

Opinnäytetyö AMK

Tieto- ja viestintäteknikka

MICTIS15

2017

Petteri Hanhimäki

# MOBIILILAITTEEN TALLENNUSMUISTIN LAAJENTAMINEN JA SUORITUSKYKY

Petteri Hanhimäki

## MOBIILILAITTEEN TALLENNUSMUISTIN LAAJENTAMINEN JA SUORITUSKYKY

Monien kannettavien laitteiden tallennusmuisti on rajallinen. Eri käyttötarkoitusten asettamien suorituskykyvaatimukset täyttävän tallennusmuistin tunnistaminen on hankalaa. SD-muistikortit ovat tuettuja useimmissa älypuhelimissa ja taulutietokoneissa. SD-muistikorttien standardi määrittelee nopeusluokituksen. Mikäli muistikorttia tai laajennusmuistia käytetään monipuolisesti, on muistien suorituskyvystä oltava tarkempaa tietoa.

Näiden ongelmien ratkaisemiseksi tässä opinnäytetyössä paneuduttiin tallennusmuisti-ratkaisuihin ja suorituskyvyn mittaamiseen sekä riittävän suorituskykyisen muistin tunnistamiseen. Tallennusmuistien väliset erot pyrittiin löytämään kokeilemalla eri mittaustapoja käytäviä sovelluksia sekä tavallista käyttöä kuvaavia testejä.

Opinnäytteessä tutkittiin eri vaihtoehtoja tallennusmuistin laajentamiseksi sekä muistikorttien merkintöjä ja niiden vastaavuutta todelliseen suorituskykyyn. Suorituskyvyn mittaamisessa käytettiin eri suorituskykysovelluksia eri mobiililaitteissa.

Testattujen SD-muistikorttien välillä ilmeni suuria suorituskykyeroja. Sisäisen tallennusmuistin ja lisätyn SD-muistikortin välillä ilmeni suorituskykyeroja. Hankittavan tallennusmuistin lisäksi suorituskykyyn vaikuttaa laitteen toteutus tukea laajennusmuistia. Laitteen ohjelmiston on tuettava vaadittavaa tiedostojärjestelmää ja laitteiston rajapintaa, jolla tallennusmuistin suorituskykyä voidaan käyttää hyväksi riittävällä tasolla. Aiempien SD-muistikorttimääritelmien nopeusluokitus, joka kuvaa parhaiten peräkkäisten operaatioiden suorituskykyä, ei ole riittävä määritelmä monipuoliseen käyttöön tarkoitettulle tallennusmuistille.

Riittävän suorituskykyisen muistikortin käyttöä tallennusmuistin laajentamiseksi voi käyttää. Lisätyn tallennusmuistin käytössä on otettava huomioon tiettyjä rajoitteita kuten, että laitteesta riippuen muistikortille ei voi siirtää kaikkia sovelluksia tai muistikortin tietosuoja ei välttämättä ole samalla tasolla kuin laitteen sisäisen tallennusmuistin. Testattujen mobiililaitteiden SD-muistikorttituen ratkaisuissa havaittiin eroja rajapinnoissa ja suorituskyvyssä.

### ASIASANAT:

SD-kortti, SD-muistikortti, suorituskyky, taulutietokone, tallennusmuisti, tiedostojärjestelmä, älypuhelin.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Information and Communications Technology

2017 | 86 pages

Tina Fern

Petteri Hanhimäki

## EXTENDING MOBILE DEVICE DATA STORAGE AND MEASURING ITS PERFORMANCE

Mass memory on many mobile devices is too limited. Finding a device with memory fulfilling performance demands set by applications is challenging. SD cards are supported in most of smartphones and tablets. The SD card standard defines speed classes for SD cards. If an SD card is used for several purposes, there should be more accurate information about the mass memory performance.

To solve these problems this thesis focuses on mass memory solutions, measuring mass memory performance and methods to identify well-performing mass memories. Different performance measurement applications and tests to simulate normal storage use cases were used to find out differences between mass memories.

In this thesis different methods to extend data storage on mobile devices were studied. The results for these data storage devices and their implications about performance were compared. Performance measurement applications were used to find out the performance level of the examined mass memories.

Significant performance differences were found among the tested SD cards. Also, performance difference between integrated mass memories and SD cards were found during testing. Performance of the added mass memory is defined as a combination of the memory performance and the ability of the mobile device to support its features. Mobile device software needs to support the required file system and device hardware needs to support proper interface specification to utilize mass memory capabilities. Previous SD card specifications defining speed classes which describe sequential access performance is not adequate for memory cards used for several purposes.

Memory cards with adequate high performance can be used as mass memory extension. Mass memory extension usage may have some limitations: not all applications may be transferred to it and information security on memory card may not be as high as with internal storage. SD card support implementation on tested devices showed interface and performance differences.

### KEYWORDS:

Data storage, file system, performance, SD card, smartphone, tablet.

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>11</b>
<b>2 TALLENNUSMUISTIN LISÄÄMINEN</b>	<b>16</b>
<b>3 MUISTIKORTIT</b>	<b>21</b>
3.1 SD-muistikortit	21
3.1.1 SD-korttien fyysiset mitat	22
3.1.2 SD-korttien nopeusluokitukset	24
3.1.3 SD-korttien rajapinnan siirtonopeus	27
3.1.4 SD-muistikortin tiedostojärjestelmä	28
3.2 UFS-muistikortit	29
3.3 Muut muistikortit	30
<b>4 SUORITUSKYKY</b>	<b>31</b>
4.1 Tiedostojärjestelmä	34
4.2 USB-liitäntä	34
<b>5 SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN</b>	<b>37</b>
5.1 Testattavat muistikortit, vertailumuistit	37
5.2 Testilaitteet	38
5.3 Crystal DiskMark-testisovellus	39
5.4 A1 SD Bench-testisovellus	40
5.5 Erilliset suorituskykymittaukset	40
5.6 Mittaustulosten riittävyys	41
5.7 Suorituskyvyn mittaaminen Android älypuhelimessa	42
5.8 Suorituskyvyn mittaaminen Windows taulutietokoneessa	42
5.9 Suorituskyvyn mittaaminen Windows kannettavassa	42
5.10 Suorituskyvyn mittaaminen Windows älypuhelimessa	42
<b>6 SUORITUSKYKYSOVELLUSTEN VERTAILU</b>	<b>43</b>
<b>7 MITTAUSTULOKSET</b>	<b>44</b>
<b>8 MUISTIKORTIN VALINTA</b>	<b>51</b>

<b>9 PÄÄTELMÄT</b>	<b>52</b>
--------------------	-----------

<b>LÄHTEET</b>	<b>53</b>
----------------	-----------

## **LIITTEET**

Liite 1. SD-nopeusluokat ja suorituskyky.
Liite 2. A1 SD bench-sovelluksen käyttöliittymä.
Liite 3. SD Card Speed Test-sovelluksen käyttöliittymä.
Liite 4. Crystal Diskmark-sovelluksen käyttöliittymä.
Liite 5. ATTO Disk Benchmark-sovelluksen käyttöliittymä.
Liite 6. Kannettavan tietokoneen tallennusmuistin vaihtaminen.
Liite 7. SD-muistikortin myyntipakkaus.
Liite 8. Disk speed test-sovelluksen käyttöliittymä.
Liite 9. SD-muistikorttilukijat.
Liite 10. USB-muisti ja microUSB-sovitin.
Liite 11. Testitulostaukset.

## **KUVAT**

Kuva 1. Sony Xperia M5 muistikortin paikoilleen laittaminen.	18
Kuva 2. LG Leon 4G muistikortin lisääminen.	19
Kuva 3. Toshiba WT10 SD-muistikortin lisääminen.	19
Kuva 4. SD, miniSD, microSD-kortit mittoineen (wikipedia 2016a; wikipedia 2016b).	22
Kuva 5. SD-korttiadapteri, miniSD-korttiadapteri ja microSD-kortti etupuolelta.	23
Kuva 6. SD-korttiadapteri, miniSD-korttiadapteri ja microSD-kortti takapuolelta.	23
Kuva 7. Samsung UHS-1 microSD-kortti etu ja takapuolelta.	24
Kuva 8. Lexar UHS-1 microSD-kortti ja SanDisk UHS-1 microSD-kortti.	24
Kuva 9. HS ja UHS-1 microSD-korttien nopeusmerkintäesimerkit.	25
Kuva 10. HS ja UHS-1 microSD-korttien nopeusmerkintäesimerkit.	25
Kuva 11. SD-kortin sovellusnopeusmerkintä (SD Card Association 2016a).	26
Kuva 12. SD-korttien nopeusluokitukset ja kapasiteetit ja rajapinnan eri toimintatilat.	26
Kuva 13. Samsung UFS-muistikortti etu- ja takapuolelta (Samsung 2016a).	30
Kuva 14. Mobiililaitteen muistirajapinnat.	32
Kuva 15. Yleisimpiä USB-liittimiä (wikipedia 2016c; wikipedia 2016d).	36

## **KUVIOT**

Kuvio 1. LG Leon 4G tulokset tyhjillä microSD-korteilla.	44
Kuvio 2. LG Leon 4G tulokset 90% täytetyillä microSD-korteilla.	44
Kuvio 3. Sony Xperia M5 tulokset tyhjillä microSD-korteilla.	45
Kuvio 4. Sony Xperia M5 tulokset 90% täytetyillä microSD-korteilla.	45
Kuvio 5. Lenovo Z50-70 lukutulokset Samsung 32GB UHS-I PRO-kortille.	46

Kuvio 6. Lenovo Z50-70 kirjoitustulokset Samsung 32GB UHS-I PRO-kortille.	46
Kuvio 7. Lenovo Z50-70 lukutulokset SanDisk 64GB Ultra-kortille.	47
Kuvio 8. Lenovo Z50-70 kirjoitustulokset SanDisk 64GB Ultra kortille.	47
Kuvio 9. Lenovo Z50-70 käyttäjätapaus 1, 252 musiikkitiedoston kopiointi muistille.	48
Kuvio 10. Toshiba WT10 microSD-lukijan lukunopeustulokset.	48
Kuvio 11. Toshiba WT10 microSD-lukijan kirjoitusnopeustulokset.	49
Kuvio 12. Toshiba WT10 lukunopeustulokset ulkoisessa lukijassa.	49
Kuvio 13. Toshiba WT10 kirjoitusnopeustulokset ulkoisessa lukijassa.	50

## TAULUKOT

Taulukko 1. Älypuhelinien eri tallennusmuistiversioiden hintaesimerkkejä.	11
Taulukko 2. 32GB SD-muistikorttien esimerkkihintoja verkkokaupoissa.	12
Taulukko 3. Operaattorimyynnin suosituimmat älypuhelimet elokuussa 2016.	13
Taulukko 4. Älypuhelinien tallennusmuistien kapasiteetit.	13
Taulukko 5. SD-muistikorttien rajapinnan kellotaajuudet eri toimintatiloissa.	27
Taulukko 6. SD-korttien tallennuskapasiteetti ja käytettävä tiedostojärjestelmä.	29
Taulukko 7. Irrrotettavia tallennusmuistiratkaisuja.	30
Taulukko 8. USB:n eri versiot ja niiden maksinopeudet	35
Taulukko 9. Testattavat muistit.	38
Taulukko 10. Testeissä käytettävät laitteet.	39
Taulukko 11. Suorituskykysovellusten ominaisuudet.	43

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Android	Googlen kehittämä käyttöjärjestelmä, joka perustuu Linux-ytimeen ja sen päälle rakennettuihin Java-ohjelmointirajapintoihin. Sovellukset ostetaan Googlen hallinnoimasta Google play-kaupasta.
ATA	Advanced Technology Attachment kiintolevyjen liitântätapa josta käytetään myös IDE-nimitystä (Integrated Device Electronics) ATA-liitântä on tyypillisesti tietokoneen emolevyllä integroituna eikä erillistä sovitinkorttia tarvita kuten tyypillisesti SCSI-liitântäisten kiintolevyjä käytettäessä. (Techterms 2016)
DDR	Dual Data Rate, data luetaan sekä kellojakson nousevalla että laskevalla reunalla parantaen näin tiedonsiirtonopeutta ilman että kellotaajuutta nostetaan.
DDR50	Dual Data Rate 50, SD kortin yhdellä kellonreunalla siirrettävä rajapintamäärittely, jossa kellotaajuus on 50MHz. (SD Card Association 2016b)
DRAM	Dynamic Random Access Memory, käyttömuistityyppi jota pitää virkistää säännöllisesti, jotta se ei menetä tilaansa, jokainen muistisolku (bitti) voidaan ajatella kondensaattoriksi joka pitää varata jokaista lukukertaa varten koska lukeminen poistaa osan varauksesta.
eMMC	Embedded Multi Media Card, kiinteästi laitteessa oleva tallennusmuististandardi, joka määrittää muistin sähköisen rajapinnan, komennot ja myös yleiset pakettiratkaisut. Jatkokehitetty MMC:stä.
FD156	SD korttien rajapinnan nopeus UHS-II korteille, 156MB/s. (SD Card Association 2016b)
Flash	ROM tyyppinen muisti jota voidaan komennoilla myös uudelleen kirjoittaa. Tyypillisesti vaatii tyhjennysoperaation ennen uutta kirjoitusoperaatiota. NAND on yksi Flash tyyppi.
FullHD	Full High Definition, täyden teräväpiirron tarkkuus (täysteräväpiirto), yleensä käytetään videolle/näytöille, joiden tarkkuus on 1920x1080 kuvapistettä. Yleisesti käytössä myös muoto 1080p jonka jälkeen voi olla lisämääritelmänä virkistystaajuus esimerkiksi 1080p24 tai 1080p30.
GB	GigaByte, $10^9$ tavua (tarkemmin $1024*1024*1024$ tavua), tavulla tarkoitetaan tässä 8 bittiä. Laitevalmistajat (SSD ja HDD) käyttävät tyypillisesti markkinoinnissa miljoonia tavuja (MB) ja miljardeja tavuja (GB).
HD	High Definition, teräväpiirto, markkinointitermi jota käytetään videoille/näytöille, joiden tarkkuus on 1280x720 kuvapistettä,

	televisioiden ja monitorien tapauksessa tarkoittaa usein myös 1366x768 kuvapisteen tarkkuutta.
HD312	SD korttien rajapinnan nopeus UHS-II korteille, 312 MB/s. (SD Card Association 2016b)
Infotainment	Autossa oleva viihde ja informaatiolaitteisto, sisältää yleensä radion, CD-soittimen/DVD soittimen. Saattaa sisältää navigoinnin ja auton ilmastoinnin säädöt. Laitteissa on tyypillisesti liitännät muistikortin liittämiseksi ja/tai USB-liitin, jonka avulla voidaan kytkeä muistitikku tai älypuhelin laitteistoon.
IC	Integrated Circuit, piiri jonka toteutus sisältää koostettuna erilaisia toimintoja, yleensä toiminnot on koostettu siten että IC:n teollinen tuottaminen on prosessimielessä mahdollisimman tehokasta.
laptop	Sylimikro, näppäimistön sisältävä kannettava tietokone, voi sisältää kosketusnäytön.
MB	Mega Byte, 1024 x 1024 Bytes, Megatavu.
MB/s	Mega Bytes per second, siirto-, luku tai tallennusnopeus Megatavua sekunnissa.
Mbit/s	Mega bits per second, Megabittiä sekunnissa, käytetään yleensä tiedonsiirtonopeuksia ilmaistaessa.
MLC	Multi Level Cell, muistisolun nimitys jota käytetään muistipiirille, jonka yksittäisen tallennusyksikön tila tukee bitin arvoksi 00, 01, 10 tai 11.
MMC	Multi Media Card, muistikortti josta on useampia versioita. MMC-korteilla on monia yhtenevyyksiä SD korttien kanssa.
NAND	Not AND logiikkaan perustuva muistipiiri, jota voi ohjelmoida sivu kerrallaan ja tyhjennetään lohko kerrallaan. Ohjelmoinnilla tarkoitetaan bittien muuttamista 1:stä 0:ksi ja tyhjentäminen 0:ien muuttaminen 1:ksi.
RAM	Random Access Memory, muisti, jota voi osoittaa "mihin kohtaan tahansa", käytetään myös termiä käyttömuisti.
Tablet	Kosketusnäytön kanssa integroitu kannettava tietokone, ilman fyysistä näppäimistöä, taulutietokone.
Windows	Microsoftin kehittämä käyttöjärjestelmä, joka tukee laitteita, joissa on kosketusnäyttö tai fyysinen näppäimistö, ohjaus on mahdollista myös pelkästään hiiren avulla. Viimeisimmästä Windows 10 käyttöjärjestelmästä on 3 eri versiota varsinaisille tietokoneille (x86 arkkitehtuuri), mobiililaitteille (ARM arkkitehtuuri) ja IOT-laitteille. Sovellukset voidaan ostaa Microsoftin hallinnoimasta Windows kaupasta (Windows Store) tai erikseen asennettavina (työasemat).

Älypuhelin	Smartphone, matkapuhelin, jossa on langattomat tietoliikenneyhteydet (matkapuhelinverkko + tyypillisesti myös Bluetooth ja WLAN). Laite saa käyttöenergiansa akusta ja laitteeseen on mahdollista asentaa sovelluksia. Useimmat älypuhelimet ovat kameralla varustettuja ja laitteen etupin-nasta suurimman osan peittää kosketusnäyttö.
SATA	Serial ATA, sarjamuotoinen ATA-liitäntä, nykyään yleisin lii-täntä kiintolevyille ja SSD-aseuille tietokoneissa.
SCSI	Small Computer System Interface, standardi liitäntä-tapa/väylä tietokoneen ja oheislaitteiden välillä. Tukee mo-nenlaisia laitteita kuten printtereitä, tallennusvälineitä tai skannereita. SCSI väylästä on useita eri versioita eri väylä-nopeudella ja väyläleveydellä.
SD	Secure Digital, SDA organisaation hallinnoima määrittelemä standardi tallennusvälineformaatti, josta on eri versioita väy-länopeudeltaan ja fyysiseltä kooltaan sopivaksi eri tarpeisiin.
SDA	Secure Digital Association myös SD Card Association, on kansainvälinen "avoin" standardijärjestö. Jäsenyys maksul-lista.
SDR104	Single Data Rate 104, SD-kortin yhdellä kellonreunalla siir-rettävä rajapintamäärittely, jossa kellotaajuus on 208MHz ja siirtokyky 104 MB/s. Sisältyy SD-määrittelyyn Ultra High Speed UHS-I (SD Card Association 2016b)
SDR25	Single Data Rate 25, SD-kortin yhdellä kellonreunalla siirret-tävä rajapintamäärittely, jossa kellotaajuus on 50MHz ja siir-tokyky 25 MB/s. Sisältyy SD-määrittelyyn High Speed. (SD Card Association 2016b)
SDR50	Single Data Rate 50, SD-kortin yhdellä kellonreunalla siirret-tävä rajapintamäärittely, jossa kellotaajuus on 100MHz ja siirtokyky 50 MB/s. Sisältyy S- määrittelyyn Ultra High Speed UHS-I. (SD Card Association 2016b)
SDSC	Secure Digital Standard Capacity, muistikorttien määritelmä, joka sisältää muistikortit kapasiteetiltaan 64MB – 2GB. (SD Card Association 2016b)
SDHC	Secure Digital High Capacity, SD-korttien standardi joka mahdollistaa 4GB ja suuremmat kapasiteetit (4GB-32GB), julkistettu 2006 (SD Card Association 2016b)
SDR	Single Data Rate, data luetaan kerran joka kellojaksolla.
SDXC	Secure Digital eXtended Capacity (64GB - 2TB), julkistettu 2009. (SD Card Association 2016b)
SIM	Subscriber Identity Module, käyttäjän identiteetti langatto-massa verkossa on tallennettu älykortille, joka voi sisältää

	myös erilaisia muita toimintoja kuten maksukorttiminaisuuden.
SLC	Single Level Cell, muistisolun nimitys, jota käytetään muistipiirille, jonka yksittäisen tallennusyksikön tila tukee bitin arvoksi 0 tai 1.
TLC	Tri Level Cell, muistisolun nimitys, jota käytetään muistipiirille, jonka yksittäisen tallennusyksikön tila tukee bitin arvoksi 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 tai 111.
UFS	Universal Flash Storage, Jedec määrittäminen tallennusmuisteille ja muistikorteille, joilta vaaditaan hyvää suorituskykyä tallennus- ja lukuoperaatioille sekä pientä virrankulutusta.
UHS	Ultra High Speed, SD-korttien nopeusluokitus, joka määrittelee rajapinnan kellotaajuutta, signaalin laatua ja muistin controllerille käytettäviä komentoja. (SD Card Association 2016b)
UHS-1 / UHS-I	Ultra High Speed 1, SD-korttien nopeusluokitus määrittely versio 1, jossa rajapinnan kellotaajuus voi olla 208MHz, 104MHz tai 52MHz. (SD Card Association 2016b)
UHS-2 / UHS-II	Ultra High Speed 2, SD-korttien nopeusluokitusmäärittely versio 2, jossa rajapinnan määrittelyssä on tehty lisää muutoksia versio 1:een nähden mm. kortin rajapinnan sähkömekaaniseen rajapintaan. (SD Card Association 2016b)
Ultrabook	Intelin määrittelemä pienikokoisen, mutta tehokkaan, kannettavan tietokoneen määrittely, jolla pyritään asettamaan tavoitteita laitevalmistajille. (Intel 2016)
USB	Universal Serial Bus, standardoitu sarjaliikenneväylä, tästä standardista löytyy eri versioita, yleisimmät tuetut ovat USB2.0, USB3.0. Standardista on lisäksi eri alaversioita kuten USB2.0 HS. USB-rajapinnassa on myös standardoitu liittimen sähköinen ja mekaaninen rajapinta. Yleisimmät käytössä olevat liittimet ovat USB A, USB C, USB B ja micro-USB liittimet, lisäksi kameroissa yleisesti käytetään miniUSB-liitintä.
Tallennusmuisti	Muisti, joka säilyttää sisältönsä, vaikka laite sammutetaan tai vaikka akku kuluu tyhjäksi. Tyypillisiä tallennusmuistiratkaisuja mobiililaitteissa ovat SD kortit, eMMC ja muut flash pohjaiset tallennusratkaisut. Tallennusmuistiin voidaan kirjoittaa tietoa ja lukea tietoa sieltä. Tallennusmuistia voidaan käyttää käyttäjän tiedoille, sovellusohjelmille ja muistista riippuen myös laiteohjelmistolle.
TB	Tera Byte, $10^{12}$ Bytes, $1024 \times 1024 \times 1024 \times 1024$ tavua.

# 1 JOHDANTO

Mukana kannettavan laitteen käyttötapoja on erilaisia. Riippumatta siitä onko käyttäjä enemmän tietoa tuottava kuin tietoa käyttävä kuluttaja, voi kannettavan laitteen tallennusmuisti täyttyä nopeasti. Kuluttajille suunnatut kannettavat laitteet, kuten älypuhelimet ja kosketusnäytölliset taulutietokoneet, ovat varsin kilpailtu ala. Valmistajat taistelevat markkinoista niin hinnoilla kuin laitteiden ominaisuuksilla. Varsinkin hintakilpailun vuoksi laitteiden tallennusmuistin kapasiteetti on niin pieni kuin mahdollista. Tallennusmuistin vaadittavaan kokoon vaikuttaa laitteessa toimiva käyttöjärjestelmä, siihen luotu konfiguraatio sekä tietenkin kuluttajan siihen tuoma sisältö. Kuluttaja voi joskus tarkoituksetta luoda paljon sisältöä tallennusmuistille, esimerkkinä mainittakoon Spotifyn virhe, jossa sovellus kirjoitti jatkuvasti tallennusmuistiin tai WhatsApp:in tapa arkistoida kaikki viestit ja niiden liitteet laitteen ensisijaiseen tallennusmuistiin. (Tietoviikko 2016)

Laitetta ostettaessa ei ehkä ajatella laitteen muistin voivan loppua. Lisäksi ostohetkellä voi laitteen eri versioissa oleva tallennusmuisti olla hinnoiteltu siten, ettei sen ostaminen ole kovinkaan houkuttelevaa. Taulukossa 1 on esimerkkejä muutamista puhelinoperaattoreiden verkkokaupoista poimittuja laitehintoja erikokoisilla tallennusmuistivaihtoehdoilla. (DNA 2016, Elisa 2016a, Sonera 2016)

Taulukko 1. Älypuhelinien eri tallennusmuistiversioiden hintaesimerkkejä.

<b>iPhone hinnat (Elisa.fi) 18.12.2016</b>	<b>hinta</b>
Apple iPhone 7 32GB	749 €
Apple iPhone 7 128GB	889 €
<b>Huawei Honor 8 (Sonera.fi) 18.12.2016</b>	
Huawei Honor 8 32GB	399 €
Huawei Honor 8 64GB	449 €
<b>iPhone hinnat (Dna.fi) 18.12.2016</b>	
Apple iPhone7 32GB	739 €
Apple iPhone 7 64GB	849 €
Apple iPhone 7 256GB	999 €

Tallennusmuistin hinta laitteen eri versioita vertaillessa voi tuntua kovalta, jos vertaa laitteiden hintoja 32 GB microSD-kortin hintaan. Pienikokoinen muistikorttityyppi, microSD, jonka nimi on kooste sen koosta micro ja tuotemerkestä Secure Digital. Secure Digital

kortit perustuvat standardiin, josta vastaa SD Card Association. GB merkintätapa tarkoittaa Giga Byteä eli Gigatavua, joka on 1024 x 1024 x 1024 tavua. Esimerkkejä 32 GB:n SD korttien hinnoista suomalaisissa verkkokaupoissa on listattuna taulukossa 2. SD kortit ovat myynnissä tavallisissa tavarataloissa ja automarketeissa. Samanlaisen SD kortin hinnat voivat vaihdella huomattavasti ostopaikasta ja ostohetkestä riippuen. (Gigantti 2016; Multitronic 2016; Power 2016; Elisa 2016b; Jimms 2016; Verkkokauppa 2016; Kärkkäinen 2016)

Taulukko 2. 32GB SD-muistikorttien esimerkkihintoja verkkokaupoissa.

32GB Sony UHS-1 microSD	hinta
Gigantti.fi (22.12.2016)	29.95 €
Multitronic.fi (22.12.2016)	36.90 €
32GB Samsung EVO UHS-1 microSD	
Gigantti.fi (22.12.2016)	39 €
Power.fi (22.12.2016)	24.90 €
32GB SanDisk Ultra UHS-1 microSD	
Elisa.fi (22.12.2016)	29.90 €
Gigantti.fi (22.12.2016)	21.90 €
32GB Lexar 300x UHS-1 microSD	
Verkkokauppa.com (22.12.2016)	21.90 €
Karkkainen.com (22.12.2016)	19.90 €
32GB Toshiba Exceria UHS-1	
Jimms.fi (22.12.2016)	16.00 €

Iltaledelle operaattoreiden toimittamiin tietoihin perustuva taulukko 3 koostaa suosituimmat laitteet eri operaattoreilla samaan taulukkoon. Puhelinoperaattoreista Elisan, Soneran ja DNA:n top10 myydyt laitteet 2016 elokuussa näkyvät taulukossa 3. Älypuhelinvalmistajien yhden tuotemallin myyntiaika on lyhyt, yleensä alle vuoden. Taulukossa näkyy joidenkin valmistajien samasta laitteesta tehty uusi ja vanha versio. Laitteen vanhassa versiossa voi olla joko saman kapasiteetin tallennusmuisti tai eri kapasiteetin tallennusmuisti kuin uudessa versiossa. (Iltalehti 2016)

Taulukko 3. Operaattorimyyntien suosituimmat älypuhelimet elokuussa 2016.

	<b>DNA</b>	<b>Elisa</b>	<b>Sonera</b>
1.	Samsung Galaxy J5 <sup>(2016)</sup>	OnePlus 3	Apple iPhone 6S
2.	Samsung Galaxy J5	Samsung Galaxy J5 <sup>(2016)</sup>	Samsung Galaxy J5
3.	Huawei Honor 7 Lite	Huawei Honor 7 Lite	Huawei P8 Lite
4.	Huawei Honor 7	Huawei P8 Lite	Apple iPhone SE
5.	Apple iPhone 6s	Samsung Galaxy J5 <sup>(2015)</sup>	Samsung Galaxy Xcover3
6.	Samsung Galaxy A3 <sup>(2016)</sup>	Apple iPhone 6s	Samsung Galaxy S7
7.	Huawei P8 Lite	Huawei Honor 7	Apple iPhone 5S
8.	Huawei Y5 II	Apple iPhone 5s	Huawei Honor 7 Lite
9.	Apple iPhone SE	Apple iPhone SE	Samsung Galaxy A3
10	Apple iPhone 5S	Samsung Galaxy A3	Huawei Honor 7

Kyseisten laitteiden tallennusmuistien koot näkyvät taulukossa 4. Positiivisena trendinä vuonna 2016 on, että 4 GB ja 8 GB tallennustilan omaavia laitteita ei ole montaa listalla. Operaattoreiden myymät laitteet ovat vain osa myynnistä, älypuhelimia myyvät myös monet muut jälleenmyyjät.

Taulukko 4. Älypuhelinien tallennusmuistien kapasiteetit.

<b>Laite</b>	<b>Tallennusmuistin kapasiteetti</b>
Samsung Galaxy J5 (2015)	8GB + microSD
Samsung Galaxy J5 (2016)	16GB + microSD
OnePlus 3	64GB
Apple iPhone 6S	16GB/32GB/64GB/128GB
Huawei Honor 7 Lite	16GB + microSD
Huawei P8 Lite	16GB + microSD
Apple iPhone SE	16GB/64GB
Samsung Galaxy Xcover3	8GB + microSD
Samsung Galaxy A3 (2016)	16GB + microSD
Samsung Galaxy S7	32GB/64GB
Huawei Honor 7	16GB/32GB/64GB
Apple iPhone 5S	16GB/32GB/64GB
Samsung Galaxy A3	16GB + microSD

4 GB ja 8 GB tallennusmuistit ovat myös poistumassa, koska monet muistivalmistajat eivät enää valmista muistipiirejä, joilla kyseisen tallennuskapasiteetin ratkaisuja voisi tehdä. MemoTrek:in mukaan heinäkuussa 2015 NAND flash-piirejä valmistettiin 1 GB SLC:stä 16 GB – 256 GB MLC:hen. (MemoTrek 2016)

Kalliimpia laitteita ostettaessa voidaan ajatella, että tallennusmuistia on riittävästi. Kalliimmissa laitteissa esimerkiksi kameran tuottamien kuvatiedostojen koko voi olla moninkertainen halvempien mallien kuviin verrattuna. Kalliimmissa älypuhelimissa voi olla 4K-videon tallennusmahdollisuus, jolloin 1 sekunti videota onkin 14 Mbit/s sijaan 40 Mbit/s tai valokuvien raakatalennusmahdollisuus, jolloin noin 5 MB tiedoston sijasta jokaisen kuvatiedoston koko on 25 MB:ä.

Jos tallennustila alkaa loppua laitteessa, on helpoin tapa pyrkiä poistamaan laitteesta vanhoja tietoja ja sovelluksia. Mikäli laitteen tallennusmuistin siivoaminen ei auta, voidaan harkita tallennusmuistin laajentamista eri keinoilla. Näitä keinoja ovat: lisätään pilvitallennustilaa, ostetaan laitteeseen sopiva muistikortti, päivitetään laitteen vaihdettava tallennusmuisti suurempaan tai liitetään laitteeseen USB-muisti. Näistä edellä mainituista keskitytään opinnäytteessä tutkimaan muistikortin käyttämistä lisämuistina ja vertailukohtana ovat laitteen sisäinen muisti ja USB-muisti. Laitteista tutkitaan Windows taulutietokonetta ja Android älypuhelinla. Androidissa keskitytään Android 6.0:aan. Android käyttöjärjestelmän jakautuminen marraskuussa 2016: Android 6.0 24%, Android 5.1 22.8%, Android 5.0 11.3%, Android 4.4 25.2%. (Droidlife 2016a)

Työssä tutkitaan myös suorituskykyä Windows puhelimessa ja muistikortin käyttöä laitteessa. Windows puhelimien markkinaosuuden laskiessa tämä osuus työssä jätetään vähemmälle huomiolle. IDC:n mukaan Windows puhelinten osuus toimitetuista laitteista oli enää 0.3 % vuoden 2016 kolmannella neljänneksellä. Lisäksi viimeisimmät julkaistut Windows Puhelin laitteet (Lumia 950, Lumia 950XL 32GB tallennusmuistia, Lumia 650 16GB tallennusmuistia, HP Envy X3 64GB) eivät ole tallennusmuistin kannalta enää yhtä rajoittuneita, aikaisemmin julkaistuja Windows puhelimista monet ovat varustettu vain 8GB tallennusmuistilla. (IDC 2016)

Opinnäytteessä keskitytään SD-muistikortteihin, koska ne ovat yleisemmin tuettuina mobiililaitteissa. Kannettavissa tietokoneissa on yleensä SD-korttipaikka ja pienemmissä laitteissa suositaan microSD-korttipaikkaa. Digitaalikameroissa aikaisemmin suosiossa

ollut CompactFlash on korvattu monissa kuluttajatuotteissa SD-korttipaikalla. Sonyn valmistamat tuotteet ovat nykyään yleensä Memory Stickin sijasta varustettu SD tai microSD-korttipaikalla, vaikka aiemmin niissä käytettiin Memory Stickin eri versioita.

Laajennettaessa mobiililaitteen tallennusmuistia erikseen ostettavalla muistilla on varauduttava siihen, että laajennuksessa käytettävä muisti saattaa toimia eri tavalla kuin laitteessa alun perin asennettuna oleva muisti. Sovellukset saattavat toimia hitaammin laajennusmuistille asennettaessa, ja jos muistin suorituskyky ei ole riittävä niin sovellukset saattavat toimia huonosti tai eivät lainkaan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää miten mobiililaitteen tallennusmuistia voi laajentaa ja miten riittävän hyvän muistin voisi tunnistaa. Opinnäytteen liitteenä ovat eri tallennusmuistien suorituskykymittaus tulokset.

## 2 TALLENNUSMUISTIN LISÄÄMINEN

Mobiililaitteen tallennusmuistin loppuminen voi tulla käyttäjälle yllätyksenä. Laitteen hidastuminen voi olla yksi merkki tallennusmuistin täyttymisestä. Laitteen ohjelmistopäivitykset saattavat jäädä saamatta, jos tallennusmuistia ei ole riittävästi vapaana. Monet valmistajat ohjeistavat käyttäjiä myös tarkistamaan vapaana olevan tallennusmuistin määrän, jos laitteen käytössä ilmenee ongelmia. Sony ohjeistaa vapauttamaan Xperia laitteissa muistia, jos vapaana on vähemmän kuin 150 MB. Tutkittavissa laitteissa Sony Xperia M5:n 16 GB tallennusmuistista käyttäjälle on vapaana myyntipaketista otettaessa 10 GB ja LG Leon 4G:n 8 GB tallennusmuistista on vapaana 3 GB. Valmistajien verkkosivustoilla on myös ohjeistusta, miten tallennusmuistia voi vapauttaa: poistamalla sovelluksia, siirtämällä vanhat kuvat pois tai tyhjentämällä välimuistin. Sonyn ja LG:n valmistamien laitteiden tukisivuilla myös ohjeistetaan, miten SD-muistikortti voidaan ottaa käyttöön. Taulutietokoneisiin ja älypuhelimisiin tallennusmuistin lisäämistapoihin liittyviä hyötyjä ja haittoja ovat:

Lisätään pilvitalennustilaa:

- Ei auta useimpiin sovelluksiin. Monet sovellukset kuten WhatsApp, vaativat että tieto on tallennettu paikallisesti ja varsinainen sovellus on asennettu mobiililaitteeseen.
- Vaatii nopean tiedonsiirtoyhteyden, jotta voit käyttää tietoja.
- Lukitsee käyttämään pilvitalennustilan tarjoajaan (monesti tiedon siirtäminen pois pilvipalvelusta on verrattain hankalaa tai jopa mahdotonta).
- + Joustavuus, kun tarvitaan lisää tilaa, voidaan laajentaa sopimusta palveluntarjoajan kanssa.

Ostetaan laitteeseen sopiva muistikortti:

- Kaikissa laitteissa ei ole muistikorttia, tunnetuimpana merkinä/laitteperheenä Applen iPhone mallisto.
- Muistikortin käyttöönotto voi tarkoittaa, että laitteen toinen SIM-korttipaikka on yhteinen muistikortin kanssa ja siten kahden SIM-kortin käyttö ei enää ole mahdollista.
- Kaikissa laitteissa ei ole laajaa tukea muistikorteille, laite voi tukea esimerkiksi maksimissaan 32 GB microSD-korttia.

- Yhteensopivan muistikortin tyyppin selvittäminen voi olla hankalaa.
- Tarvittavan kortin nopeuden selvittäminen voi olla vaikeaa.
- Muistikortti ei ole kovin luotettava tallennusmedia, joten on huolehdittava myös varmuuskopioista.
- Muistikortille ei välttämättä saa siirrettyä kaikkea tietoa ja sovelluksia.
- Jos laite varastetaan, on muistikortilta helppo viedä tiedot, mikäli tietoja ei ole salattu.
- + Muistikortti toimii myös muiden laitteiden kanssa.
- + Muistikortilla olevat tiedot saadaan siirrettyä talteen myös silloin kun esimerkiksi älypuhelimien kosketusnäyttö rikkoutuu. Jos kosketusnäyttö ei toimi, ei laitteen turvakoodia saa syötettyä eikä laitteen sisäistä tallennusmuistia voida lukea.
- + Samassa laitteessa voi käyttää useita muistikortteja, jos tilaa tarvitaan lisää.

Jos laitteessa on vaihdettava tallennusmuisti, vaihdetaan se suurempaan:

- Yleensä älypuhelimissa tai taulutietokoneissa ei ole standardi-SATA tai M2 väyläistä tallennusmuistia tai tilaa laajennusmuistille.
- Järjestelmän siirtäminen laajennusmuistille vaatii teknistä osaamista ja tarkkuutta, jotta ei menetetä laitteen käyttöjärjestelmää tai ohjelmistolisenssejä.
- Laitteen piirilevyllä juotetun eMMC-tallennusmuistin vaihtaminen voi olla jopa valtuutetulle korjaamolle vaativa tai mahdoton tehtävä mobiililaitteen tiukan integroinnin takia. Muistin vaihtaminen on voitu tehdä mahdolliseksi käyttämällä laitteessa tietoturvan yhteydessä avaimia jotka eivät ole kuluttajan vaihdettavissa/kopioitavissa. Laitteen mekaniikan purkaminen voi olla niin vaikea toimenpide, että se kannattaa jättää tekemättä jo laitteen takuun säilyttämiseksi.
- Edellyttää tallennusmuistin vaihdettavuutta laitteessa.
- + Laitetta on helpompi käyttää, kun tiedostojärjestelmä ja sen käyttöliittymä pysyvät yksinkertaisina ja suorituskyky ennustettavampana kuin silloin jos laitteessa on erilaisia tallennusmedioita.
- + Laitteen suorituskyky voi parantua uutta paremmaksi esim. kannettavaan tietokoneeseen vaihdettaessa kiintolevyn (HDD) tilalle vaihdettaessa SSD. Lisäksi suorituskyvyn palauttaa monesti tässä yhteydessä käyttöjärjestelmän asentaminen uudestaan, jolloin tiedostojärjestelmä eheytetään ja suorituskyky paranee.

Jos laitteessa on USB-liitin, liitetään siihen ulkoinen muisti:

- Laite ei välttämättä tue USB HOST-toimintoa eikä muistia saa lisättyä sitä kautta.

- Laitteesta USB-liitimestä roikkuva lisämuisti saattaa estää mm. samanaikaisen lataamisen, koska mobiililaitteessa ei välttämättä ole erillistä latausliitäntää.
- Laitteen käyttäminen saattaa olla kömpelöä tai jopa vaarallista lisämuistin takia: älypuhelimessa ulkoneva 7 cm:in mittainen lisämuisti saattaa katkaista helposti USB-liittimen laitteen piirikortilta tai laitteen sovittaminen taskuun lisämuistin takia voi olla hankalaa.
- Ulkoinen USB-muisti saattaa olla hidasta, jos sitä vertaa laitteen omaan sisäiseen tallennusmuistiin, tyypillisesti USB-liitäntä mobiililaitteessa on USB2.0 standardin mukainen.
- Edellyttää että laitteessa on USB-liitin.
- + Ulkoinen muisti voi mahdollistaa varmuuskopioinnin tai tiedon siirtämisen toiseen laitteeseen.

Tutkituista laitteista Sony Xperia M5 älypuhelimeen tallennusmuistia voidaan lisätä asettamalla microSD-muistikortti sille varattuun korttipaikkaan. Kuvasta 1 näkee, minne muistikortti laitteessa asetetaan.



Kuva 1. Sony Xperia M5 muistikortin paikoilleen laittaminen.

Sony Xperia M5 tukee SD HC ja SD XC muistikortteja. Xperia M5:ssä SD-muistikorttipaikka ja nanokokoinen SIM kortin paikat ovat saman tiivisteellisen luukun alla erillisissä korteille sovitetuissa mekaanisissa sovittimissa.

Tutkitussa LG:n valmistamassa Leon 4G älypuhelimessa laite on sammutettava ensin ja laitteen takakuori on irrotettava SD-muistikortin asentamista varten. Laitteen virtanappula on takakuoressa kiinni. Kuva 2:ssa näkyy muistikortin sijainti laitteessa. LG Leon 4G tukee SD SC ja SD HC muistikortteja. Kun LG Leon 4G laitteeseen on päivitetty

Androidin 6.0 versio, se tukee myös SD XC muistikortteja. 5.0 versioilla SD XC muistikortti on alustettava FAT32 tiedostojärjestelmällä käyttöön.



Kuva 2. LG Leon 4G muistikortin lisääminen.

Toshiban WT10 taulutietokoneessa tallennusmuistin lisääminen on tutkituista laitteista yksinkertaisinta. Korttipaikka microSD-muistikortille on suoraan laitteen kyljessä, mikä näkyy kuvassa 3 laitteen vasemmassa kyljessä. SD-Kortti irrotetaan korttiliittimestä painamalla sormenpäällä korttia. Hallittu poistaminen tehdään Windowsin resurssienhallinnasta *poista*-toiminnolla ennen mekaanista irrottamista, mikäli laite on käynnissä, kun kortti halutaan irrottaa laitteesta.



Kuva 3. Toshiba WT10 SD-muistikortin lisääminen.

Toshiban taulutietokone tukee SD SC, SD HC ja SD XC kapasiteetin SD-kortteja ja lisäksi se tukee myöskin USB-muisteja.

Laitteiden käyttöjärjestelmistä riippuu, miten helppoa tallennusmuistin laajennusosan käyttöönotto on. Toshiban taulutietokoneessa on Windows 10-käyttöjärjestelmä ja siinä tulee mukana asetussovellus *tallennustila*, joka mahdollistaa eri tietojen ja sovellusten

siirtämisen SD-muistikortille, kun sellainen on laitteeseen asetettu. Kaikki sovellukset eivät salli siirtämistä muistikortille. Sonyn ja LG:n laitteissa on sama Android versio (päivityksien jälkeen) ja niissä asetuksista valitaan sovelluskohtaisesti SD-muistikortti tallennuskohteeksi. Erillinen sovellus on ladattavissa joko Google Play kaupasta tai voidaan käyttää laitteen mukana tullutta sovellusta, jos sellainen on laitteessa valmiina. Sonyn Xperia M5:ssa on valmiiksi File Commander-sovellus, jolla musiikki ja valokuvat voidaan siirtää SD-muistikortille. Liitteessä 5 näytetään mitä tyypillisessä kannettavassa tietokoneessa on edessä tallennusmuistin vaihtoprojektissa, jotta SATA-liitäntäiseen tallennusmuistiin päästään käsiksi.

## 3 MUISTIKORTIT

### 3.1 SD-muistikortit

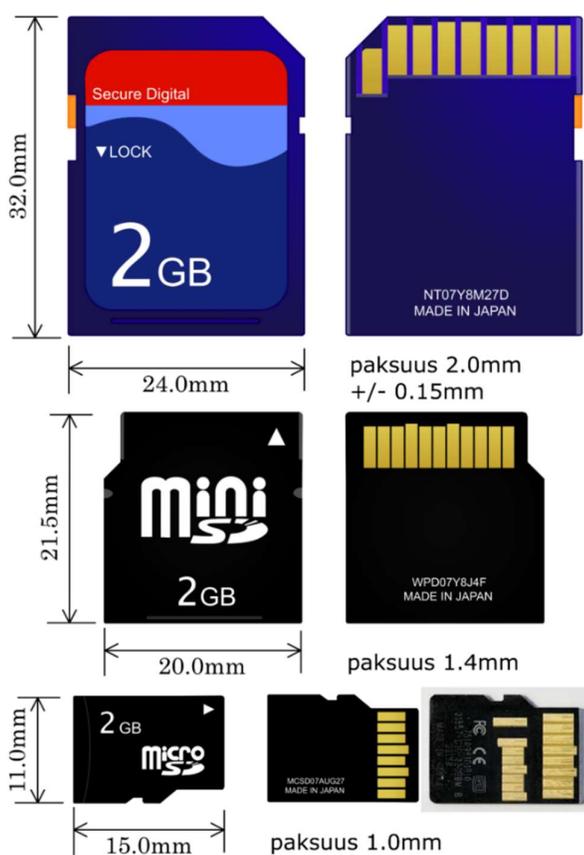
SD-kortteja on useita eri kokoisina, pienin korttityyppi microSD on yleisin älypuhelimissa, miniSD on harvinainen. Tavallisen kokoisia SD kortteja käytetään etenkin kannettavissa tietokoneissa ja Digikameroissa. SD-korttien standardimäärittelystä vastaa SD Card Association jonka jäsenyys on maksullinen. Alkuperäinen SD-muistikorttistandardi rajasi tiedonsiirron kellotaajuuden 25 MHz:iin, mutta uudemmat HS, UHS-I ja UHS-II laajennukset mahdollistavat toteutukset jopa 208 MHz:iin asti. UHS-I muistikorttujen yleisyys laitteissa yleistyy etenkin 4K videotallennuksen yleistymisen myötä. UHS-II muistikorttutuki on harvinainen, UHS-2 signaali vaatii hyvän tuotesuunnittelun ja lisäksi nopean piirisarjan. USB-3 väylään liitettäviä kortinlukijoita löytyy UHS-II muistikortituella. Texas Instrumentsin SD debug guidelines-dokumentaation mukaan heidän tuotteillaan on signaalivetojen pituus syytä pitää alle 5 cm tai alle 10 cm riippuen käytetystä kontrollerista, mikäli käytetään maksimissaan 100 MHz:in signaalia. (Texas Instruments 2012, 12)

Esimerkkejä SD-korttien valmistajista tai käytetyistä tuotemerkeistä, joita Suomessa on saatavilla: Adata, Apacer, Hama, Kingston, Lexar, Maxell, PNY, SanDisk, Samsung, Sony, Toshiba, Transcend, ja Verbatim.

SD-kortti on toteutettu siten, että kortin paketoinnin sisällä on sekä varsinainen muisti, johon tallennus tehdään että kontrolleri, joka hoitaa rajapinnan laitteen suuntaan ja hoitaa muistin vaatimat ylläpitotoimet. Eri flash ratkaisut vaativat uudelleenkirjoituksen ja lukemisen yhteydessä erilaista ylläpitoa, josta muistikortin kontrollerissa oleva laiteohjelmisto huolehtii. SD-muistikortin muistipiirit ovat NAND flashiä, joka on pyyhittävä lohkoittain aina ennen uudelleenkirjoitusta, joka tehdään sivu kerrallaan. Laitteen ohjelmiston ei tarvitse huolehtia noista yksityiskohdista. Muistikortin rajapinta antaa kirjoittaa ja lukea muistilohkoja. Luettaessa osoitteella muistikortin kontrolleri huolehtii, että kyseisen osoitteen muistilohko on luettavissa, vaikka se olisi fyysisesti täysin eri kohdassa kuin edellisellä lukukerralla. Muistikortin kontrolleri ja sen laiteohjelmisto huolehtivat virheenkorjauksesta, muistin tasaisesta kulumisesta sekä viallisten muistilohkojen korvaamisesta. SD määrittely sisältää mekaanisen ja sähköisen rajapintamäärittelyn lisäksi tuetut komennot, joita muistikortit tukevat. (Datalight 2016; SD Card Association 2016b)

### 3.1.1 SD-korttien fyysiset mitat

Eri SD-korttikoot fyysisine mittoineen esitellään kuvassa 4. Kuvassa näkyy taustapuolella korttien sähköinen rajapinta sekä täysikokoisen SD-kortin kirjoitussuojauskytkin, joka on "LOCK" tekstin vieressä. Kuvassa 4 näkyy myös UHS-II määritelmän mukainen sähköinen liitäntä, alkuperäisen ja taaksepäin yhteensopivan liitinrivin lisäksi näkyy kortin keskellä toinen liitinrivi, joka mahdollistaa UHS-II suuremman siirtonopeuden differentiaaliväylällä. microSD-kortin kyljessä olevaa mekaanista muotoa hyödynnetään korttien paikallapitämiseen ja kortin vaihtamisen mahdollistamiseen, vaikka laite on käynnissä. Tästä toiminnosta käytetään nimitystä "hot swap". Toiminto vaatii toteutukseen laitteen ohjelmistolta tuen, oikeanlaisen microSD-korttiliittimen ja liittimen kytkennästä sähköisen kytkennän piirisarjan keskeytysliitäntään jota laitteen ohjelmisto seuraa. Kortin irrottaminen kesken kirjoitustoiminnon voi vahingoittaa korttia. Kortin vahingoittuminen on todennäköisempää, jos laite ei tue "hot swap"-toiminnallisuutta. (SD Card Association 2016b)



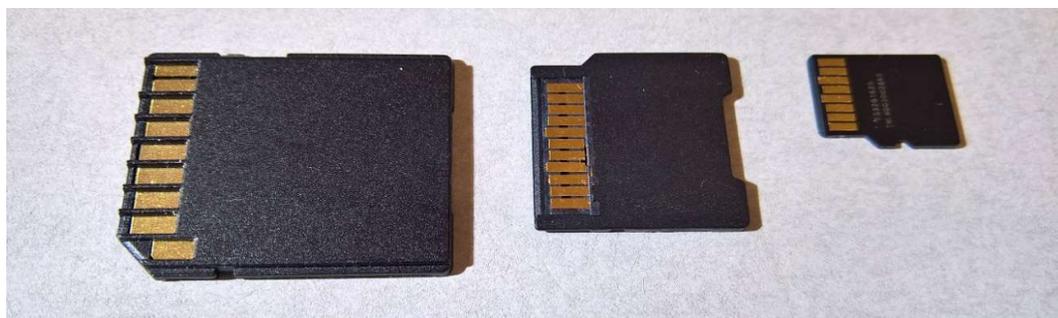
Kuva 4. SD, miniSD, microSD-kortit mittoineen (wikipedia 2016a; wikipedia 2016b).

Mekaanisten adapterien avulla microSD-kortteja voi käyttää kanssa laitteissa, jotka vaativat muuten joko täysikokoisen SD-kortin tai miniSD-kortin käyttöä. Kuva 5:ssä on kuva eri valmistajien tekemistä SD-korttiadaptereista etupuolelta.



Kuva 5. SD-korttiadapteri, miniSD-korttiadapteri ja microSD-kortti etupuolelta.

Kuva 6:ssä ovat samat korttiadapterit ja microSD-kortti takapuolelta. Korttiadaptereita löytyy myös miniSD-kortin sovittamiseksi täysikokoiseen SD-korttipaikkaan.



Kuva 6. SD-korttiadapteri, miniSD-korttiadapteri ja microSD-kortti takapuolelta.

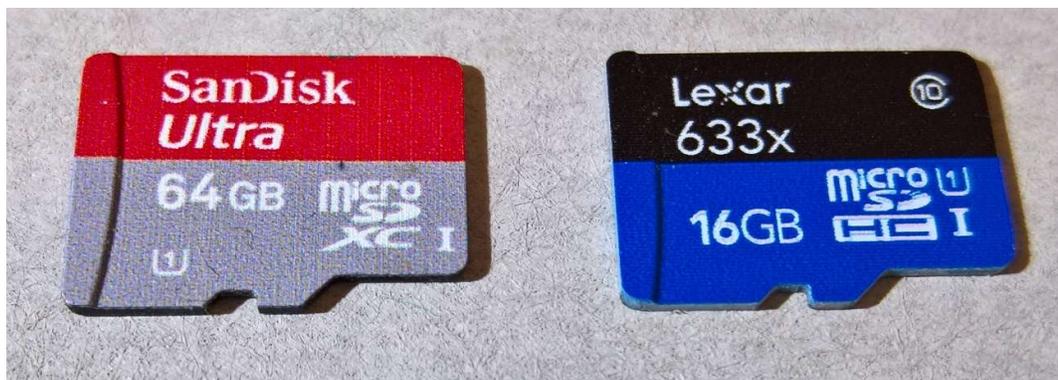
Monesti microSD-kortin myyntipakkaus sisältää sovittimen, jolla microSD saadaan sovitettua kannettavan tietokoneen SD-korttipaikkaan. Myyntipakkauksessa olevasta adapterista kuva on liitteessä 7.

Kuva 7 havainnollistaa korteissa olevia merkintöjä. Eri korteissa olevat painatukset ovat vaihtelevasti erotettavissa. Joissain korteissa painatukset voivat olla selvät, mutta silti merkintöjä on vaikea erottaa, koska itse kortti on hyvin pienikokoinen.



Kuva 7. Samsung UHS-1 microSD-kortti etu ja takapuolelta.

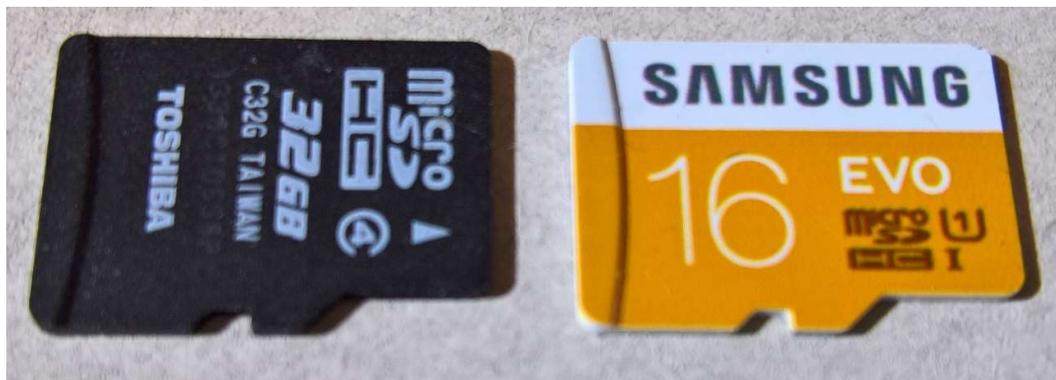
Kuvassa 8 näkyy Lexarin 16 GB kortti ja SanDiskin 64 GB kortti etupuolelta. Lexarin kortissa näkyy UHS-1-määrittelyn (U:n sisällä oleva 1) merkinnän lisäksi HS-määrittelyn mukainen nopeusluokka 10. Lexarin kortissa näkyy lisäksi HC-merkintä, eli 4-32 GB korttimerkintä. SanDiskin kortissa XC-merkintä, joka on yli 32 GB korteissa.



Kuva 8. Lexar UHS-1 microSD-kortti ja SanDisk UHS-1 microSD-kortti.

### 3.1.2 SD-korttien nopeusluokitukset

HS-korttien nopeudet merkitään numerolla, joka on avoimen ympyrän sisällä. Luokat ovat 2 MB/s, 4MB/s, 6MB/s ja 10 MB/s. Esimerkki HS-nopeusmerkintäpainatuksesta näkyy kuvassa 9, jossa esimerkkeinä ovat nopeusluokitukseltaan 4 oleva microSD-kortti sekä UHS-1 nopeusluokituksen 1 kortti.



Kuva 9. HS ja UHS-1 microSD-korttien nopeusmerkintäesimerkit.

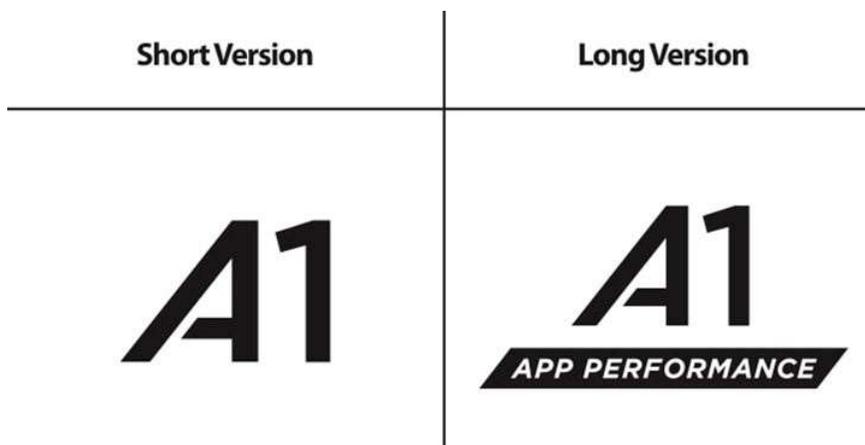
UHS korttien nopeudet merkitään numerolla, joka on tyyliteltyyn U:n sisällä, nopeudet ovat 1, joka vastaa 10 MB/s ja 3, joka vastaa 30 MB/s peräkkäistä kirjoitusnopeutta. Kuva 10 sisältää koosteena SD-korttien painatusesimerkit HS ja UHS-I korteille. Näistä painatussymboleista on myös kuva liitteessä 1. SD-korttien nopeusluokitus perustuu mittaukseen, jossa kirjoitetaan/luetaan peräkkäistä dataa kortille/kortilta. Pienemmille operaatioille, jotka usein liittyvät tiedostojärjestelmän päivityksiin sallitaan pidempi aika. (SDA association 2016b)



Kuva 10. HS ja UHS-1 microSD-korttien nopeusmerkintäesimerkit.

Videotallennukseen soveltuville SD-korteille merkinnät ovat V90, V60, V30, V10 ja V6. Edellisissä V tarkoittaa nimenomaan videotallennusta ja numero perässä minimitalennusnopeutta, jonka SD-kortti mahdollistaa. V90 ja V60 on tarkoitettu 8K-videotallennukseen, V60 ja V30 4K-videotallennukseen. V60, V30 ja V10 on tarkoitettu FullHD ja HD videotallennukseen. V10 ja V6 soveltuvat lähinnä tavalliseen videotallennukseen, jonka tarkkuus on heikompi kuin HD. Videotallennusnopeus on SDA:n määrittelyssä 5.0. Nopeusmerkinnästä esimerkkipainatus on liitteessä 1. (Tuxera 2016)

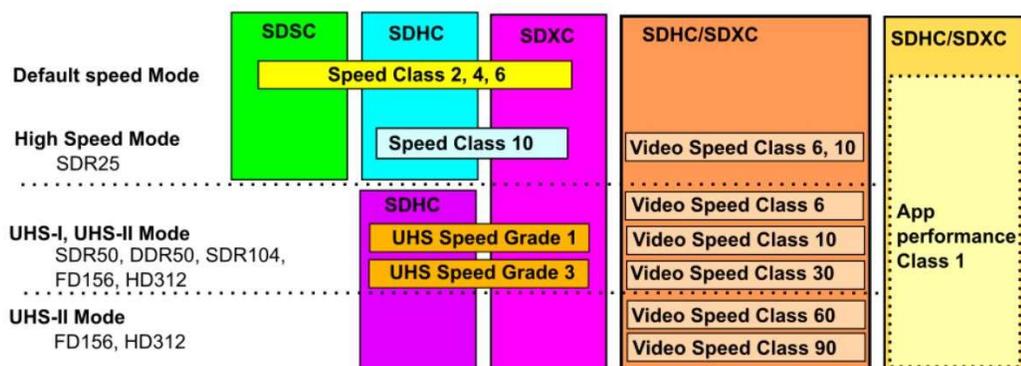
Sovelluksille suunnatuissa SD-kortteissa on SD-määrittelyksen uusien merkintä A1, josta esimerkki näkyy kuvassa 11. Sovelluksille sopivien korttien merkintä tuli laajenuksena SD-määrittelymään versioon 5.1. (SD Card Association 2016a)



*SD Application Performance Class 1 (A1) symbol, long and short version*

Kuva 11. SD-kortin sovellusnopeusmerkintä (SD Card Association 2016a).

SD-muistikorttien määrittelyssä eri toimintatilojen nopeudet ovat koottuina kuvassa 12, jossa on yhdistetty tieto uudesta sovellusnopeusluokituksesta ja videoluokituksesta aikaisempiin HS, UHS-I ja UHS-II luokituksiin. Kuvassa 12 yläreunassa näkyvät kapasiteettityypit, jotka liittyvät aina kyseiseen rajapintatyyppiin. (SD Card Association 2016a; Tuxera 2016)



Kuva 12. SD-korttien nopeusluokitukset ja kapasiteetit ja rajapinnan eri toimintatilat.

### 3.1.3 SD-korttien rajapinnan siirtonopeus

SD-muistikorttien rajapinnassa itse laitteeseen voidaan käyttää useammanlaista toteutusta. Rajapinta SD-muistikortille voidaan toteuttaa monista muista rajapinnoista poiketen 1-bittisenä tai 4-bittisenä. Käytännössä 4-bittinen tiedonsiirto on pakollinen, jos tallennusvälinettä halutaan käyttää muuhun kuin satunnaiseen tallennukseen tai lukuoperaatioihin. SD-muistikorttirajapintamäärittely tarjoaa useita vaihtoehtoja toteuttamiseen datasiirron väylänleveyden lisäksi. Standardissa muistikortit on määritelty taaksepäin yhteensopiviksi siten, että ne tukevat uudemman rajapinnan lisäksi myös aikaisempia versioita. Mikäli muistikorttia käytetään yhteensopivuustilassa, ei uudemman standardin tuomia hyötyjä voida käyttää hyväksi. Esimerkkinä yhteensopivuustilasta on UHS-I standardin mukaisen SD-muistikortin käyttäminen laitteessa, joka tukee SD-muistikortteja vain HS tilassa, jolloin kelloaajuus rajoitetaan 50 MHz:iin. Tässä esimerkissä tallennusvälineen valmistaja on voinut luvata, että kirjoitusoperaatiot olisivat 50 MB/s ja lukuoperaatiot olisivat 80 MB/s, yhteensopivuustilan takia sähköinen rajapinta rajoittaa suurimman nopeuden enintään 25 MB/s. Vaikka itse rajapinta kykenee siirtämään tietoa riittävän nopeasti, voi muistikortin sisällä kirjoitus- tai lukuoperaatio kestää kauemman, kuin rajapintanopeus mahdollistaisi. Taulukossa 5 ovat eri SD-muistikorttien rajapinnan siirtonopeudet, kelloaajuudet, niiden toimintatilat ja niissä käytetyn signaalin jännitteet. (SD Card Association 2016b, 36-37)

Taulukko 5. SD-muistikorttien rajapinnan kelloaajuudet eri toimintatiloissa.

SD-muistikortin rajapinnan toimintatilan nimi	Maksimi siirtonopeus (MB/s)	Maksimi kelloaajuus (MHz)	Signaalin jännite (V)
HD312 (UHS-II)	312	52	0.4
FD156 (UHS-II)	156	52	0.4
SDR104 (UHS-I)	104	208	1.8
SDR50 (UHS-i)	50	100	1.8
DDR50 (UHS-I)	50	50	1.8
SDR25	25	50	1.8
SDR12	12.5	25	1.8
High Speed	25	50	3.3
Default Speed	12.5	25	3.3

UHS-I rajapinnalla on SD Card Associationin SD Specifications Part 1 Physical Layer Simplified Specification version 5.0 määrittämänä kolme eri päätoiminta-aluetta: ei-UHS, UHS50 ja UHS104. Tätä rajapintatarkennusta ei ole merkitty kortteihin, mutta myyntipaketin yli 50 MB/s luku- ja kirjoitusnopeudesta voidaan päätellä, että kortti tukee UHS104 eli SDR104-rajapintaa.

Koska muistikortti on useissa laitteissa käyttäjän vaihdettavissa, ja monissa laitteissa myös kortin vaihtaminen on tuettu laitteen ollessa käynnissä, on kortin rajapinta suojattu laitteen liittimellä staattisen sähkönpurkauksilta (Electro static Discharge, ESD). ESD-purkaus voi rikkoa mobiililaitteen, mikäli purkaus pääsee vahingoittamaan laitteen piirisarjaa. ESD-purkaus voi aiheutua esimerkiksi keinokuitumatolla kävellessä pakkasella, kun laite otetaan pöydältä käsiin. Tutkittavista laitteista Sonyn valmistamassa laitteessa kortin liitin on myös pöly- ja vesisuojattu erillisellä kumitiivisteisellä luukulla. (Honkanen 2008)

Muistikorttiliittimen tuominen laitteen reunaan käyttäjän ulottuville asettaa haasteita kortille vedettävälle signaaleille. Kortin kello- ja datasiinaalivetojen tulisi olla yhtä pitkiä, mahdollisimman lyhyitä ja erotettuna muista häiriölähteistä suojaamalla, esimerkiksi erillinen maataso avulla. UHS-I standardin mukaisen 208 MHz:in signaalille pitkät vedot piirilevyllä voivat aiheuttaa ongelmia tuotteessa. UHS-I toimintatilojen lisääminen standardiin sallii myös kortille suuremman virrankulutuksen, jota kaikissa mobiililaitteissa ei voi mahdollistaa. Maksimi kulutettu teho on päivitetty 2.88 Wattiin, kun se HS-tilassa on maksimissaan 0.72 Wattia. (SD Card Association 2016b, 36; Texas Instruments 2012; Toradex 2016, 39)

### 3.1.4 SD-muistikortin tiedostojärjestelmä

SD Association on määritellyt yhteensopivuussyistä myös SD-korteilla käytettävän tiedostojärjestelmän. Määrittelyllä pyritään parantamaan yhteensopivuutta eri laitteiden välillä. Lisäksi tällä mahdollistetaan kortin sisäisen logiikan optimointi järjestelmälle sopivaksi. SD-korteilla käytetään tallennusvälineen kapasiteetin mukaan FAT12, FAT16, FAT32 tai exFAT tiedostojärjestelmää. FAT12 on ollut käytössä hyvin pienillä tallennuskapasiteeteilla. Käytännössä 4 GB on pienin saatavissa oleva kapasiteetti SD-korteille. Erikoistarkoituksiin on saatavissa pienemmän kapasiteetin kortteja, esimerkiksi laitteisiin, joissa FAT32 tukea ei ole. (SD Card Association 2016e)

Taulukossa 6 on SD Card Association määrittelemät suositellut tiedostojärjestelmät eri kapasiteetin SD-korteissa.

Taulukko 6. SD-korttien tallennuskapasiteetti ja käytettävä tiedostojärjestelmä.

SD-kortin kapasiteetti	Kortin merkintä	Tiedostojärjestelmä	Suurin tiedosto	Varausyksikkö (cluster)
≤ 2 GB	SD	FAT16 (FAT)	2GB	
4 – 32 GB	SDHC	FAT32	4GB	32 kB
>32 GB (64 GB)	SDXC	exFAT (FAT64)	2TB	128 kB

64 GB SD-kortteja voidaan käyttää myös monissa laitteissa FAT32 muodossa, vaikka exFAT onkin SDA:n suosittelema muoto. Tällä on pyritty nopeuttamaan 64GB SD-korttien yleistymistä korttien saapuessa markkinoille. Mikä johtuu siitä, että exFAT tiedostojärjestelmän tuki puuttuu monista laitteista, kuten esimerkiksi halvimmista Android älypuhelimista. exFAT tiedostojärjestelmään, kuten useimpiin Microsoftin kehittämiin tiedostojärjestelmiin, liittyy patentteja, joiden maksuissa valmistajat voivat pyrkiä säästämään. exFAT tiedostojärjestelmän integroimista eri systeemeihin tekee esimerkiksi Tuxera, joka tekee erilaisia tallennusratkaisuja monille asiakkaille. (Tuxera 2016)

### 3.2 UFS-muistikortit

UFS-muistikorteissa käytettävässä määritelmässä on suorituskykytavoitteet asetettu eri tasolle kuin SD-korteilla. Määrittelyn tavoitteena on ollut luoda parempi suorituskyky siirtonopeudelta ja virrankulutukselta kuin olemassa oleva UHS-II:ssa. UFS-muistikortti on määritelty JEDEC:in työryhmässä. Hankaluutena on korttien saatavuus ja vielä suurempana ongelmana se, että UFS-muistikortteja tukevia laitteita on äärimmäisen vähän. Samsung Galaxy Note 7 oli ensimmäinen tuote, jossa tuki oli, mutta tuotteessa on ilmennyt ongelmia muiden ominaisuuksien kanssa. UFS-muistia tallennusmuistina käytetään integroituna versiona tuotteissa esimerkiksi Samsung Galaxy Note 7:ssä. Integroitu versio on UFS-standardin mukainen mutta ei ole paketoitu UFS muistikortiksi. Esimerkkejä näistä tuotteista ovat: Samsung Galaxy S7, Moto Z, OnePlus 3, LG G5 ja Google Pixel. Samsung on myös kehittänyt korttiliittimen, jossa voidaan käyttää joko microSD:tä tai

UFS-muistikorttia. UFS-muistikorttien rajapinta mahdollistaa jopa 600 MB/s lukunopeuden (6 Gbit/s). Kuvassa 13 on Samsungin UFS-tuotteen kuva, josta ilmenee myös sähköisten liittimien paikat. (Samsung 2016a; community.giffgaff 2016; Droidlife 2016b)



Kuva 13. Samsung UFS-muistikortti etu- ja takapuolelta (Samsung 2016a).

UFS-muistikortin mitat ovat 15.0x11.0x0.8 mm. Kooltaan se kilpailee microSD:n kanssa.

### 3.3 Muut muistikortit

Markkinoilla on ollut ja on edelleen myös lukuisia muita siirrettäviä tallennusmuistiratkaisuja kuluttajalaitteisiin. Taulukossa 7 on lueteltuna muita markkinoilla olevia ratkaisuja. Erilaisia MMC-korttiratkaisuja ovat MMC, RS-MMC/MMC Mobile, MMCplus ja MMC-micro. Memory Stick:istä on myös eri versioita: Standard, Pro ja Duo. (Sony 2016; cnet 2016; Encyclopedia 2016)

Taulukko 7. Irrotettavia tallennusmuistiratkaisuja.

Tallennusmuisti	Leveys x pituus x paksuus	Käytetty esimerkiksi
MMC / MMCplus	24x32x1.4 mm	Nokia matkapuhelimet
RS-MMC / MMC Mobile	24x18x1.4 mm	Nokia matkapuhelimet
MMCmicro	14x12x1.1 mm	
Memory Stick Standard/Pro	21.5x50x2.8 mm	
Memory Stick Duo/Pro Duo	20x31x1.6 mm	Sony PSP
Memory Stick micro (M2)	12.5x15x1.2 mm	Sony puhelimet
XQD card	38.5x29.8x3.8 mm	
xD	25x20x1.78 mm	Olympus ja Fujifilm kamerat
CompactFlash, type I	43x36x3.3 mm	Kameroissa käytetty
CompactFlash, type II	43x36x5.0 mm	

Taulukko 7 ei sisällä UFS-muistikorttia eikä eri SD-muistikorttiversioita.

## 4 SUORITUSKYKY

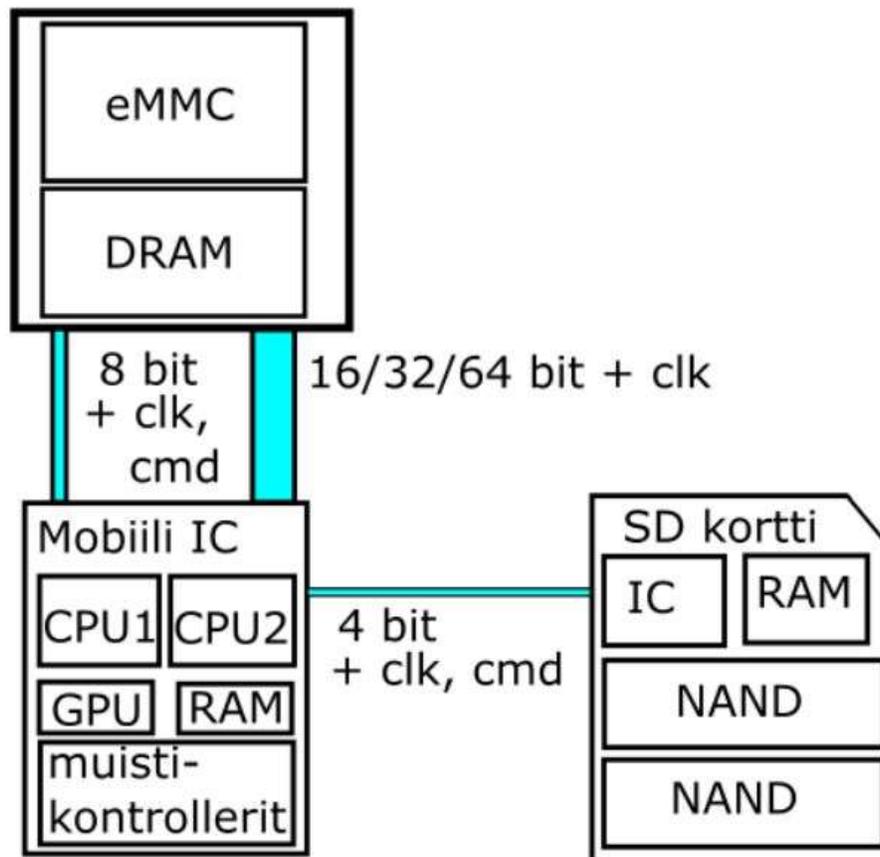
Tallennusmuistilla on oltava riittävä suorituskyky, jotta sen käytettävyys on riittävällä tasolla. Riittävä suorituskyky on myös subjektiivinen määre, toiselle 1000 MP3 tiedoston kopiointiin kuluva aika 30 minuuttia voi olla täysin kestämatön, kun taas toiselle kuluttajalle se on täysin hyväksyttävä. Suorituskyky voi tarkoittaa myös asioita, jotka estävät tallennusvälineen käytön: videotallennus epäonnistuu tai sovellus ei toimi lainkaan. Tallennusmuistin suorituskyky pystytään myös parantamaan puskuroimalla tiedostoja ja/tai tiedostojärjestelmän omaa rakennetta, mobiililaitteessa puskurointia rajoittaa sekä puskurointiin käytettävän RAM-muistin koko, että tasapainottelu tiedon katoamisriskin kanssa. Katoamisriski ilmenee, jos laitteen akku tyhjenee tai laite sammuu hallitsemattomasti. Tallennusvälineen suorituskykyyn vaikuttavat asiat:

- Laitteessa oleva suoritin ja sen kuormitus
- Käytettävä tiedostojärjestelmä
- Käyttöjärjestelmä ja sen antama prosessointiaika operaatioille
- Puskurointi vs. luotettavuus
- Laitteen piirisarjan rajapinnat tallennusmuistille:
  - o 1-bit tai 4-bit SD-muistikortille vs. 8-bit eMMC:lle
  - o 50 MHz vs 208 MHz
  - o SDR vs. DDR
  - o USB-väylä tai rajapinta suoraan piirisarjassa.
- Rajapinnan signaalin laadukkuus.
- Rajapinnat muistikortin sisällä.
- Käytetty muistiteknologia:
  - o muistipiirien määrä ratkaisussa
  - o operaatioiden puskurointi
  - o luotettavuus vs. suorituskyky
  - o kanavien määrä käytetyssä ohjainpiirissä.

Käyttäjälle näkyvä hyvä suorituskyky on yhdistelmä, jossa on riittävän nopea suoritin, vapaata tallennustilaa ja tallennusmuisti, jolta kykenee kirjoittamaan ja lukemaan sekä peräkkäisiä tietoja nopeasti että riittävän nopeasti myös satunnaisia pienempiä tietoja. Älypuhelimessa voi olla useita sovelluksia käytössä miltei samaan aikaan. Tällöin hidas

tallennusmuisti voi näkyä laitteen yleisenä hitautena. Jos kamerasovellus on juuri tallentamassa FullHD tasoista videotallennusta, kun laitteeseen saapuu sähköposti, on tallennusmuistin kyettävä tarjoamaan myös toisen sovelluksen tarvitsemia pieniä ohjelmatiedostoja ripeästi, mikäli käyttäjä haluaa siirtyä heti sähköpostisovellukseen.

Systeemitason kuvaus muistien sijainnista ja järjestelmän rakenteesta on kuvassa 14. on merkitty systeemiin (Mobiili IC) ulkoiset muistirajapinnat ja niiden väylänleveys. DRAM rajapinta on yleensä 16-, 32-, tai 64-bittinen ja näitä muistiväyliä voi olla useampiakin. DRAM kellotaajuus on mobiili DRAM-piirejä käytettäessä monesti luokkaa 400 – 800 MHz. Kuvaa merkittyjen väylien lisäksi tarvitaan piireille virransyöttö, joka voidaan hoitaa erillisen virranhallinta-IC:n avulla, joka pystyy tuottamaan eritasoisia jännitteitä. (Tom's hardware 2015; SD Card Association 2016b, 29)



Kuva 14. Mobiililaitteen muistirajapinnat.

Laitteen integroitu tallennusmuisti on monesti samassa fyysisessä paketissa DRAM:in kanssa, kuten kuvassa. Kuvassa olevassa ratkaisussa samaan koteloon DRAM:in kanssa on paketoitu eMMC, jolle on 8-bittinen väylä ja sen kellotaajuus on tyypillisesti välillä 50 – 200 MHz. SD-kortille taas menee 4-bittinen väylä, jonka kellotaajuus vaihtelee SD standardin mukaisesti 25 MHz:istä aina UHS-I:n 208 MHz:iin saakka laitteista riippuen. SD-kortin sisällä samassa paketissa on varsinaiset muistipiirit (NAND), RAM-muistia ja kontrolleripiiri (IC). Kuvassa olevassa systeemiipiirissä on kaksi prosessoriyksikköä (CPU1 ja CPU2), mutta tavallista on, että niitä on 4 – 8 kappaletta. Lisäksi voi olla useita suorittimia erikoistarkoituksiin, jotka eivät näy suoraan käyttäjälle ja sovelluksille. Samaan systeemiipiiriin integroidaan usein myös grafiikkaohjain (GPU) ja modeemi. Systeemiipiirin sisällä olevan muistikontrollerin/muistikontrollerien välillä on nopea väylä ja jokaisella prosessoriyksiköllä on nopea välimuisti. (Qualcomm 2017)

SD-muistikortin ja eMMC-muistin käyttäminen vapauttaa systeemiipiirin resursseja, koska molemmissa tallennusmuistityypeissä muistipiirin kanssa samassa kotelossa oleva kontrolleripiiri laiteohjelmistoinen huolehtii muistinteknologialle optimoiduista virheenkorjauksesta, huonojen lohkojen vaihtamisesta ja muistin tasaisesta käytöstä. Jos samat operaatiot tehdään systeemiipiirillä, voi se aiheuttaa huomattava kuormituksen yhdelle tai useammalle systeemiipiirin suorittimista. (Datalight 2016)

SD-kortin tallennus- ja lukunopeutta voidaan parantaa kortin sisällä seuraavilla tavoilla: lisäämällä muistipiirejä (NAND) parantamaan rinnakkaisuutta, lisäämällä sisäistä puskurimuistia muistipiirin kanssa integroiduksi, vaihtamalla kontrolleripiirin toisen tyyppiseen jossa on useampi muistirajapinta, vaihtamalla muistipiirit nopeampiin tai parantamalla SD-kortin kontrollerin laiteohjelmiston toimintaa. Muistipiirit voidaan vaihtaa esimerkiksi TLC NAND-piireistä SLC NAND-piireiksi. Muistipiirityypin vaihtaminen voi nostaa tuotteen hintaa koska TLC NAND-piirien hinta jokaista bittiä kohden on halvempi kuin SLC NAND. Jotkut valmistajat tukevat muistipiirien käyttämistä eri toimintatiloissa, jolloin samaa fyysistä piiriä voi käyttää SLC-tilassa, vaikka piiri tukee joko MLC tai TLC-toimintatilan tavallisesti. Muistipiirin valmistaja voi tukea SLC-toimintatilan valintaa myös dynaamisesti tarpeen mukaan suorituskyvyn parantamiseksi, tämä toimintatilan vaihtaminen saattaa näkyä tallennusmuistin hidastumisena sen täyttyessä. (Samsung 2016b; Micron 2010)

Yhden NAND piirin rajapinta mahdollistaa noin 50 MB/s siirtonopeuden, kirjoitusoperaatiot ovat hitaampia luokkaa 5-10 MB/s piiriä kohden. V-NAND mahdollistaa suuremman

siirtonopeuden ja nopeamman kirjoituksen, mutta nykyiset piirikoot on suunniteltu SSD käyttöön eivätkä sovi microSD-koteloon. (Samsung 2016c)

Eri USB väyläversiot näkyvät siten, että esimerkiksi HP Envy kannettavassa samoille muistikorteille saadaan suurempia kirjoitus- ja lukunopeuksia kuin Lenovon kannettavassa, koska kortinlukija on laitteen sisällä kytketty USB3.0:aan, USB2.0n sijasta.

#### 4.1 Tiedostojärjestelmä

SD-korttia ei tule alustaa tyypillisten käyttöjärjestelmien levyhallintaohjelmilla. Jos laite, jolla alustus suoritetaan, ei tiedä, että tallennusmedia on SD-kortti, voi se käsitellä sitä väärin. Väärällä alustuksella voi kortin suorituskyky heiketä väärän varaussyksikkövalinnan takia tai väärän aloituskohdan takia. Jos aloituskohta ei ole jaollinen tallennusmuistin käyttämällä kirjoituskoolalla, operaatiot saattavat aiheuttaa moninkertaisen määrän kirjoituksia. Laite, jossa alustus tehdään, ei aina saa tietoa tallennusmediasta koska varsinainen kortti voi olla kortinlukijassa, joka näkyy käyttöjärjestelmälle USB-muistina. Suositeltavaa on käyttää SDA:lta saatavaa SDformatter sovellusta, joka osaa valita tiedostojärjestelmän, varaussyksikön ja mahdollisen aloitustasauksen oikein. Aloitustasauksella tarkoitetaan sovitusta tallennusmedialla olevassa muistiavaruudessa sellaiseksi, että itse mediaa pystytään käyttämään tehokkaasti, kun varsinainen tiedostojärjestelmän käyttämä alue osuu median käyttämien flash lohkojen kannalta oikeaan kohtaan. (SD Card Association 2016c)

SD-kortti voidaan myös alustaa muuhun valittuun tiedostojärjestelmään sopivaksi, kuten Linuxin tukemaan ext2 muotoon. Tällöin menetetään kortin siirrettävyydessä yhteensopivuus, kun SD-kortti ei enää ole luettavissa/kirjoitettavissa laitteissa, jotka eivät tue ext2 muotoa. Samalla aiheutetaan ongelma, jossa valittu tiedostojärjestelmä ei tee kirjoituksia SD-kortille optimoidulla tavalla, ja ettei SD-kortin kontrolleria eikä ohjelmistoa ole testattu lainkaan kyseisellä luku- ja kirjoitustavalla. (tldp.org 2016)

#### 4.2 USB-liitäntä

Monissa mobiililaitteissa on USB-liitäntä ulkoisten laitteiden kytkemiseksi ja useimmissa kannettavissa tallennusmuistin laajennuspaikka on USB-väylään kytketty. Aiemmin kan-

nettavissa tietokoneissa oli tuettuna CompactFlash PCMCIA-liitynnän kautta, mutta nykyisissä kuluttajalaitteissa yleensä löytyy SD-korttipaikka. Kosketusnäytöllisissä tablet-tietokoneissa eli taulutietokoneissa yleisemmin tuettuna on microSD-korttipaikka. Osassa laitteissa voi olla suoraan piirisarjassa SD-kortille soveltuva rajapinta. Laitteen valmistuksessa käytetty piirisarja asettaa omat rajoitteensa tuetuille USB-versioille. Laittevalmistaja saattaa tosin halutessaan toteuttaa hitaamman version rajapinnasta tai lisätä piirisarjan lisäksi erillisen USB-piirin, jolla voidaan toteuttaa nopeampi versio. USB-versioista ja niiden maksiminopeuksista on kooste taulukossa 8. Lisäksi otetaan huomioon, että maksimisiirtonopeus pitää sisällään myös USB kommunikointiin sisältyvän protokollan/komennot. Esimerkiksi USB 2.0:n ilmoitettu maksiminopeus on 480 Mbit/s, eli 60 MB/s, mutta käytännössä saatava tiedonsiirtonopeus on luokkaa 35-40 MB/s. (Macworld 2013)

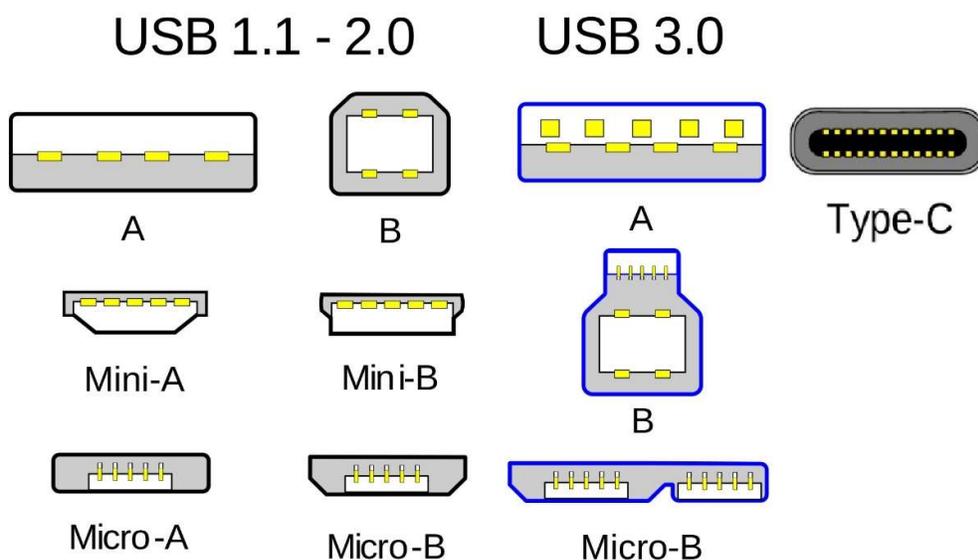
Taulukko 8. USB:n eri versiot ja niiden maksinopeudet

USB-versio	maksimisiirtonopeus	julkaistu
1.0 USB Low speed	1.5 Mbit/s	Tammikuu 1996
1.0 USB Full speed	12 Mbit/s	Tammikuu 1996
1.1	Katso USB 1.0	Syyskuu 1998
2.0	480 Mbit/s	Huhtikuu 2000
3.0	5.0 Gbit/s	Marraskuu 2008
3.1	10 Gbit/s	Heinäkuu 2013

Taulukossa esitetyt nopeudet ovat Mbit/s joten niiden muuttamiseksi muotoon MB/s on arvot jaettava kahdeksalla. (usblyzer 2016; usb.org 2016)

USB-liitäntää käytetään moniin tarkoituksiin taulutietokoneissa ja älypuhelimissa, tyypillisesti laitteessa on yksi USB-liitäntä, joko micro-B tai type-C. Samaa liitäntää hyödynnetään sekä laitteen akun lataamisen että tiedonsiirtoon. Osassa laitteissa myös audioliitäntä hoidetaan USB-liittimen avulla, eli kuulokkeet kytketään USB-liitimeen. Yleisempi käytötapa on siirtää tiedostoja laitteesta toiseen USB-liitäntään kytkettyä tallennusmuistia käyttämällä. USB-liittimiä on älypuhelimissa ja pienimmissä tableteissa yleensä vain yksi. Yleisimmät syyt laitteen liitäntöjen vähyyteen ovat kokorajoitteet ja joissain laitteissa pölyn/vedenpitävyys. Mikäli laitteen USB liittimiä on vain yksi, ei laitteen laturi voi olla kytkettynä samaan aikaan kun USB-liitäntää käytetään muuhun tarkoitukseen. Laitteissa voi olla sisäisesti useampia USB-liitäntöjä, käytettäväksi esimerkiksi muistikorttilukijaa

tai hiirtä varten. USB-väylällä ja sen käytetyllä versiolla on merkittävä vaikutus tallennusmuistin suorituskykyyn. Tyyppi-A liitin on tavallinen pöytätietokoneissa ja kannettavissa tietokoneissa, tyyppi-B liitin on käytössä printtereissä ja monitoreissa, joissa on USB-hub. USB-hub on laite, johon voidaan kytkeä useampia USB-laitteita, ne jakavat saman USB-väylän kommunikoidessaan väylän isäntälaitteen kanssa. USB mini-liitin on yleinen monissa digitaalikameroissa ja vanhemmissa älypuhelimissa. (laptopmag 2016) Kuvassa 15 on esitetty yleisiä USB-liittimiä.



Kuva 15. Yleisimpiä USB-liittimiä (wikipedia 2016c; wikipedia 2016d).

Pienikokoisissa laitteissa, esimerkiksi Ultrabook-kannettavissa, USB type-C liittimet ovat yleistymässä. USB type-C liittimen etuja ovat suurempi tiedonsiirtonopeus, pienempi fyysisen koko, parempi virranantokyky, monikäyttöisyys ja helppokäyttöisyys. USB type-C liitin voidaan kytkeä molemmin päin, joten heikossa valaistuksessa kytkeminen on helppoa. Kannettavissa tietokoneissa USB portit suositellaan merkittävän siten, että sinisellä värillä on merkitty USB3.0 portit tai SS-merkinnällä erottamaan ne USB2.0 porteista. SS lyhenne tulee USB 3.0:n markkinointitermistöstä. Esimerkiksi mainosmateriaaleissa käytetään joko SS- tai SuperSpeed-nimitystä. Esimerkiksi HP Envy kannettavan tietokoneen vasemman puolen USB-portit näkyvät laitteen sivussa liitteen 6 kuvassa 5. (usb.org 2016)

## 5 SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN

Mittauksissa käytetään Crystal DiskMark, Atto benchmark ja useampaa Android sovellusta: Disk-info, SD insight, SD tools ja A1 SD Bench. Suurin osa mittauksista tehdään A1 SD Benchillä ja Crystal Diskmarkilla, koska ne ovat toteutukseltaan lähinnä toisiaan. Vertailulähtökohdan saamiseksi kokeillaan myös Disk Speed Test sovellusta Android käyttöjärjestelmällä varustetussa älypuhelimessa ja SD Card Speed sovellusta Windows käyttöjärjestelmällä varustetussa älypuhelimessa. Testiohjelmien käyttöliittymistä on kuvat liitteissä 2, 3, 4 ja 5. Windows käyttöjärjestelmällä varustetussa kannettavassa tietokoneessa kokeillaan myös Atto Disk BenchMark testiohjelmaa. Liite 5:ssä on kuvakaappaus tietokoneen ruudulta, jossa näkyy erikokoisten operaatioiden määrä ja monipuolisuus ohjelmassa.

Suorituskykymittausten ajaksi laite kytketään lentotilaan, mikäli mahdollista (sovellus saattaa vaatia, että laitteessa on aktiivinen verkkoyhteys). Kaikki mahdolliset muut sovellukset sammutetaan testien ajaksi, jotta niiden kirjoitus- ja lukuoperaatiot eivät aiheuttaisi virhettä ja satunnaisuutta testituloksiin.

Tulokset mitataan testiohjelmilla eMMC:Itä, eri SD-korteilta ja USB-muisteilta. Mittauksissa käytetään eri korttilukijoita. Lisäksi mitataan muutamat SSD esimerkit.

Suorituskykymittauksissa tarkistetaan, että tallennusmuistilla on riittävästi tilaa, jotta kirjoitus- ja lukuoperaatioita suoritetaan riittävästi. Näistä useista operaatioista testiohjelma suorittaa keskiarvolaskutoimituksen jolloin yksittäisten poikkeavien tulosten vaikutus vähenee. Yksittäisiä poikkeavia tuloksi voi aiheuttaa laitteen muut toiminnot, joita esimerkiksi käyttöjärjestelmä suorittaa. Jos käyttöjärjestelmän sivutusrutiini tarvitsee ohjelmakoodia tallennusmuistilta testisovelluksen testikierroksen aikana, niin tyypillisesti sen prioriteetti on korkeampi ja testisovellus joutuu odottamaan vuoroaan. Testisovellus ei saa tietoa suoritusvuoron vaihtumisesta.

### 5.1 Testattavat muistikortit, vertailumuistit

Testattavat muistikortit ovat microSD koossa, ja niiden testaaminen tapahtuu SD-korttiadapterin avulla niissä laitteissa, joissa liitin ei tue microSD-korttia. Opinnäytteessä testattavat muistit ja vertailumuistit ovat taulukko 9:ssä.

Taulukko 9. Testattavat muistit.

Muistin valmistaja/tuotenimi	Kapasiteetti	Tyyppi
Hynix 16GB	16 GB	eMMC (Sony Xperia M5)
Kingston 16GB	16 GB	SDHC muistikortti, microSD
Lexar 2GB	2 GB	SDSC muistikortti, microSD
Samsung 8GB	8 GB	eMMC (LG Leon 4G)
Samsung 32GB	32 GB	SDHC muistikortti, microSD
Samsung 32GB PRO	32GB	SDHC muistikortti, microSD
Samsung 850EVO	500 GB	SATA SSD
SanDisk Ultra 32GB	32 GB	USB-muisti, USB3.0
SanDisk Ultra 64GB	64 GB	SDXC muistikortti, microSD
Toshiba 32GB	32 GB	SDHC muistikortti, microSD

SD-muistikorttien testaamisen apuna käytetään SD-korttisoittimia: Lenovo Z50-70 kannettavan tietokoneen integroitu kortinlukija, HP Envy 15 kannettavan tietokoneen integroitu kortinlukija, Lexar LRWM3U-7000 korttisoitin ja SanDisk ExtremePro UHS-II SD-korttilukija. Muissa testilaitteissa on suoraan paikka microSD kortille, Lexar LRWM3U-7000 tukee microSD kortit ilman adapteria, SanDisk ExtremePro UHS-II SD korttilukijan kanssa käytetään microSD-korttien myyntipakkauksessa toimitettavaa korttiadapteria.

## 5.2 Testilaitteet

Testialustoina käytetään kahta eri älypuhelinta, yhtä taulutietokonetta ja kahta kannettavaa tietokonetta. Microsoft Lumia 950 laitetta kokeillaan vertailulaitteena. Laitteiden tiedot on koottu laitteiden käyttöliittymän raportointien tietojen avulla sekä GSMarena ja Devicespecifications verkkosivustoilta. LG Leon 4G ja Sony Xperia M5 perustuvat Googlen Android käyttöjärjestelmään. LG Leon 4G sisältää toimitettaessa Android 5.0 version ja se päivitetään Android 6.0 versioon. Kannettavat tietokoneet ja Toshiba WT10 tablet käyttävät käyttöjärjestelmänään Microsoftin Windows10 käyttöjärjestelmää. Microsoft Lumia 950 perustuu Microsoftin Windows 10 käyttöjärjestelmän mobiiliversioon. Testilaitteina toimivien kannettavien tietokoneiden liitännöissä on USB2.0 ja USB3.0 standardin mukaiset liitännät. Laitteiden ominaisuudet on koostettu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Testeissä käytettävät laitteet.

Laite	Suoritin	RAM	Tallennusmuisti + muut huomiot
LG Leon 4G	Qualcomm MSM8916, 4x ARM Cortex A53, max 1.2 GHz	1 GB	8 GB, 3.6 GB käyttäjäosio + microSD tuki, 4.5" 480x854 kos- ketusnäyttö
Sony Xperia M5	Mediatek MT6795 Helio X10, 8x ARM Cortex A53, max 2.0 GHz	3 GB	16 GB, 11.3 GB käyttäjäosio + microSD tuki, 5" FullHD (1080x1920) kosketusnäyttö
Toshiba WT10	Intel Atom Z3735, 4 ydintä, max 1.4 GHz	2 GB	32GB + microSD tuki, 10" HD (1280x800) kosketusnäyttö
Lenovo Z50-70	Intel i5-4210U, 2 ydintä, max 2.4 GHz	12 GB	512 GB SATA SSD, SD-kortti- paikka, 3xUSB, 15.6" FullHD (1920x1080) näyttö, erillinen näytönohjain nVidia GT820 2GB RAM
HP Envy 15	Intel i5-5200U, 2 ydintä, max 2.7 GHz	16 GB	1 TB SATA SSD, SD-kortti- paikka, 3xUSB, 15.6" FullHD (1920x1080) näyttö, erillinen näytönohjain nVidia GT840 4GB RAM
Microsoft Lumia 950	Qualcomm MSM8992, 6 ydintä max 1.8 GHz	3 GB	32 GB + microSD tuki

### 5.3 Crystal DiskMark-testisovellus

Crystal DiskMarkin käyttämä testirakenne (versio Crystal DiskMark 3.01) Windows käyttöjärjestelmällä varustetuissa ajettavissa laitteissa tehtävissä mittauksissa sisältää seuraavanlaisen rakenteen:

- 5 testikierrosta jokaisella kerralla, testialueen koon saa valita (näissä testeissä käytetään 1000MB aluetta)
- peräkkäiset kirjoitukset 1MB/kirjoitus
- satunnaiset kirjoitukset 512kB/kirjoitus
- satunnaiset kirjoitukset 4kB/kirjoitus
- satunnaiset kirjoitukset 4kB, kirjoitusjonon pituus 32 operaatiota
- peräkkäiset luvut 1MB/luku
- satunnaiset luvut 512kB/luku
- satunnaiset luvut 4kB/luku
- satunnaiset luvut 4kB/luku jonon pituus 32 operaatiota
- kirjoittaa satunnaista dataa, 0x00 tai 0xFF.

#### 5.4 A1 SD Bench-testisovellus

Sovellus on saatavissa Android käyttöjärjestelmillä varustettuihin laitteisiin. Sovellus tukee nopeaa, pidempää, satunnaisten operaatioiden testiä sekä tarkkaa tallennusmuistin suorituskykytestiä. Satunnaisten operaatioiden testi ja tarkka testi vaativat testin puolivälissä laitteen uudelleenkäynnistyksen. Uudelleenkäynnistyksen jälkeen sovellus pitää käynnistää uudelleen ja se jatkaa sitten testikierroksen loppuun. Sovellus sisältää myös RAM suorituskykytestin. Sovelluksen tiedoissa ohjeistetaan, että ajettaessa pidempää testiä on laitteessa oltava vapaata tallennustilaa vähintään 1 GB. Sovellus tekee satunnaisten operaatioiden testin 4 kB operaatioilla, joten se soveltuu hyvin vertailulähtökohdaksi, kun tuloksia verrataan Crystal DiskMark tulosten kanssa.

#### 5.5 Erilliset suorituskykymittaukset

Vaikka suorituskykytestisovellukset tuottavat toistettavia testituloksia, tarkistetaan testitulosten oikeellisuus kahdella käyttäjätapauksella, jotka ovat kuvaavat normaalia käyttöä. Näillä lisätesteillä pyritään saamaan lisää tietoa siitä, miten testisovelluksen antamat

tulokset vastaavat suorituskykyä, jonka käyttäjä näkee laitteessa. Tätä varten kopioidaan satunnaisia valokuvia ja musiikkitiedostoja hakemistorakenteisiin seuraavasti:

- Todellinen käyttäjätapaus 1, testikuvaus: siirretään tallennusmuistille 1GB MP3 tiedostoja sisältävä hakemistorakenne, jossa mukana muutamia musiikkialbumien kansikuvia, yhteensä 252 tiedostoa.
- Todellinen käyttäjätapaus 2, testikuvaus: siirretään tallennusmuistiin hakemistorakenne, jossa on erikokoisia valokuvia 31130 tiedostoa yhteensä, kun tallennusmuistista on jo käytetty 90% kapasiteetista.

Erilliset suorituskykymittaukset suoritetaan siten, että tiedostojen kopiointi käynnistetään yhtä aikaa sekuntikellon kanssa. Kun kopiointi on valmis, sekuntikello pysäytetään. Mittattavan laitteen asetuksista tarkistetaan ensin, että laitteen tiedostopuskurointi on asetettu pois päältä Windows Laitehallinta sovelluksesta kyseisen laitteen kohdalta.

## 5.6 Mittaustulosten riittävyys

Tilastollisten menetelmien mukaan tehdyt mittaukset eivät ole kattavuudeltaan riittäviä. Testattavat SD-muistikortit valitaan testiin harkinnanvaraisella otannalla. Harkinnanvaraisen otannan tapauksessa yksilöt valitaan mahdollisimman objektiivisen ja tasapuolisen tuloksen ollessa tavoitteena. Yksilöt poimitaan harkitusti saatavissa olevista muistikortti ja muista tallennusmuistituotteista. Otantaa käytettäessä otetaan huomioon resurssit jotka ovat käytettävissä korttien hankintaan. Korttien valinnassa pyritään saamaan eri suorituskyvyn omaavia muistikortteja testattavaksi eri valmistajilta. Kortteja valittaessa testattavaksi käytetään valintakriteerinä myös eri kapasiteetteja. Laajempaa otantaa käytettäessä mittausten tekemisestä jokaisesta testatusta muistikortista ja tallennusvälineestä tulisi olla useampia yksilöitä testattavana, jotta yksilölliset eroavuudet ja mittausten poikkeamat suodattuisivat tuloksista. Muistikorttien valmistajat testaavat tuotteensa tuotantotestauksessa ja niiden keskinäiset erot ovat pienempiä kuin mittauksissa oleva muu epätarkkuus, kuten laitteissa olevan muun ohjelmiston aiheuttama vaihteleva kuormitus testihetkellä. (Holopainen & Pulkkinen 2012, 31-40)

### 5.7 Suorituskyvyn mittaaminen Android älypuhelimessa

Suorituskyky mitataan A1 SD Bench-testisovelluksella, joka asennetaan Android käyttöjärjestelmällä varustettuun älypuhelimeseen Google Play kaupasta. A1 SD Bench-testisovelluksesta käytetään versionumeroa 2.4.0. Laitteen integroidun tallennusmuistin suorituskyky mitataan vertailuarvoksi.

### 5.8 Suorituskyvyn mittaaminen Windows taulutietokoneessa

Suorituskyky mitataan Crystal DiskMark-testisovelluksella, joka on vapaasti ladattavissa sovelluksen tukisivuilta. Crystal DiskMark-testisovelluksesta käytetään versiota 3.01. Laitteen integroidun tallennusmuistin suorituskyky mitataan vertailuarvoksi.

### 5.9 Suorituskyvyn mittaaminen Windows kannettavassa

Suorituskyky mitataan Crystal DiskMark-testisovelluksella, joka on vapaasti ladattavissa sovelluksen tukisivuilta. Crystal DiskMark-testisovelluksesta käytetään versiota 3.01. Laitteen SATA SSD-tallennusmuistin suorituskyky mitataan vertailuarvoksi. Laitteen sisäinen tallennusväline vaihdetaan SATA-HDD:stä SATA-SSD:ksi, jotta saadaan vertailuarvo kannettavien tietokoneiden eri tyyppisten tallennusmuistien suorituskyvystä.

### 5.10 Suorituskyvyn mittaaminen Windows älypuhelimessa

Suorituskyky mitataan SD Card Speed Test-sovelluksella, joka on ladattavissa Windows kaupasta Windows älypuheliiniin.

## 6 SUORITUSKYKYSOVELLUSTEN VERTAILU

Eri sovelluksilla ajetaan ennen varsinaisen testikierroksen aloittamista vertailemista varten testejä sovelluksen valitsemista varten. Android laitteiden sovelluskokeilua varten valitaan Google Play Store:ssa parhaimmat arvostelut saaneet sovellukset, A1 SD Bench ja Disk Speed test. Windows Storessa on tarkoitukseen vain yksi sovellus SD Card Speed. Windows 10 kannettavien tietokoneiden ja tabletin testeihin valittiin kokeiltavaksi Atto Disk Benchmark ja Crystal DiskMark. Windows 10 koneiden kanssa käytettävät sovellukset valintaperuste oli se, että niillä ajettujen testien tuloksia on saatavissa vertailtavaksi. (A1 SD Bench 2017; Atto 2017; Crystal DiskMark 2017; Disk Speed test 2017; SD Card Speed 2017)

Taulukko 11 sisältää sovelluksien valinnassa käytetyt ominaisuudet, tuetun käyttöjärjestelmän, tärkeimmät ominaisuudet testaamiseen ja onko sovelluksessa mainoksia.

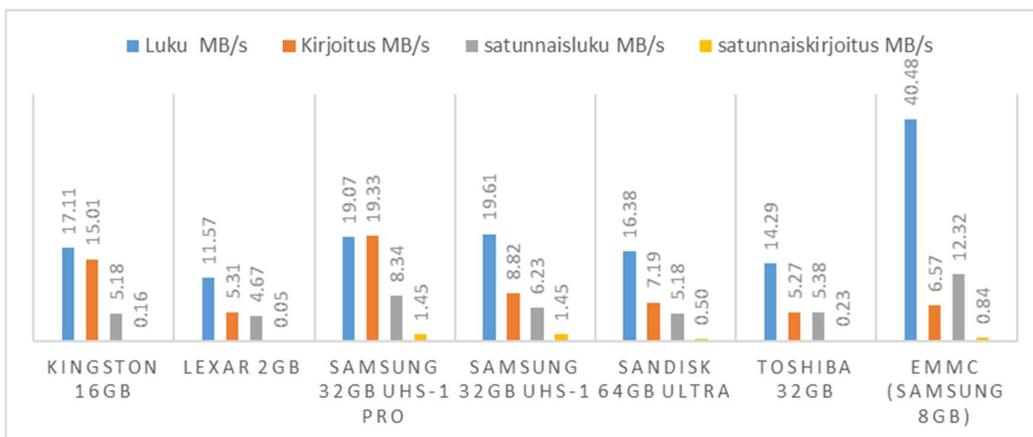
Taulukko 11. Suorituskykysovellusten ominaisuudet.

Sovellus	käyttöjärjestelmä	Peräkkäiset operaatiot	Satunnaiset operaatiot	Mainokset	Helppokäyttöisyys
A1 SD Bench	Android	Tuettu	Tuettu	Sisältää	on
Atto Disk Benchmark	Windows 10	Tuettu	Tuettu	Ei mainoksia	Liikaa toimintoja
Crystal DiskMark	Windows 10	Tuettu	Tuettu	Ei mainoksia	on
Disk Speed test	Android	Tuettu	Ei tuettu	Sisältää	on
SD Card Speed	Windows 10 mobile	Tuettu	Ei tuettu	Sisältää	on

Taulukossa olevien ominaisuuksien lisäksi taulukossa olevien sovellusten käyttöliittymäkuvat ovat liitteissä 2, 3, 4, 5 ja 8.

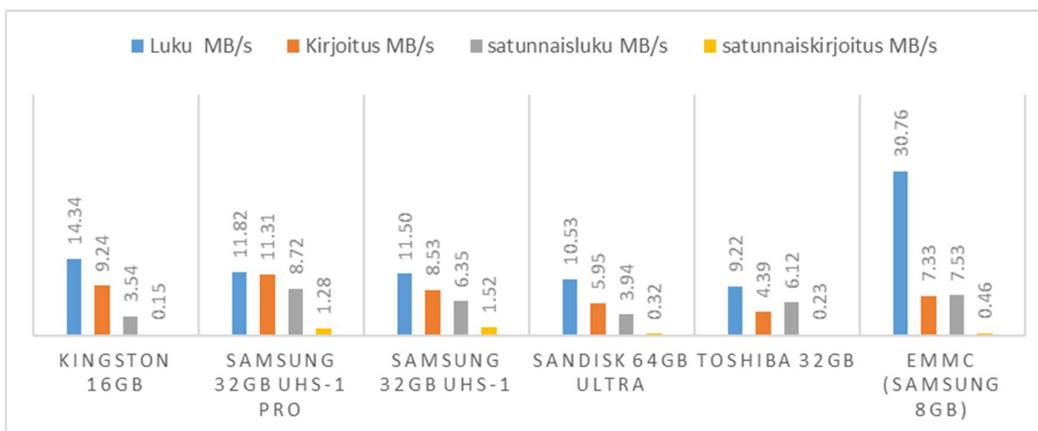
## 7 MITTAUSTULOKSET

LG Leon 4G mittaustulokset ovat kuviossa 1-2. Kuviossa 1 eri muistikortit on mitattu niiden ollessa tyhjiä ennen testin alkua. Lexar 2 GB muistikorttia ei mitattu täyten jälkeen.



Kuvio 1. LG Leon 4G tulokset tyhjiillä microSD-korteilla.

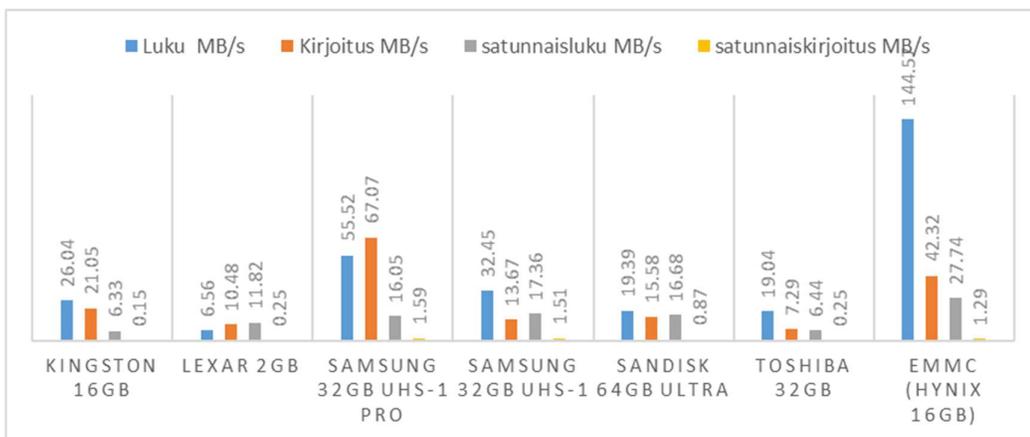
Kuvio 2 kuvaa suorituskykyä, kun muistikortit on täytetty 90 % täyteen ennen testisovelluksen suorittamista. eMMC-muistin peräkkäiset lukuoperaatiot hidastuvat 24 % ja muistikorteilla 10–30 % välillä. Pieniin kirjoitusoperaatioihin vaikutus on pienempi, eMMC-muistia lukuun ottamatta.



Kuvio 2. LG Leon 4G tulokset 90% täytetyillä microSD-korteilla.

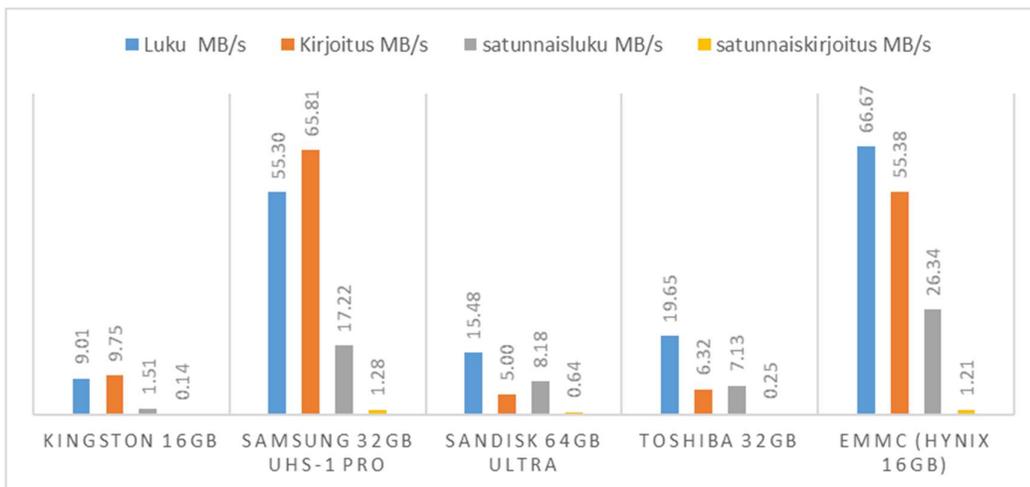
eMMC erottuu selkeästi tuloksista LG Leon tuloksissa suurilla operaatioilla. Eroa selittää se, että eMMC-muisti on nopeammassa muistivälissä kuin microSD-muistikortti. UHS-I muistikortit eivät eroa juurikaan muista muistikorteista puuttuvan UHS-I tuen takia.

Sony Xperia M5 mittaustulokset ovat kuvioissa 3–4. Myös Sony Xperia M5 laitteen tapauksessa eMMC-muisti erottuu edukseen lukutesteissä.



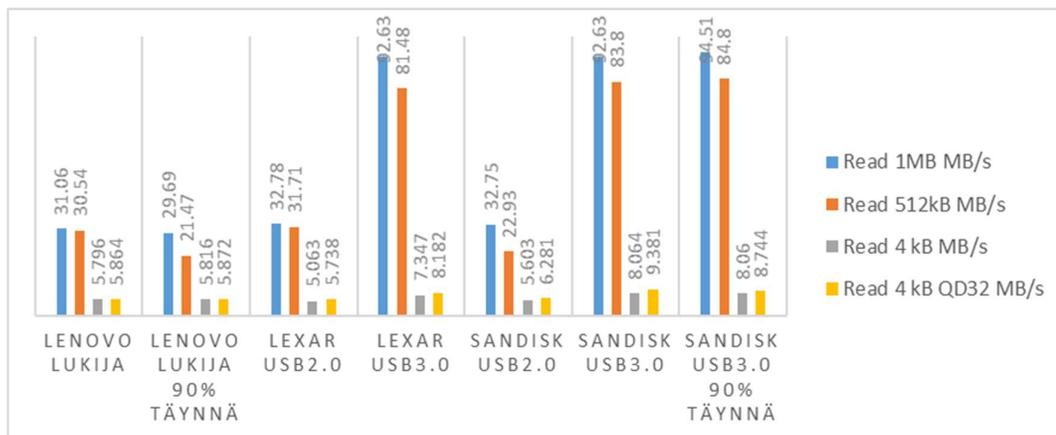
Kuvio 3. Sony Xperia M5 tulokset tyhjillä microSD-korteilla.

Sony Xperia M5 laitteella testattiin tallennusmuistit 90 % täytettynä. Lexar 2 GB muistikorttia ei mitattu täyten jälkeen. Kirjoitustesteissä eMMC-muistin ja microSD-korttien erot eivät ole enää niin selkeät Sony Xperia M5 laitteessa, kun UHS-I muistikortti on käytössä.



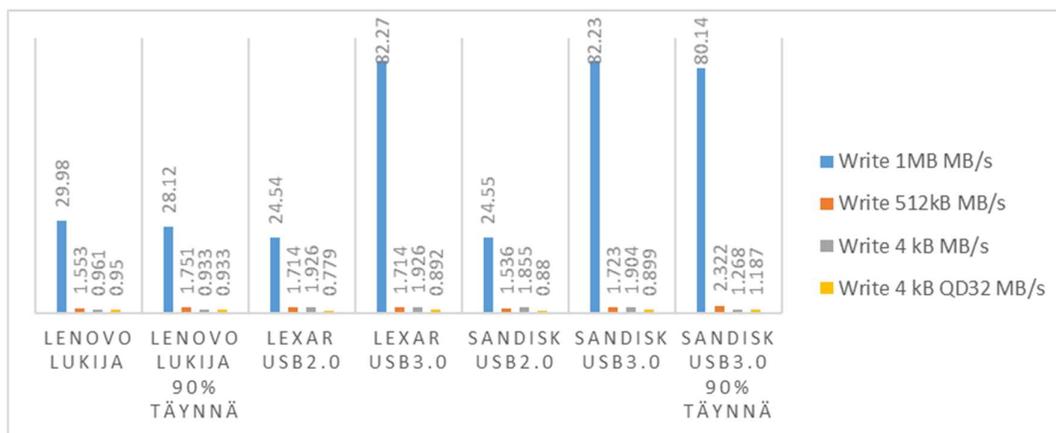
Kuvio 4. Sony Xperia M5 tulokset 90% täytetyillä microSD-korteilla.

Lenovo Z50-70 kannettavassa tietokoneessa testataan Crystal DiskMark-testisovelluksella muistikortin suorituskykyä (kuviot 5-6).



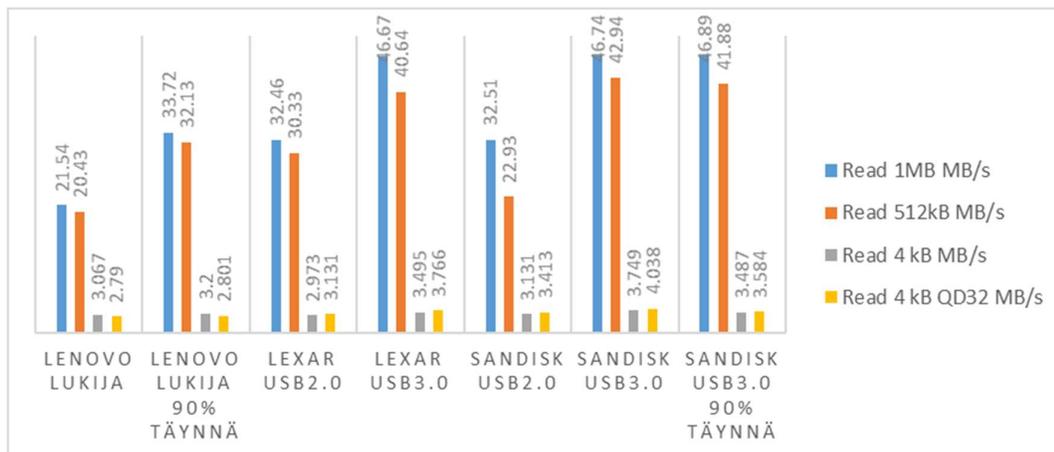
Kuvio 5. Lenovo Z50-70 lukutulokset Samsung 32GB UHS-I PRO-kortille.

Samsung 32GB UHS-I PRO-muistikorttia käytettäessä suorituskyky yli kaksinkertaistuu suurilla luku- ja kirjoitusoperaatioilla, jos käytetään USB3.0-kortinlukijaa USB3.0-liitännässä. Satunnaisoperaatioissa parempiin tuloksiin päästään vain lukupuolella, kirjoitustulokset ovat samaa luokkaa riippumatta käytetystä korttilukijasta tai USB-väylästä.



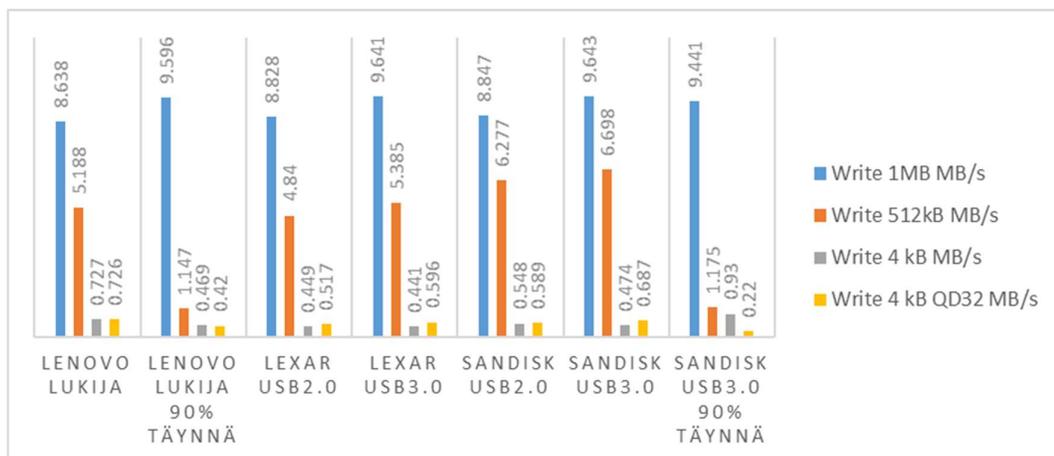
Kuvio 6. Lenovo Z50-70 kirjoitustulokset Samsung 32GB UHS-I PRO-kortille.

Vastaavien testien tulokset SanDiskin 64GB Ultra microSD-kortille näkyvät kuvioissa 7-8.



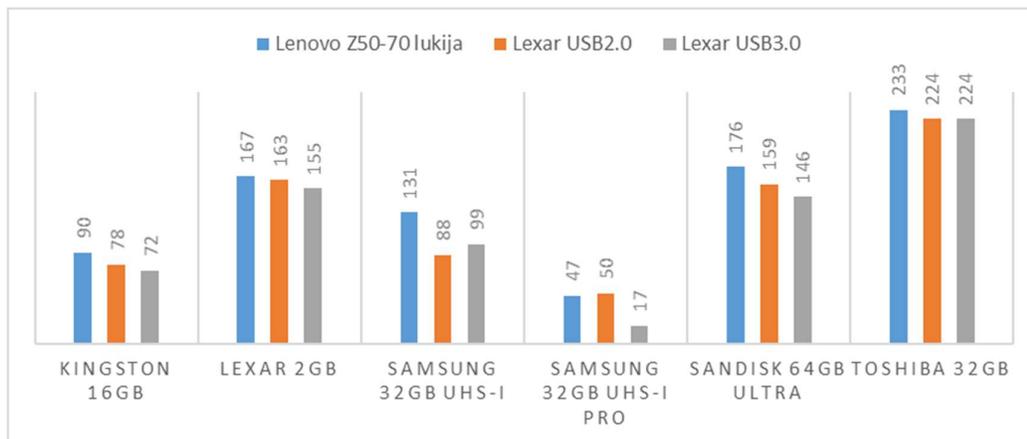
Kuvio 7. Lenovo Z50-70 lukutulokset SanDisk 64GB Ultra-kortille.

Myös SanDisk 64GB Ultra-korttia käytettäessä USB3.0:n käyttö parantaa lukuoperaatioiden suorituskykyä isoilla operaatioilla mutta kirjoitusoperaatioissa ero ei enää ole selkeä. Vaikka SanDiskin kortti tukee UHS-I:stä ei sen käytössä hyödy niin paljoa USB3.0 liitännän käytöstä, koska USB2.0:n nopeus riittää jo sen rajapinnan nopeuden kanssa.



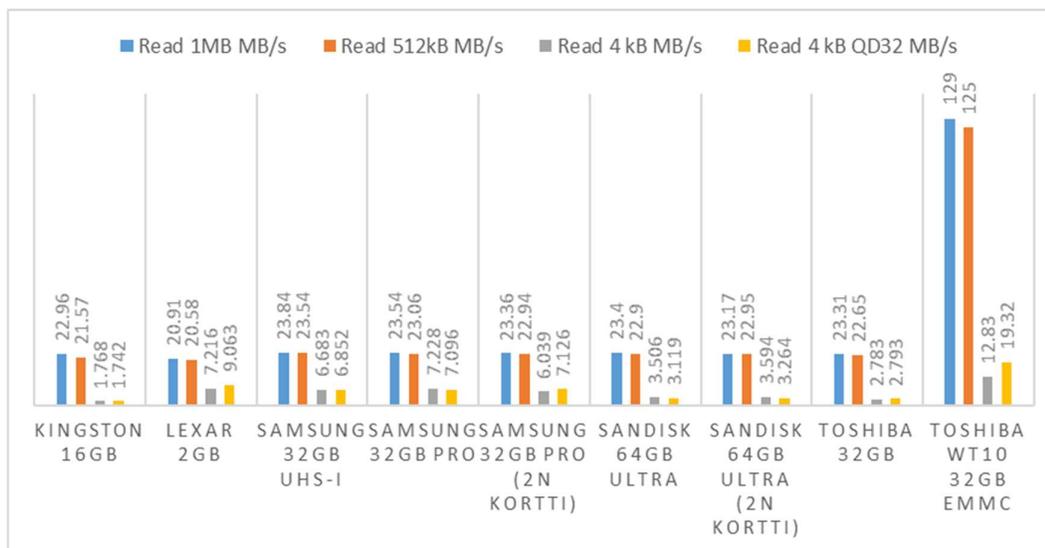
Kuvio 8. Lenovo Z50-70 kirjoitustulokset SanDisk 64GB Ultra-kortille.

Todellista käyttöä mallintavasta käyttäjätapaus 1 tuloksista otteen näkee kuviossa 9. SSD:ltä muistikortille tehtävä kopiointi on mitattu sekunteina tyhjälle muistikortille kannettavaan tietokoneeseen eri tavoin liitettynä. Mitä lyhyempi aika sitä parempi suorituskyky muistikortilla ja käytettävällä rajapinnalla on.



Kuvio 9. Lenovo Z50-70 käyttäjätapaus 1, 252 musiikkitiedoston kopiointi muistille.

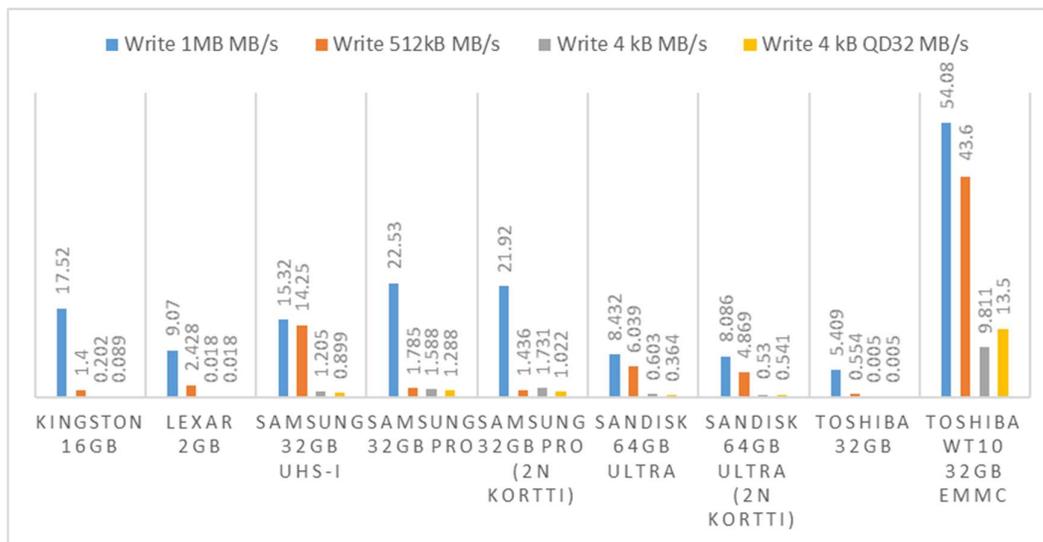
Muistien suorituskyky Toshiba WT10-tabletin integroidussa microSD-korttipaikassa näkyy kuvio 10:ssä ja kuvio 11:ssä. Verrokkina mittaustuloksissa nähdään laitteen integroitu eMMC-muisti. Lukusuorituskykymittauksessa nähdään, että laitteen microSD-korttipaikka ei toteuta UHS-I rajapintaa. Lukunopeuksissa suurilla lukuoperaatioilla kaikkien SD-muistikorttien suorituskyky on vain murto-osa eMMC-muistin suorituskyvystä.



Kuvio 10. Toshiba WT10 microSD-lukijan lukunopeustulokset.

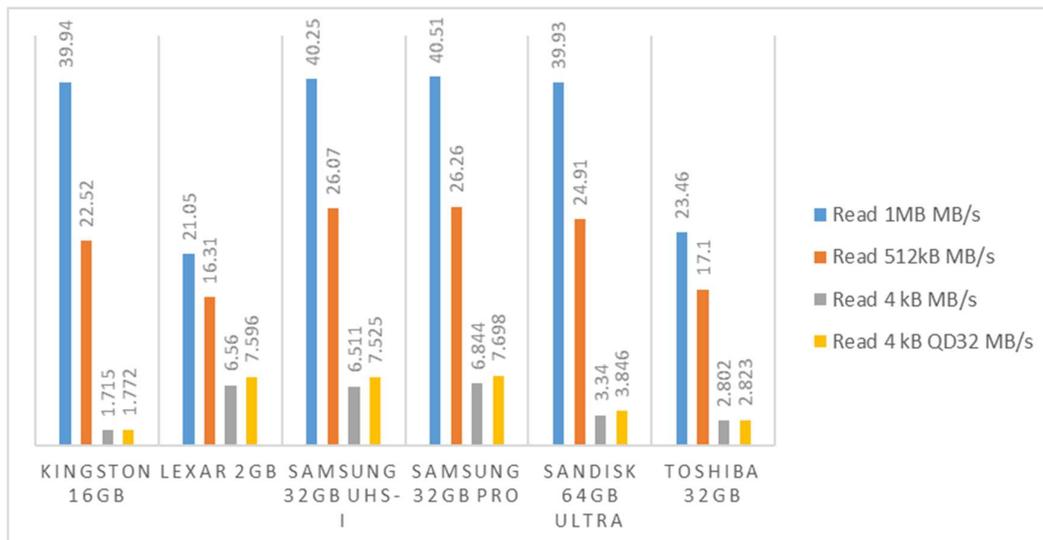
Toteutettu rajapinta tasoittaa suurimman muistikorttilukunopeuden alle 25 MB/s nopeuteen. Kirjoitustesteissä näkyy samankaltainen vaikutus; nopeiden muistikorttien suorituskyky jää 22 MB/s luokkaan peräkkäisillä operaatioilla. Satunnaisoperaatioilla korteissa

näkyvyyttä huomattavia eroja. Kaikki muistikortit jäävät silti aivan eri suorituskykyyn kuin laitteen eMMC-muisti.



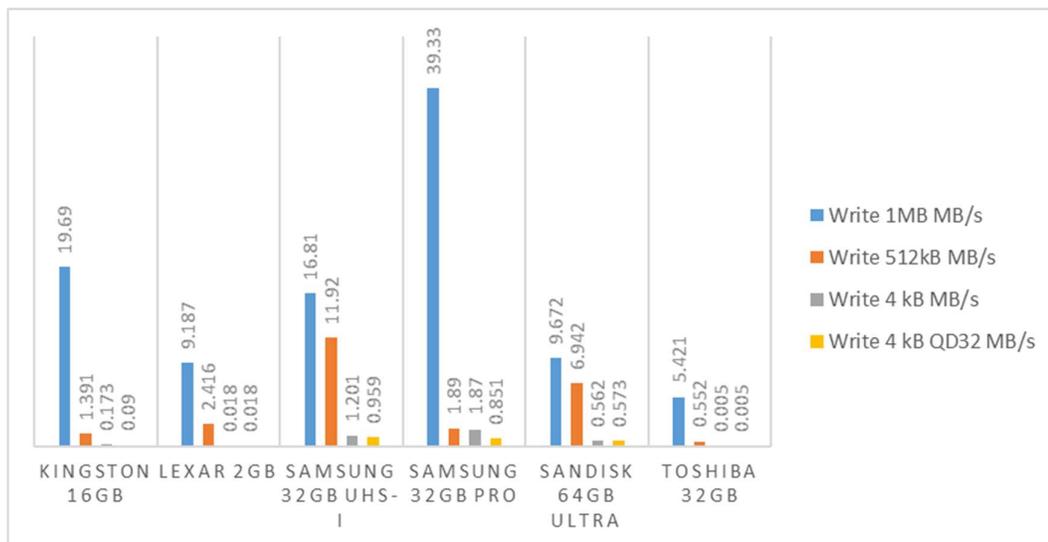
Kuvio 11. Toshiba WT10 microSD-lukijan kirjoitusnopeustulokset.

Koska Toshiba WT10 tukee myös USB:n kautta liitettyjä muisteja, näkyy kuvioissa 12-13 millaiseen suorituskykyyn päästään, jos laitteen USB-liittimeen kytketään muistikorttilukija.



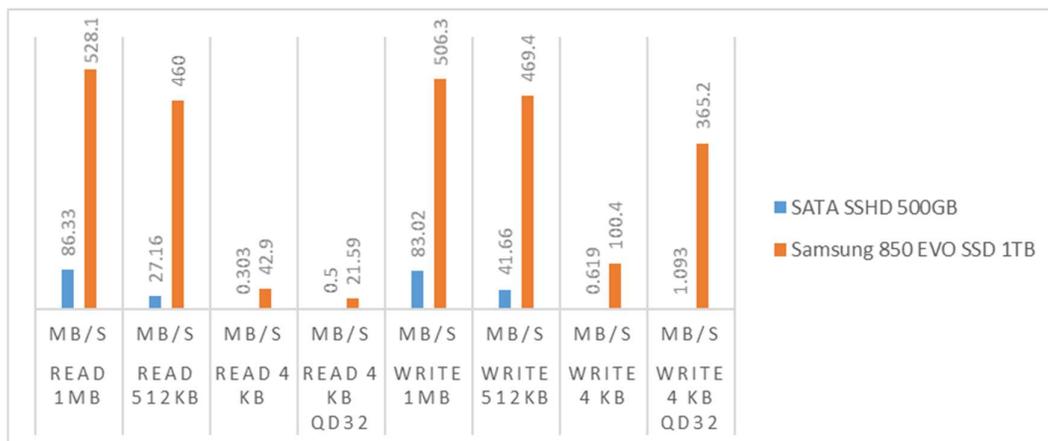
Kuvio 12. Toshiba WT10 lukunopeustulokset ulkoisessa lukijassa.

Lukunopeustuloksista nähdään, että UHS-I rajapinnan tukevat muistikortit saavuttavat melkein 40 MB/s lukunopeuden peräkkäisillä nopeuksilla.



Kuvio 13. Toshiba WT10 kirjoitusnopeustulokset ulkoisessa lukijassa.

Molempiin testikäyttöön oleviin kannettaviin tietokoneisiin on vaihdettu kiintolevyn (HDD) tilalle SSD-asema ja myös sen suorituskyky näkyy kuviossa 14.



Kuvio 14. Lenovo Z50-70 tallennusmuistin suorituskyky.

Tallennusmuistin suorituskyky paranee huomattavasti, vaikka alkuperäinen tallennusmuisti sisälsi jo SSD-muistia. Laitteessa tallennusmuistina on myytävissä 500 GB:n SATA-liitäntäinen kiintolevy, jossa on 8 GB SSD-muistia. HP Envy kannettava toimitetaan myyntihetkellä 1 TB kiintolevyllä, jossa ei ole integroitua SSD-muistia.

## 8 MUISTIKORTIN VALINTA

Vaikka mittaustuloksilla voidaan löytää eri muistikorttien välillä huomattavia eroja, suurimmaksi ongelmaksi muodostuu, miten lisämuistin hankintahetkellä voi varmistua suorituskyvystä. Amazon verkkokaupassa monet toimijat ovat ajaneet suorituskykytestin Crystal Diskmark-testisovelluksella valmiiksi, joten tieto on saatavilla, mikäli kortin tilaa sieltä. Edelleen on mahdollista, että kuluttaja saa kortin eri toimituserästä ja sisältö on eri kuin testauksessa ollut tallennuslaite. Kotimaisissa kulutuselektronikan verkkokaupoissa tai ns. kivijalkaliikkeissä tilanne voi olla hankalampi. Kuluttaja voi tietysti pyytää, että tuotteelle ajetaan suorituskykytesti ennen tuotteen lunastamista, mihin kaupan ei ole pakko suostua. Myös SD Card Association on havainnut kortteihin liittyvän haasteen ja on julkaissut marraskuussa 2016 sovelluksille sopiville SD-korteille nopeusluokituksen. Uudet sovelluksille sopivat muistikortit tullaan merkitsemään A1 merkinnällä, nykyisten merkintöjen sijasta/lisäksi. Sovelluksille sopivat muistikortit tulevat valmistajien lupauksen mukaan tarjoamaan vähintään 1500 IOPS satunnaislukunopeutta, 500 IOPS kirjoitusnopeutta ja jatkuvana suorituskykyinä vähintään 10 MB/s. Nämä lukemat vastaisivat tässä opinnäytetyössä olevien mittaustulosten kanssa 6MB/s satunnaislukunopeutta ja 2MB/s satunnaiskirjoitusnopeutta. (SD Card Association 2016b)

Muistikorttia hankittaessa on suositeltavaa tutkia myyntipakkaus tarkkaan ja tutustua merkintätapoihin etukäteen. Esimerkkikuva muistikortin myyntipakkauksesta on liitteessä 7. Laite, johon lisää tallennusmuistia ollaan hankkimassa, voidaan testata nopean UHS-I muistikortin kanssa testisovelluksella. Esimerkki sopivasta testikortista on Samsungin 32GB Pro SD-kortti, joka tukee UHS104 nopeutta. Tämä testi paljastaa onko kyseinen laite yhteensopiva nopeiden UHS-1 SD-muistikorttien kanssa.

## 9 PÄÄTELMÄT

Laittevalmistajien ja jälleenmyyjien antamissa laitetiedoissa ei ole näkyvässä yleensä tietoa tukeeko laite SD-muistikortin UHS-I tai UHS-II tiedonsiirtonopeutta. Tiedoissa mainitaan tutkittujen laitteiden kohdalla tuetun muistikortin kapasiteetti ja kortin mekaaninen muoto. Esimerkiksi laitteen käyttöoppaassa voi olla teksti: laite tukee microSD-muistikortteja 32 GB kapasiteettiin saakka. Mittaustulosten perusteella voidaan sanoa, että LG Leon 4G laitteen omistaja ei hyödy, jos sijoittaa enemmän rahaa saadakseen UHS-I luokituksen mukaisen nopean microSD-muistikortin 30 MB/s suorituskyyvällä, koska laite ei tue UHS-I rajapintaa. Riippumatta mittauksissa käytetystä muistikortista LG Leon 4G:ssä maksiminopeus jää kortista riippumatta alle 20 MB/s. Sony Xperia M5:n käyttäjä sen sijaan hyötyy nopeamman rajapinnan muistikortista enemmän, koska laite tukee UHS-I standardia. Samoin eMMC mittaustuloksista erottuu kaksi asiaa, 16 GB muistikomponentti takaa paremman suorituskyyvyn ja Sonyn Xperia M5 älypuhelimessa tuetaan eMMC HS200 tilaa, joka sallii huomattavasti korkeammat siirtonopeudet kuin LG Leon 4G:ssä. Mittaustulosten perusteella eri SD-muistikorttien välillä on suorituskyyveroja niin tyhjänä kuin miltei täytenä. USB 3.0 Kortinlukijan kytkeminen USB2.0 porttiin USB3.0 portin sijasta näkyi nopeilla korteilla selkeänä suorituskyykypudotuksena.

Toshiba WT10 tabletin sisäinen tallennusmuisti osoittautui suorituskyykyiseksi, mutta laajennuspaikkana toimiva microSD-lukija ei tukenut muistikorttien UHS-I rajapintaa, joten sen kautta lisätty tallennusmuisti toimii hitaammin kuin sisäinen muisti.

Ennen muistikortin hankkimista on tarkistettava laitteen tukema muistikorttityyppi. Jos on mahdollista, kannattaa laitteessa kokeilla ennen ostopäätöstä nopean rajapinnan mukaista UHS-I tai UHS-II muistikorttia suorituskyykysovelluksen kanssa, jotta tietää onko laitteessa kyseinen tuki. Eri suorituskyykymittaussovellusten välillä havaittiin huomattavia eroja, mutta luotettavimmin toimiviksi havaittiin Crystal Diskmark ja A1 SD bench. Atto Disk BenchMark antoi myös luotettavia ja toistettavia tuloksia, mutta kuluttajalle työkaluna muistikortin valintaan testisetti on liian laaja. SD Card Speed Test sovellus ja Disk Speed Test sovellus taas olivat liian rajoitettuja, jotta niillä voisi tunnistaa suorituskyykyiset kortit. Molemmissa testit tehdään vain suurikokoisilla peräkkäisillä kirjoituksilla. Riittävän nopean kortin hankkimiseksi voi käyttää SD Card Associationin uutta nopeuslukitusta A1 tai vastaavia arvoja. Testatuista SD-korteista Samsungin 32 GB PRO oli lähimpänä noita arvoja.

## LÄHTEET

(A1 SD bench 2017) <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/sd-card-speed/9nblggh0cn00>, A1 SD bench sovelluksen kotisivu, viitattu 8.2.2017.

(Atto 2017) <https://www.atto.com/disk-benchmark/>, Atto Disk Benchmark kotisivut, viitattu 8.2.2017.

(cnet 2016) <https://www.cnet.com/products/sony-flash-memory-card-2-gb-memory-stick-micro-m2-series/specs/>, cnet verkkosivuston artikkeli Sony m2 muistikortista, viitattu 1.2.2106.

(community.giffgaff 2016) <https://community.giffgaff.com/t5/Blog/UFS-Memory-Cards-The-Successor-To-Micro-SD-Cards/ba-p/19461052>, blogiartikkeli UFS muistikorteista SD-kortin korvaajana, viitatti 3.2.2017.

(CrystalDiskMark 2017) <http://crystalmark.info/software/CrystalDiskMark/index-e.html>, CrystalDiskMark sovellusprojektin kotisivut, viitattu 8.2.2017.

(Datalight 2016) <https://www.datalight.com/solutions/technologies/emmc/comparing-emmc-to-other-flash-media>, Datalight artikkeli eMMC:n eroista NAND:iin, viitattu 3.2.2017.

(devicespecifications 2016) <http://www.devicespecifications.com/en/model/f3e032c2>, viitattu 20.12.2016.

(Disk speed test 2017), <https://play.google.com/store/apps/details?id=us.hipxel.performance.disk.speed.test&hl=en>, Disk speed test sovelluksen tiedot Googlen Play storessa, viitattu 8.2.2017

(DNA 2016) <https://kauppa4.dna.fi/puhelimet-ja-laitteet>, DNA:n verkkokauppa, viitattu 18.12.2016.

(Droidlife 2016a) <http://www.droid-life.com/tag/distribution/>, Android versioiden yleisyys markkinoilla, viitattu 18.12.2016.

(Droidlife 2016b) <http://www.droid-life.com/2016/07/11/samsung-develops-slot-supports-new-ufs-1-0-microsd-cards/>, Droidlife artikkeli Samsung microSD/UFS korttipaikasta, viitattu 03.02.2017

(laptopmag 2016) <http://www.laptopmag.com/articles/port-and-adapter-guide>, Laptop verkkojulkaisu kannettavien tietokoneiden liitännöistä, viitattu 2.2.2017.

(MemoTrek 2016) <http://www.memotrek.com/nand-flash-wholesale-price-trends-2015>, Memotrek verkkosivuston artikkeli NAND flash hinnoista, viitattu 18.12.2016.

(Elisa 2016a) <https://elisa.fi/kauppa/#!/puhelimet>, Elisan verkkokauppa, viitattu 18.12.2016.

(Elisa 2016b) <https://elisa.fi/kauppa/#!/laitteet/muut-laitteet/Sandisk-MicroSD--muistikortti>, Elisan verkkokauppa, viitattu 1.2.2016.

(Encyclopedia 2016) <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/MultiMediaCard>, Encyclopedia artikkeli Multi Media Card:ista, viitattu 1.2.2017.

(Gigantti 2016) <http://www.gigantti.fi>, Gigantti verkkokauppa, SD-muistikorttutuotteiden hinnat, viitattu 18.12.2016.

(GSMarena 2016) [http://www.gsmarena.com/sony\\_xperia\\_m5-7464.php](http://www.gsmarena.com/sony_xperia_m5-7464.php), GSMarena verkkoartikkeli Sony Xperia M5:sta, viitattu 20.12.2016.

- (Holopainen & Pulkkinen 2012) Tilastolliset menetelmät, Martti Holopainen & Pekka Pulkkinen, 5-7. painos 2012, ISBN 978-951-0-33198-9.
- (Honkanen 2008), [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs\\_ESD.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_ESD.pdf), koulutusmateriaali EMC/ESD suojauksesta, Honkanen Harri Kajaanin AMK, viitattu 2.2.2017.
- (IDC 2016) <https://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>, IDC:n verkkosivustolla oleva älypuhelinosuusien kaavio, viitattu 20.1.2017.
- (Iltalehti 2016) [http://www.iltalehti.fi/digi/2016090122248430\\_du.shtml](http://www.iltalehti.fi/digi/2016090122248430_du.shtml), Iltalehden artikkeli suomalaisten matkapuhelinoperaattoreiden myydyimmistä puhelimista, viitattu 18.12.2016.
- (Intel 2016) <https://newsroom.intel.com/news-releases/intels-maloney-talks-mobile-growth-in-industry-opportunities-at-computex/>, Intelin verkkosivustolla oleva uutisosoio jossa Ultrabook määritelmä on julkistettu, viitattu 22.12.2016.
- (Jimms 2016) <https://www.jimms.fi/Product/Show/124936/thn-m302r0320ea/toshiba-32gb-exceria-m302-microsdhc-muistikortti-uhs-i-90-mb-s>, Jimms verkkokaupan muistikortin tiedot, viitattu 1.2.2017.
- (Kärkkäinen 2016) <https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/lexar-micro-sdhc-32gb-class-10-muistikortti---adapteri#spst>, Kärkkäisen verkkokauppa, muistituotteet, viitattu 2.1.2017.
- (Macworld 2013) <http://www.macworld.com/article/2039427/how-fast-is-usb-3-0-really-.html>, Macworld verkkoartikkeli, viitattu 2.2.2017.
- (Micron 2010) <https://www.micron.com/products/nand-flash/tlc-mlc-and-slc-devices>, Micron tuote- ja teknologiaeroavuudet, viitattu 3.2.2017.
- (Multitronic 2016) <https://www.multitronic.fi/fi/products/155110/microsd-pro-32gb-class-10>, Multitronic verkkokauppa, microSD tuotteet, viitattu 1.2.2017.
- (Power 2016) <http://www.power.fi>, Power verkkokauppa, SD-muistikorttituotteiden hinnat, viitattu 18.12.2016.
- (Qualcomm 2016) <https://developer.qualcomm.com/hardware/snapdragon-600e>, Qualcomm Snapdragon 8064 tuotekooste, viitattu 3.2.2017.
- (Qualcomm 2017) <https://www.qualcomm.com/products/snapdragon>, Qualcomm snapdragon tuoteperheen tiedot, viitattu 3.2.2017.
- (Samsung 2016a) <https://news.samsung.com/global/samsung-introduces-worlds-first-universal-flash-storage-ufs-removable-memory-card-line-up-offering-up-to-256-gigabyte-gb-capacity>, Samsungin uutissivusto, UFS muistikortin julkistus, viitattu 19.1.2017.
- (Samsung 2016b) [http://www.samsung.com/semiconductor/global/file/media/Samsung\\_eMMC\\_2013-0.pdf](http://www.samsung.com/semiconductor/global/file/media/Samsung_eMMC_2013-0.pdf), Samsung verkkosivusto, eMMC tietoa, viitattu 21.1.2017.
- (Samsung 2016c) [http://www.samsung.com/us/business/oem-solutions/pdfs/V-NAND\\_technology\\_WP.pdf](http://www.samsung.com/us/business/oem-solutions/pdfs/V-NAND_technology_WP.pdf), Samsung verkkosivusto, yksityiskohtia NAND ja V-NAND teknologioista, viitattu 21.1.2017.
- (SD Card Association 2016a) [https://www.sdcard.org/downloads/pls/latest\\_whitepapers/Application\\_Performance\\_Class\\_White\\_Paper.pdf](https://www.sdcard.org/downloads/pls/latest_whitepapers/Application_Performance_Class_White_Paper.pdf), SD Card Association julkistus SD-korttien sovellusnopeusluokista, viitattu 18.12.2016.
- (SD Card Association 2016b) <https://www.sdcard.org/downloads/pls/index.html> SD Specifications Part 1 Physical Layer Simplified Specification Version 5.00, SDA:n SD standardin määritelmät, viitattu 18.12.2016.

(SD Card Association 2016c) [https://www.sdcard.org/downloads/formatter\\_4/](https://www.sdcard.org/downloads/formatter_4/), SD Card Association verkkosivusto, SD formatter tietoja ja asennustiedoston lataaminen, viitattu 19.12.2016.

(SD Card Association 2016d) [https://www.sdcard.org/press/thoughtleadership/160301SD\\_March\\_Thought\\_Leadership\\_FINAL\\_video\\_speed\\_class.html](https://www.sdcard.org/press/thoughtleadership/160301SD_March_Thought_Leadership_FINAL_video_speed_class.html), viitattu 20.1.2017.

(SD Card Association 2016e) <https://members.sdcard.org/developers/overview/capacity/>, SD/SDHC/SDXC kapasiteetit, viitattu 2.2.2017.

(SD Card Speed), <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/sd-card-speed/9nblggh0cn00>, SD Card speed sovelluksen tiedot Microsoft Storessa, viitattu 8.2.2017.

(Sonera 2016) <https://kauppa.sonera.fi/yksityisille/tarjooma/puhelimet.aspx>, Soneran verkkokauppa, viitattu 18.12.2016.

(Sony 2016) <http://www.sony.com/electronics/storage-devices/t/memory-stick>, viitattu 1.2.2017.

(Supertalent [http://www.supertalent.com/datasheets/SLC\\_vs\\_MLC%20whitepaper.pdf](http://www.supertalent.com/datasheets/SLC_vs_MLC%20whitepaper.pdf), artikkeli SLC ja MLC eroista, SLC vs. MLC: Whitepaper, viitattu 3.2.2017.

(techterms 2016) <http://techterms.com/definition/ata>, viitattu 18.12.2016.

(Texas Instruments 2012) <http://www.ti.com/lit/an/swpa221/swpa221.pdf>, SD/MMC Debug Guidelines, viitattu 2.2.2017.

(Tom's hardware 2015) <http://www.tomshardware.com/reviews/snapdragon-810-benchmarks,4053-2.html>, Tom's hardware verkkoartikkeli Qualcomm snapdragon 810 suorituskyvystä ja rakenteesta, viitattu 2.2.2017.

(Tietoviikko 2016) [http://www.tivi.fi/Kaikki\\_uutiset/spotify-tuhoaa-kiintolevyysi-nain-valtat-kalliin-onnettomuuden-6595107](http://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/spotify-tuhoaa-kiintolevyysi-nain-valtat-kalliin-onnettomuuden-6595107), Tietoviikon artikkeli Spotify ongelmasta, viitattu 18.12.2016

(tldp.org 2016) <http://www.tldp.org/HOWTO/Flash-Memory-HOWTO/ext2.html>, artikkeli Setting up an Ext2 filesystem, viitattu 2.2.2017.

(Toradex 2016), <http://docs.toradex.com/102492-layout-design-guide.pdf>, Toradex suunniteluohjeistus, viitattu 1.2.2017.

(Tuxera 2016) <http://www.tuxera.com/a-quick-guide-to-sd-card-speed-and-capacity-for-video-rec8ording/>, Tuxeran tiedote videotallennuksen nopeusluokista SD-korteille, viitattu 19.12.2016.

(usblyzer 2016) <http://www.usblyzer.com/brief-usb-overview-and-history.htm>, usblyzer verkkosivusto, USB:n historiaa, viitattu 22.12.2016.

(usb.org 2016) <http://www.usb.org/developers/docs/>, Universal Serial Bus 3.1 specification versio 1.0, viitattu 22.12.2016.

(Verkkokauppa 2016) <http://www.verkkokauppa.com>, SD-muistikorttituotteiden hinnat, viitattu 18.12.2016.

(wikipedia 2016a) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sdcard.svg>, SD-korttien kuvat mitoitneen sdcard.svg ja, viitattu 1.2.2017.

(wikipedia 2016b) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lexar\\_1000x\\_MicroSDHC\\_UHS-II\\_U3\\_Class\\_10\\_-\\_Back.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lexar_1000x_MicroSDHC_UHS-II_U3_Class_10_-_Back.jpg), kuva UHS-II microSD-kortista Lexar 1000x MicroSDHC UHS-II U3 Class 10 - Back.jpg, viitattu 1.2.2017.

(wikipedia 2016c) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB-Type-C.svg>, kuva USB type-C liittäimestä USB-Type-C.svg, viitattu 22.12.2016.

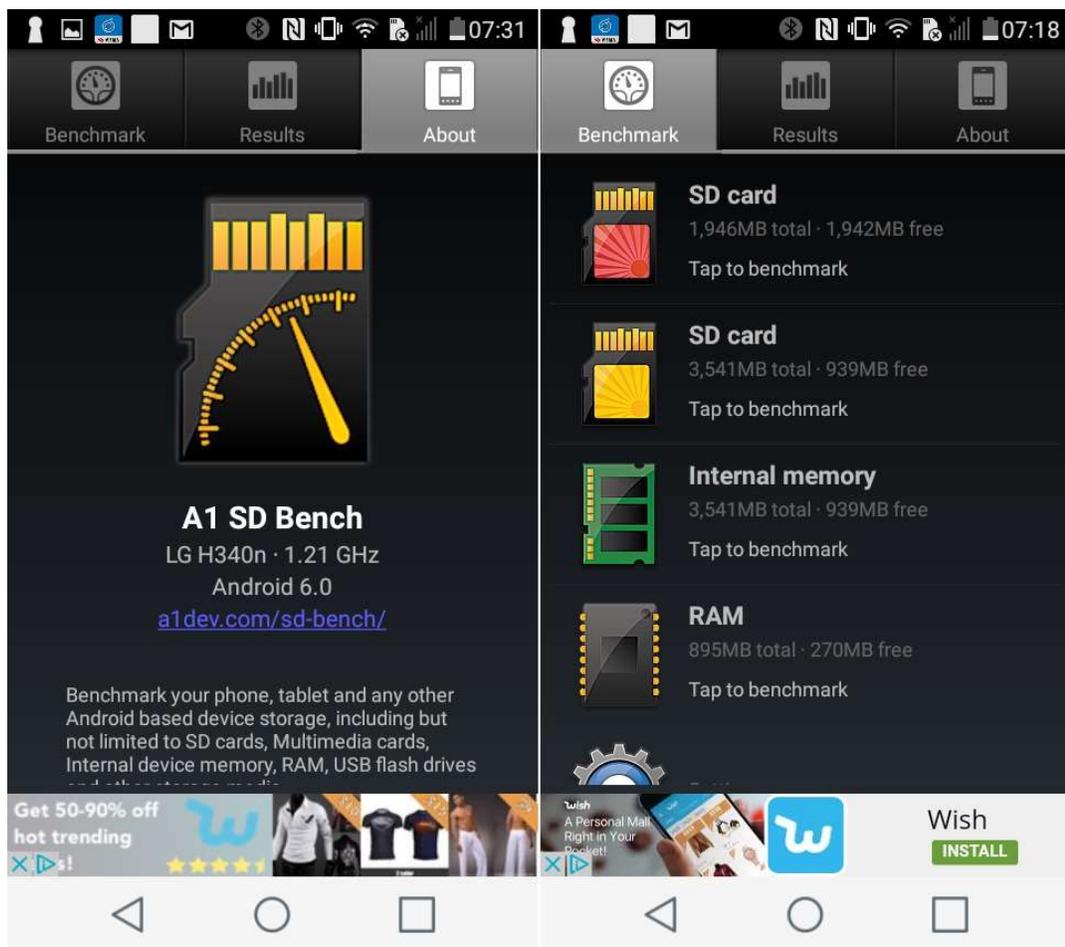
(wikipedia 2016d) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB3.0\\_connectors.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB3.0_connectors.svg), USB liittimet, USB3.0\_connectors.svg, viitattu 22.12.2016.

## SD-nopeusluokat ja suorituskyky

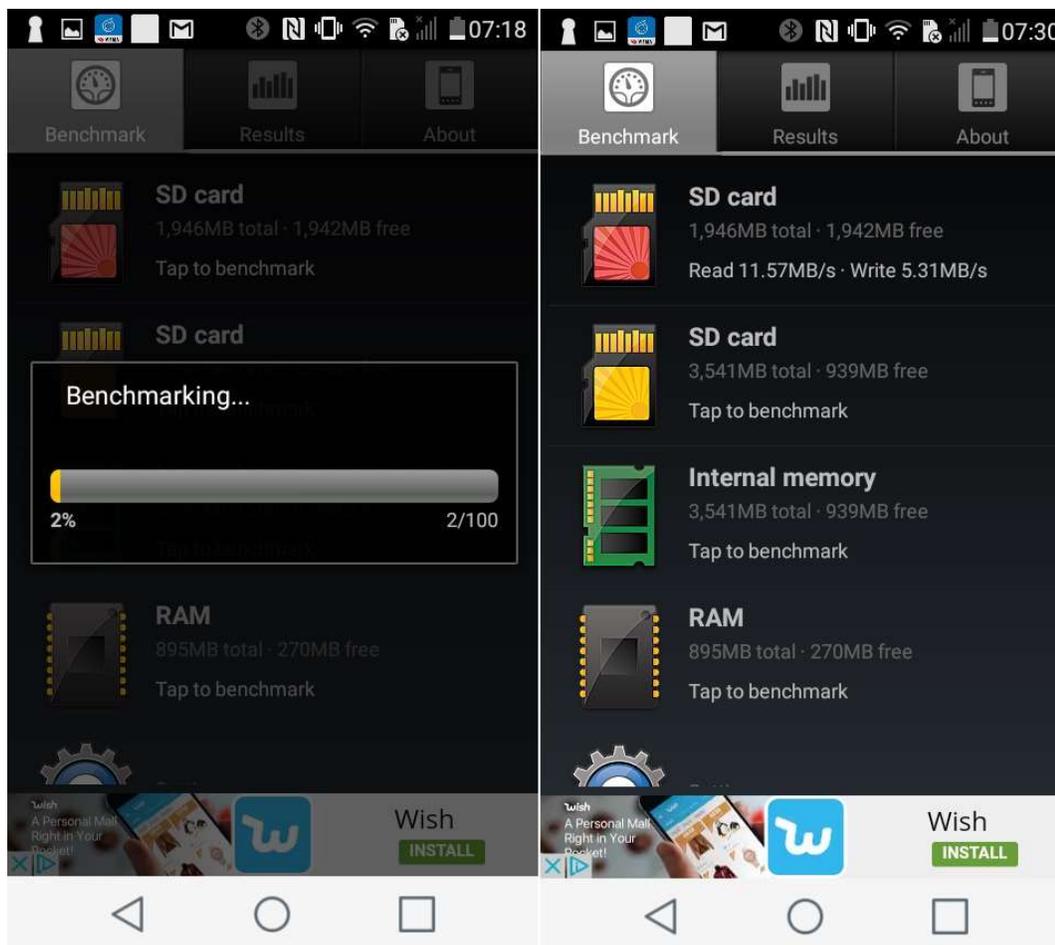
Minimum Sequential Write Speed	Speed Classes		
	Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class (New)
90 MB/sec			<b>V90</b>
60 MB/sec			<b>V60</b>
30 MB/sec		<b>U3</b>	<b>V30</b>
10 MB/sec	<b>10</b>	<b>U1</b>	<b>V10</b>
6 MB/sec	<b>6</b>		<b>V6</b>
4 MB/sec	<b>4</b>		
2 MB/sec	<b>2</b>		

Kuva 1. Videonopeusluokituksen, UHS- ja HS-nopeusluokituksen symbolit (sdacard.org 2016d).

## A1 SD bench-sovelluksen käyttöliittymä

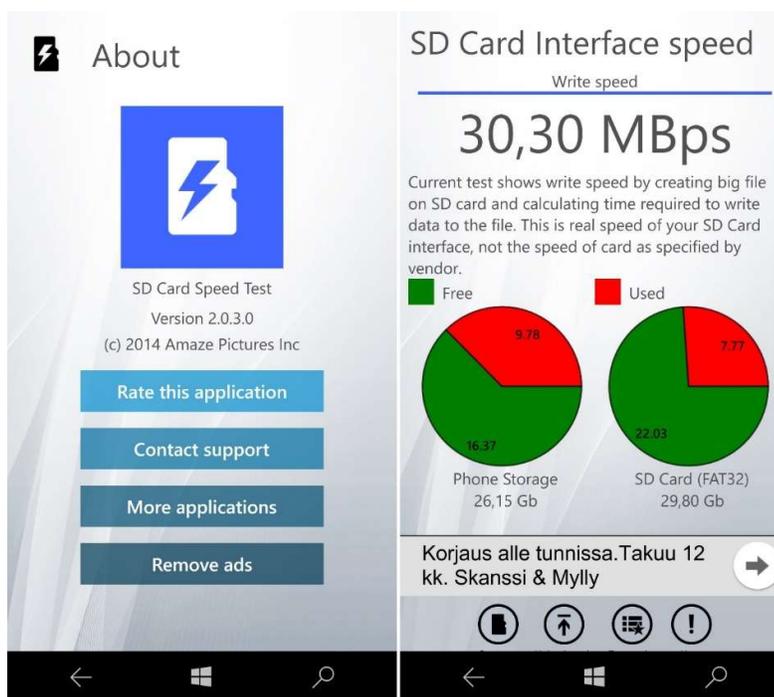


Kuva 1. A1 SD bench-sovelluksen tiedot- ja aloitusnäkyä.

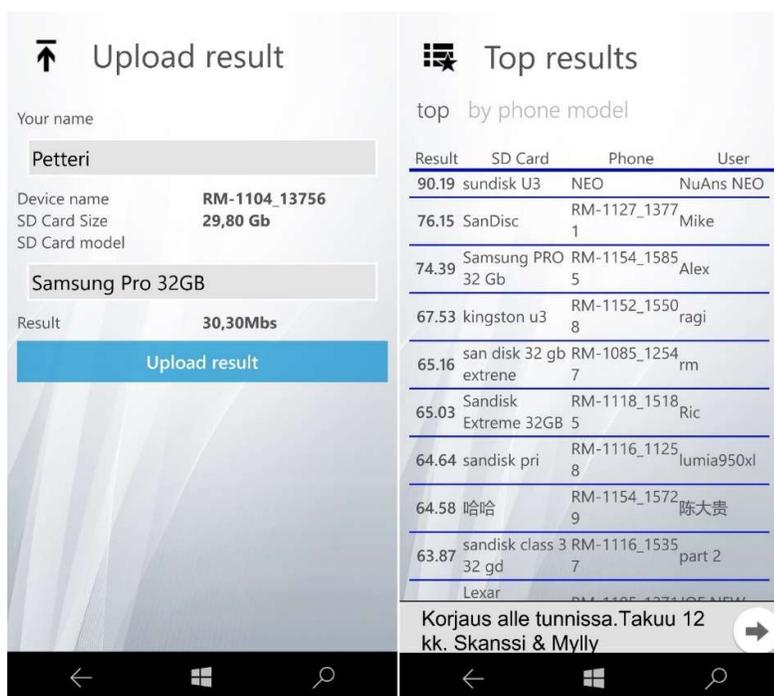


Kuva 2. A1 SD bench-sovelluksen testin suorittamis- ja tulospäätelmä.

## SD Card Speed Test-sovelluksen käyttöliittymä

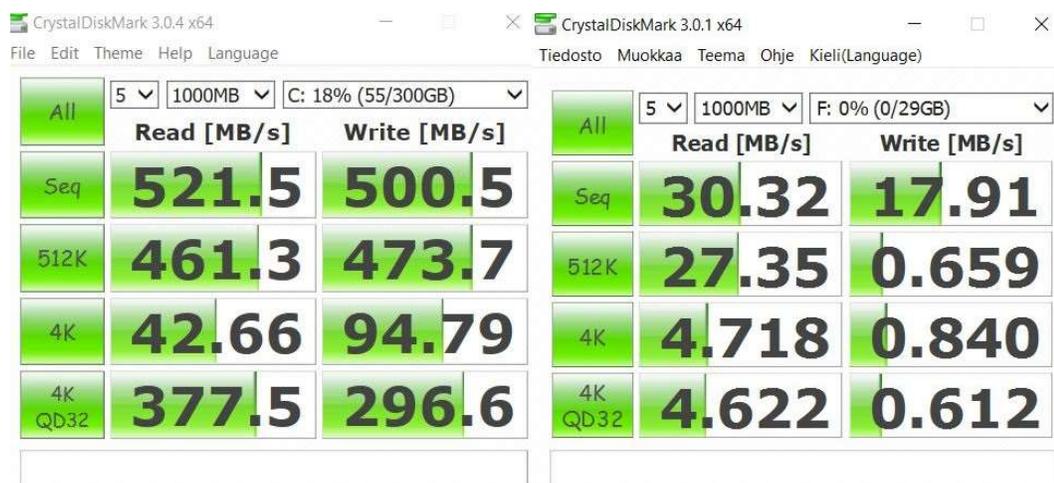


Kuva 3. SD Speed Test-sovelluksen tiedot- ja päänäkymä.



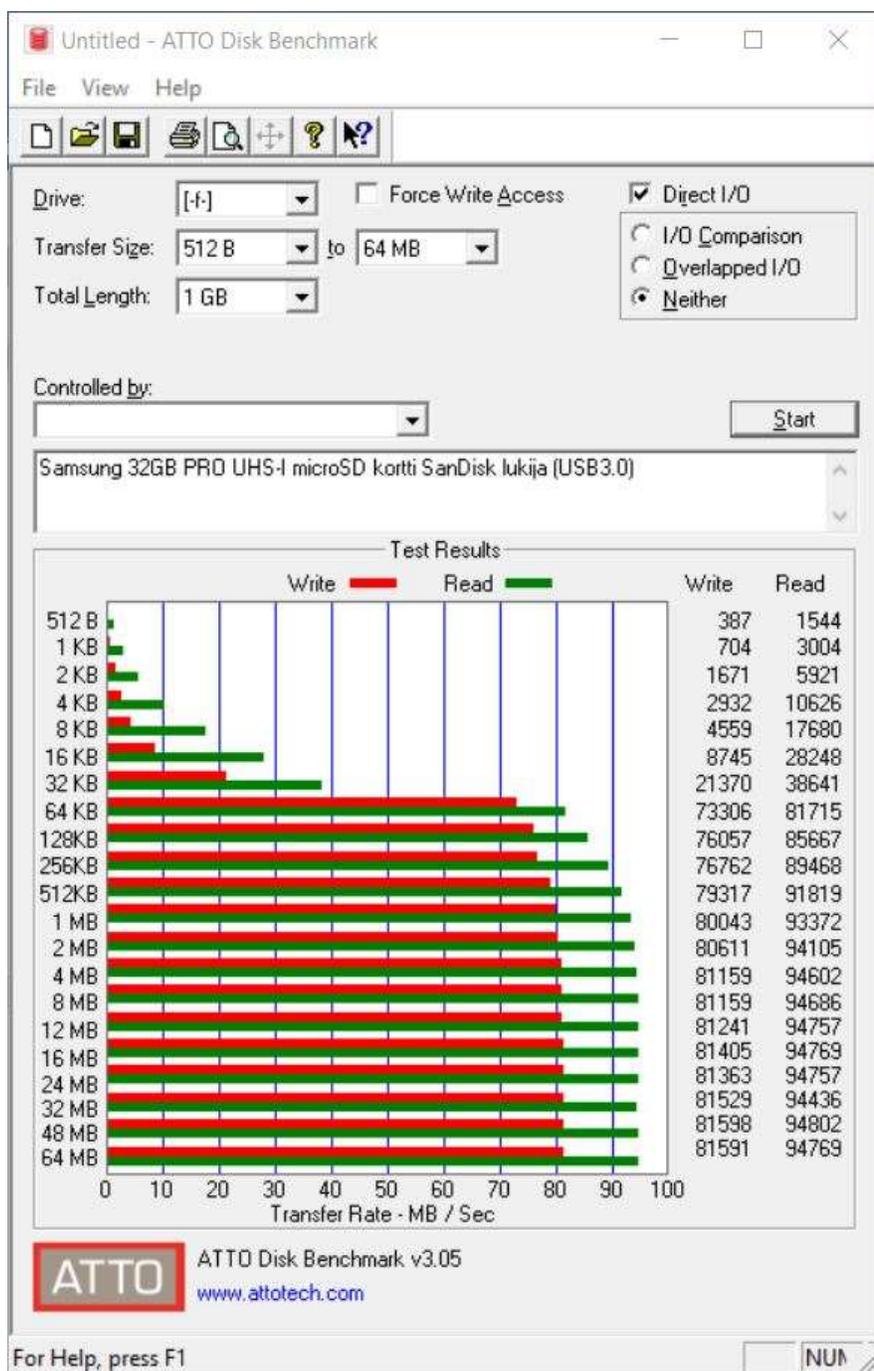
Kuva 2. SD Card Speed Test-sovelluksen tulosten lataus- ja tietokantanäkymä.

## Crystal DiskMark-sovelluksen käyttöliittymä



Kuva 1. Crystal DiskMarkin-sovelluksen käyttöliittymä Windows PC/Tablet tietokoneessa, tulos SSD vs. microSD.

## ATTO Disk Benchmark-sovelluksen käyttöliittymä



Kuva 1. Atto Disk Benchmark-sovelluksen käyttöliittymässä Samsung 32GB PRO microSD-kortin tulos.

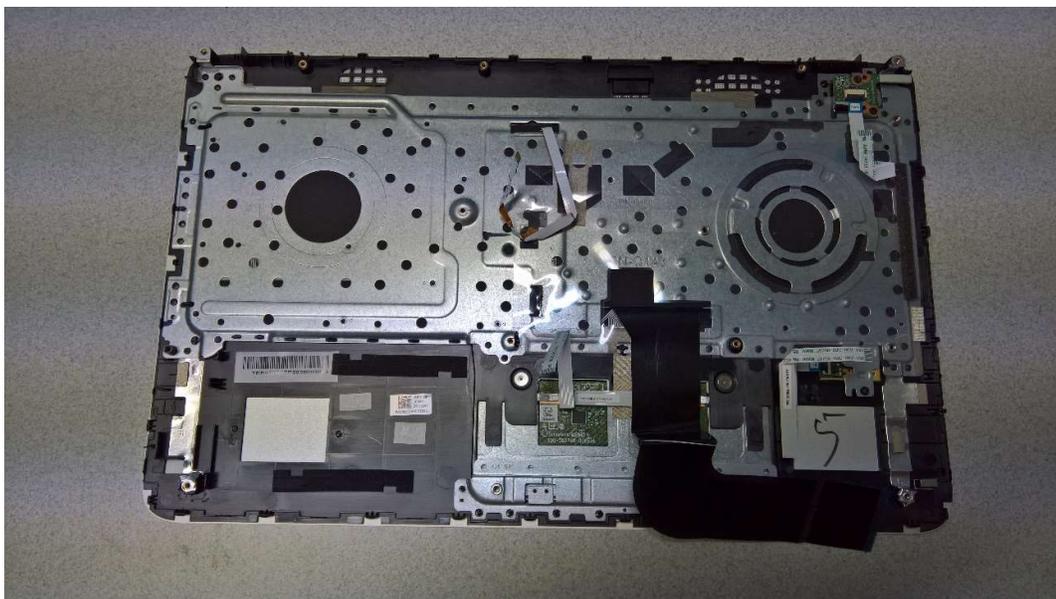
## Kannettavan tietokoneen tallennusmuistin vaihtaminen



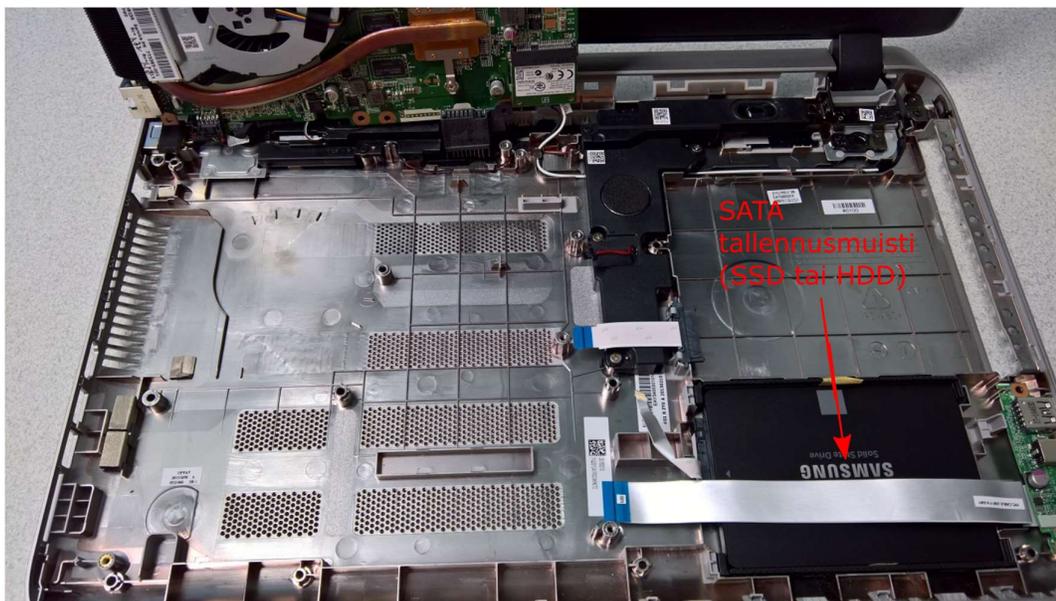
Kuva 1. Kannettava tietokone ennen purkamista.



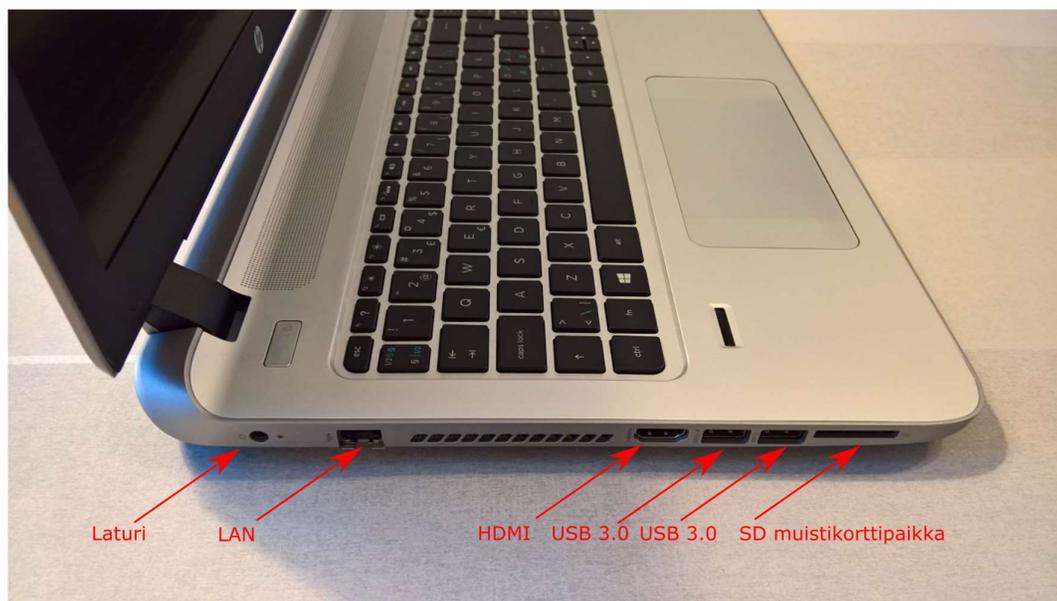
Kuva 2. Kannettavan tietokoneen avaaminen.



Kuva 3. Kannettavan näppäimistö irrotettuna.



Kuva 4. Kannettavan tallennusmuisti näkyvillä.



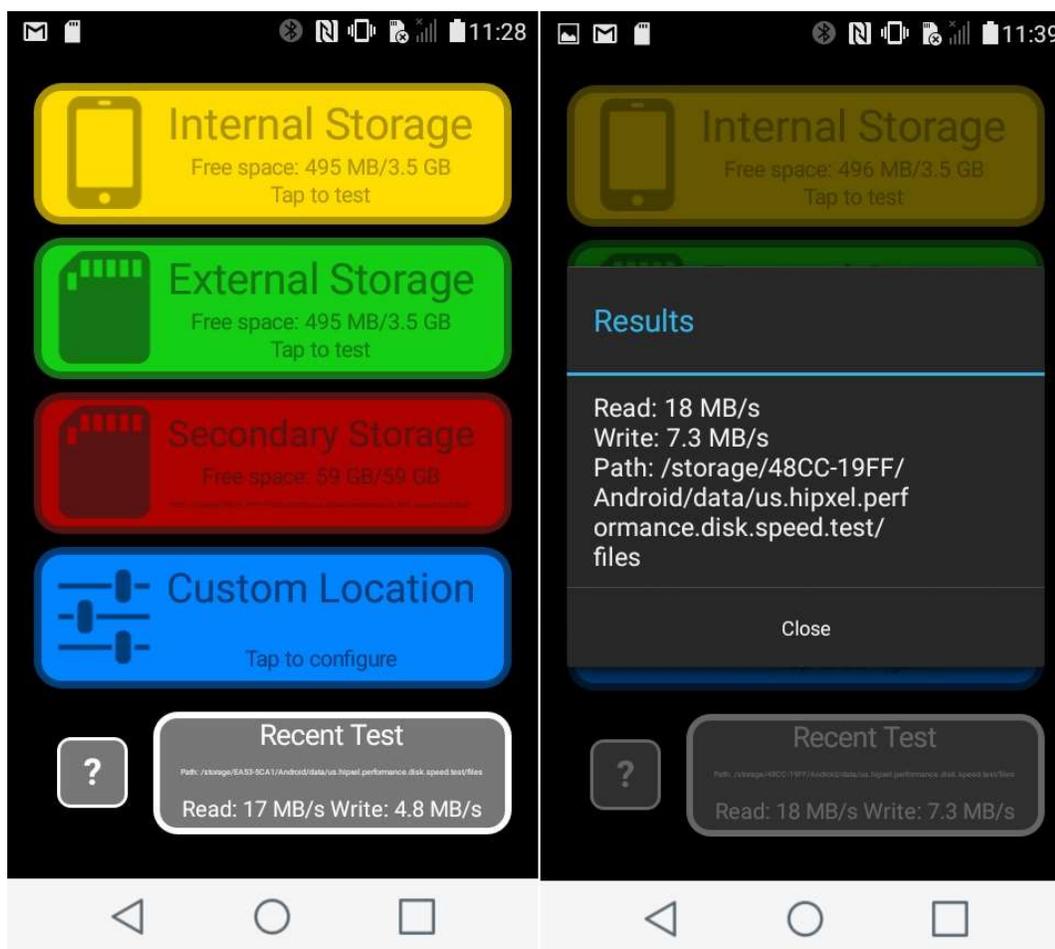
Kuva 5. Kannettavan tietokoneen liitännät .

## SD-muistikortin myyntipakkaus



Kuva 1. Tyypillinen SD-muistikortti myyntipakkaus.

## Disk speed test-sovelluksen käyttöliittymä



Kuva 1. Disk Speed test-sovelluksen käyttöliittymä ja tulostäyttö.

## SD-muistikorttilukijat



Kuva 1. SanDisk UHS-II muistikorttilukija päältä.



Kuva 2. SanDisk UHS-II muistikorttilukija alta.



Kuva 3. Lexar UHS-1 microSD-muistikorttilukija päältä.



Kuva 4. Lexar UHS-1 microSD-muistikorttilukija alta.

## USB-muisti ja microUSB-sovitin



Kuva 1. SanDisk USB muistista päältäpäin kuvattuna.



Kuva 2. SanDisk USB muisti alaspäin kuvattuna.



Kuva 3. USB sovitinkaapeli USB – microUSB-B.

## Testitulostaukset

### Testit LG Leon 4G laitteessa A1 SD Bench ohjelmalla

Lexar 2GB:

Read 11.57MB/s

Write 5.31MB/s

random read 4.67MB/s

random write 0,05MB/s

Samsung 32GB UHS-1 PRO

Read 19.07MB/s

Write 19.33MB/s

random read 8.34MB/s

random write 1.45MB/s

Samsung 32GB UHS-1 PRO (90% täynnä)

Read 11.82MB/s

Write 11.31MB/s

Random read 8.72MB/s

Random Write 1.28MB/s

Toshiba 32GB

Read 14.29MB/s

Write 5.27MB/s

Random read 5.38MB/s

Random Write 0.23MB/s

Toshiba 32GB (90% täynnä)

Read 9.22MB/s

Write 4.39MB/s

Random read 6.12MB/s

Random Write 0.23MB/s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1

Read 16.83MB/s

Write 7.19MB/s

Random read 5.18MB/s

Random Write 0.50MB/s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (90% täynnä)

Read 10.13 MB/s

Write 5.95 MB/s

random read 3.91 MB/s

random write 0.32MB/s

Accurate: (random I/O 4kB accesses)

Write: 12.53MB/s

Read: 18.88MB/s

Samsung 32GB UHS-1

Read 19.61MB/s

Write 8.82MB/s

Random read 6.23MB/s

Random write 1.45MB/s

Samsung 32GB UHS-1 (90% täynnä)

Read 11.5MB/s

Write 8.53MB/s

Random read 6.35MB/s

Random Write 1.52MB/s

Kingston 16GB

Read 17.11MB/s

Write 15.01MB/s

Random read 5.18MB/s

Random write 0.16MB/s

Kingston 16GB (90% täynnä)

Read 14.34MB/s

Write 9.24MB/s

Random read 3.54MB/s

Random Write 0.15MB/s

LG Leon 4G integroitu muisti (Samsung eMMC)

Read 27.67MB/s  
Write 6.47MB/s  
random read 12.21MB/s  
random write 1.45MB/s  
2n kierros

Read 60.54MB/s  
Write 5.91MB/s  
random read 12.72 MB/s  
random write 0.53 MB/s

3s kierros  
Read 33.24 MB/s  
Write 7.32 MB/s  
random read 12.03 MB/s  
random write 0.53 MB/s

LG Leon 4G integroitu muisti (Samsung eMMC)(90% täynnä)

Read 30.76 MB/s  
Write 7.33 MB/s  
Random read 7.53 MB/s  
Random Write 0.46 MB/s

**Testit Sony Xperia M5 laitteessa A1 SD Bench ohjelmalla**

Integroitu muisti (Hynix 16GB)

Read 132.77 MB/s  
Write 40.32 MB/s  
Random read 27.87 MB/s  
Random Write 1.28 MB/s  
2n kierros  
Read 145.97 MB/s  
Write 43.06 MB/s  
Random read 26.23 MB/s  
Random Write 1.30 MB/s  
3s kierros

Read 154.97 MB/s

Write 43.58 MB/s

Random read 29.12 MB/s

Random Write 1.30 MB/s

Sony: Samsung 32GB UHS-1 PRO kortti

1n kierros 20.12.2012

Read 55.52 MB/s

Write 67.07 MB/s

Random read 16.05 MB/s

Random Write 1.59 MB/s

2n kierros

Read 57.17 MB/s

Write 62.22 MB/s

Random read 16.19 MB/s

Random Write 1.27 MB/s

Sony: Samsung 32GB UHS-1 SD-kortti

Read 32.45 MB/s

Write 13.67 MB/s

Random read 17.36 MB/s

Random Write 1.51 MB/s

2n kierros

Read 36.04 MB/s

Write 18.02 MB/s

Random read 14.81 MB/s

Random Write 1.78 MB/s

Sony: SanDisk Ultra 64GB UHS-1

Read 19.39 MB/s

Write 15.58 MB/s

Random read 16.68 MB/s

Random write 0.87 MB/s

2n kierros

Read 19.63 MB/s

Write 10.38 MB/s

Random read 11.25 MB/s

Random write 0.75 MB/s

Sony: SanDisk Ultra 64GB UHS-1 (90% täynnä)

Read 11.25 MB/s

Write 0.71 MB/s

Random read 2.62 MB/s

Random write 0.32 MB/s

2n kierros

Read 16.34 MB/s

Write 8.35 MB/s

Random read 11.95 MB/s

Random write 0.59 MB/s

3s kierros

Read 18.85 MB/s

Write 5.95 MB/s

Random read 9.98 MB/s

Random write 1.02 MB/s

Sony: Toshiba 32GB

Read 19.04 MB/s

Write 7.29 MB/s

Random read 6.44 MB/s

Random write 0.25 MB/s

2n kierros

Read 19.92 MB/s

Write 7.18 MB/s

Random read 6.92 MB/s

Random write 0.25 MB/s

Sony: Lexar 2GB

Read 5.35 MB/s

Write 10.08 MB/s

Random read 13.32 MB/s

Random write 0.25 MB/s

2n kierros

Read 7.16 MB/s

Write 10.63 MB/s

Random read 10.76 MB/s

Random write 0.29 MB/s

3s kierros

Read 7.16 MB/s

Write 10.63 MB/s

Random read 11.38 MB/s

Random write 0.26 MB/s

Sony: Kingston 16GB

Read 26.04 MB/s

Write 21.05 MB/s

Random read 6.33 MB/s

Random write 0.15 MB/s

2n kierros

Read 25.99 MB/s

Write 21.38 MB/s

Random read 7.78 MB/s

Random write 0.15 MB/s

Sony: Kingston 16GB (90% täynnä)

Read 9.01 MB/s

Write 9.75 MB/s

Random read 1.51 MB/s

Random write 0.15 Mb/s

2n kierros

Read 23.96 MB/s

Write 20.59 MB/s

Random read 3.95 MB/s

Random write 0.15 Mb/s

Sony: Samsung 32GB UHS-1 (90% täynnä)

Read 55.40 MB/s

Write 64.95 MB/s

Random read 16.89 MB/s

Random write 1.14 Mb/s

2n kierros

Read 55.20 MB/s

Write 66.67 MB/s

Random read 17.55 MB/s

Random write 1.42 MB/s

Sony: Toshiba 32GB (90% täynnä)

Read 14.64 MB/s

Write 5.49 MB/s

Random read 7.12 MB/s

Random write 0.25 MB/s

2n kierros

Read 20.25 MB/s

Write 7.14 MB/s

Random read 6.52 MB/s

Random write 0.25 MB/s

**Testit Lenovo Z50-70 kannettavassa Crystal Diskmark 3.01 (Seq, 512K, 4K, 4K QD32)**

Samsung 32GB UHS-1 SD card PRO

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 31.06MB/s 30.54MB/s 5.796MB/s 5.864MB/s

Write: 29.98MB/s 1.553MB/s 0.961MB/s 0.950MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.78MB/s 31.71MB/s 5.063MB/s 5.738MB/s

write: 24.54MB/s 1.714MB/s 1.926MB/s 0.779MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 32.75MB/s 22.93MB/s 5.603MB/s 6.281MB/s

write: 24.55MB/s 1.536MB/s 1.855MB/s 0.880MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 92.63MB/s 81.84MB/s 7.347MB/s 8.182MB/s

write: 82.27MB/s 1.714MB/s 1.926MB/s 0.892MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 92.63MB/s 83.80MB/s 8.064MB/s 9.381MB/s

write: 82.23MB/s 1.723MB/s 1.904MB/s 0.899MB/s

Samsung 32GB UHS-1 SD card PRO 26.2GB käytetty 29.7GB, 90% täynnä

Lenovo oma SD-korttilukija USB2.0 ok

Read: 29.69MB/s 21.47MB/s 5.816MB/s 5.872MB/s

Write: 28.12MB/s 1.751MB/s 0.933MB/s 0.933MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0 ok

Read: 94.51MB/s 84.80MB/s 8.060MB/s 8.774MB/s

Write: 80.14MB/s 2.322MB/s 1.268MB/s 1.187MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0 ok

Read: 33.27MB/s 22.607MB/s 5.794MB/s 6.220MB/s

Write: 23.59MB/s 1.745MB/s 1.296MB/s 0.768MB/s

Samsung 32GB UHS-1 SD-kortti

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 31.41MB/s 29.87MB/s 5.267MB/s 5.409MB/s

Write: 16.58MB/s 11.92MB/s 0.605MB/s 0.624MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0 ok

Read: 32.78MB/s 31.71MB/s 5.063MB/s 5.738MB/s

write: 24.54MB/s 1.714MB/s 1.926MB/s 0.779MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 32.75MB/s 22.93MB/s 5.603MB/s 6.281MB/s

write: 24.55MB/s 1.536MB/s 1.855MB/s 0.880MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0 ok

Read: 92.63MB/s 81.84MB/s 7.347MB/s 8.182MB/s

write: 82.27MB/s 1.714MB/s 1.926MB/s 0.892MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0 ok

Read: 92.63MB/s 83.80MB/s 8.064MB/s 9.381MB/s  
write: 82.23MB/s 1.723MB/s 1.904MB/s 0.899MB/s

Samsung 32GB UHS-1 SD-kortti 26.2GB käytetty 29GB, 90% täynnä

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 30.83MB/s 21.51MB/s 5.247MB/s 5.284MB/s  
Write: 14.56MB/s 3.984MB/s 0.025MB/s 0.033MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.61MB/s 31.87MB/s 4.770MB/s 4.935MB/s  
Write: 14.90MB/s 3.131MB/s 0.029MB/s 0.045MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 73.67MB/s 64.13MB/s 7.785MB/s 8.161MB/s  
write: 16.31MB/s 2.964MB/s 0.033MB/s 0.034MB/s

Lexar 2GB

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 19.85MB/s 19.36MB/s 5.703MB/s 5.856MB/s  
Write: 8.780MB/s 2.436MB/s 0.017MB/s 0.017MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 18.91MB/s 18.69MB/s 4.812MB/s 5.143MB/s  
write: 8.618MB/s 2.515MB/s 0.018MB/s 0.018MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 20.62MB/s 15.83MB/s 5.544MB/s 5.826MB/s  
write: 24.55MB/s 2.675MB/s 0.018MB/s 0.018MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 21.01MB/s 20.46MB/s 6.472MB/s 8.182MB/s  
write: 4.146MB/s 2.428MB/s 0.017MB/s 0.018MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0 (2n kierros)

Read: 20.94MB/s 20.47MB/s 6.517MB/s 6.927MB/s  
write: 2.2146MB/s 2.376MB/s 0.017MB/s 0.017MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 21.21MB/s 20.69MB/s 7.806MB/s 8.350MB/s  
write: 9.267MB/s 2.544MB/s 0.018MB/s 0.018MB/s

Toshiba 32GB HS SD-kortti

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 20.75MB/s 19.37MB/s 2.725MB/s 2.728MB/s  
Write: 5.356MB/s 0.524MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 19.15MB/s 17.95MB/s 2.659MB/s 2.828MB/s  
write: 5.405MB/s 0.530MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 22.55MB/s 16.69MB/s 2.741MB/s 2.837MB/s  
write: 5.351MB/s 0.547MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 23.61MB/s 22.16MB/s 2.728MB/s 2.839MB/s  
write: 5.384MB/s 0.506MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 23.58MB/s 17.31MB/s 2.777MB/s 2.849MB/s  
write: 5.416MB/s 0.551MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Toshiba 32GB HS SD-kortti 26.2GB käytetty 29.3GB, 90% täynnä

Lenovo oma korttilukija (USB2.0)

Read: 20.58MB/s 19.48MB/s 2.570MB/s 2.576MB/s  
Write: 5.315MB/s 0.521MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 18.21MB/s 17.95MB/s 2.659MB/s 2.828MB/s  
write: 5.405MB/s 0.530MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 23.66MB/s 17.48MB/s 2.513MB/s 2.820MB/s  
write: 5.288MB/s 0.565MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

SanDisk 64GB UHS-1 SD-kortti

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 21.54MB/s 20.43MB/s 3.067MB/s 2.790MB/s

Write: 8.638MB/s 5.188MB/s 0.727MB/s 0.726MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.46MB/s 30.33MB/s 2.973MB/s 3.193MB/s

write: 8.828MB/s 4.840MB/s 0.449MB/s 0.517MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 32.51MB/s 22.23MB/s 3.131MB/s 3.413MB/s

write: 8.847MB/s 6.277MB/s 0.548MB/s 0.589MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 46.67MB/s 40.64MB/s 3.495MB/s 3.766MB/s

write: 9.641MB/s 5.385MB/s 0.441MB/s 0.596MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 46.74MB/s 42.94MB/s 3.749MB/s 4.038MB/s

write: 9.643MB/s 6.698MB/s 0.474MB/s 0.687MB/s

SanDisk 64GB UHS-1 SD-kortti 53.46GB käytetty 59.4GB, 90% täynnä

Lenovo oma korttilukija (USB2.0)

Read: 33.72MB/s 32.13MB/s 3.202MB/s 2.801MB/s

Write: 9.596MB/s 1.147MB/s 0.469MB/s 0.420MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 46.89MB/s 41.88MB/s 3.487MB/s 3.584MB/s

write: 9.441MB/s 1.175MB/s 0.930MB/s 0.220MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.33MB/s 30.14MB/s 3.058MB/s 3.265MB/s

write: 8.949MB/s 0.656MB/s 0.518MB/s 0.213MB/s

Kingston 16GB class10

Lenovo oma SD-korttilukija (USB2.0)

Read: 21.54MB/s 20.43MB/s 3.067MB/s 2.790MB/s

Write: 8.638MB/s 5.188MB/s 0.727MB/s 0.726MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.49MB/s 29.03MB/s 1.679MB/s 1.785MB/s

write: 20.22MB/s 1.545MB/s 0.142MB/s 0.084MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB2.0

Read: 32.57MB/s 20.33MB/s 1.766MB/s 1.761MB/s

write: 17.91MB/s 1.582MB/s 0.164MB/s 0.097MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 46.00MB/s 36.75MB/s 1.746MB/s 1.790MB/s

write: 22.67MB/s 1.445MB/s 0.143MB/s 0.092MB/s

Lenovo SanDisk korttilukija USB3.0

Read: 44.31MB/s 37.69MB/s 1.804MB/s 1.799MB/s

write: 22.40MB/s 1.428MB/s 0.155MB/s 0.082MB/s

Kingston 16GB class10 13.4GB käytetty 14.9GB, 90% täynnä

Lenovo oma korttilukija (USB2.0)

Read: 29.20MB/s 26.01MB/s 1.590MB/s 1.573MB/s

Write: 19.96MB/s 1.477MB/s 0.232MB/s 0.075MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB2.0

Read: 32.28MB/s 28.06MB/s 1.587MB/s 1.663MB/s

write: 20.51MB/s 1.562MB/s 0.139MB/s 0.092MB/s

Lenovo Lexar korttilukija USB3.0

Read: 44.20MB/s 36.90MB/s 1.697MB/s 1.769MB/s

write: 22.48MB/s 1.320MB/s 0.169MB/s 0.087MB/s

SanDisk 32GB USB muisti

USB2.0

Read: 31.86MB/s 26.49MB/s 3.670MB/s 3.006MB/s

write: 17.20MB/s 0.489MB/s 1.763MB/s 0.624MB/s

USB 3.0

Read: 145.3MB/s 116.7MB/s 5.064MB/s 3.755MB/s

write: 38.74MB/s 0.453MB/s 19.51MB/s 0.640MB/s

USB2.0 (90% täynnä)

Read: 33.40MB/s 27.45MB/s 3.645MB/s 3.052MB/s

write: 16.83MB/s 0.557MB/s 1.596MB/s 0.700MB/s

USB 3.0 (90% täynnä)

Read: 146.6MB/s 114.3MB/s 5.036MB/s 3.724MB/s

write: 27.81MB/s 0.456MB/s 1.840MB/s 0.710MB/s

**Käytännön testit / Lenovo Z50-70 kannettava**

Samsung 32GB UHS-1 SD-kortti, (kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 (Lenovo oma SD-korttilukija), tulos: 2min 11s

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 1min 39s

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 1min 28s

Toshiba 32GB SD-kortti, (kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä Toshiba 32GB (Lenovo oma SD-korttilukija), tulos: 3min 51s

kopiointi SSD:ltä Toshiba 32GB (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 3min 44s

kopiointi SSD:ltä Toshiba 32GB (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 3min 44s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB SD-kortille joka 90% täynnä

kopiointi SSD:ltä Toshiba 32GB (Lenovo oma SD-korttilukija), tulos: 34min 57s

kopiointi SSD:ltä Toshiba 32GB (SanDisk lukija USB3.0) , tulos: 21min 39s

Samsung 32GB UHS-1 PRO, (kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 PRO (Lenovo oma SD-korttilukija), tulos: 47s

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 PRO (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 17s

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 PRO (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 50s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB SD-kortille joka 90% täynnä

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 PRO (Lenovo oma SD-korttilukija), tulos: 19min 49s

kopiointi SSD:ltä Samsung 32GB UHS-1 PRO (SanDisk korttilukija USB3.0), tulos: 6min 45s

Lexar 2GB, (kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä Lexar 2GB (Lenovo oma/sisäinen korttilukija), tulos: 2min 47s

kopiointi SSD:ltä Lexar 2GB (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 2min 35s

kopiointi SSD:ltä Lexar 2GB (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 2min 43s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1, (kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (Lenovo oma korttilukija), tulos: 2min 56s

kopiointi SSD:ltä SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 2min 26s

kopiointi SSD:ltä SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 2min 39s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB SD-kortille joka 90% täynnä

kopiointi SSD:ltä SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (Lenovo oma korttilukija), tulos: 26min 26s

kopiointi SSD:ltä SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (SanDisk korttilukija USB3.0), tulos: 19min 14s

Kingston 16GB

(kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Lenovo oma korttilukija), tulos: 1min 30s

kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 1min 12s

kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Lexar korttilukija USB2.0), tulos: 1min 18s

90% täynnä (1GB vapaana 1GB kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Lexar korttilukija USB3.0), tulos: 1min 14s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB SD-kortille joka 90% täynnä

kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Lenovo oma korttilukija), tulos: 46min 3s

kopiointi SSD:ltä Kingston 16GB (Sandisk korttilukija USB3.0), tulos: 30min 44s

SanDisk Ultra 32GB USB muisti, alustettu(format) FAT32

(kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa)

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0), tulos: 41s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0), tulos: 1min 13s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0) 90% täynnä, tulos: 41s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0) 90% täynnä, tulos: 1min 18s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB USB muistille joka 90% täynnä

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0) 90% täynnä, tulos: 11min 44s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0) 90% täynnä, tuos: 11min 39s

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB USB muistille joka on tyhjä

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0), tulos: 11min 41s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0), tulos: 10min 45s

NTFS alustettu (format 4k cluster)

kopioidaan 31130 (11 hakemistoa) tiedostoa kooltaan 1.02GB tyhjälle USB muistille

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0), tulos: 8min 58s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0), tulos: 6min 56s

kopioidaan 1GB MP3 tiedostoja SD-kortille, 252 tiedostoa tyhjälle muistille

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB2.0), tulos: 2min 54s

kopiointi SSD:ltä SanDisk Ultra 32GB USB muistille (USB3.0), tulos: 1min 59s

#### **Toshiba WT10 tablet tulokset**

Crystal Diskmark 3.01 (Seq, 512K, 4K, 4K QD32)

Toshiba integroitu eMMC

Read: 129.0MB/s 125.0MB/s 12.83MB/s 19.32MB/s

Write: 54.08MB/s 43.60MB/s 9.811MB/s 13.50MB/s

Toshiba oma microSD-korttilukija

Kingston 16GB

Read: 22.96MB/s 21.57MB/s 1.768MB/s 1.742MB/s

Write: 17.52MB/s 1.400MB/s 0.202MB/s 0.089MB/s

Lexar 2GB

Read: 20.91MB/s 20.58MB/s 7.216MB/s 9.063MB/s

Write: 9.070MB/s 2.428MB/s 0.018MB/s 0.018MB/s

Samsung 32GB UHS-1

Read: 23.84MB/s 23.54MB/s 6.683MB/s 6.852MB/s

Write: 15.32MB/s 14.25MB/s 1.205MB/s 0.899MB/s

Samsung 32GB PRO UHS-1

Read: 23.54MB/s 23.06MB/s 7.228MB/s 7.096MB/s

Write: 22.53MB/s 1.785MB/s 1.588MB/s 1.288MB/s

Samsung 32GB PRO UHS-1 (toinen kokeilukorttiyksilö)

Read: 23.36MB/s 22.94MB/s 6.039MB/s 7.126MB/s

Write: 21.92MB/s 1.436MB/s 1.731MB/s 1.022MB/s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1

Read: 23.40MB/s 22.90MB/s 3.506MB/s 3.119MB/s

Write: 8.432MB/s 6.039MB/s 0.603MB/s 0.364MB/s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1 (toinen kokeilukorttiyksilö)

Read: 23.17MB/s 22.95MB/s 3.594MB/s 3.264MB/s

Write: 8.086MB/s 4.869MB/s 0.530MB/s 0.541MB/s

Toshiba 32GB

Read: 23.31MB/s 22.65MB/s 2.783MB/s 2.793MB/s

Write: 5.409MB/s 0.554MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

### **Toshiba WT10 SanDisk USB microSD-korttilukija**

Kingston 16GB

Read: 39.94MB/s 22.52MB/s 1.715MB/s 1.772MB/s

Write: 19.69MB/s 1.391MB/s 0.173MB/s 0.090MB/s

Lexar 2GB

Read: 21.05MB/s 16.31MB/s 6.560MB/s 7.596MB/s

Write: 9.187MB/s 2.416MB/s 0.018MB/s 0.018MB/s

Samsung 32GB UHS-1

Read: 40.25MB/s 26.07MB/s 6.511MB/s 7.525MB/s

Write: 16.81MB/s 11.92MB/s 1.201MB/s 0.959MB/s

Samsung 32GB PRO UHS-1

Read: 40.51MB/s 26.26MB/s 6.844MB/s 7.698MB/s

Write: 39.33MB/s 1.890MB/s 1.870MB/s 0.851MB/s

SanDisk 64GB Ultra UHS-1

Read: 39.93MB/s 24.91MB/s 3.34MB/s 3.846MB/s

Write: 9.672MB/s 6.942MB/s 0.562MB/s 0.573MB/s

Toshiba 32GB

Read: 23.46MB/s 17.10MB/s 2.802MB/s 2.823MB/s

Write: 5.421MB/s 0.552MB/s 0.005MB/s 0.005MB/s

### **Lenovo Z50-70 SATA suorituskyky**

500GB SSHD (500GB HDD ja 8GB SSD integroituna)

Read: 86.33MB/s 27.16MB/s 0.303MB/s 0.500MB/s

Write: 83.02MB/s 41.66MB/s 0.619MB/s 1.093MB/s

Samsung 850 EVO 500GB SSD

Read: 528.1MB/s 460.0MB/s 42.90MB/s 21.59MB/s

Write: 506.3MB/s 469.4MB/s 100.4MB/s 365.2MB/s

**HP Envy SATA suorituskyky**

Samsung 850 EVO 1TB SSD

Read: 521.5MB/s 461.5MB/s 42.66MB/s 377.5MB/s

Write: 500.5MB/s 473.7MB/s 94.79MB/s 296.6MB/s