkossa, jonka kautta palvelimen tiedonsiirto välittyy SMB:n ohjauksella käyttäjälle. Raspberry Pi -alustan muistikortilla olevat ohjelmistot välittävät käyttäjän käskyjä laitteen ohjainten kautta USB-väylään. Väylä ohjaa käskyt edelleen USB-keskittimelle ja sen kautta kovalevylle. Palvelimen kirjoitus- ja lukunopeudet jäivät 11,4 MB/s tasolle. Synologyn NAS-palvelimet lupaa yli 100 MB/s luku- ja kirjoitusnopeuksia. Voi siis todeta, että valmiiden NAS-palvelinten luku- ja kirjoitusnopeudet ovat suurempia ja täten myös tehokkaampia tiedontallennusjärjestelmiä.

10 LOPUKSI

Nykyaikaisessa maailmassa tiedon määrä kasvaa jatkuvasti. On todennäköistä, että tiedon määrä kaksikertaistuu joka vuosi. Jatkuvasti lisääntyvälle tiedolle tarvitaan koko ajan yhä enemmän tallennustilaa ja yhä laaja-alaisempia tallennusmuotoja. Uusien vaihtoehtoisten tiedon tallennusjärjestelmien kehitys lisääntyy tiedon määrän kasvaessa ja on luonnollista, että myös tiedon tallennukseen liittyvät kysymykset nousevat ajankohtaisiksi. Tiedon säilyttäminen luotettavasti ja turvallisesti on haastava kysymys nyky-yhteiskunnalle. Nykyinen kehitys on saanut myös erityisesti henkilökohtaisten tallennusjärjestelmien merkityksen nousemaan.

Opinnäytetyössä perehdyttiin vaihtoehtoiseen henkilökohtaiseen tiedontallennukseen. Network Attached Storage -järjestelmät pyrkivät vastaamaan henkilökohtaisten tiedontallennusjärjestelmien kysyntään. Opinnäytetyössä selitetään NAS-järjestelmien teoriaa ja luetellaan niiden tärkeimmät ominaisuudet. Työssä esiteltiin NAS-palvelinten tiedonsiirtoprotokollat sekä keskeisimmät komponentit. NAS-palvelimelle tyypilliset RAID-asetukset esiteltiin ja lisäksi perehdyttiin lähiverkkoon sekä lähiverkon ympäristön mahdollisuuksiin.

Opinnäytetyössä luotiin vaihtoehtoinen Debian-pohjainen NAS-palvelin. NAS-palvelimen pohjaksi valittu Raspberry Pi -mikrokontrolleri soveltui työhön hyvin. Mikrokontrollerista esiteltiin tärkeimmät ominaisuudet ja pohdittiin niiden yhteyttä NAS-palvelimen kannalta. Raspberry Pi -alustan teknisiä ominaisuuksia verrattiin kahteen markkinoilla olevaan. Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan valmis ja hyvin toimiva NAS-palvelin kokonaisuus.

Opinnäytetyön suunnitteluun ja aiheeseen perehtymiseen kului runsaasti aikaa. Palvelimen komponenttien etsiminen ja laajempi tutkimustyö vei useita viikkoja. Palvelimiin ja web-tekniikkaan liittyvät asiat olivat suurimmilta osin itselleni tuntemattomia. Aikaisempi kokemus mikrokontrollereista ja erityisesti Raspberry Pi -alustasta auttoi opinnäytetyön tekemisessä.

Tulevaisuudessa olisi hyödyllistä, jos luotu NAS-palvelin saataisiin yhdistettyä myös muihin käyttöjärjestelmiin, kuten macOS -käyttöjärjestelmään. Erillisen käyttöliittymän luominen olisi myös hyödyllistä projektin kehityksen kannalta. Tulevaisuudessa NAS-palvelinta voitaisiin kehittää myös varmuuskopioimaan palvelimen tiedostot palvelimen

ulkopuoliseen sijaintiin. Tämä mahdollistaisi vielä astetta turvallisemman käyttökokemuksen.

LÄHTEET

ASUSTeK Computer Inc. 2020. "DSL-N16 300Mbps Wi-Fi VDSL/ADSL Modem Router". Viitattu 4.5.2020. <https://www.asus.com/Networking-IoT-Servers/Modem-LTE-Routers/All-series/DSL-N16/>.

balena 2020. "balenaEtcher". Viitattu 5.11.2020. <https://www.balena.io/etcher/>.

Deng, Yuhui 2009. "Deconstructing Network Attached Storage systems". J. Network and Computer Applications. 32. 1064-1072. 10.1016/j.jnca.2009.02.006.

FS 2018. "NAS vs Server: Which Is Right for You?". Viitattu 5.11.2020. <https://community.fs.com/blog/nas-vs-server-difference.html>.

Heath, Nick 2018. "Inside the Raspberry Pi: The story of the \$35 computer that changed the world". Viitattu 3.11.2020. <https://www.techrepublic.com/article/inside-the-raspberry-pi-the-story-of-the-35-computer-that-changed-the-world/>.

Intel Corporation 2020. "What Is Clock Speed?". Viitattu 6.11.2020. <https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/cpu-clock-speed.html>.

Jimms PC-Store Oy 2020a. "Raspberry Pi Pi 4 Model B, yhden piirilevyn itsenäinen alusta, 4GB". Viitattu 2.11.2020. <https://www.jimms.fi/fi/Product/Show/152184/sc15185/raspberry-pi-pi-4-model-b-yhden-piirilevyn-itsenainen-alusta-4gb>.

Jimms PC-Store Oy 2020b. "Verbatim MicroSDHC, 16GB, Class 10, mukana sovitin". Viitattu 2.11.2020. <https://www.jimms.fi/fi/Product/Show/104277/44082/verbatim-microsdhc-16gb-class-10-mukana-sovitin>.

Jimms PC-Store Oy 2020c. "Raspberry Pi USB-C -virta-adapteri, 5.1V / 3A, EU, valkoinen". Viitattu 2.11.2020. https://www.jimms.fi/fi/Product/Show/152763/sc0213/raspberry-pi-usb-c-virta-adapteri-5_1v-3a-eu-valkoinen.

Jimms PC-Store Oy 2020d. "Seagate 1TB Expansion, ulkoinen 2.5" kiintolevy, USB 3.0, musta". Viitattu 2.11.2020. <https://www.jimms.fi/fi/Product/Show/114651/stea1000400/seagate-1tb-expansion-ulkoinen-2-5-kiintolevy-usb-3-0-musta>.

Keks, Anton 2020. "Angry IP Scanner". Viitattu 2.11.2020. <https://angryip.org/>.

Microwaves101 2020. "WLAN Standards". Viitattu 4.11.2020. <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/wlan-standards>.

Millman, Rene 2019. "RAID levels explained". Viitattu 5.11.2020. <https://www.itpro.co.uk/server-storage/34537/raid-levels-explained>.

Mobatek 2020. "MobaXterm X server and SSH client". Viitattu 5.11.2020. <https://mobaxterm.mobatek.net/>.

Odunlade, Emmanuel 2020. "Raspberry Pi 4 – A Look Under the Hood and How to Make most of it". Viitattu 5.11.2020. <https://www.electronics-lab.com/project/raspberry-pi-4-look-hood-make/>.

Raspberry Pi Foundation 2020. "Raspberry Pi 4". Viitattu 5.11.2020. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/?resellerType=home>.

Red Hat, Inc. 2020. "What is network-attached storage?". Viitattu 5.11.2020. <https://www.redhat.com/en/topics/data-storage/network-attached-storage>.

Rouse, Margaret 2020. "RAID (redundant array of independent disks)". Viitattu 6.11.2020. <https://searchstorage.techtarget.com/definition/RAID>.

Samba 2020. "About Samba". Viitattu 5.11.2020. <https://www.samba.org/>.

Synology Inc. 2020a. "DiskStation DS220+". Viitattu 5.11.2020. <https://www.synology.com/en-global/products/DS220+>.

Synology Inc. 2020b. "DiskStation DS218play". Viitattu 5.11.2020. <https://www.synology.com/en-global/products/DS218play>.

Total Phase, Inc. 2020. "USB Background". <https://www.totalphase.com/support/articles/200349256-USB-Background>.

Verbatim Americas LLC 2020. "16GB Premium microSDHC Memory Card with Adapter, UHS-I V10 U1 Class 10". Viitattu 5.11.2020. <https://www.verbatim.com/prod/memory-cards/premium-micro-sdhc/premium-micro-sdhc/>.

Verkkokauppa.com Oyj 2020a. "Synology DiskStation DS220+ -verkkolevypalvelin". Viitattu 4.11.2020. <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/13969/nvtvv/Synology-DiskStation-DS220-verkkolevypalvelin>.

Verkkokauppa.com Oyj 2020b. "Synology DS218Play -verkkolevypalvelin". Viitattu 4.11.2020. <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/36019/kgrsv/Synology-DS218Play-verkkolevypalvelin>.

Verkkokauppa.com Oyj 2020c. "Transcend HUB3 SuperSpeed USB 3.0 -hubi". Viitattu 2.11.2020. <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/24692/drvtk/Transcend-HUB3-SuperSpeed-USB-3-0-hubi>.