



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petteri Rinta-Marttila

NÄYTÖNOHJAIMIEN PERUSTEET JA VER- TAILU PELIKÄYTÖSSÄ

LIIKETALOUS
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Petteri Rinta-Marttila
Opinnäytetyön nimi	Näytönohjaimien perusteet ja vertailu pelikäytössä
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	33
Ohjaaja	Antti Mäkitalo

Tässä opinnäytetyössä aion kertoa tietokoneen tärkeimmistä komponenteista sekä niiden tehtävistä. Tämän lisäksi käsittelen näytönohjaimen periaatteita, ominaisuuksia sekä lopussa vertailen erilaisia näytönohjainmalleja.

Näytönohjainvertailussa kohteena olivat suurimmat näytönohjainvalmistajat, AMD sekä Nvidia. Vertailu jaettiin kolmeen eri kategoriaan: edulliset (low-end), keskinkertaiset (mid-end) ja lopuksi tehokkaimmat ja kalleimmat (high-end).

Vertailussa erot eivät olleet suorituskyvylisesti ja hinnallisesti merkittävän suuria, paitsi high-end osiossa. Molempien näytönohjainvalmistajien tehokkaimmat mallit olivat suhteellisen lähellä toisiaan suorituskyvyssä, mutta hinnassa AMD:n Radeon RX 6900 XT oli huomattavasti halvempi kuin Nvidian GeForce RTX 3090 Ti. Tästä voi päätellä, kuinka pieniä tehojen erot voivat olla, kun puhutaan eri näytönohjainvalmistajien eliiteistä.

ABSTRACT

Author	Petteri Rinta-Marttila
Title	The basics of graphics cards and comparison in gaming
Year	2022
Language	Finnish
Pages	33
Name of Supervisor	Antti Mäkitalo

In this thesis computers most important components and their tasks were studied. In addition to this, the basics and features of graphics cards were examined. Lastly, graphics card model comparison was carried out.

The two biggest graphics card manufacturers in comparison were AMD and Nvidia. The comparison was divided into three different categories: inexpensive (low-end), mediocre (mid-end) and lastly the most powerful and expensive models (high-end).

Performance and price differences weren't that significant, except in the high-end. Both manufacturers' best models were relatively close to each other in performance, but AMD Radeon RX 6900 XT was considerably cheaper than Nvidia GeForce RTX 3090 Ti. From this one can conclude how small the differences in performance may be when comparing two different graphics card manufacturers elites.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	TIETOKONEEN KOMPONENTIT	8
	2.1 Emolevy.....	8
	2.2 Prosessori.....	10
	2.3 Keskusmuisti	11
	2.4 Massamuistilaitteet	12
	2.5 Virtalähde.....	13
3	NÄYTÖNOHJAIMEN PERUSTEET	14
	3.1 Käyttötarkoitukset	14
	3.1.1 Näytönohjaimet tietokonepelaamisessa	14
	3.1.2 Videoiden muokkaus ja grafiikkasuunnittelu.....	15
	3.1.3 Kryptovaluutan louhinta	15
	3.2 Tekniset tiedot	16
	3.2.1 CUDA Cores / Stream Processors.....	16
	3.2.2 VRAM.....	17
	3.2.3 Core Clock Speed / Kellotaajuus	18
	3.2.4 Memory Clock speed / Muistin kellotaajuus	18
	3.3 Ominaisuudet.....	19
	3.3.1 DLSS.....	19
	3.3.2 Ray Tracing	20
	3.4 Globaalinen sirupula	20
4	NÄYTÖNOHJAIMIEN VERTAILU.....	22
	4.1 Low-end	22
	4.2 Mid-end.....	24
	4.3 High-end.....	26

5	YHTEENVETO	29
	5.1 Päätelmät.....	29
	LÄHTEET	31

KUVALUETTELO

Kuva 1. Emolevy	8
Kuva 2. DLSS 2.0 vaikutus suorituskykyyn peleissä.....	19
Kuva 3. Low-end suorituskykyvertailu	23
Kuva 4. Low-end fps-vertailu.....	24
Kuva 5. Mid-end suorituskykyvertailu	25
Kuva 6. Mid-end fps-vertailu.....	26
Kuva 7. High-end suorituskykyvertailu.....	27
Kuva 8. High-end fps-vertailu.....	28

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ja käydä perusasioita läpi tietokoneen oleellisimmista komponenteista sekä niiden tehtävistä. Tämän lisäksi syvennytään näyttöohjaimen käyttötarkoituksiin, teknisiin tietoihin, ominaisuuksiin sekä lyhyesti näyttöohjaimien hinnoitteluun ja saatavuuteen vaikuttaviin tekijöihin viime vuosina. Teoriaosuudessa on käytetty lähteinä internetissä olevia artikkeleita.

Opinnäytetyön teoriaosuuden jälkeen vertaillaan taulukoin ja diagrammein ns. low-end (edullisia), mid-end (keskinkertaisia) ja high-end (tehokkaimpia ja kalleimpia) näyttöohjaimia kahden suurimman näyttöohjainvalmistajan välillä.

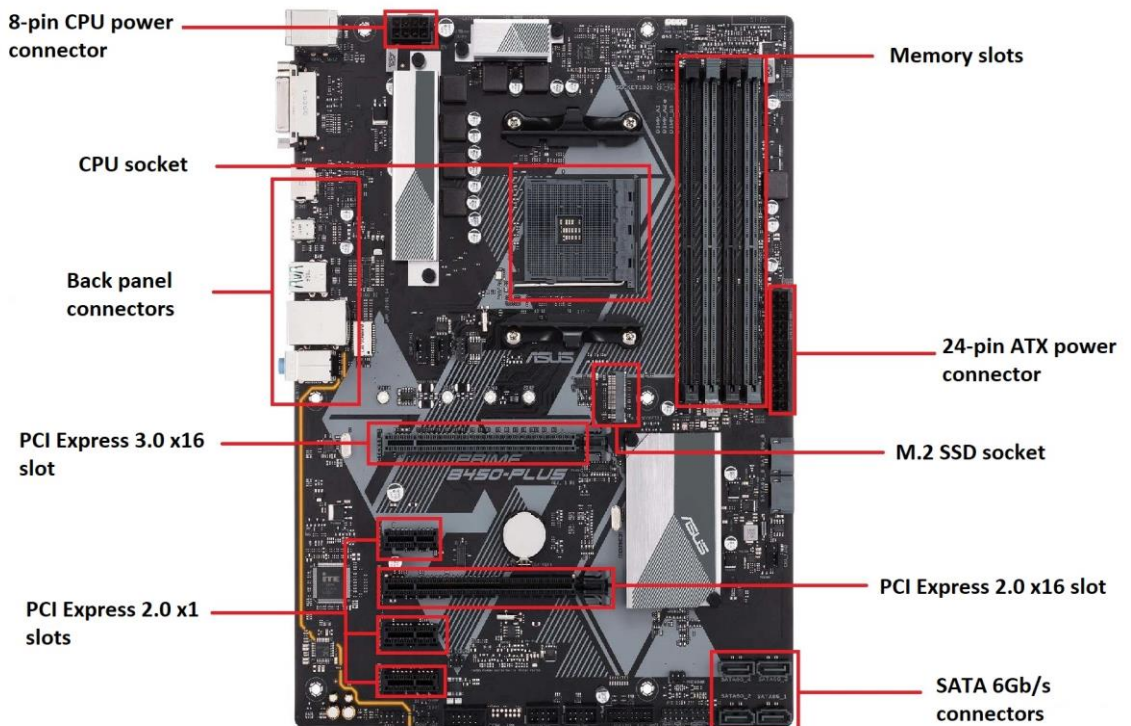
Näyttöohjainvertailussa aineistona on käytetty erilaisia sivustoja, joilla näyttöohjaimia voi vertailla suorituskyvyltään ja hinnoittelultaan. Lopuksi analysoidaan vielä vertailun tuloksia.

2 TIETOKONEEN KOMPONENTIT

Tässä luvussa aion kertoa perustasolla minkälaisia komponentteja nykypäivän tietokoneet pitävät sisällään, jotta ymmärretään paremmin niiden tehtäviä ja toimintoja. Tulen kertomaan näytönohjaimesta tarkemmin luvussa 3.

2.1 Emolevy

Emolevy on yksi tärkeimmistä tietokoneen komponenteista. Tähän isoon taustapiirilevyyn kiinnitetään muita tärkeitä komponentteja niille tarkoitetuille paikoille, kuten esimerkiksi *näytönohjain*, *prosessori*, *keskusmuisti*, sekä erilaisia liittimiä. Periaatteessa emolevyyn siis kiinnitetään kaikki tietokoneen osat, jotta koko järjestelmä toimisi moitteetta. (Zandbergen 2021.)



Kuva 1. Emolevy

Seuraavaksi on selitettyä Kuvan 1. emolevyn liitinpaikkoja:

- CPU Socket

- Tähän neliön malliseen paikkaan asetetaan tietokoneen prosessori. Kuvassa oleva Asus Prime B450-PLUS emolevy tukee vain AM4-suoritinkantaa, jota AMD-merkkiset prosessorit käyttävät.
- Memory slots
 - Näihin neljään liittimeen asetetaan tietokoneen keskusmuisti eli RAM-muisti. Muistipaikkojen määrä voi vaihdella emolevystä riippuen, mutta tässä mallissa paikkoja on 4.
- 24-pin ATX power connector
 - Tähän 24-pinniseen liittimeen kiinnitetään virtalähteestä tuleva virtajohto, jotta emolevyyn saataisiin virtaa.
- M.2 SSD socket
 - Nimensä mukaisesti M.2-liittimeen laitetaan M.2 SSD-massamuisti, mikä on merkittävästi nopeampi versio normaaliin SSD-levyyn verrattuna.
- PCI Express 2.0 x16 slot
 - Tämä fyysiseltä ulkomuodoltaan pitempi PCI Express- väylätyyppi on yhteensopiva erilaisille laajennuskorteille kuten vaikkapa verkkokorteille ja näytönohjaimille.
- SATA 6Gb/s connectors
 - Näihin liittimiin voidaan kytkeä esimerkiksi SSD-massamuistilaitteita. Nimessä "6Gb/s" viittaa tiedonsiirtonopeuteen eli 6 gigabit-tiä sekunnissa.
- PCI Express 2.0 x1 slots

- Näihin pienempiin PCIe väyliin voidaan liittää laajennuskortteja, mitkä eivät vaadi suuria tiedonsiirtonopeuksia, kuten äänikortit ja verkkokortit.
- PCI Express 3.0 x16 slot
 - PCIe 3.0 on uudempi ja suorituskyvyltään parempi kuin 2.0 versio, joten tähän yleensä liitetään tietokoneen näytönohjain.
- Back panel connectors
 - Kun emolevy kiinnitetään tietokonekoteloon, nämä ulkoiset liitäntäportit tulevat kotelon takaa esille. Emolevyn takapaneelin portteihin kuuluu tyypillisesti 3,5 mm audiokaapeliliittimet, RJ-45 verkkokaapeliliitin, HDMI-portti sekä yleensä useampi USB-portti. Liitäntämahdollisuudet ja niiden määrä vaihtelevat emolevyn mallista riippuen.
- 8-pin CPU power connector
 - Prosessorin päälle asetetaan prosessorijäähdytin, jonka virtajohto kytketään tähän liittimeen.

2.2 Prosessori

Prosessori / suoritin on yksi tietokoneen tärkeimmistä komponenteista, jonka vastuulla on suorittaa erilaisia tehtäviä. Prosessorin vastuulla on muun muassa välittää tiedon muille komponenteille mitä niiden tulee tehdä, kun käskyt tulevat ohjelmilta, jotka ovat käynnissä. Prosessoreja on muissakin laitteissa kuin vain tietokoneissa, kuten esimerkiksi televisioissa ja älypuhelimissa. (Jones 2021.)

Ensimmäisissä prosessoreissa oli vain yksi ydin, mutta nykyään markkinoilla olevat prosessorit pitävät tyypillisesti sisällään 2, 4, 6 tai 8 ydintä. Huomattavasti kalliim-

missa erikoismalleissa ytimien määrä voi olla jopa 64. Periaatteessa mitä enemmän ytimiä prosessorissa on, sitä useampia laskelmia ja toimintoja se pystyy suorittamaan samaan aikaan. (Martindale 2021.)

Yksi prosessorin hyödyllisimmistä ominaisuuksista on monisäikeisyys (multithreading), jonka avulla prosessorin ydin voi hyödyntää useampaa ohjelmasäiettä yhtä aikaa käyttäen samoja prosessointiresursseja. Monisäikeisyyden avulla yksi prosessi voi suorittaa prosessorissa useita tehtäviä rinnakkain, minkä avulla suoritusnopeus kasvaa. (Stoltzfus 2022.)

Toimiessaan prosessori tuottaa paljon lämpöä ja ilman mitään jäähdytintä prosessori voi ylikuumentua ja vioittua siispä se tarvitsee jonkinlaisen jäähdytysjärjestelmän. Yleisin jäähdytintäratkaisu on ilmajäähdytys, joka koostuu metallisesta ”lämpönielusta” ja tuulettimesta. Prosessorin tuottama lämpö kerääntyy lämpönieluun ja sen päällä pyörivä tuuletin vaihtaa ilmaa alentaen prosessorin lämpötilaa. Toinen jäähdytintäratkaisu on nestejäähdytys, jonka avulla putkissa kiertävä vesi jäähdyttää prosessoria. Nestejäähdytys on hiljaisempi, mutta arvokkaampi jäähdytintäratkaisu kuin perinteinen ilmajäähdytys. (James & Szewczyk 2022.)

2.3 Keskusmuisti

Keskusmuisti eli RAM-muisti (Random Access Memory) sisältää käynnissä olevia ohjelmia sekä dataa, jotta prosessori pääsee niihin käsiksi nopeasti. RAM-muisti on huomattavasti nopeampi kuin esimerkiksi massamuistilaitteet kuten HDD, SSD tai jopa huippunopea M.2 SSD. (Martindale 2021.)

RAM-muisti toimii kuitenkin eri tavalla kuin vaikkapa tavallinen kovalevy; RAM-muistissa data ei säily ikuisesti, nimittäin se tarvitsee jatkuvaa virtaa säilyttääkseen datan ja massamuistilaitteissa tieto säilyy virran katkaisun jälkeenkin. (Martindale 2021.)

RAM-muistin määrä vaikuttaa suoraan tietokoneen toimintaan. Jos RAM-muistia on liian vähän, tietokone toimii hitaasti eikä voi suorittaa useita ohjelmia samaan

aikaan. Yleensä valmiiksi kootuissa tietokoneissa on 8–32 GB RAM-muistia, mutta varsinkin pöytätietokoneissa muistin määrää voi helposti lisätä mielensä mukaisesti ostamalla isompia muistikampoja. Martindalen (2021) mukaan RAM-muistia pitää olla tarpeeksi käyttötarkoituksesta riippuen, mutta liian suuret määrät muistia ei kuitenkaan välttämättä enää lisää tietokoneen nopeutta.

2.4 Massamuistilaitteet

Tietokone tarvitsee jonkinlaisen tallennuslaitteen, johon asennetaan käyttöjärjestelmä sekä muita ohjelmia ja tiedostoja. Kovalevy eli HDD (Hard Disk Drive), on yksi esimerkki niin sanotuista ei-volatiilisista tallennuslaitteista, joissa tallennettu tieto säilyy, vaikka tietokoneesta katkaistaisiinkin virta. (Clancy 2022.)

Kovalevyn toiminta perustuu siihen, että sisällä oleva moottori liikuttaa akselia, jonka pyörimisnopeus vaihtelee yleensä 4200 ja 7200 kierroksen välillä, jolloin magneettinen luku- ja kirjoituspää, joko lukee tai kirjoittaa dataa levyille. Mitä nopeampi pyörimisnopeus, sitä nopeammin kovalevy lukee ja kirjoittaa dataa. (Clancy 2022.)

Perinteiset HDD-massamuistilaitteet ovat hinnaltaan edullisempia, mutta huomattavasti hitaampia kirjoitus- ja lukunopeudeltaan, kooltansa suurempia sekä vähemmän kestävämpiä kuin suosittu SSD-massamuisti. Näiden lisäksi HDD käyttää myös kokonaisuudessaan enemmän virtaa toimiakseen. (Crucial.)

SSD (Solid State Drive) on tallennuslaitetyyppi, jossa ei ole liikkuvia osia kuten HDD:ssa. SSD-muisti sisältää flash-memory siruja, joihin data tallennetaan ilman suurta viivettä. SSD on huomattavasti nopeampi kirjoitus- sekä lukunopeudeltaan kuin HDD, mikä onkin merkittävä tekijä SSD:n suosioon. Perinteinen SSD kopioi n. 500 MB/s mallista riippuen, kun taas HDD:n kopiointitahti on vain 30-150MB/s. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että 20 GB elokuvan kopiointiin SSD:llä kestäisi alle 10 sekuntia ja HDD:lla yli 2 minuuttia. Mikäli tietokoneen käyttöjärjestelmä on

asennettuna SSD:lle, myös järjestelmän käynnistysaika sekä sinne asennettujen sovellusten toiminta on nopeampaa kuin HDD:lla. (Villinger 2022.)

Perinteisestä SSD:stä on vielä nopeampi massamuistityyppi nimeltä M.2 SSD. M.2 SSD:n siirtonopeudet NVMe-rajapinnalla voivat olla jopa 5-kertaisia SATA M.2 tyyppisiin verrattuna. Emolevyssä täytyy olla M.2 SSD:lle tarkoitettu liitäntäpaikka, jotta muistia voidaan käyttää. (Harding 2020.)

2.5 Virtalähde

Virtalähteen tarkoitus tietokoneissa on muuttaa pistokerasiasta tuleva sähkö selkälaiseen muotoon, että se sopii eri komponenteille. Tämä tarkoittaa sitä, että virtalähde muuntaa seinästä tulevan vaihtovirran tasavirraksi ja välittää oikean määrän virtaa tietokoneen komponenteille johtosarjojen kautta. (Fisher 2020.)

Virtalähteestä lähtee useita johtosarjoja, joista osa kytketään suoraan emolevyyn ja osa on tarkoitettu spesifisesti tietyille komponenteille kuten esimerkiksi tuuletinille, näytönohjaimelle ja kovalevyille. (Fisher 2020.)

Virtalähteen ostamisessa olennaista on niiden wattimäärä: mitä enemmän watteja, sitä enemmän virtaa virtalähde pystyy antamaan tietokoneelle. Tehokkaat komponentit kuten vaikkapa prosessorit, jäähdytysjärjestelmät, muistit ja erityisesti näytönohjaimet vaativat paljon virtaa toimiakseen. Perustason pelitietokone tarvitsee noin 500 wattia, mutta virtalähdettä hankkiessa kannattaa ennemmin ostaa wattimäärältään isompi malli, vaikkapa 600 tai 650 wattinen. Tämä antaa myös liikkumavaraa siihen, jos muita komponentteja joutuu uusimaan eikä tarvitse ostaa myös uutta virtalähdettä. (Intel.)

3 NÄYTÖNOHJAIMEN PERUSTEET

Tietokoneen monitorissa käyttäjälle näkyvät kuvat koostuvat miljoonista pienistä pisteistä, joita kutsutaan nimellä pikseli. Tietokoneen tehtävänä on päättää minkä väriseksi jokainen yksittäinen pikseli muutetaan, jotta kuva näkyisi monitorissa. Näytönohjain muuttaa prosessorilta saatu data näkyväksi kuvaksi. (Tyson, J. Wilson, T. & Homer 2021.)

3.1 Käyttötarkoitukset

Noin 20 vuotta sitten näytönohjaimia käytettiin enimmäkseen parantamaan suorituskykyä 3D-grafiikkasovelluksissa, kuten videopeleissä. 2000-luvun alkupuolella kuitenkin tajuttiin näytönohjaimien todellisen potentiaalin. Nykyään näytönohjatimet ovat laajasti ohjelmoitavissa, mikä lisää käyttötarkoituksia sekä joustavuutta erilaisten ohjelmien kanssa. (Intel.)

3.1.1 Näytönohjatimet tietokonepelaamisessa

Videopelien grafiikat ovat kehittyneet entistä enemmän realistisemmaksi ja yksityiskohtaisemmaksi, mikä lisää näytönohjaimen suorituskyvyn merkitystä. Tehokas näytönohjain kuuluu pelaamisessa merkittävimpiin tietokoneen komponentteihin, vaikka pelaamisessa näytönohjaimen tehon merkitys riippuu myös itse pelistä. (Jimms.)

Peleissä, missä pelimaailmaa kuvataan ns. hahmon silmin (first person perspective) tai kolmannen persoonan kuvakulmasta, grafiikka on suuressa osassa pelin kokonaisuutta. Grafiikan sulavuus on myös tärkeää eli kuinka sulavasti ja tarkasti objektit piirtyvät näytölle. Tähän vaikuttaa enimmäkseen monitorin eli näytön virkistystaajuus ja tämän myötä näytönohjaimen suorituskyky; mitä korkeammalla näytöntarkkuudella peliä suoritetaan, sitä enemmän näytönohjaimelta vaaditaan tehoa. (Jimms.)

Uusien pelien pelaamiseen kannattaa panostaa näyttöohjaimiin, sillä vuosien edetessä pelit kehittyvät ja vaativat entistä enemmän tehoa näyttöohjaimelta, joten pidemmällä tähtäimellä hieman kalliimman ja tehokkaamman näyttöohjaimen hankinnalla voi säästää satojakin euroja. (Jimms.)

3.1.2 Videoiden muokkaus ja grafiikkasuunnittelu

Videoiden renderöinti ja koodaus (encoding) on ”raskas” prosessi eli se vaatii paljon tehoa tietokoneelta ja tässä näyttöohjain on myös erittäin tärkeässä roolissa. Videon koodauksessa prosessi voidaan suorittaa näyttöohjaimen avulla suhteellisen nopeasti verrattuna siihen, että jos kyseistä prosessia suoritettaisiin pelkällä prosessorilla. Vaikka käytössä olisikin tehokas näyttöohjain, tämä prosessi voi viedä silti huomattavan määrän aikaa riippuen videon resoluutiosta. (Kordek 2021.)

Nvidia:lla on ammattilaistason videonmuokkaukseen kehitettyjä näyttöohjaimia, jotka ovat optimoituja raskaaseen käyttöön. Nämä näyttöohjaimet suoriutuvat videoiden ja kuvien renderöinnistä sekä editoinnista huomattavasti paremmin kuin normaalit kuluttajanäyttöohjaimet (esimerkiksi Nvidia RTX 2080 Ti). Yksi iso ero näissä näyttöohjaintyypeissä on hinta; esimerkiksi ammattilaiskäyttöön tarkoitettut Nvidia Quadro-näyttöohjainmallit voivat maksaa useita kertoja enemmän kuin Nvidia GeForce-näyttöohjaimet. Tämä on yksi syy minkä takia Quadro-versiot ovatkin enemmän yrityskäyttöön tarkoitettuja. (Harper 2022.)

3.1.3 Kryptovaluutan louhinta

Kryptovaluuttoja eli perinteisestä talousjärjestelmästä erillään olevia hajautettuja rahoitusjärjestelmiä on yli 17 000, mutta yksi tunnetuimmista on Bitcoin. Bitcoin, useiden muiden kryptovaluuttojen tapaan, perustuu lohkoketjurakenteeseen. (Osakesijoittaja.)

Kun puhutaan kryptovaluutan tai tässä esimerkissä virtuaalisen Bitcoinin louhinnasta, sillä tarkoitetaan lohkoketjun louhintaa, jonka seurauksena siihen syntyy

uusien lohkojen. Kyseisessä prosessissa ratkotaan monimutkaisia ns. matemaattisia arvoituksia ja ratketessaan Bitcoinin lohkoketjuun tulee uusi lohko. Mitä tehokkaampi louhintalaitte on, sitä suuremman määrän arvauksia se voi suorittaa tietyssä ajassa. Tämän jälkeen louhintalaitteelle myönnetään sivutuotteena Bitcoineja, jonka määrä on jo ennalta määrätty. (Osakesijoittaja.)

Tietokoneen näytönohjaimilla voidaan suorittaa louhintaohjelmaa eli ns. GPU-louhinta. GPU-louhinnassa yhteen emolevyn voitaisiin liittää jopa 10 tehokasta näytönohjainta, jotta suorituskyky olisi mahdollisimman korkea. Tämä metodi oli merkittävästi halvempi kuin louhinnassa käytettyjen, useita tuhansia euroja maksavien ASIC-laitteiden eli erikoisvalmistettujen tietokoneiden käyttö. (Bitcoinkeskus.)

3.2 Tekniset tiedot

Uusia näytönohjaimia selatessa, verkkokauppojen sivuilla voi nähdä näytönohjaimien teknisiä tietoja; liitännäismahdollisuuksia, kellotaajuuksia, muistin määrä, muistin kellotaajuuksia ja mitat. Jos asiakkaalla ei ole aiempaa kokemusta näytönohjaimien tai yleensäkin tietokonekomponenttien hankinnasta, nämä edellä mainitut asiat voivat aiheuttaa päänvaivaa, jolloin olisi hyvä kääntyä joko asiakaspalvelun puoleen tai yleisesti henkilöön kuka ymmärtää näytönohjaimien teknisistä tiedoista. Tekniset tiedot eivät kuitenkaan ole hankalia ymmärtää.

3.2.1 CUDA Cores / Stream Processors

Näytönohjaimien sisällä on tuhansia ytimiä, jotka ovat ns. laitteen sydän. Yksi ydin voi suorittaa vain yhtä asiaa samaan aikaan, mutta erittäin nopeasti. Verrattaen tietokoneen prosessorin ytimeen, näytönohjaimien ytimet sopivat paremmin rinnakkaislaskentaan. Prosessorien ytimien lukumäärä vaihtelee mallista riippuen 2–16 välillä, kun taas näytönohjaimessa ytimiä voi olla tuhansia. (Glawion 2021.)

Kaksi suurinta näytönohjaimien valmistajaa, Nvidia ja AMD viittaavat samaan asiaan kahdella erilaisella termillä; Nvidian näytönohjaimien ”ytimiä” kutsutaan nimellä CUDA Core ja AMD:n näytönohjaimia taas Stream processoreiksi. (Glawion 2021.)

Vaikka Nvidian CUDA Coreja ja AMD:n Stream prosessoreja käytetään pohjimmiltaan samoihin tehtäviin, niiden välillä on kuitenkin eroja. (Glawion, A.) mukaan CUDA Coret ovat tunnetusti toiminnaltaan enemmän optimoituja sekä vakaampia. Nvidia on ollut johtava näytönohjainvalmistaja jo kauan aikaa, minkä takia CUDA Corien tuki on eri tasolla kuin AMD:n Stream prosessorit, mutta käytännössä niiden välillä ei ole merkittävää eroa. (Glawion 2021.)

3.2.2 VRAM

VRAM on tietokoneen RAM-muistin kaltainen nopea muistityyppi, joka on suunniteltu yksinomaan näytönohjaimen toimintaan. VRAM-muisti sijaitsee näytönohjaimen sisällä eli sitä ei tarvitse erikseen ostaa, mutta tällä on myös huono puoli, sillä jos VRAM-muistia haluaisi lisätä, pitäisi ostaa kokonaan uusi näytönohjain. (Cosic 2021.)

Näytönohjain renderöi kuvia ja tallentaa ne VRAM-muistiin oikeassa järjestyksessä, jonka jälkeen niitä ”kutsuttaessa” kuvat näkyvät myös oikeassa järjestyksessä ruudulla. Tämä on yksi VRAM-muistin päätehtävistä, jota kutsutaan nimellä kuvaruudun puskurointi. (Cosic 2021.)

Puskuroinnin lisäksi VRAM-muistin tehtävänä on myös tekstuurikarttojen tallentaminen. Tämän seurauksena näytönohjain renderöi ne huomattavasti nopeammin, jolloin grafiikkojen muuttuminen on sulavaa. (Cosic 2021.)

3.2.3 Core Clock Speed / Kellotaajuus

Näytönohjaimen ytimien kellotaajuus viittaa prosessorin kellotaajuuden tavoin, kuinka nopeasti näytönohjain käsittelee dataa. Kellotaajuudet määritetään megahertseillä (MHz). Ytimien kellotaajuus vaikuttaa muun muassa videopelejä pelaessa kuvan sulavuuteen eli kuinka nopeasti kuva vaihtuu monitorissa, jota kutsutaan lyhenteellä fps (frames per second). Mitä suurempi ytimien kellotaajuus, sitä nopeammin näytönohjain suorittaa laskelmia ja dataa. (Fifthgeek 2021.)

Näytönohjaimen kellotaajuuksia on mahdollista ylikellottaa (overclocking) eli lisätä manuaalisesti kellotaajuutta suuremmaksi helposti siihen tarkoitettujen sovellusten avulla. Ylikellotuksen avulla voi kasvattaa ruutunopeutta peleissä, mutta kellotaajuuden noustessa myös virrankäyttö lisääntyy sekä lämpötilat nousevat. Ylikellotus voi lyhentää näytönohjaimen elinikää eli kannattaa harkita tarkkaan kannattaako ylikellotus vai ei. (Fifthgeek 2021.)

3.2.4 Memory Clock speed / Muistin kellotaajuus

Ytimien kellotaajuuden lisäksi näytönohjaimessa on toinen suorituskykyyn vaikuttava tekijä, nimittäin näytönohjaimen muistin (VRAM) kellotaajuus. Näytönohjain lukee sekä kirjoittaa dataa sen muistista ja muistin kellotaajuus ilmaisee tämän nopeuden. (Fifthgeek 2021.)

Muistin kellotaajudella on merkitystä näytönohjaimen suorituskykyyn esimerkiksi peleissä, mutta pelkkä kellotaajuuden nopeus ei kerro kaikkea. Otetaan tästä yksi esimerkki: Nvidia GeForce RTX 3070- näytönohjaimessa muistin kellotaajuus on asetettu 1750 MHz, kun taas tehokkaammassa mallissa RTX 3080 kellotaajuus on vain 1188 MHz. Syytä tähän on se, että RTX 3080 käyttää uudempaa muistityyppiä GDDR6X, kun taas RTX 3070-näytönohjaimessa muistityyppi on GDDR6. GDDR6X-muistissa tiedonsiirtonopeus on nopeampaa, vaikka se toimiikin pienemmällä kellotaajuudella. (Damjanović 2022.)

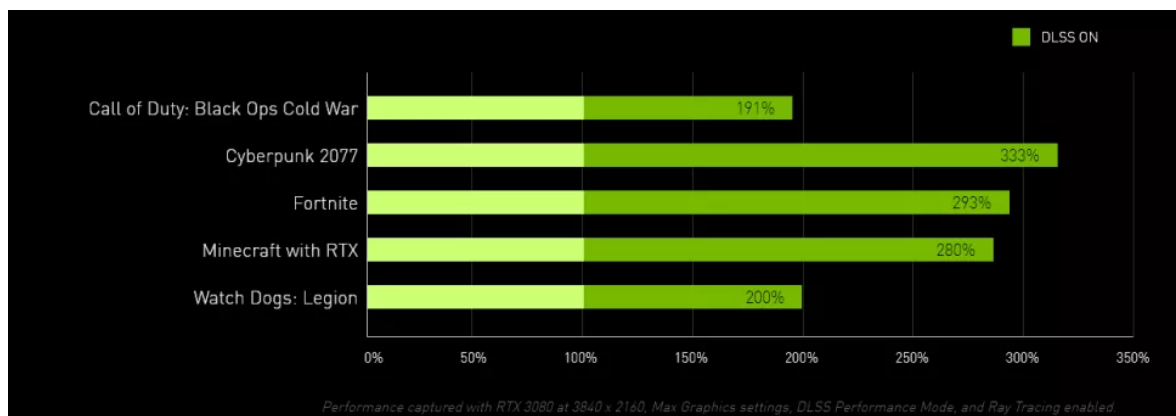
3.3 Ominaisuudet

Suorituskyvyn kasvamisen lisäksi näytönohjaimiin on kehitetty nykYTEKNOLOGIAN avulla erilaisia ominaisuuksia, jotka voivat olla hyödyksi käyttötarkoituksesta riippuen. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi DLSS sekä Ray Tracing, jotka vaativat RTX-mallin näytönohjaimen.

3.3.1 DLSS

DLSS on Nvidian luoma ominaisuus moderneissa näytönohjaimissa ja sana DLSS tulee lyhenteestä Deep Learning Super Sampling. DLSS hyödyntää videon renderointitekniikkaa, joka renderöi framet eli kuvaruudut ensin pienemmällä resoluutiolla, esimerkiksi 1080p resoluutiolla. Tämän jälkeen se käyttää tekoälyä, ”syväoppimista” (deep learning), jonka avulla framet skaalataan korkeammaksi vaikkapa 4K resoluutioon, jotta kuvanlaatu olisi samanlainen kuin normaalissa 4K resoluutiossa. (Harding 2021.)

DLSS käyttö vaatii RTX-tyyppisen modernin näytönohjaimen sekä pelin, joka tukee DLSS-ominaisuutta. Nvidian mukaan DLSS 2.0 eli päivitetty versio voi lisätä FPS:sää jopa 200–300 % ja alkuperäinen DLSS 70% tai yli. (Harding 2021.)



Kuva 2. DLSS 2.0 vaikutus suorituskykyyn peleissä

Tässä pylväsdiagrammissa (Kuva 2.) on esitetty suorituskyvyn kasvu muutamassa videopelissä 3840x2160 resoluutiolla sekä tehokkaalla RTX 3080-näytönohjaimella

DLSS ollessa päällä ja pois päältä. DLSS antaa huomattavan parannuksen suorituskyvyssä, mikä vaikuttaa erittäin positiivisesti pelikokemukseen.

3.3.2 Ray Tracing

Ray Tracing eli säteenseuranta on eräänlainen renderöintitekniikka, jonka avulla voidaan luoda erittäin realistisia efektejä valon säteellä sekä varjoilla esimerkiksi videopeleissä. Säteenseurantaa on käytetty jo vuosikymmeniä elokuvissa, mikä on vaatinut CGI-tekniikan käyttöä. Tämä on kuitenkin vaatinut pidemmän renderöintiajan, mutta nykypäivänä säteenseurantaa voi hyödyntää reaaliajassa omalla tietokoneella peliä pelatessa, mikä tukee Ray Tracingia. (Martindale 2021.)

Säteenseuranta nimensä mukaisesti yrittää emuloida valonsäteiden kulkua mahdollisimman realistisesti. Näytönohjaimen pitää laskea kuinka valonsäteet joko heijastuvat, taittuvat tai hajaantuvat erilaisilta pinnoilta. Nvidian RTX Ray tracing ei ole kuitenkaan toimi täysin samanlaisesti kuin oikeassa elämässä, vaan näytönohjain pyrkii tuottamaan suurin piirtein samanlaisen efektin olematta kuitenkaan liian vaativa näytönohjaimen toiminnalle. Ray tracing on näytönohjaimelle kuitenkin suhteellisen raskas ominaisuus, mikä vaikuttaa ruutunopeuden määrään eli fps:ään. (Martindale 2021.)

3.4 Globaalinen sirupula

Melkein jokaisessa elektronisessa laitteessa on jonkinlainen mikrosiru, kuten puhelimessa, autossa, tietokoneessa, pesukoneessa, jääkaapissa ja lista vain jatkuu. Nämä mikrosirut ohjaavat elektronisen laitteen toimintaa eli laitteen toiminta riippuu sirusta. (Feder 2021.)

COVID-19 pandemian takia useat tehtaat joutuivat sulkea ovensa, jonka seurauksena mikrosirujen komponenttien saatavuus katkesi jopa useiksi kuukausiksi. Suuri kysyntä ja tehtaiden tilapäinen sulkeminen johti siihen, että tilaukset kasaantuivat eikä valmistajat pystyneet tuottamaan tarpeeksi siruja kysynnän mukana. (Feder 2021.)

Mikrosirujen valmistusongelman lisäksi logistiikka ei toiminut kunnolla. Aasiassa useat satamat sulkeutuivat välillä jopa kuukausiksi, mukaan lukien Kiinan Yantian-satama, jonka läpi voi kulkea jopa 90 % maailman elektroniikasta. Tämän seurauksena useita satoja rahtilaivoja jäi satamaan odottamaan. (Feder 2021.)

Näytönohjaimien valmistamiseen tarvittavat resurssit olivat myös vähissä. (McLoughlin, A. 2022.) mukaan näytönohjainvalmistajat Nvidia sekä AMD eivät saaneet tarpeeksi materiaaleja vastataksaan suureen kysyntään ja myös tämän johdosta hinnan nousivat korkeuksiin. Näytönohjaimien hinnat alkavat kuitenkin laskea, mutta markkinat voivat olla hyvin epävakaita, joten hintojen ennustaminen on haastavaa.

4 NÄYTÖNOHJAIMIEN VERTAILU

Näytönohjaimien markkinoita hallitsee tällä hetkellä kaksi jättimäistä valmistajaa; Nvidia ja AMD. Molemmat valmistajat puskevat näytönohjaimien suorituskykyä yhä korkeammalle, mutta hinnat pysyvät kilpailun vuoksi kurissa, mikä on erinomaista kuluttajien näkökulmasta. (Loeffler & Thomas 2022.)

Tässä osiossa aion käsitellä ja vertailla hinnoiltaan, suorituskyvyltään vaativissa videopeleissä sekä *videocardbenchmark.fi*:n G3D Mark tulosta, jossa isompi arvo kuvaa parempaa suorituskykyä. Jaan modernit näytönohjaimet kolmeen eri kategoriaan:

- ”Low-end”: edullisia
- ”Mid-end”: keskinkertaisia
- ”High-end”: kalleimmat ja tehokkaimmat

Hintojen vaihdellessa nykypäivänä suhteellisen laajasti, valitsin jokaiseen kategoriaan yhden näytönohjaimen kummaltakin valmistajalta mahdollisimman lähelle toisiaan suorituskyvyltään.

4.1 Low-end

Halvimpaan kategorian näytönohjainvertailuun valitsin Nvidia GeForce GTX 1650 Super ja AMD Radeon RX 6500 XT.

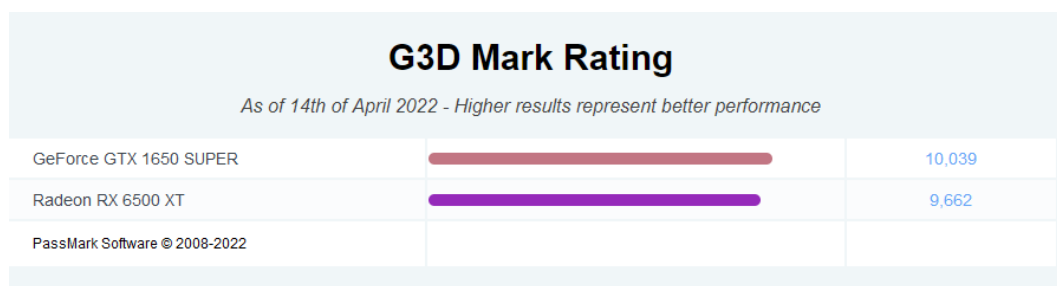
Tässä on lueteltuna Nvidia GeForce GTX 1650 Super-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Base 1530 MHz, Boost 1725 MHz
- Muistin kellotaajuus: 1500 MHz
- Muistin määrä: 4 GB GDDR6
- Muistin nopeus: 12 Gbps
- Nvidia CUDA-ytimiä: 1280

- Virtalähteen suosituskoko: 350W
- Liittimet: DP 1.4a, HDMI 2.0b, DL-DVI-D
(Nvidia. GTX 1650 Super.)
- Hinta: 289,90 € *datatronic.fi*

Seuraavaksi on AMD Radeon RX 6500 XT-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Game Frequency 2610 MHz, Boost 2815 MHz
- Muistin kellotaajuus: 2248 MHz
- Muistin määrä: 4 GB GDDR6
- Muistin nopeus: 18 Gbps
- Stream processors: 1024
- Virtalähteen suosituskoko: 400W
- Liittimet: DP 1.4a, HDMI 2.1
(Techpowerup. GPU Database.)
- Hinta: alkaen 259,00 € *datatronic.fi*



Kuva 3. Low-end suorituskykyvertailu

Kuvasta 3 ilmenee, kuinka lähellä nämä kaksi näytönohjainta ovat teholtansa. RX 6500 XT häviää hieman suorituskyvyssä, mutta se voittaa hinnassa GTX 1650 Superin noin 30 euron erolla.

Walton (2022.) julkaisemassa näytönohjainten suorituskykytestissä vertailtiin ruutunopeutta eri resoluutioilla sekä grafiikoilla 8 pelin kesken: Borderlands 3, Far Cry 6, Flight Simulator, Forza Horizon 5, Horizon Zero Dawn, Red Dead Redemption 2,

Total War: Warhammer 3 sekä Watch Dogs Legion. Näistä peleistä laskettiin ruutunopeuden (fps) yhdistetty keskiarvo. Prosenttimäärä kuvastaa vertailua parhaimman näytönohjaimen tuloksiin. (Walton 2022.)

Graphics Card	1080p Ultra	1080p Medium	1440p Ultra
GeForce GTX 1650 Super	25.1% (33.2fps)	37.7% (67.9fps)	20.2% (23.0fps)
Radeon RX 6500 XT	23.0% (30.4fps)	36.3% (65.4fps)	15.8% (18.0fps)

Kuva 4. Low-end fps-vertailu

GTX 1650 Super vie voiton tässä vertailussa (Kuva 4.) jokaisessa grafiikka-asetuksessa, mutta vain muutamalla fps:llä. 1080p medium-asetuksilla molempien fps-määrä pysyy 60 paremmalla puolella, mutta ultra-asetuksilla määrä tippuu puolella.

4.2 Mid-end

Mid-end-kategoriaan sopivimmat näytönohjaimet olivat Nvidia GeForce 3060 12GB sekä AMD Radeon RX 6600 XT.

Tässä on lueteltuna Nvidia Geforce RTX 3060 12GB-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Base 1320 MHz, Boost 1777 MHz
- Muistin kellotaajuus: 1875 MHz
- Muistin määrä: 12 GB GDDR6
- Muistin nopeus: 15 Gbps
- Nvidia CUDA-ytimiä: 3584
- Virtalähteen suosituskoko: 450W
- Liittimet: 1x HDMI 2.1, 3x DisplayPort 1.4a

(Techpowerup. GPU Database.)

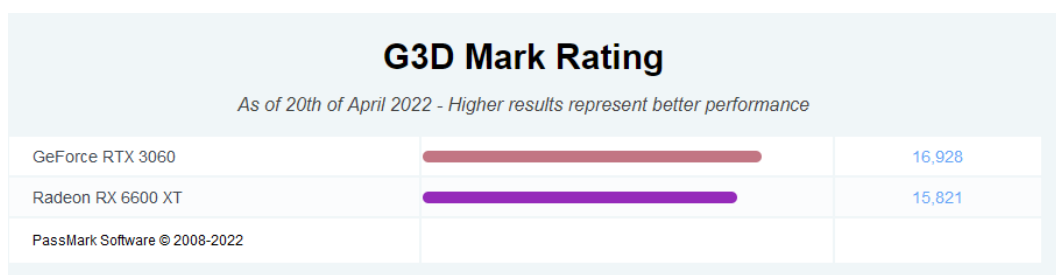
- Hinta: alkaen 529,00 € *datatronic.fi*

Seuraavana on AMD Radeon RX 6600 XT-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Base 1968 MHz, Game 2359 MHz, Boost 2589 MHz
- Muistin kellotaajuus: 2000 MHz
- Muistin määrä: 8 GB GDDR6
- Muistin nopeus: 16 Gbps
- Stream processors: 2048
- Virtalähteen suosituskoko: 450W
- Liittimet: 1x HDMI 2.1, 2x DisplayPort 1.4a

(Techpowerup. GPU Database.)

- Hinta: alkaen 529,90 € *Jimms.fi*



Kuva 5. Mid-end suorituskykyvertailu

Keskikertaisten näytönohjainten vertailussa (Kuva 5.) G3D Mark Rating:ssa voitto menee RTX 3060:lle, mutta kuitenkin kohtuullisella erolla. Näitä kahta näytönohjainta vertaillen näkee, kuinka RX 6600 XT toimii huomattavasti suuremmalla kellotaajuudella kuin RTX 3060, mutta on silti suorituskyvyltään heikompi. Kellotaajuuden määrä ei siis kerro kaikkea näytönohjaimen tehosta, kuten luvussa 3.2.4 tuli ilmi.

Molemmat näytönohjaimet ovat täysin samanhintaisia, mutta kuten aiemmin mainittiin, hinnat liikkuvat todella paljon riippuen mallista, jälleenmyyjästä sekä ajankohdasta.

Graphics Card	1080p Ultra	1080p Medium	1440p Ultra
GeForce RTX 3060	53.0% (70.2fps)	66.0% (118.8fps)	46.2% (52.6fps)
Radeon RX 6600 XT	59.1% (78.2fps)	76.0% (136.8fps)	48.2% (54.9fps)

Kuva 6. Mid-end fps-vertailu

Pelitesteissä (Kuva 6.) tulokset ovat yllättävästi toisinpäin, kuin G3D Mark Ratin-gissa: RX 6600 XT päihittää RTX 3060 jokaisella eri grafiikka-asetuksilla. Isoin ero on keskimmaisessä eli 1080p medium-asetuksilla 18 fps:llä, mutta ero pienenee resoluution ja grafiikkojen kasvaessa.

4.3 High-end

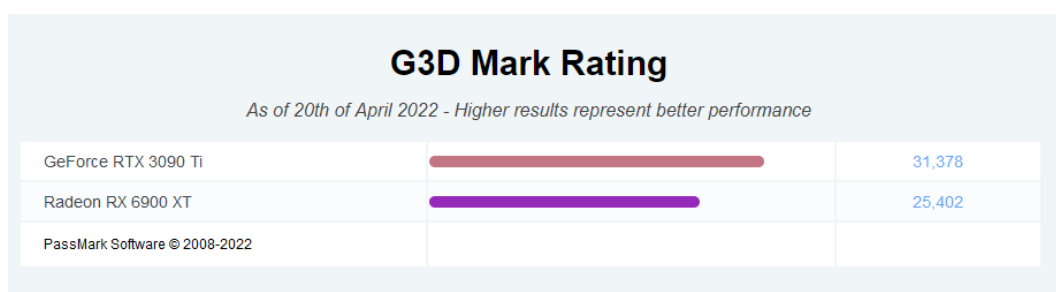
Lopuksi high-end-kategoriaan valitsin kummaltakin valmistajalta tällä hetkellä markkinoiden tehokkaimmat mallit: Nvidia GeForce 3090 Ti sekä AMD Radeon RX 6900 XT.

Alapuolella on Nvidia GeForce RTX 3090 Ti-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Base 1560 MHz, Boost 1860 MHz
- Muistin kellotaajuus: 1313 MHz
- Muistin määrä: 24 GB GDDR6X
- Muistin nopeus: 21 Gbps
- Nvidia CUDA-ytimiä: 10 752
- Virtalähteen suosituskoko: 850W
- Liittimet: 1x HDMI 2.1, 3x DisplayPort 1.4a
(Techpowerup. GPU Database.)
- Hinta: alkaen 2349,90 € *verkkokauppa.com*

Alapuolella on AMD Radeon RX 6900 XT-näytönohjaimen tekniset tiedot:

- Kellotaajuus: Base 1825 MHz, Game 2015 MHz, Boost 2250 MHz
- Muistin kellotaajuus: 2000 MHz
- Muistin määrä: 16 GB GDDR6
- Muistin nopeus: 16 Gbps
- Stream processors: 2048
- Virtalähteen suosituskoko: 700W
- Liittimet: 1x HDMI 2.1, 2x DisplayPort 1.4a, 1x USB Type-C
(Techpowerup. GPU Database.)
- Hinta: alkaen 1349,90 € *Jimms.fi*



Kuva 7. High-end suorituskykyvertailu

High-end suorituskykyvertailussa (Kuva 7.) voitto menee huomattavalla erolla RTX 3090 Ti:lle. Nämä kaksi näytönohjainta edustavat tehokkaimpia ja tällä hetkellä kalleimpia malleja varsinkin pelikäyttöön. Varsinkin RTX 3090 Ti:tä on yksittäisen kuluttajan hyvin vaikeaa saada käsiin ison kysynnän takia.

RX 6900 XT toimii suuremmilla kellotaajuuksilla, mutta RTX 3090 Ti:ssä muistia on 50% enemmän ja muistin nopeus on myös huomattavasti suurempi kuin RX 6900 XT:ssä.

RTX 3090 Ti:n CUDA-ytimien määrä on huikeat 10 752, mikä on 3 kertaa enemmän kuin mid-end-vertailun RTX 3060-näytönohjaimessa. CUDA-ytimien ja Stream processorien vertailu määrinä on haastavaa, sillä niiden teknologia poikkeaa toisistaan, vaikka edustavatkin periaatteessa samaa asiaa.

Äärimmäisen suorituskyvyn lisäksi nämä kaksi mallia vaativat myös suuren määrän virtaa toimiakseen, minkä huomaa virtalähteen suosituskoossa: RX 6900 XT:n suosituskoko on 700W ja RTX 3090 Ti:n huikea 850W.

Graphics Card	1080p Ultra	1080p Medium	1440p Ultra	4K Ultra
GeForce RTX 3090 Ti	100.0% (132.4fps)	100.0% (180.1fps)	100.0% (113.9fps)	100.0% (75.7fps)
Radeon RX 6900 XT	98.6% (130.6fps)	103.4% (186.2fps)	94.0% (107.0fps)	83.1% (62.9fps)

Kuva 8. High-end fps-vertailu

High-end näytönohjaimien pelivertailussa (Kuva 8.) RX 6900 XT voitti yllättävästi 1080p medium-grafiikoilla 6,1 fps:llä, mutta RTX 3090 Ti vei voiton 1080p Ultrassa, 1440p Ultrassa sekä 4K Ultrassa, jossa oli merkittävä 12,8fps ero.

Tämänhetkisiä hintoja vertaillen RX 6900 XT on merkittävästi halvempi, vaikka suorituskyvyssä ei ole kuitenkaan paljoa eroa pelikäytössä. Tästä voikin päätellä kuinka paljon parempi hinta-tehosuhde AMD:n mallissa on verrattuna Nvidian malliin, kun kyse on kaikista tehokkaimpien näytönohjaimien vertailu.

Suuren kysynnän ja hinnan takia RTX 3090 Ti:tä on erittäin vaikeaa saada käsiinsä, jonka takia edullisemmat, mutta silti erittäin tehokkaat Nvidian RTX 3080 ja 3080 Ti-versiot ovatkin enemmän suosittuja. Harvemmillä satunnaisella pelaajalla on varaa tai halua käyttää yli 2300 euroa pelkkään näytönohjaimeen, kun samalla hinnalla saisi ostettua erittäin pätevän pelitietokoneen kokonaisuudessaan.

5 YHTEENVETO

Vertailin tällä hetkellä markkinoiden kahden suurimman näytönohjaimien valmistajien, AMD:n sekä Nvidia:n näytönohjaimia kolmessa eri kategoriassa:

- ”Low-end”: edullisia
- ”Mid-end”: keskinkertaisia
- ”High-end”: kalleimmat ja tehokkaimmat

Low-end-osiossa vertailun kohteena oli Nvidia GTX 1650 Super ja AMD Radeon RX 6500 XT. AMD:n versio oli 30 euroa halvempi kuin GTX 1650 Super, mutta hävisi niukasti suorituskyvyssä niin G3D Mark Rating:ssa kuin pelitesteissäkin.

Mid-end-kategorian Nvidia RTX 3060 sekä AMD Radeon RX 6600 XT välillä eroa oli enemmän tehon puolesta kuin low-end-vertailussa. Molemmat näytönohjaimet olivat samanhintaisia, mutta RTX 3060 suoriutui merkittävästi paremmin molemmissa testeissä.

High-end-vertailussa otettiin mittaa kummankin valmistajan tehokkaimmista malleista, jossa Nvidian RTX 3090 Ti vei voiton AMD Radeon 6900 XT:tä vastaan. G3D Mark Rating:ssa suorituskyvyn ero oli huomattavan suuri, mutta itse pelitesteissä fps-määrät liikkuvat suhteellisen lähellä toisiaan. RTX 3090 Ti sai kaikissa muissa grafiikka- ja resoluutioasetuksissa enemmän frameja irti paitsi 1080p medium:lla. Näiden kahden välillä hintaeroa oli kaikista eniten, sillä vertailua tehdessä RX 6900 XT:n hinta oli alkaen 1349,90€ ja RTX 3090 Ti:n hinta taas huikeat 2349,90€.

5.1 Päätelmät

Molempien valmistajien näytönohjaimet suoriutuivat suhteellisen lähellä toisiaan niin hinnoiltaan kuin tehoiltaan, mutta Walton (2022.) mukaan Nvidia kuitenkin hallitsee näytönohjainmarkkinoita, vaikka AMD tuottaaakin erinomaisia näytönohjaimia. Nvidian näytönohjaimet ovat niin teknologialtaan, suorituskyvyltään kuin

ominaisuuksiltaan parempi ottaen huomioon esimerkiksi DLSS:n sekä Ray Tracing:n.

LÄHTEET

Bitcoinkeskus. 2020. Erilaisia tapoja osallistua kryptovaluuttojen louhintaan Viitattu 25.2.2022. <https://bitcoinkeskus.com/erilaisia-tapoja-osallistua-kryptovaluuttojen-louhintaan/>

Clancy, M. 2022. What's the diff: RAM vs storage. Viitattu 12.4.2022. <https://www.backblaze.com/blog/whats-diff-ram-vs-storage/>

Cosic, A. 2021. How much VRAM do you need for gaming? Viitattu 18.3.2022. <https://www.gpumag.com/how-much-vram-gaming/>

Crucial. SSD vs. HDD: Know the difference. Viitattu 12.4.2022. <https://www.crucial.com/articles/about-ssd/ssd-vs-hdd>

Damjanović, G. 2022. Difference between memory and core clock speed. Viitattu 23.3.2022. <https://levvvel.com/difference-memory-core-clock-speed/>

Feder, S. 2021. Understanding the global chip shortage, a big crisis involving tiny components. Viitattu 31.3.2022. <https://www.popsci.com/technology/global-chip-shortage/>

Fifthgeek. 2021. GPU Memory clock speed, core clock speed, and more. Viitattu 16.3.2022. <https://www.fifthgeek.com/memory-clock/>

Fisher, T. 2020. Computer power supply. Viitattu 13.4.2022. <https://www.lifewire.com/power-supply-unit-2618158>

Glawion, A. 2021. CUDA cores vs Stream processors. Viitattu 14.3.2022. <https://www.cgdirector.com/cuda-cores-vs-stream-processors/>

Harding, S. 2020. What is an M.2 SSD? A Basic Definition. Viitattu 12.4.2022. <https://www.tomshardware.com/reviews/glossary-m2-definition,5887.html>

Harding, S. 2021. What is Nvidia DLSS? A basic definition. Viitattu 23.3.2022. <https://www.tomshardware.com/reference/what-is-nvidia-dlss>

Harper, C. 2022. What is the best GPU for video editing and rendering? Viitattu 22.5.2022. <https://www.cgdirector.com/best-gpu-for-editing-rendering/>

Intel. Viitattu 22.5.2022. <https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/power-supply.html>

Intel. Viitattu 18.2.2022. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/processors/what-is-a-gpu.html>

James, D & Szewczyk, C. 2022. Best CPU coolers in 2022. Viitattu 22.5.2022. <https://www.pcgamer.com/best-cpu-coolers/>

Jimms. Viitattu 18.2.2022. <https://www.jimms.fi/fi/Pages/Oppaat/abc-3>

Jones, R. 2021. What is a CPU? A beginner's guide to processors. Viitattu 8.2.2022. <https://www.trustedreviews.com/news/what-is-a-cpu-2950255>

Loeffler, J. & Thomas, J. 2022. AMD vs Nvidia 2022: who is the graphics card champion? Viitattu 28.4.2022. <https://www.techradar.com/news/computing-components/graphics-cards/amd-vs-nvidia-who-makes-the-best-graphics-cards-699480>

Martindale, J. 2021. What is RAM? Viitattu 12.4.2022. <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-ram/>

Martindale, J. 2021. What is ray tracing, and how will it change games? Viitattu 12.4.2022. <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-ray-tracing/>

Martindale, J. 2021. What is a CPU? Viitattu 22.5.2022. <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-a-cpu/>

McLoughlin, A. 2022. Could the graphics card shortage be nearing its end? Viitattu 23.5.2022. <https://www.gamesradar.com/graphics-card-shortage/>

Nvidia. Viitattu 14.4.2022. <https://www.nvidia.com/fi-fi/geforce/graphics-cards/gtx-1650-super/>

Osakesijoittaja. Viitattu 25.2.2022. <https://osakesijoittaja.fi/bitcoin-louhinta/>

Stoltzfus, J. 2022. Multithreading. Viitattu 22.5.2022. <https://www.techopedia.com/definition/24297/multithreading-computer-architecture>

Techpowerup. Viitattu 14.4.2022. <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-gtx-1650-super.c3411>

Techpowerup. Viitattu 14.4.2022. <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/radeon-rx-6500-xt.c3850>

Tyson, J. Wilson, T. & Homer, T. 2021. How graphics cards work. Viitattu 16.2.2022. <https://computer.howstuffworks.com/graphics-card.htm>

Videocardbenchmark. Viitattu 14.4.2022. <https://www.videocardbenchmark.net/compare/GeForce-GTX-1650-SUPER-vs-Radeon-RX-6500-XT/4167vs4488>

Villinger, S. 2022. SSD vs HDD: Which do you need? Viitattu 11.4.2022. <https://www.avast.com/c-ssd-vs-hdd>

Walton, J. 2022. GPU benchmarks and hierarchy 2022: Graphics cards ranked. Viitattu 15.6.2022. <https://www.tomshardware.com/reviews/gpu-hierarchy,4388.html>

Zandbergen, P. 2021. What is a Motherboard? - Definition, Function & Diagram. Study. Viitattu 15.12.2021. <https://study.com/academy/lesson/what-is-a-motherboard-definition-function-diagram.html>