

**Ilkka Haapala**

## **USB-VÄYLÄN KEHITYS**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Marraskuu 2017**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Marraskuu 2017	<b>Tekijä/tekijät</b> Ilkka Haapala
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> USB-VÄYLÄN KEHITYS		
<b>Työn ohjaaja</b> Jari Halme		<b>Sivumäärä</b> 28 + 1
<b>Työelämäohjaaja</b> -		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli tutustua Universal Serial Bus -standardin historiaan ja kehitykseen. Työssä perehdyttiin USB-väyläarkkitehtuurin kehityksen taustoihin, keskeisiin toimintaperiaatteisiin sekä USB-standardin eri versioihin vuosien varrelta.</p> <p>Tutkimuslähtöisessä työssä koottiin tietoa USB-väylän käyttökohteista ja siitä, miten USB-standardi on yli 20-vuotisen historiansa aikana sopeutunut ja muokkautunut muun teknologian vaatimuksiin. Lähteinä käytettiin lähinnä sähköisiä julkaisuja, kuten USB Implementers Forum -organisaation julkaisemat USB-standardiasiakirjat. Raportissa esitellään myös USB-standardin määrittelemät liittimet sekä portit.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa kattava kuva USB-standardin nykytilasta ja siitä, miten USB-liittimet ja -portit ovat osana jokapäiväistä elämäämme nyt ja tulevaisuudessa.</p>		

**Asiasanat**

liitin, mobiililaitteet, tiedonsiirto, USB

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> November 2017	<b>Author</b> Ilkka Haapala
<b>Degree programme</b> Electrical Engineering		
<b>Name of thesis</b> EVOLUTION OF USB		
<b>Instructor</b> Jari Halme	<b>Pages</b> 28 + 1	
<b>Supervisor</b> -		
<p>The subject of this thesis was to explore the history and development of Universal Serial Bus. The thesis examined the background behind USB development, its key principles and the different versions of USB standard throughout the years.</p> <p>With a research-based approach, the aim of the thesis was to gather information about different applications of USB and how USB has adapted to the demands of other technology during its over 20-year history. The source material consists mostly of electronic documents such as the USB specification documents released by the USB Implementers Forum. The thesis report also presents connectors and ports defined by the USB standard.</p> <p>The aim was to give a comprehensive view of the current state of USB standard and how USB connectors are a part of our everyday life now and in the future.</p>		

<p><b>Key words</b> data transfer, connector, mobile devices, USB</p>
---

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Bitti	Tietotekniikassa pienin tiedon käsiteltävä osa, jolla kaksi eri tilaa yksi tai nolla.
DisplayPort	Näyttöliitinstandardi tietokoneen ja digitaalisen näytön liittämiseen.
Dual-simplex	Kaksi yhdensuuntaista tiedonsiirtoväylää eri suuntiin.
Full-speed	USB 1.0 -standardin enimmäistiedonsiirtonopeus 12 megabittia sekunnissa.
High-speed	USB 2.0 -standardin esittelemä tiedonsiirtonopeus 480 megabittia sekunnissa.
I/O-osoiteristiriita	Siirräntäristiriita. Kun kaksi tai useampi tietokoneen lisälaite käyttävät samaa laiteosoitetta.
IRQ	Interrupt request. Keskeytyspyyntö, jonka lisälaite lähettää tietokoneelle saaden sen suorittamaan keskeytyskoodia.
Half-duplex	Vuorosuuntainen tiedonsiirto, jossa lähettäjiä yksi kerrallaan.
HDMI	Näyttöliitinstandardi digitaalisen kuvan ja äänen siirtämiseen.
Isäntä (host)	Hallitsee USB-väylää. Yleisimmin tietokone.
Keskitin (hub)	USB-lisälaite joka laajentaa USB-väylää kasvattamalla fyysisten USB-porttien määrää.
Low-speed	USB 1.0 -standardin esittelemä tiedonsiirtonopeus 1,5 megabittia sekunnissa.
Micro-USB	USB-standardin määrittelemä 1,8 mm paksu liitintyyppi.
Mini-USB	USB-standardin määrittelemä 3 mm paksu liitintyyppi.
PS/2 -liitin	Mini-DIN -liitin, joka oli ennen käytössä tietokoneen hiiren ja näppäimistön liittimenä.
Sarjaportti	Lisälaitteen ja tietokoneen väliseen tietoliikenteeseen tarkoitettu tietoliikenneportti.
Super-speed	USB 3.0 -standardin esittelemä tiedonsiirtonopeus 5 gigabittia sekunnissa.
Super-speed+	USB 3.1 -standardin esittelemä tiedonsiirtonopeus. 10 gigabittia sekunnissa.
Tavu	Tallennuskapasiteetin mittayksikkö, joka koostuu kahdeksasta bitistä.

USB 1.0	Ensimmäinen versio USB-IF -järjestön kehittämästä väylästandardista.
USB BC	USB Battery Charging Specification on akkujen varaamista käsittelevä lisäys USB-standardiin.
USB PD	USB Power Delivery Specification on virransyöttöstandardi USB-väylään.
USB-A	USB-standardin määrittelemä isännän puoleinen liitintyyppi.
USB-B	USB-standardin määrittelemä laitteen puoleinen liitintyyppi.
USB-C	Uusin USB-standardin määrittelemä liitintyyppi, jota käytetään sekä isännän että laitteen puolella.
USB-IF	USB-standardin kehittämisestä vastaavien yritysten muodostama organisaatio.

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 UNIVERSAL SERIAL BUS -STANDARDI .....</b>	<b>2</b>
<b>3 USB-VÄYLÄSTANDARDIN KEHITTYMINEN .....</b>	<b>4</b>
3.1 USB 1.x .....	4
3.2 USB 2.0 .....	5
3.2.1 USB Battery Charging Specification .....	5
3.2.2 USB On-The-Go .....	7
3.3 USB 3.0 .....	7
3.3.1 USB Power Delivery .....	8
3.4 USB 3.1 Gen 2 .....	10
3.5 USB 3.2 .....	10
<b>4 TIEDONSIIRTO USB-VÄYLÄLLÄ .....</b>	<b>12</b>
<b>5 USB-LIITINSTANDARDIT .....</b>	<b>15</b>
5.1 USB 2.0 -liittimet ja -kaapelit .....	15
5.1.1 Mini-USB .....	17
5.1.2 Micro-USB .....	18
5.2 USB 3.0 -liittimet ja -kaapelit .....	20
5.2.1 USB 3.0 Micro-liittimet .....	21
5.3 USB-C .....	22
<b>6 LOPUKSI .....</b>	<b>25</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>26</b>
<b>LIITTEET</b>	

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä esitellään yleiskäyttöisen sarjaliikenneväylän Universal Serial Bus (USB) ja siihen liittyvien liittimien ja porttien historiaa sekä kehitysvaiheita. Porttien ja liittimien kirjo on varsin laaja ja sekavakin. Pyrinkin esittelemään eri versiot USB-standardista sekä eri liittintyypeistä kattavasti ja selkeästi.

USB-liittimet ovat yleisesti käytössä lähes kaikissa mobiililaitteissa ja tietotekniikkalaitteissa. Varaamme niiden kautta puhelimen akun, liitämme näppäimistön ja hiiren tietokoneeseen sekä siirrämme dokumentteja ja mediaa siirrettävään massamuistiin. Alunperin USB-väylä kehitettiin eri lisälaitteiden liitännöiden yhdenmukaistamiseksi. Ennen USB-väylää käytössä oli useita eri liitännätyyppisiä. Esimerkiksi näppäimistöille, hiirille ja printtereille oli kaikille omat liitännänsä. Usein lisälaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen tarvittiin erillinen lisälaittekortti sekä erikseen tietokoneelle asennettavat ajurit.

USB-väylän tiedonsiirtonopeudet ovat vuosien saatossa kasvaneet merkittävästi, mutta liittimet, vaikkakin niitä on runsaasti, ovat viime vuosiin saakka pysyneet lähes samoina. USB-standardi on vuosien saatossa määritellyt pienempiä liittimiä perinteisten, kookkaampien rinnalle.

## 2 UNIVERSAL SERIAL BUS -STANDARDI

1990-luvun alussa tietokoneiden lisälaitteiden liittäminen tietokoneeseen ei ollut aina yksinkertainen operaatio. Lähes jokaiselle laitteelle oli oma liittimensä. Jos käyttäjä halusi lisätä kehittyneemmän laitteen, kuten skanneri, hänen täytyi avata tietokone ja asentaa siihen ensin lisälaittekortti. Tämän lisäksi käyttäjän täytyi osata asentaa ajurit ja ratkaista mahdolliset eri laitteiden väliset ristiriitaongelmat. Nämä vaikeudet aiheuttivat paljon ongelmia niin käyttäjille kuin jälleenmyyjillekin. Joidenkin lähteiden mukaan jopa kolmannes myydyistä skannereista palautettiin, koska käyttäjät eivät saaneet niitä toimimaan. Syy miksi USB-liitäntäiset laitteet ovat niin käyttäjäystävällisiä eivätkä yleensä tarvitse erillistä ajuriohjelmistoa, ovat USB-IF -järjestön kehittämät laitteistoluokat, jotka määrittävät, miten laite käyttäytyy suhteessa ohjelmistoihin. Käyttöjärjestelmäkehittäjät ovat omaksuneet nämä luokitukset ja liittäneet ne osaksi ohjelmistojaan, joten erillisiä ajuriohjelmistoja ei tarvita. (Intel 2010.)

Asennusongelmat loivat tarpeen tekniikalle, joka helpottaisi lisälaitteiden liittämistä tietokoneeseen. Vuonna 1992 Intelin tutkimus- ja kehitysosasto alkoi miettiä ratkaisua ongelmaan. Tavoitteena oli luoda väylästandardi, joka on edullinen ja ennen kaikkea yksinkertainen käyttää. Intelin avuksi kehitystyöhön liittyivät useat muut teknologiayritykset, kuten Compaq Computer Corporation, DEC, IBM, Microsoft, NEC ja Northern Telecom. Yhtenä lähtökohtana kehitykselle oli myös väylän korkea tiedonsiirtonopeus. (Intel 2010.)

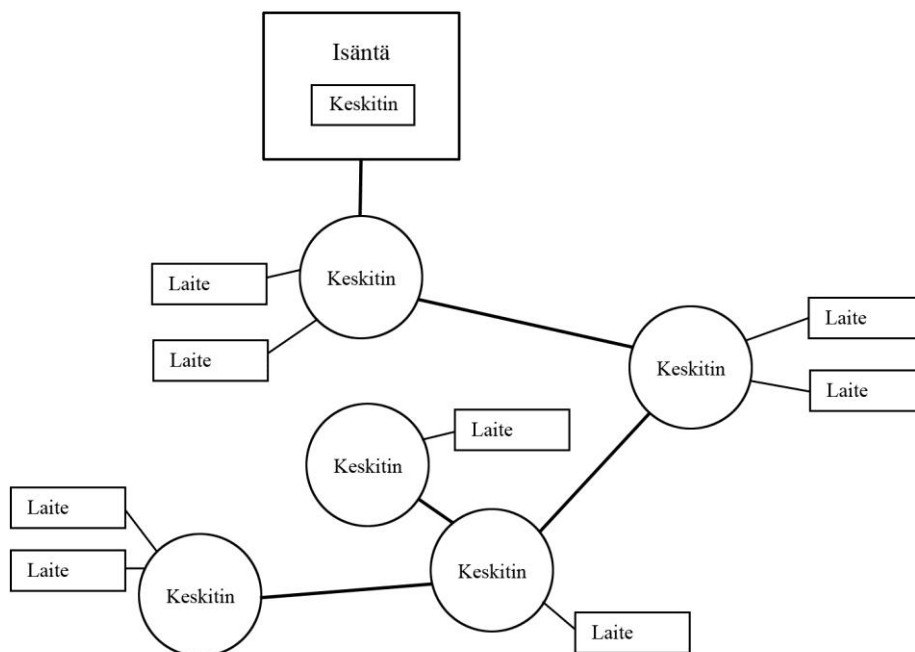
Ensimmäinen versio USB-standardista valmistui jo vuonna 1996, mutta ensimmäinen laajempaan käyttöön päässyt versio oli USB 1.1. Tämä vuonna 1998 julkaistu USB 1.1 oli myös ensimmäinen versio, joka pääsi virallisesti osaksi käyttöjärjestelmiä. Samana vuonna julkaistu Windows 98 oli ensimmäinen käyttöjärjestelmä, joka tuki USB-liitäntää. Tämä käynnisti USB-liitäntäisten laitteiden nopean lisääntymisen. (Intel 2010.)

Vuonna 1995 julkaistun USB-standardin esiversion (USB 1.0 Release Candidate) jälkeen, sen kehittäjät muodostivat voittoa tavoittelemattoman organisaation USB-IF (engl. USB Implementers Forum). Organisaatio kasvoi nopeasti ja pian mukana oli jo satoja yrityksiä. Forumin tavoitteena oli USB-liitäntää käyttävien laitteiden määrän lisääminen. Vuonna 1998 ilmestynyt Applen iMac G3 oli ensimmäinen kuluttajille suunnattu tietokone, joissa ei enää ollut lainkaan sarja- tai rinnakkaisporttia, vain USB. (USB History 2010.)



Mikä sitten tekee USB-liitännästä paremman verrattuna vanhempiin standardeihin? USB-väylässä on vain yksi isäntä (host) ja yksi tai useampia laitteita (device). Isäntälaitteessa on sisäänrakennettu keskitin (root hub), joka tarjoaa yhden tai useamman liityntäpisteen. Jotta isäntälaitteessa kuten tietokoneessa olevien fyysisten porttien määrää ei tarvitse kasvattaa samassa suhteessa kuin siihen liitettävien laitteiden määrää, USB-väylään voidaan liittää myös ulkoisia keskittimiä (hub) kasvattamaan käytettävissä olevien fyysisten porttien määrää. Jokainen USB-väylään liitetty laite ja keskitin saa jokaisella liitännäkerralla oman osoitteensa, joten vanhoista liitännöistä tuttuja IRQ-ristiriitoja ja I/O -osoiteristiriitoja ei esiinny. Teoreettinen maksimimäärä laitteita USB-väylässä on 127 johtuen osoitteen 7 bitin pituudesta. (Peacock 2010.)

Isäntä näkee keskittimiin liitetyt laitteet ikään kuin ne olisivat suoraan kytkettyinä sen fyysisiin portteihin. Tätä kutsutaan porrastetuksi tähtitopologiaksi. Vaikka isäntä toimii näin, se silti tiedostaa koko fyysisen topologian. Mikäli keskitin irrotetaan isännästä, se tiedostaa että myös keskittimeen liitetyt laitteet poistuvat loogisesta topologiasta. (USB-IF 2000, 30.)



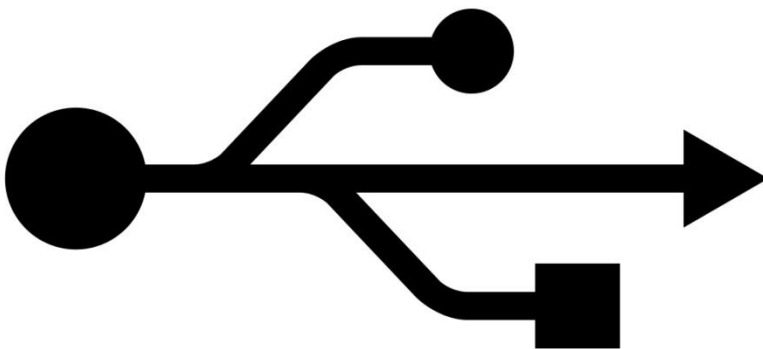
KUVA 1. Porrastettu tähtitopologia (mukaillen USB-IF 2000, 16)

### 3 USB-VÄYLÄSTANDARDIN KEHITTYMINEN

#### 3.1 USB 1.x

USB 1.0 oli ensimmäinen julkaistu versio standardista. Se ei kuitenkaan saanut vielä osakseen laajaa suosiota. Vuonna 1998 julkaistu USB 1.1 sisälsi tuen kahdelle eri tiedonsiirtonopeudelle, ”Low-speed” (1,5 megabittiä sekunnissa) ja ”Full-speed” (12 megabittiä sekunnissa). Pienempi siirtonopeus 1,5 Mb/s mahdollisti pienemmät valmistuskustannukset laitteille, jotka eivät tarvinneet suurta nopeutta. Tämä oli tärkeää esimerkiksi Microsoftille, joka halusi pitää kustannukset pieninä, jotta USB-hiirien valmistaminen olisi heille kannattavaa. Microsoftin saaminen mukaan USB-laitteiden valmistamiseen taas oli tärkeää USB:n menestymisen kannalta. Ratkaisu kahden eri tiedonsiirtonopeuden tukemisesta oli monien mielestä ratkaiseva asia USB:n menestymisen taustalla. Tämä mahdollisti nykyisen miljardien USB-laitteiden kirjon synnyn. (Intel 2010.)

Varsin pieneltä tänä päivänä kuulostava tiedonsiirtonopeus ei ollut USB-standardin suurin hyöty, vaan sen mahdollistama jo silloin useiden vanhentuneina pidettyjen liitännöiden korvaaminen yhdellä. Liittimet, kuten hiirissä ja näppäimistöissä yleisesti käytetty PS/2-liitin, ovat käytössä vieläkin, mutta USB-portin helppous teki siitä hyvän korvaajan. Sen sijaan sarja- ja rinnakkaisportit eivät juurikaan ole enää käytössä, USB on korvannut ne lähes täysin. Nimensä mukaisesti USB on myös sarjaportti, mutta yleisesti termiä sarjaportti käytetään, kun tarkoitetaan liittimiä, jotka noudattavat RS-232 -standardia. (Intel 2010.)



KUVA 2. USB-logo, joka löytyy muun muassa liittimien yläosasta (Weider 2006)

## 3.2 USB 2.0

USB-liitäntä sai uusia käyttökohteita, kun laitevalmistajat alkoivat valmistamaan USB-liitäntäisiä tallennusmedioita. Vuonna 2000 IBM julkaisi ensimmäiset muistitikut, joiden tallennuskapasiteetti oli alussa vain 8 megatavua (USB History 2010). Oli selvää, että USB 1.1 -väylän tiedonsiirtonopeus 12 Mb/s ei ollut enää riittävä tallennustilatarpeen kasvaessa. USB 2.0 julkaistiin huhtikuussa 2000. Se mahdollisti jopa 480 Mb/s (High speed) tiedonsiirtonopeuden, eli 40-kertaisen vanhaan USB 1.1 -väylään verrattuna. Käytännön siirtonopeudet ovat kuitenkin yleensä noin 360 Mb/s. (Intel 2010)

USB 2.0 on taaksepäin yhteensopiva USB 1.1 -standardin kanssa. USB 1.1 -laitteet toimivat USB 2.0 -porteissa, mutta tiedonsiirtonopeus on tällöin rajoitettu USB 1.1 -väylän maksiminopeuteen, eli 12 Mb/s tiedonsiirtonopeuteen. Nopeus on rajoitettu samoin, jos USB 2.0 -laite kytketään USB 1.1 -porttiin.

Kasvanut mobiililaitteiden määrä synnytti myös tarpeen suuremmalle virransyötölle laitteiden akkujen varausta varten. Tähän asti eri mobiililaitteissa oli käytetty laitevalmistajien omia latureita, mutta käyttäjät ja laitevalmistajat huomasivat USB-liitäntän potentiaalisen tiedonsiirtoportin ja latausliittimen yhdistelmänä. Alunperin USB 2.0 -standardi määritteli virransyötöksi 5 V ja 500 mA, tai 100 mA matalan virran tilassa. Käytännössä kaikki tietokoneissa ja erillisellä virtalähteillä varustettujen keskittimien porteista ovat korkean virran tilassa, kun taas keskittimien portit, joissa ei ole erillistä virransyöttöä, ovat matalan virran tilassa. (Sherman 2010.)

### 3.2.1 USB Battery Charging Specification

Lisääntynyt syöttövirran tarve, erityisesti akkujen varaamista varten USB-standardin rinnalle lisättiin vuonna 2009 Battery Charging Specification 1.1 (BC 1.1), joka määritteli enimmäisvirraksi 1.5 A. Tämä tarkoitti 7,5 watin varaustehoa ja sen aikaisille mobiililaitteille noin tunnin varausaikaa, jota pidettiin yleisesti hyväksyttävänä. Tätä ennen valmistettujen akkujen varaamiseen tarkoitettujen laitteiden toimiminen käyttäjän oman laitteen kanssa oli satunnaista. Uusien ohjeistusten myötä voitiin kehittää USB-verkkovirtalatureita, joissa on irrotettava johdin USB-liittimellä, eikä kiinteä johdin tai valmistajan oma liitin. Vuonna 2010 standardista julkaistiin uusi versio, BC 1.2. (Sherman 2010.)

Battery Charging Specification määrittelee kolme eri virtalähdettä akkujen varaamistarkoitukseen:

- tavallinen dataportti
- lataus- ja dataportti
- pelkkä latausportti

Tavallinen dataportti, englanniksi standard downstream port (SDP) on sama portti, jonka USB 2.0 -standardi määrittelee. Se löytyy tyypillisesti pöytätietokoneista ja kannettavista tietokoneista. Enimmäisvirta on 2,5 mA, kun laite on keskeytetyssä tilassa, 100 mA kun laite on yhdistetty mutta ei keskeytetyssä tilassa ja 500 mA, kun laite on konfiguroitu sille virralle. Standardin mukaan laite on luetteloitava ennen kuin sille tarjotaan virtaa. (Sherman 2010.)

Lataus- ja dataportti, englanniksi charging downstream port (CDP) tarjoaa korkeamman virran USB-portin tietokoneille tukien myös täysin USB 2.0 -standardin mukaista tiedonsiirtoa. Tämän määrittelyn avulla USB-portti voi tarjota 1,5 A virtaa, ja mikä on poikkeavaa USB 2.0 -standardista, portti voi nyt tarjota virtaa jo ennen kuin isäntä on luetteloinut laitteen. Kytkevä laite voi tunnistaa portin CDP-portiksi käsittelemällä ja tarkkailemalla datalinjoja D+ ja D-. BC 1.2 nosti virran ylärajan 5 A:iin. (Sherman 2010.)

Pelkkä latausportti on englanniksi dedicated charging port (DCP). BC 1.1 määrittelee virtalähteet kuten verkkovirtaan kytkettävät laturit ja autolaturit, jotka eivät luetteloitaneivätkä nimeä siihen kytkettäviä laitteita vaan tarjoavat heti kytkettäessä virtaa enimmillään 1,5 A. DCP tunnustetaan siitä, että datalinjat D+ ja D- ovat oikosulussa. Tämän ansiosta esimerkiksi seinälatureihin voidaan valmistaa irrotettavat johtimet USB Tyyppi-A -liittimellä, eikä kiinteää johdinta. Näin ollen varaamiseen voidaan käyttää mitä tahansa USB-kaapelia, jossa on oikeat liittimet. Latausportinkin kohdalla BC 1.2 nosti virran ylärajan 5 A:iin. (Sherman 2010.)

USB-IF -organisaation laatimaa Battery Charging Specification -määrittelyä käytettiin pohjana kansainvälisen sähköalan standardointiorganisaation, International Electrotechnical Commissionin (IEC) vuonna 2011 julkaiseman mobiililaitteiden akkujen varaamiseen käytettävien verkkovirtalaitteiden standardissa. Tavoitteena oli yhdenmukaistaa kaikkien eri valmistajien verkkovirtalaturit ja näin ollen vähentää elektroniikkajätteen määrää. (IEC 2011.)

### 3.2.2 USB On-The-Go

Vuonna 2001 USB 2.0 -standardiin tehtiin lisäys, joka mahdollisti laitteen toimimisen joko tavallisena lisälaitteena tai isäntänä, USB On-The-Go (USB OTG). Tämä oli hyödyllistä esimerkiksi mobiililaitteissa, jotka oli näin mahdollista liittää suoraan esimerkiksi tulostimeen tai toiseen mobiililaitteeseen. Esimerkiksi matkapuhelin toimii isäntänä, kun siihen liitetään tulostin, mutta kun se liitetään tietokoneeseen, se voi toimia massamuistina. (USB-IF 2012a, 1.)

Laite jota kutsutaan On-The-Go -laitteeksi oli alkuperäiseltä nimeltään kahden roolin laite (Dual-Role Device) eli se voi toimia sekä isäntänä että lisälaitteena. Vaikka tavallinen lisälaite ei toimi isäntänä kahden OTG-laitteen järjestelmässä, tulee sen ymmärtää OTG-laitteen pyyntöjä. Kahden roolin OTG-laitteeseen ei voi toimia minkä tahansa USB-laitteen kanssa vaan ainoastaan niiden kanssa, joita se tukee. Esimerkiksi digitaalinen kamera OTG-ominaisuudella saattaa tukea vain muutamaa eri printteriä, eikä se todennäköisesti toimi kaikkien printtereiden kanssa. Onkin OTG-laitteiden valmistajien vastuulla sisällyttää lisälaitteiden ajurit itse OTG-laitteeseen. Kun kaksi OTG-laitetta liitetään toisiinsa, kaapelin asennussuunta määrää, kumpi laite toimii aluksi isäntänä. Tarvittaessa roolit voidaan vaihtaa neuvotteluprotokollan avulla (Host Negotiation Protocol). Kaapelit on esitelty luvussa 5. (Koeman 2001.)

### 3.3 USB 3.0

USB 3.0 -standardi julkaistiin vuonna 2008 ja samalla enimmäistiedonsiirtonopeus nousi 5 gigabittiin sekunnissa. Kuten edeltäjänsä, USB 3.0 on taaksepäin yhteensopiva USB 2.0 laitteiden ja porttien kanssa. USB 3.0 -laite tai kaapeli voidaan liittää USB 2.0 -porttiin, mutta uusi SuperSpeed -nopeus toimii vain USB 3.0 -laitteiden, -kaapeleiden ja -porttien kanssa. (USB History 2010.)

Kasvanut tiedonsiirtonopeus on seurausta siitä, että USB 3.0 -väylään lisättiin kaksi paria datakaapeleita. Näin ollen tiedonsiirto voi tapahtua yhtä aikaa isännältä laitteen suuntaan, ja laitteelta isännän suuntaan. Siinä missä tiedonsiirto USB 2.0 -väylässä on vuorosuuntaista (half-duplex), USB 3.0 -väylässä se on kaksisuuntaista (dual simplex) käyttäen kahta eri linjaa.

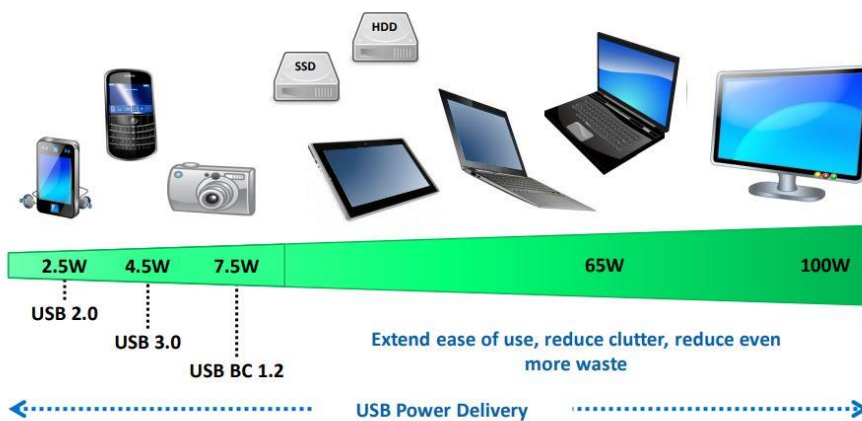
USB 2.0 -väylän käyttämä datakaapelipari säilytettiin uusien parien rinnalla, mikä mahdollistaa taaksepäin yhteensopivuuden. (Wikström 2016, 21.)

USB 2.0 -väylässä tiedonsiirto tapahtuu aina isännän pyynnön jälkeen. Isännän täytyy jatkuvasti pollata (kysellä) laitteelta tiedonsiirtoa, mikä ei ainoastaan kuluta paljon virtaa, vaan myös lisää latenssia. USB 3.0 -standardin myötä laitteen ei tarvitse odottaa isännän pyyntöä, vaan voi ilmoittaa isännälle milloin tiedonsiirto on mahdollista. Samalla kun USB 3.0 tähtää sähkökulutuksen laskemiseen, enimmäisvirrankulutus kuitenkin nousi 500 mA:sta 900 mA:iin. (Gupta 2014.)

Toisin kuin USB 2.0:n ja USB 1.1:n kohdalla, USB 3.0 -standardi ei korvaa edeltäjänsä USB 2.0 -standardia. Low-speed, full-speed ja high-speed -laitteet noudattavat edelleen USB 2.0 -standardia, eivätkä hyödynnä monia USB 3.0:n ominaisuuksia kuten korkeampaa enimmäisvirrankulutusta. (Axelson 2015, 14.)

### **3.3.1 USB Power Delivery**

USB Battery Charging Specification oli monella tapaa riittävä mobiililaitteiden virransyöttötarpeisiin, mutta sen tarjoama tehonsyöttö ei riittänyt monille isommille laitteille. Tarvittiin myös korkeaa virransyöttöä samanaikaisesti tiedonsiirron kanssa, mitä BC 1.2 ei tarjonnut. Kansainvälisesti ekologisuus oli myös merkittävässä roolissa kun USB Implementers Forum esitteli vuonna 2012 uuden tehonsyöttöstandardin, USB Power Delivery Specification (USB PD 1.0), jonka yhtenä lähtökohtana olikin erilaisten virtalähteiden määrän vähentäminen. Uuden standardin myötä virransyötön suunnan oli mahdollista vaihtua. USB-keskitin, joka saa virtaa seinäpistorasiasta, voi USB-porttiansa kautta tarjota virtaa esimerkiksi printterille ja kannettavalle tietokoneelle. Tämä kannettava tietokone voisi samanaikaisesti toimia myös tämän USB-väylän isäntänä. Käyttäjä tarvitsee vähemmän erilaisia virtalähteitä eri laitteille. (USB-IF 2017, 34.)



KUVA 3. USB Power Delivery (USB-IF 2012b, 4)

USB 1.1 -standardi määritteli USB-portin tarjoaman enimmäistehon olevan 2,5 W ja USB 3.0 nosti tämän 4,5 W:iin. USB Power Delivery 1.0 nosti normaalien USB-A- ja USB-B -liittimien kautta tarjottavan enimmäisvirran 100 W:iin. USB PD tarjoaa viisi eri tehonsyöttöprofiilia, jotka ovat käytettävissä samanaikaisesti tiedonsiirron kanssa. On huomattava, että olemassa olevat kaapelit tukivat enintään 7,5 W tehoa. Koska kyseessä on erillinen standardi, laitevalmistajien oli huolehdittava ominaisuuden lisäämisestä tuotteisiinsa. (USB-IF 2012b, 5-9.)

TAULUKKO 1. USB Power Delivery -standardin tarjoama teho eri jännitteillä (USB-IF 2012b, 9)

Profiili	Jännite		
	+ 5 V	+ 12 V	+ 20 V
1	2,0 A, 10 W	-	-
2		1,5 A, 18 W	-
3		3,0 A, 36 W	-
4			3,0 A, 60 W
5		5,0 A, 60 W	5,0 A, 100 W

Vuonna 2016 julkaistu USB Power Delivery Revision 2.0 versio 1.2 korvasi tehoprofiilit tehosäännöillä (power rules). USB PD 2.0 määrittää useita ohjeellisia jännite- ja virtatasoja tarjoten tasaisempaa tehonsyöttöä ja -kulutusta. Säännöt määrittelevät viisi eri teholuokkaa, joiden perusteella teholähteen pitää tukea eri jännite- ja virtatasoja. Esimerkiksi teholähde, joka

tarjoaa 15 W tehoa, täytyy tarjota 5 V ja 3 A, kun taas 45 W tehonlähteen tulee tukea myös kaikkia alempia jännite- ja virtatasoja. (Renesas.)

TAULUKKO 2. USB Power Delivery 2.0 -standardin version 1.2 määrittely virranantokyvylle, (Power Rules) (USB-IF 2017, 486)

Antoteho (W)	Virta eri jännitetasoilla (A)			
	+ 5 V	+ 9 V	+ 15 V	+ 20 V
0,5 - 15	0,1 - 3,0	-	-	-
15 - 27	3,0 (15 W)	1,7 - 3,0	-	-
27 - 45		3,0 (27 W)	1,8 - 3,0	-
45 - 60			3,0	2,25 - 3,0
60 - 100			(45 W)	3,0 - 5,0

### 3.4 USB 3.1 Gen 2

USB 3.1 -standardi julkaistiin tammikuussa 2013. Samalla USB 3.0 -standardi nimettiin uudelleen USB 3.1 Gen1:ksi. Kuten USB 3.0:n kohdalla on tilanne, myös USB 3.1 Gen 2 on taaksepäin yhteensopiva USB 2.0:n kanssa. USB 3.1 Gen2 -väylän etuna aiempaan USB 3.0 -standardiin on kaksinkertainen tiedonsiirtonopeus. Väylän enimmäistiedonsiirtonopeus on 10 Gb/s. (USB-IF 2013, 3-4.)

### 3.5 USB 3.2

Syyskuussa 2017 USB-IF julkaisi uusimman, USB 3.2 -standardin, joka käytännössä kaksinkertaistaa edellisen standardin tarjoaman tiedonsiirtonopeuden. Tämä johtuu siitä, että tiedonsiirto tapahtuu nyt kahta kanavaa pitkin samanaikaisesti. Huomattavaa on, että tämä on mahdollista vain USB-C -kaapeleiden kanssa, sillä kaksinkertainen nopeus on seurausta siitä, että tiedonsiirtoon on varattu neljä paria kaapeleita aikaisemman kahden sijaan. USB 3.1 -standardin kaapeleiden osalta tämä tarkoittaa nopeutta 20 gigabittiä sekunnissa ja USB 3.0 -



standardin kaapeleiden tapauksessa 10 gigabittiä sekunnissa. Näissä tapauksissa kaapelin molemmissa päissä olevien laitteiden tosin täytyy tukea uutta USB 3.2 -standardia. USB-standardin eri kaapelivariantit on esitelty työssä myöhemmin. (Bright 2017.)

TAULUKKO 3. USB-standardien tiedonsiirtonopeudet

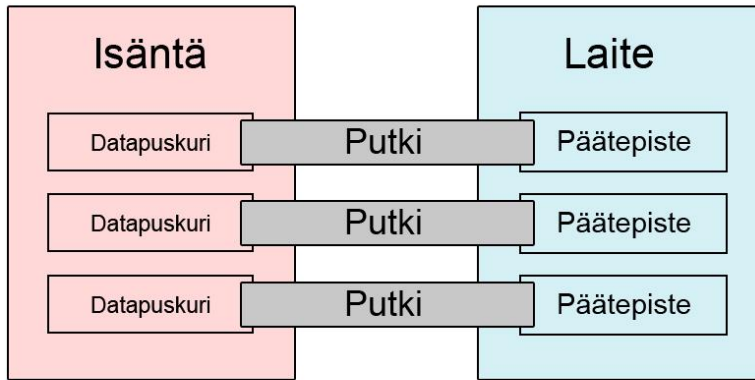
Nimi	Julkaisuajankohta	Enimmäistiedonsiirtonopeus	Huomautus
USB 1.0	tammikuu 1996	12 Mb/s (Full-speed)	
USB 1.1	elokuu 1998	12 Mb/s (Full-speed)	
USB 2.0	huhtikuu 2000	480 Mb/s (High-speed)	
USB 3.0	marraskuu 2008	5 Gb/s (SuperSpeed)	Tunnetaan myös nimellä USB 3.1 Gen1
USB 3.1	heinäkuu 2013	10 Gb/s (Super-speed+)	Tunnetaan myös nimellä USB 3.1 Gen2
USB 3.2	syyskuu 2017	20 Gb/s	

## 4 TIEDONSIIRTO USB-VÄYLÄLLÄ

Järjestelmän käynnistyksen yhteydessä keskittimet kertovat isännälle mikäli laitteita on kytketty. Käynnistyksen jälkeen isäntä tarkkailee väylää lähettämällä jatkuvasti kyselyitä mahdollisille uusille kytketyille laitteille. USB-standardin versiosta 3.0 alkaen tämä ei ole tarpeen. Kun laite kytketään USB-väylään, isäntä havaitsee tämän ja määrittää kyseiselle laitteelle ajurin. Käyttäjän kannalta tämä prosessi on näkymätön, eikä yleensä vaadi toimia. (Axelson 2015, 92.)

Jokaisella laitteella voi olla yhteensä 32 päätepistettä, jotka voivat joko lähettää tai vastaanottaa tietoa, ei molempia. Nämä päätepiisteet ovat ikään kuin puskureita, jotka varastoivat vastaanottamaansa tai lähettämistä odottavaa dataa. OUT-päätepiisteet ovat isännältä laitteen suuntaan ja IN-päätepiisteet laitteelta isännän suuntaan tapahtuvaa tiedonsiirtoa varten. Jokaisella laitteella tulee olla nolla-päätepiiste ohjaussiirtoa varten, yksi molempiin suuntiin. Tiedonsiirto isännän ja laitteen välillä alkaa aina isännän pyynnöstä. Tiedonsiirto alkaa, kun isäntä lähettää väylään merkkipaketin (token), joka sisältää päätepiistekohteen numeron ja tiedonsiirron suunnan. IN-paketti pyytää datapakettia päätepiisteeltä ja OUT-paketti ilmoittaa tulevasta datasta. (Peacock 2010; Axelson 2015, 33-36.)

Isäntä muodostaa putken (pipe) päätepiisteeseen ja itsensä välille määrittäessään USB-laitteen. Putki on looginen yhteys isännän ja yksittäisen päätepiisteeseen välillä. Putki syntyy isännän ja jokaisen päätepiisteeseen välille, jonka kanssa isäntä kommunikoi. Putkia on olemassa kahta eri tyyppiä: yksisuuntaiset tietovirtaputket (stream pipe) ja kaksisuuntaiset viestiputket (message pipe). (Peacock 2010.)



KUVA 4. Isännän ja laitteen looginen yhteys putkien kautta päätepisteisiin (mukaillen Arm Limited)

USB-väylässä tapahtuvaa tiedonsiirtoa on neljää eri tyyppiä:

- tasa-aikainen siirto (isochronous transfer)
- keskeytyspohjainen siirto (interrupt transfer)
- massasiirto (bulk transfer)
- ohjaus siirto (control transfer)

Tasa-aikaisessa siirrosta on käytössä on aina vakio kaistanleveys, mutta virheenkorjausta ei käytetä. Tasa-aikaista siirtoa käytetään tilanteissa, joissa tasainen datavirta on tärkeää, mutta satunnaisen paketin hukkuminen tai korruptoituminen ei ole vaarallista, esimerkiksi videon ja äänen siirtämisessä. (Axelson 2015, 81-89.)

Keskeytyspohjaista siirtoa käytetään, kun on tärkeää tietää laitteen tilan muutokset tasaisin väliajoin. Tässä tiedonsiirtotyyppissä käytetään virheenkorjausta. Keskeytyspohjainen siirto on käytössä esimerkiksi hiirissä ja näppäimistöissä. (Axelson 2015, 77-81.)

Massasiirtoa käytetään suuren tietomäärän siirtoon kun kaistanleveyden ei tarvitse olla taattu. Isäntä aikatauluttaa nämä siirrot tapahtumaan muiden siirtotyyppien jälkeen. Massasiirrosta on käytössä virheenkorjaus. Massasiirtoa käytetään laitteissa, joissa tiedonsiirron ei tarvitse tapahtua välittömästi, esimerkkeinä tulostimet ja massamuistit. (Axelson 2015, 73-77.)

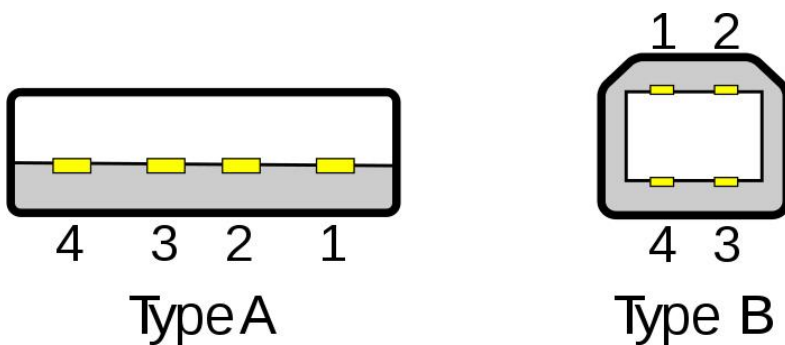
Ohjaussiirtoa käytetään yleensä laitteen määrittämiseen ja tilan tarkkailuun. Ohjaussiirto on käytössä myös laitteen alustuksessa kun laite otetaan käyttöön. Ohjaussiirto on ainoa tiedonsiirtotyyppi, joka käyttää kaksisuuntaista viestiputkea. (Axelson 2015, 63-72, 39.)

Sähköisellä tasolla tiedonsiirto USB-väylässä tapahtuu kierrettyä datajohdinparia pitkin differentiaalisella signaloinnilla. USB käyttää käänteistä non-return-to-zero eli NRZI-linjakoodausta. Muutos datajohdinparin jännitteessä kellojaksolla tarkoittaa nollaa (0) ja jännitteen pysyminen datajohtimissa samana tarkoittaa yhtä (1). Koska pitkä rivi ykkösiä tarkoittaa datalinjojen jännitteen pysymistä samana, jokaisen kuuden peräkkäisen ykkösen jälkeen lähetetään nolla. Tällä varmistetaan datasignaalin pysyminen synkronoituna. Vastaanottava osapuoli poistaa nämä ylimääräiset bitit automaattisesti. (Peacock 2010; USB-IF 2000, 157.)

## 5 USB-LIITINSTANDARDIT

### 5.1 USB 2.0 -liittimet ja -kaapelit

USB-liitäntä muodostuu liittimestä ja sitä vastaavasta pistorasiasta (portista). Tavallinen USB 2.0 -kaapeli koostuu neljästä johtimesta, kaksi käyttöjännitettä varten (+5V johdin ja maajohdin) ja kaksi tiedonsiirtoon (D+ ja D-). Alun perin jo USB 1.1 -standardin määrittelemät liittimet sekä portit suunniteltiin olemaan mahdollisimman käyttäjäystävällisiä, ja liittimien yhdistäminen portteihin väärin päin onkin erittäin vaikeaa. Myös liittimen yläpinnalla oleva USB-logo helpottaa oikean kytkemisasennon havaitsemisessa. USB 2.0 -standardi määrittelee USB Tyyppi-A -liittimen (USB-A) olevan aina isännän puoleinen ja USB Tyyppi-B -liittimen (USB-B) laitteen puoleinen liitin. (USB-IF 2000, 85-86.)



KUVA 5. USB-A ja USB-B -liittimet. Valkoiset alueet ovat tyhjiä (Duyé 2008)

USB-A -liitin on leveydeltään 12 mm ja paksuudeltaan 4,5 mm. USB-B -liitin on samoilta mitoilta 8 mm ja 7,26 mm (USB-IF 2000, 99-100).

TAULUKKO 4. USB-A ja USB-B -liittimien pinnijärjestys

Pinni	Signaalin nimi	Johtimen väri	Kuvaus
1	VBUS	punainen	+5 V jännite
2	D-	valkoinen	data -
3	D+	vihreä	data +
4	GND	musta	maaliitin

USB-A -liitin on helposti tunnistettavissa sen pitkästä suorakaiteenomaisesta muodosta. Liittimen sisällä on pitkä muovinen reuna, joka ohjaa kytkemään kaapelin porttiin oikein päin. USB-A -liittimillä kytketään laitteita tietokoneeseen tai keskittimiin. USB-A -portteja löytyykin käytännössä kaikista tietokoneista, joista tosin nykyisin osa tai kaikki on korvattu ulospäin hyvin samannäköisellä USB 3.x -standardin mukaisilla porteilla. (USB Connectors.)



KUVA 6. USB-A -portti (Siegel 2007)

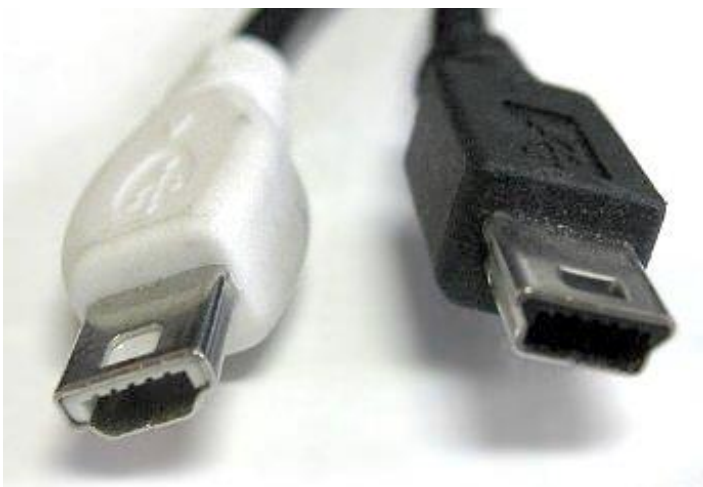
USB-B -liitin on paksumpi kuin USB-A -liitin ja kahdesta kulmasta hieman pyöristetty. USB-B -liittimet ovat käytössä laitteiden päässä USB-väylässä. Usein lisälaitteissa on kiinteä johto, jonka toisessa päässä on USB-A -liitin liitettäväksi tietokoneeseen. USB-B -liitin on varsin tuttu esimerkiksi printtereiden USB-porteista. (USB Connectors.)



KUVA 7. Vasemmalla USB-B -liitin ja oikealla USB-A -liitin

### 5.1.1 Mini-USB

USB 2.0 -standardin julkaisun yhteydessä esiteltiin pienemmät Mini-USB -liittimet, Mini-A ja Mini-B. Mini-liittimet ovat kooltaan huomattavasti pienempiä kuin normaalit A- ja B-liittimet. Mini-A -liitin on muodoltaan hieman pyöreämpi kuin Mini-B -liitin. Näille pienemmille 3 mm paksuille ja 7 mm leveille liittimille oli tarvetta esimerkiksi kameroissa ja matkapuhelimissa. Mini-liittimien toimintaperiaate on samanlainen kuin tavallisissa A- ja B-liittimissä. Mini-A kytketään aina isännän puolelle ja Mini-B laitteen puolelle. Hyvin usein kaapeleissa oli kuitenkin toisessa päässä normaali A-tyypin liitin ja toisessa päässä Mini-B, sillä isäntälaitte oli yleensä kooltaan iso eikä pienelle liittimelle ollut tarvetta.



KUVA 8. Mini-A -liitin vasemmalla ja Mini-B -liitin oikealla (Mgdunn 2006)

Yhtenä syynä Mini-liittimien kehitykseen oli myös loppuvuodesta 2001 julkaistu USB-OTG. Samalla kun esiteltiin USB-OTG, esiteltiin myös uusi porttityyppi, Mini-AB, johon pystyy liittämään joko Mini-A- tai Mini-B -liittimen. Tällainen portti saa olla vain laitteissa, jotka ovat kahden roolin OTG-laitteita. Liittimiin lisättiin myös tunnistus-, eli ID-pinni. Mini-liittimissä uusi ID-pinni on kytketty maaliittimeen ja Mini-B -liittimessä sitä ei ole kytketty lainkaan. Näin ollen Mini-AB -portilla varustettu OTG-laite pystyy tunnistamaan, kumpi liitin siihen kytketään. Kun kaksi OTG-laitetta liitetään toisiinsa, siitä kumpaan liitetään Mini-A -liitin, tulee isäntä. (Koeman 2001.)



KUVA 9. USB-Mini-AB -portti (masamic 2008. Wikipedia)

### 5.1.2 Micro-USB

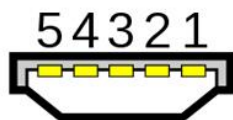
Alkuvuonna 2007 USB-IF julkaisi uuden päivityksen USB 2.0 -standardin liittimiin ja kaapeleihin. Entisestään pienentyneet mobiililaitteet tarvitsivat pienemmän liittimen ja niinpä kehitettiin Micro-USB -liitin. Micro-USB -liittimet ovat paksuudeltaan 1,8 mm ja leveydeltään 6,85 mm. Liittimien pinnijärjestys on sama kuin USB-Mini -liittimissä. Liittimiä esiteltiin kaksi, Micro-A ja Micro-B. Kuten Mini-liittimien kohdalla, lisäksi esiteltiin myös Micro-AB -portti. Tämä porttityyppi on sallittu vain USB-OTG -laitteissa ja siihen voi liittää kumman tahansa Micro-USB -liittimistä. Samoin kuin Mini-liittimien kohdalla siitä OTG-laitteesta johon kytketään Micro-A -liitin, tulee ensin isäntä. (USB-IF 2007a, 8-10; 19-20.)



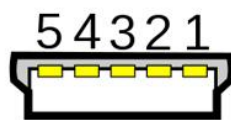
TAULUKKO 5. Mini- ja Micro-liittimien pinnijärjestys (Davis 2015)

Pinni	Signaalin nimi	Johtimen väri	Kuvaus
1	VBUS	punainen	+5 V jännite
2	D-	valkoinen	data -
3	D+	vihreä	data +
4	ID	ei johdinta	Micro-A -liittimessä yhdistetty maaliittimeen Micro-B -liittimessä ei yhdistetty
5	GND	musta	maaliitin

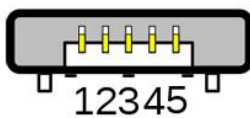
Samassa yhteydessä käytöstä poistettiin Mini-A -liitin ja -portti sekä Mini-AB -portti ja jäljelle jäi vain Mini-B -liitin. Mini-B -liitintä löytyy enää vain kaapeleista joiden toisessa päässä on tavallinen USB-A -liitin. Esimerkki tästä on kaapeli, jollaisella useat digitaaliset kamerat liitetään tietokoneeseen. Micro-B -liitin puolestaan on erittäin yleinen esimerkiksi älypuhelinien latauskaapeleissa. (USB-IF 2007b.)



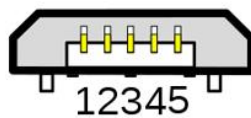
Mini-A



Mini-B



Micro-A

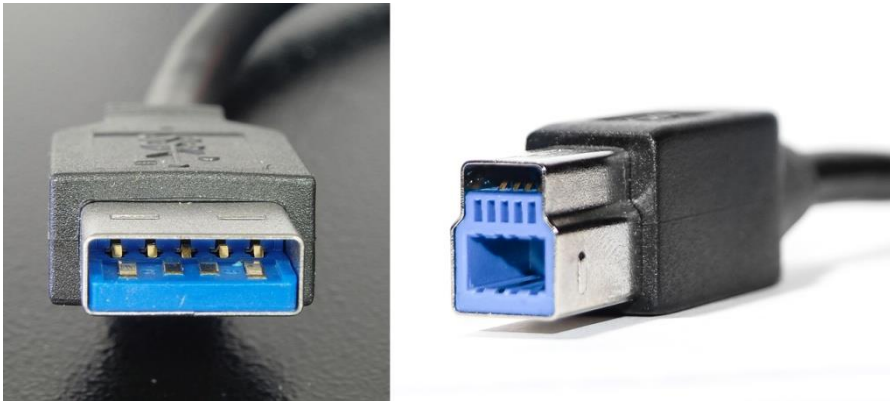


Micro-B

KUVA 10. Mini-USB ja Micro-USB -liittimet (Darx &amp; Yerrick, et al 2012)

## 5.2 USB 3.0 -liittimet ja -kaapelit

USB 3.0 -standardi esitteli myös uudet Tyyppi-A- ja Tyyppi-B -liittimet sekä Tyyppi-A- ja Tyyppi-B -portit. Tämä oli tarpeen suuremman tiedonsiirtonopeuden vuoksi. Liittimiin ja kaapeliin lisättiin kaksi paria datajohtimia sekä yksi maajohdin. USB 3.0 -liittimet ovat muutamien rajoituksin taaksepäin yhteensopiva USB 2.0 -standardin liittimien kanssa. Vanhat USB 2.0 -standardin mukaiset A- ja B-liittimet voidaan myös kytkeä tavallisiin USB 3.0 -portteihin. USB 3.0 Tyyppi-A liitin voidaan kytkeä myös vanhaan USB 2.0 Tyyppi-A -porttiin, koska se on fyysisiltä mitoiltaan identtinen edeltäjänsä kanssa. Ylimääräiset pinnit on USB 3.0 Tyyppi-A -liittimissä sijoitettu siten, että ne sijaitsevat USB 2.0:n vaatiman neljän pinnin takana. Vastaavasti USB 3.0 Tyyppi-A -portissa pinnit sijaitsevat USB 2.0:n vaatimien pinnien etupuolella. USB 3.0 Tyyppi-B -liitin taas on fyysisesti kookkaampi, 10,44 mm korkea, eikä sitä voida liittää vanhaan USB 2.0 Tyyppi-B -porttiin. (USB-IF 2013, 5.3.)



KUVA 11. USB 3.0 Tyyppi-A -liitin vasemmalla ja Tyyppi-B oikealla (Knäpper 2010; Öztas 2013)

Kytettäessä USB 3.0 -liitin vanhaan USB 2.0 -porttiin, teoreettinen tiedonsiirtonopeus on luonnollisesti vain 480 Mb/s eli USB 2.0 -standardin mukainen. Tilanne on sama kytettäessä USB 2.0 -liitin USB 3.0 -porttiin. Hyvin usein tietokoneissa on sekä USB 3.0 että USB 2.0 -portteja, joten USB-IF suosittelee sekä USB 3.0 -porttien että liittimien sisäpuolisten muoviosien värikoodaamista sinisiksi. (USB-IF 2013, 5-20.)

## TAULUKKO 6. USB 3.0 -liittimien pinnijärjestys

Pinni	Johtimen väri	Signaalin nimi		Kuvaus
		A-liitin	B-liitin	
1	punainen	VBUS		+5V jännite
2	valkoinen	D-		USB 2.0 kierretty parikaapeli
3	vihreä	D+		
4	musta	GND		maaliitin
5	sininen	StdA_SSRX-	StdB_SSTX-	SuperSpeed -lähetysignaali
6	keltainen	StdA_SSRX+	StdB_SSTX+	
7		GND_DRAIN		maaliitin paluusignaali
8	violetti	StdA_SSTX-	StdB_SSRX-	SuperSpeed - vastaanottosignaali
9	oranssi	StdA_SSTX+	StdB_SSRX+	

### 5.2.1 USB 3.0 Micro-liittimet

USB 3.0 -standardin mukana tuli myös määritelmä uusille USB 3.0 Micro-A ja Micro-B -liittimille. Liittimet ovat taaksepäin yhteensopivia samoin kuin tavalliset USB 3.0 -liittimet. USB 3.0 Micro-A -liittimelle ei ole vastaavaa porttia, ja se voidaankin liittää vain USB 3.0 Micro-AB -porttiin, joita löytyy vain OTG-laitteista. Myös edeltävä USB 2.0 Micro-A -liitin voidaan liittää tähän uuteen Micro-AB -porttiin. (USB-IF 2013 , 5-25; 5-33.)

Molemmat USB 3.0 Micro-liittimet ovat ulkoisesti erilaisia kuin edeltäjänsä USB 2.0 Micro-liittimet. Uudet Micro-liittimet sisältävät vanhan, 5 pinnin USB 2.0 Micro-liittimen, jonka rinnalle on liitetty toiset 5 pinniä USB 3.0 -liitäntää varten. Ulkoisesti Micro-A- ja Micro-B -liittimet ovat hyvin saman näköisiä, mutta kuten aiemmin, ID-pinni on Micro-A -liittimessä yhdistetty maaliittimeen. Käytännössä USB 3.0 Micro-liittimet ovat melko harvinaisia. (USB-IF 2013, 5.3.3.)



KUVA 12. USB 3.0 Micro-B -liitin (Viinamäki 2016)

### 5.3 USB-C

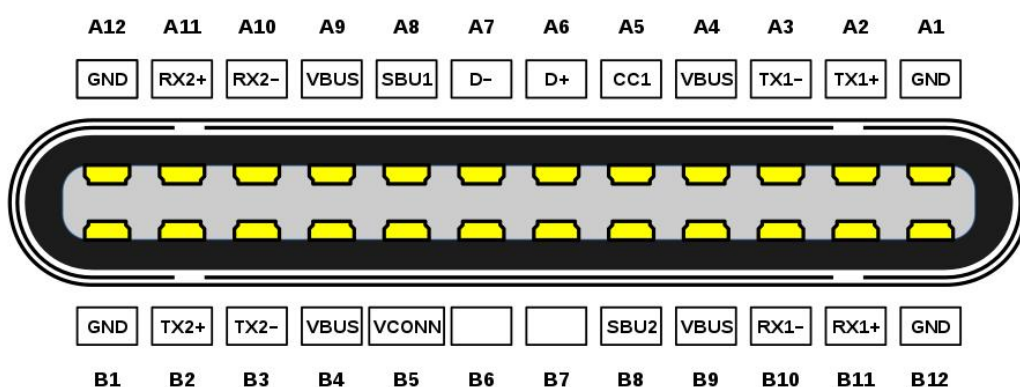
USB-IF julkaisi vuonna 2014 uuden liittinstandardin, USB-C. Edeltäjistään poiketen uusi USB-C -liitin voidaan kytkeä porttiinsa kummin päin tahansa. Isännän ja laitteen puolelle ei myöskään ole määritelty erillisiä liittimiä kuten aiemmin, vaan standardin mukaisessa USB-C -kaapelissa on molemmissa päissä USB-C -liitin. Toisin kuin USB OTG:n kohdalla, laitteiden ominaisuudet määrittelevät, kumpi kytkettävistä laitteista toimii ensin isäntänä, ei kaapelin asennussuunta. (USB-IF 2014, 21-24.)

Liittimen julkaisun tavoitteena oli erilaisten USB-liittimien määrän vähentäminen ja käytön helpottaminen. USB-C -liitin on leveydeltään 8,25 mm ja paksuudeltaan 2,4 mm. Kannettavien tietokoneiden, jotka tyypillisesti käyttävät USB Tyypin A -liitintä, ohentuminen tekee myös uudesta USB-C -liittimestä tärkeän edistysaskeleen. Olemassa oleva USB 3.0 Micro-AB -portti ei myöskään ole tarpeeksi lujatekoinen kestääkseen käyttöä muissa kuin pienissä mobiililaitteissa. Se toisaalta on myös edeltäjäänsä USB 2.0 Micro-AB -porttia huomattavasti leveämpi. (USB-IF 2014, 21-24, 38; Dunstan & Ling 2014, 4.)



KUVA 13. USB-C -liitin ja USB-C -portti (Pesce 2016)

Liitin suunniteltiin palvelemaan niin kannettavia tietokoneita kuin mobiililaitteitakin ja samalla tukemaan aikaisempia USB-liitinstandardeja. Liittimessä on 24 pinniä, mutta kaapelista ja käyttötarkoituksesta riippuen kaikkia ei ole kytketty kaapelin johtimiin. Normaalin USB-C -kaapelin lisäksi USB-IF määritteli useita kaapeleita, joiden toisessa päässä on uusi USB-C -liitin ja toisessa vanhempi, joko USB 2.0- tai USB 3.0 -standardin mukainen liitin. Lisäksi määriteltiin kaksi adapteria, joiden toisessa päässä on joko USB-A -portti tai USB Micro-B -portti. Jälkimmäinen on lähinnä tarkoitettu vanhojen USB Micro-liittimillä varustettujen verkkovirtalatureiden käyttämiseen uusien USB-C -laitteiden kanssa. (Dunstan & Ling 2014, 5-16.)



KUVA 14. USB-C liittimen pinnijärjestys (Chindi.ap 2016)

USB-C mahdollistaa myös adaptereiden käytön muun muassa HDMI- ja DisplayPort-liitäntöjen kanssa (alternate modes). Tämä mahdollistaa tietokoneen liittämisen USB-C -portin kautta joko televisioon tai tietokoneen monitoriin, mikä entisestään pienentää tietokoneissa tarvittavien porttien määrää. Tämä ominaisuus on kuitenkin vapaaehtoinen, eikä laitevalmistajien ole pakollista tukea tätä. USB-C -kaapelissa on yhteensä neljä tiedonsiirtolinjaa, joista tämä ominaisuus käyttää joko yhtä tai kahta. USB 3.2 -standardissa kaksi muuta linjaa voidaan valjastaa USB 3.1 -standardin (SuperSpeed+) käyttämien kahden linjan rinnalle, mikä kaksinkertaistaa tiedonsiirtonopeuden. Joko 10 gigabittiin sekunnissa, tai 20 gigabittiin sekunnissa, riippuen siitä onko käytetty kaapeli USB 3.0- vai USB 3.1 -standardin mukainen. Huomattavaa on, että molemmissa päissä käytettävien laitteiden tulee tukea uutta USB 3.2 -standardia. (Hoffman 2017; Bright 2017.)

Vaikka USB-C liitin toteutettiin samaan aikaan kuin USB 3.1 -standardi, ei sen olemassa olo laitteessa tarkoita, että laite välttämättä tukisi USB 3.1 -standardin ominaisuuksia. Kyse on erillisestä standardista. Onkin täysin mahdollista, että laite, jossa on USB-C -liitin, tukee vain USB 2.0 -standardin mukaisia tiedonsiirtonopeuksia. Näin ollen myös laitteen mukana tuleva kaapeli saattaa sisältää vain viisi johdinta, eikä näin ollen tue suurempia tiedonsiirtonopeuksia. Erilaisten kaapeleiden runsaus ja niiden tukemat eri USB-standardit sekä virransyöttöominaisuudet tekevätkin kaapelin valinnasta käyttäjälle vaikeaa. (Hoffman 2017.)

Aiemmin mainittu USB Power Delivery -standardi on yhteensopiva USB-C -standardin kanssa. Kaikkien USB-C -kaapeleiden tulee tukea 3 A virtaa ja 5 V:n jännitettä. Tätä suurempaa virtaa ja jännitettä tukevat kaapelit tulee olla USB PD:n mukaisesti elektronisesti merkitty tiedoilla sen ominaisuuksista. USB PD tukee enintään 100 W tehoa (5 A, 20 V). (USB-IF 2014, 26-28.)

## 6 LOPUKSI

1990-luvun loppupuolella USB-portteja löytyi jo lähes kaikista uusista tietokoneista, mutta vasta USB 2.0 -standardin myötä erilaisten USB-laitteiden määrä lähti suurempaan kasvuun. Suuremman tiedonsiirtonopeuden ansiosta USB-liittimin varustetut massamuistit ja muut lisälaitteet yleistyivät 2000-luvun alussa nopeasti.

Mobiililaitteiden kehittyminen pienempään ja monipuolisempaan suuntaan asetti uusia vaatimuksia liittimien suhteen. USB-väylästä muodostui ratkaisu yleiseen ongelmaan, jossa eri laitevalmistajat käyttivät kukin erilaisia liittimiä. Mini-USB ja myöhemmin Micro-USB -liittimet olivat luonnollinen ratkaisu, sillä saman standardin suurempi liitinversio löytyi jo kaikista tietokoneista. Kun samaan ratkaisuun sidottiin vielä laitteiden akkujen varaaminen, laitevalmistajien oli helppo ottaa USB-liittimet osaksi tuotteitaan.

Tietokoneiden takaa ja edestä löytyvät USB-portit ovat pysyneet lähes muuttumattomina jo 20 vuoden ajan, mikä on ollut ratkaisevaa USB-standardin menestyksen kannalta. Vasta USB-C -liittimen on tarkoitus korvata kaikki aikaisemmat USB-liittimet. Kannettavissa tietokoneissa tämä muutos on jo osittain tapahtunut, mutta tulee kestävänsä pitkään ennen kuin vanhemmat USB-portit poistuvat kokonaan. USB-C -kaapeleiden kirjo on vielä varsin sekava erilaisine adaptereineen, mutta USB-C -liittimien nopea yleistyminen varsinkin mobiililaitteissa tulee vauhdittamaan USB-C -portteihin siirtymistä myös muissa laitteissa.

## LÄHTEET

Arm Limited. Saatavissa: <http://www.keil.com/support/man/docs/rlarm/transfermodel.png>. Viitattu: 14.10.2017

Axelson, J. 2015. USB Complete : The Developer's Guide. 5. Madison, Wisconsin, USA: Lakeview Research. Saatavissa: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.centria.fi/lib/cop-ebooks/detail.action?docID=1980104>.

Bright, P. 2017. USB 3.2 will make your cables twice as fast... once you've bought new devices. Saatavissa: <https://arstechnica.com/gadgets/2017/07/usb-3-2-will-make-your-cables-twice-as-fast-once-youve-bought-new-devices/>. Viitattu: 16.10.2017

Chindi.ap. 2016. Saatavissa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Usb-type-c-plug-pinout.svg>. Viitattu: 16.10.2017

Darx & Yennick, D. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types-usb\\_th1.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types-usb_th1.svg). Viitattu: 11.10.2017

Davis, L. 2015. Universal Serial Bus. USB 3.0 Cable Interface. Saatavissa: <http://www.interfacebus.com/usb-cable-diagram-30.html>. Viitattu: 9.10.2017

Dunstan, B. & Ling, Y. 2014. Technical Introduction of the New USB Type-C Connector. Saatavissa: [https://web.archive.org/web/20141229123208/https://intel.activeevents.com/sf14/connect/sessionDetail.wv?SESSION\\_ID=1254](https://web.archive.org/web/20141229123208/https://intel.activeevents.com/sf14/connect/sessionDetail.wv?SESSION_ID=1254). Viitattu: 16.10.2017

Duyé 2008. Wikipedia. Saatavissa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types-usb.svg>. Viitattu: 10.10.2017

Gupta, A. 2014. USB 3.0 vs USB 2.0: A quick reference summary for the busy engineer. Saatavissa: <https://www.embedded.com/design/connectivity/4437961/USB-3-0-vs-USB-2-0--A-quick-reference-summary-for-the-busy-engineer>. Viitattu: 26.9.2017

Hoffman, C. 2017. USB Type-C Explained: What It Is and Why You'll Want it. Saatavissa: <https://www.howtogeek.com/211843/usb-type-c-explained-what-it-is-and-why-youll-want-it/>. Viitattu: 16.10.2017

IEC 2011. One size-fits-all mobile phone charger: IEC publishes first globally relevant standard. Saatavissa: <http://www.iec.ch/newslog/2011/nr0311.htm>. Viitattu: 16.10.2017

Intel 2010. How USB Became the Most Successful Interface in Computing History. Saatavissa: <https://www.intel.com/content/www/us/en/standards/usb-two-decades-of-plug-and-play-article.html>. Viitattu: 2.10.2017

Knäpper, R 2010. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Connector\\_USB\\_3\\_IMGP6024\\_wp.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Connector_USB_3_IMGP6024_wp.jpg). Viitattu: 12.10.2017



- Koeman, K. 2001. Understanding USB On-The-Go. Saatavissa: <https://www.edn.com/design/communications-networking/4346710/Understanding-USB-On-The-Go>. Viitattu: 10.10.2017
- Masamic 2008. Saatavissa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mini-AB-Receptacle.jpg>. Viitattu: 9.10.2017
- Mgdunn 2006. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mini\\_usb\\_AB.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mini_usb_AB.jpg). Viitattu: 9.10.2017
- Peacock, C. 2010. USB in a NutShell. Saatavissa: <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.shtml>. Viitattu: 14.10.2017
- Pesce, M. 2016. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB\\_Type-C\\_macbook.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_Type-C_macbook.png). Viitattu: 16.10.2017
- Renesas. USB Power Delivery. Saatavissa: <https://www.renesas.com/en-us/support/technical-resources/engineer-school/usb-power-delivery-01-usb-type-c.html>. Viitattu: 16.10.2017
- Sherman, L. 2010. The Basics of USB Battery Charging: A Survival Guide. Saatavissa <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4803>. Viitattu: 2.10.2017
- Siegel, A. C. 2007. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB\\_Connector.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_Connector.jpg). Viitattu: 15.10.2017
- USB Connectors. Saatavissa: <http://www.allusb.com/usb-explained/usb-connectors>. Viitattu: 9.10.2017
- USB History 2010. Saatavissa: <http://www.allusb.com/usb-history>. Viitattu: 26.9.2017
- USB Implementers Forum 2000. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/docs/usb20\\_docs/usb\\_20\\_081017.zip](http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_081017.zip) (tiedostonimi: usb\_20.pdf). Viitattu: 9.10.2017
- USB Implementers Forum 2007a. Universal Serial Bus Micro-USB Cables and Connectors Specification. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/docs/usb20\\_docs/usb\\_20\\_081017.zip](http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_081017.zip) (tiedostonimi: Micro-USB\_1\_01.pdf). Viitattu: 9.10.2017
- USB Implementers Forum 2007b. Deprecation of the Mini-A and Mini-AB Connectors. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/Deprecation\\_Announcement\\_052507.pdf](http://www.usb.org/developers/Deprecation_Announcement_052507.pdf). Viitattu: 9.10.2017
- USB Implementers Forum 2012a. On-The-Go and Embedded Host Supplement to the USB Revision 2.0 Specification. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/docs/usb20\\_docs/usb\\_20\\_081017.zip](http://www.usb.org/developers/docs/usb20_docs/usb_20_081017.zip) (tiedostonimi: USB\_OTG\_and\_EH\_2-0-version 1\_1a.pdf)

USB Implementers Forum 2012b. USB Power Delivery Specification 1.0. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/powerdelivery/PD\\_1.0\\_Introduction.pdf](http://www.usb.org/developers/powerdelivery/PD_1.0_Introduction.pdf). Viitattu: 16.10.2017

USB Implementers Forum 2013. Universal Serial Bus 3.1 Specification. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/docs/usb\\_31\\_062717.zip](http://www.usb.org/developers/docs/usb_31_062717.zip) (tiedostonimi: USB\_3\_1\_r1.0.pdf). Viitattu: 2.10.2017

USB Implementers Forum 2014. Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/docs/usb\\_32\\_100617.zip](http://www.usb.org/developers/docs/usb_32_100617.zip) (tiedostonimi: USB Type-C Specification Release 1.3.pdf). Viitattu: 16.10.2017

USB Implementers Forum 2017. Universal Serial Bus Power Delivery Specification Revision 2.0. Saatavissa: [http://www.usb.org/developers/powerdelivery/USB\\_PD\\_v2.0\\_011317.zip](http://www.usb.org/developers/powerdelivery/USB_PD_v2.0_011317.zip) (tiedostonimi: USB\_PD\_R2\_0 V1.3 - 20170112.pdf). Viitattu: 16.10.2017

Viinamäki, S. 2016. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB\\_3.0\\_Micro\\_B\\_plug.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_3.0_Micro_B_plug.jpg). Viitattu: 11.10.2017

Weider, C. 2006. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB\\_Icon.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_Icon.svg). Viitattu: 17.10.2017

Wikipedia. USB. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/USB>. Viitattu: 24.10.2017

Wikström, K. 2016. USB Type-C. Sähkö & Tele 2016(2), 18-21.

Öztas, A. 2013. Saatavissa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB-3.0-Stecker\\_\(Typ\\_B\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB-3.0-Stecker_(Typ_B).jpg). Viitattu: 12.10.2017

