

# **Datakeskusten sijainnin vaikutus niiden ekologiseen kestävyyteen**

Ilmaston vaikutus datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytykseen ja vedenkäyttöön

Maantiede

LuK-tutkielma

Aurora Toppari

30.4.2026

Turku

**Tutkinto-ohjelma, oppiaine:** Luonnontieteiden kandidaatti, Maantiede

**Tekijä:** Aurora Toppari

**Otsikko:** Datakeskusten sijainnin vaikutus niiden ekologiseen kestävyys: Ilmaston vaikutus datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytykseen ja vedenkäyttöön

**Ohjaaja:** yliopistonlehtori, maantieteen dosentti Joni Mäkinen

**Sivumäärä:** 36 sivua

**Päivämäärä:** 30.4.2026

Datakeskusten merkitys on kasvanut kiihtyvän digitalisaation ja tekoälyn kehityksen myötä, mutta samalla niiden energiankulutus, jäähdytystarve ja vedenkäyttö ovat nostaneet esiin kysymyksiä niiden ekologisesta kestävydestä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan datakeskusten sijainnin vaikutusta niiden ekologiseen kestävyys. Tavoitteena on selvittää, miten ilmasto vaikuttaa datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytysratkaisuihin ja vedenkäyttöön sekä arvioida näiden tekijöiden perusteella datakeskusten sijoittumisen ekologista kestävyttä.

Tutkimus on kirjallisuuskatsaukseen perustuva laadullinen tutkimus. Aineisto koostuu pääasiassa vertaisarvioituista tieteellisistä artikkeleista sekä niitä täydentävistä kansainvälisten organisaatioiden julkaisuista, toimialaraporteista ja ajankohtaisista uutislähteistä. Datakeskusten maantieteellistä sijoittumista tarkastellaan kartta-aineiston avulla suhteessa Wladimir Köppenin ilmastovyöhykkeisiin ja maapallon lämpövyöhykkeisiin.

Tulosten perusteella datakeskukset keskittyvät erityisesti lauhkeisiin ja kylmäntalvisiin ilmastoihin, joissa viileämmät olosuhteet tukevat energiatehokasta jäähdytystä. Datakeskuksia sijaitsee kuitenkin runsaasti myös lämpimissä, trooppisissa ja kuivissa ilmastoissa, joissa jäähdytykseen kuluu enemmän energiaa ja vettä. Tutkimus osoittaa, että ilmastolla on merkittävä vaikutus datakeskusten ekologiseen kestävyys, mutta sijoittumista ohjaavat voimakkaasti myös markkinoiden läheisyys, paikallinen infrastruktuuri, energian saatavuus ja poliittiset olosuhteet. Johtopäätöksenä todetaan, että datakeskusten ekologinen kestävyys rakentuu ilmaston, teknologian ja energiaratkaisujen yhteisvaikutuksesta.

**Avainsanat:** datakeskukset, sijainti, ekologinen kestävyys, ilmasto, energiankulutus, jäähdytys, vedenkäyttö

# Sisällysluettelo

|            |                                                                             |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Johdanto</b>                                                             | <b>4</b>  |
| <b>2</b>   | <b>Teoreettinen viitekehys</b>                                              | <b>6</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Datakeskukset</b>                                                        | <b>6</b>  |
| 2.1.1      | Datakeskusten historia ja käyttötarkoitus                                   | 6         |
| 2.1.2      | Erilaiset datakeskustyyppit                                                 | 7         |
| <b>2.2</b> | <b>Datakeskusten energiantensiivisyys</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>2.3</b> | <b>Datakeskusten jäähdytysjärjestelmät</b>                                  | <b>9</b>  |
| 2.3.1      | Yleiskatsaus jäähdytysjärjestelmiin                                         | 9         |
| 2.3.2      | Vesikiertoinen jäähdytysjärjestelmä                                         | 10        |
| 2.3.3      | Vapaa jäähdytys                                                             | 10        |
| 2.3.4      | Suora nestejäähdytys ja upotusjäähdytys                                     | 10        |
| <b>2.4</b> | <b>Datakeskusten vedenkulutus</b>                                           | <b>11</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Ekologinen kestävyys</b>                                                 | <b>12</b> |
| 2.5.1      | Kestävä kehitys ja Agenda 2030                                              | 12        |
| 2.5.2      | Ekologinen kestävyys ja datakeskustoiminta                                  | 12        |
| <b>2.6</b> | <b>Datakeskusten strateginen sijoittuminen ja aluesuunnittelu</b>           | <b>13</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Ilmasto- ja lämpövyöhykkeet</b>                                          | <b>14</b> |
| <b>3</b>   | <b>Aineisto ja menetelmät</b>                                               | <b>18</b> |
| <b>4</b>   | <b>Tulokset</b>                                                             | <b>20</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Datakeskusten jakautuminen maailmassa ja sijainti eri ilmastoissa</b>    | <b>20</b> |
| 4.1.1      | Yhdysvallat                                                                 | 22        |
| 4.1.2      | Eurooppa                                                                    | 23        |
| 4.1.3      | Itä- ja Kaakkois-Aasia                                                      | 24        |
| <b>5</b>   | <b>Keskustelu</b>                                                           | <b>26</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Ilmaston vaikutus datakeskusten energiankulutukseen ja jäähdytykseen</b> | <b>26</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Ilmaston vaikutus datakeskusten vedenkäyttöön</b>                        | <b>27</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Datakeskusten sijoittuminen ekologisen kestävyys näkökulmasta</b>        | <b>28</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Tutkimuksen rajoitteet ja jatkotutkimusaiheet</b>                        | <b>30</b> |
| <b>6</b>   | <b>Johtopäätökset</b>                                                       | <b>32</b> |
|            | <b>Lähteet</b>                                                              | <b>33</b> |

## 1 Johdanto

Datakeskukset ovat nousseet laajasti esiin yhteiskunnallisessa ja tieteellisessä keskustelussa tekoälyn nopean kehityksen ja kasvavan energiankulutuksen sekä näihin liittyvien ympäristövaikutusten vuoksi. Datakeskukset ovat laitoksia, joissa tallennetaan ja käsitellään digitaalista tietoa, ja jotka mahdollistavat erilaisten verkkopalvelujen toiminnan.

Useissa laajasti uutisoiduissa tapauksissa datakeskusten toiminta on yhdistetty ympäristövahinkoihin, kriiseihin ja yhteiskunnallisiin konflikteihin (Gayle 2026; Geiger 2026; Paddison 2026; Washington 2026). Keskeisiä tarkasteluteemoja ovat datakeskusten energiantuotannon ympäristövaikutukset sekä vesivarojen ylikulutus datakeskusten jäähdytysjärjestelmissä. Näiden ympäristövaikutusten suuruus ja luonne vaihtelevat datakeskusten sijainnin mukaan, sillä alueelliset erot ilmasto-olosuhteissa, vesivarojen saatavuudessa ja energiantuotannon rakenteessa vaikuttavat merkittävästi datakeskusten ekologiseen kestävyYTEEN.

Ekologinen kestävyys tarkoittaa luonnonvarojen käyttöä niin, että ekosysteemien elinvoimaisuus ja monimuotoisuus säilyvät myös tuleville sukupolville. Datakeskusten toiminta kytkeytyy ekologiseen kestävyYTEEN joko suoraan energiankulutuksen ja vedenkäytön kautta tai välillisesti ympäristövaikutusten ja ekosysteemipaineiden kautta. Ekologisesti kestävä lähestymistapa varmistaa, että datakeskukset pystyvät vastaamaan tämän päivän tarpeisiin ja ottamaan samalla vastuun elinkelpoisen maailman säilymisestä tuleville sukupolville (Ayyildiz ym. 2025).

Kiihtyvän digitalisaation ja tekoälyn kehittymisen myötä kasvaneet laskentateho-, datavarasto- ja energiavaatimukset ovat lisänneet tarvetta uusille datakeskuksille ja vauhdittaneet niiden rakentamista (Ayyildiz ym. 2025). Maailmassa on yli 12 000 käytössä olevaa datakeskusta, joista suurin osa sijaitsee Yhdysvalloissa ja Euroopassa (Leichter 2026). Ympäristövaikutukset kasvavat entistä huolestuttavimmiksi, kun datakeskusten määrä ja energiankulutus kasvavat (Chauhan 2024).

Datakeskukset kuluttavat noin 400 terawattituntia (TWh) sähköä vuodessa, mikä on noin 2 % koko maailman sähkönkulutuksesta (Ayyildiz ym. 2025). Kulutuksen ennustetaan kasvavan tulevaisuudessa. Kansainvälinen energiajärjestö IEA (International Energy Agency) arvioi, että

vuonna 2030 datakeskusten energiankulutus on jopa 945 TWh eli lähes 3 % koko maailman sähkönkulutuksesta (IEA 2026). Datakeskusten korkea energiankulutus aiheuttaa merkittävän ongelman myös ekologisen kestävyyskannalta (Ayyildiz ym. 2025). Energiankulutus vaikuttaa suoraan esimerkiksi hiilidioksidipäästöihin, mikä kiihdyttää ilmastonmuutosta.

Jäähdytysjärjestelmät ovat datakeskuksille välttämättömiä, jotta teknologiset laitteet voivat toimia turvallisesti ja luotettavasti (Ahmed 2025). Lähes kaikki datakeskuksessa kuluva sähkö muuttuu lämmöksi, joka on poistettava jäähdytysjärjestelmän avulla. Datakeskukset kuluttavat vettä suoraan jäähdytykseen sekä epäsuorasti sähköntuotannon kautta (Mytton 2021). Joissain tapauksissa jopa 57 % jäähdytykseen käytetystä vedestä on ollut juomakelpoista. Datakeskusten vedenkäyttö on aiheuttanut kiistaa erityisesti alueilla, joilla vesivarat ovat niukat.

Datakeskusten ympäristövaikutusten hillitsemiseksi sekä energiatehokkuuden parantamiseksi on otettava huomioon useita tekijöitä (Ayyildiz ym. 2025). Yksi tärkeimmistä tekijöistä on sijainti. Datakeskusten sijaintivalintaan vaikuttavat ympäristölliset, taloudelliset ja sosiaaliset kriteerit, kuten alueen turvallisuus sekä sähkön, veden ja maa-alan saatavuus. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sijaintitekijänä erityisesti ilmasto-olosuhteita, sillä ilmastolla on merkittävä vaikutus datakeskusten ekologiseen kestävyyskannalta energiankulutuksen ja jäähdytysteknologioiden kautta.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten datakeskukset sijoittuvat, ja miten sijainti vaikuttaa niiden ekologiseen kestävyyskannalta. Tarkastelun kohteena ovat ilmaston vaikutukset datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytysratkaisuihin ja vedenkäyttöön eri ilmastoissa. Tutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten datakeskukset sijoittuvat eri ilmastoihin ja miten ilmasto vaikuttaa niiden energiankulutukseen, jäähdytysratkaisuihin ja vedenkäyttöön?
2. Kuinka ekologisesti kestävä datakeskusten nykyinen sijoittuminen on ilmasto-olosuhteiden näkökulmasta?

## 2 Teoreettinen viitekehys

### 2.1 Datakeskukset

#### 2.1.1 Datakeskusten historia ja käyttötarkoitus

Datakeskukset eli palvelinkeskukset (myös tietokonesalit tai konesalit) muodostavat keskeisen infrastruktuurin, jonka varaan verkkopalvelut ja tietojenkäsittely rakentuvat (Buyya ym. 2009). Palvelimet ovat datakeskuksissa sijaitsevia tietokonejärjestelmiä, jotka tarjoavat tietojenkäsittely-, tallennus- tai verkkopalveluja muille laitteille tai käyttäjille verkon välityksellä.

Ensimmäiset datakeskukset syntyivät tarpeesta keskittää palvelimien sähkönjakelu ja jäähdytys yhteen hallittuun tilaan, koska palvelimet kuluttavat merkittävästi sähköä ja tuottavat paljon lämpöä (Barroso ym. 2018). Sana *datakeskus* tulee englannin kielestä (*data center*, brittienglannissa *data centre*) ja tarkoittaa nimensä mukaisesti paikkaa, johon tiedon eli datan käsittely on keskitetty. Datakeskuksia on aiemmin määritelty myös niissä säilytetyn datan perusteella: esimerkiksi väestönlaskentadatalle oli omat datakeskuksensa (Edwards ym. 2024).

Datakeskusten kehityksessä tapahtui merkittävä murros 2000-luvulla, kun Google rakensi vuonna 2005 ensimmäisen niin kutsutun konttipohjaisen datakeskuksen (Barroso ym. 2018). Konttipohjainen datakeskus viittaa palvelinkokonaisuuteen, jossa palvelimet ja niitä tukevat järjestelmät on koottu konttimaiseksi, valmiiksi yksiköksi. Konttipohjaiset datakeskukset mullistivat datakeskusten tuotantologiikan kohti teollista, standardoitua ja laajennettavaa infrastruktuuria.

Datakeskusmurrosta vauhditti laskennan kehittyminen 2000-luvulla, jolloin alettiin tuottaa ja kuluttaa digitaalisia palveluja muiden hyödykepalveluiden, kuten sähkön, veden ja puhelinliikenteen tavoin (Buyya ym. 2009). Laskenta viittaa tietokoneiden suorittamaan digitaaliseen tiedonkäsittelyyn, joka tapahtuu palvelimissa. Se voi olla esimerkiksi datan laskemista, tallentamista tai analysoimista. Pilvilaskennan kehittyminen on ollut keskeinen tekijä tässä murroksessa ja se on johtanut entistä suurempien ja keskitetympien datakeskusten syntyyn. Pilvilaskenta mahdollistaa laskentaresurssien joustavan, mukautettavan ja palveluna tarjottavan käytön.

### 2.1.2 Erilaiset datakeskustyytit

Datakeskuksia on olemassa lukuisia eri käyttötarkoituksia varten, ja ne vaihtelevat kooltaan pienistä yritysten sisäisistä palvelinkaapeista (alle 10 m<sup>2</sup>) aina maailman suurimpiin hyperskaalan datakeskuksiin, joiden pinta-ala voi olla jopa 90 jalkapallokentän verran (yli 650 000 m<sup>2</sup>) (Edwards ym. 2024). Datakeskuksia voidaan luokitella useiden eri kriteerien perusteella, kuten omistuksen, laskenta- ja tallennusteknologioiden, koon, sijainnin, käyttötarkoituksen sekä energiatehokkuuden mukaan (Cisco 2026).

Maaailman johtavan tietoliikenne- ja IT-tekniologiayrityksen Cisco Systemsin luokittelun mukaan datakeskukset voidaan jakaa kuuteen eri tyyppiin: *enterprise*-, *managed services*-, *colocation*-, pilvi-, hyperskaala- ja tekoälydatakeskuksiin (Cisco 2026). Uusin datakeskustyyppi on tekoälydatakeskus. Niin kutsutut perinteiset datakeskukset ovat kaikista yleisimpiä (Edwards ym. 2024). Perinteisiä datakeskustyypppejä ovat *enterprise*-datakeskukset eli yritysten omistuksessa olevat datakeskukset, *managed services* -datakeskukset, joita yritykset vuokraavat käyttöönsä kolmannelta osapuolelta sekä *colocation*-datakeskukset eli yhteiskäyttöiset datakeskukset (Cisco 2026; Kumar & Pindoriya 2026).

Pilvidatakeskukset (engl. *cloud data center*) ja hyperskaalan datakeskukset (engl. *hyperscale data center*) muodostavat erillisen luokkansa (Cisco 2026; Kumar & Pindoriya 2026).

Hyperskaalan datakeskukset ovat poikkeuksellisia, sillä ne on suunniteltu tukemaan tehokkaasti erittäin suuria työkuormia ja laajentamaan kapasiteettiaan joustavasti maailmanlaajuisen kysynnän kasvaessa. Tyypillisesti hyperskaalan datakeskukset ovat yli 900 neliömetrin kokoisia ja niiden sähkönkulutus on keskimäärin yhden megawatin (MW) verran (Leichter 2026). Pilvipalvelujen varsinainen laskenta ja tallennus tapahtuvat näissä hyperskaalan datakeskuksissa, jotka ovat pilvipalvelutarjoajien, kuten Microsoft Azuren, Amazon Web Servicesin (AWS) ja Google Cloudin, omistuksessa (Kumar & Pindoriya 2026; Leichter 2026). Maailmassa on yli tuhat hyperskaalan datakeskusta, ja niiden kasvun ennustetaan jatkuvan yli sadalla uudella datakeskuksella vuodessa (Leichter 2026).

Lisäksi on olemassa kryptolouhintaan tarkoitettuja datakeskuksia (Edwards ym. 2024).

Kryptolouhintadatakeskukset eivät aina sijaitse yhdessä paikassa, vaan ne rakennetaan usein liikkuvina palvelinkokonaisuuksina, jotka voidaan pakata niille tarkoitettuihin kuljetuskontteihin ja siirtää alueelle, jossa energia on halvinta tai sitä on runsaasti saatavilla.

Datakeskukset voivat olla myös maantieteellisesti hajautettuja, mikä tarkoittaa, että ne sijaitsevat useissa eri sijainneissa, mutta toimivat yhteenliitettyssä verkossa (Kumar & Pindoriya 2026). Hajautetun datakeskustyyppin etuna on asiakasläheisyys ja parempi toimintavarmuus esimerkiksi luonnonkatastrofien varalta. Hajautetuissa datakeskuksissa voidaan myös hyödyntää alueellisia sähköhintoja ja saatavilla olevia uusiutuvia energialähteitä.

## **2.2 Datakeskusten energiantensiivisyys**

Datakeskukset kuuluvat kaikista energiantensiivisimpien laitosten joukkoon (Kumar & Pindoriya 2026). Niiden ympärivuorokautinen toiminta edellyttää luotettavaa ja tehokasta sähkönsyöttöä. Datakeskusten energiankulutukseen vaikuttavat pääasiassa laskentateho, tallennustila ja jäähdytys (Chauhan 2024).

Datakeskusten sähkökuormat voidaan jakaa IT-kuormiin (tietotekniikkalaitekuormat), ei-IT-kuormiin ja lämpökuormiin (Kumar & Pindoriya 2026). IT-kuormat koostuvat palvelimista, tallennusjärjestelmistä ja viestintälaitteista, kun taas ei-IT-kuormaan lukeutuvat turvajärjestelmät, sähköjakelujärjestelmät ja valaistuskuormat. Lämpökuorma syntyy jäähdyttimistä, jäähdytystorneista sekä konesalien ilmankäsittelylaitteista. Jäähdytysjärjestelmät voivat muodostaa jopa 40 % datakeskusten energiankulutuksesta (Chauhan 2024; Huang ym. 2024; Ahmed 2025).

Datakeskusten maailmanlaajuinen sähkönkulutus on noin 400 terawattituntia (TWh), mikä on noin 2 % koko maailman sähkönkulutuksesta (Ayyildiz ym. 2025). Yleensä kryptolouhintadatakeskusten sähkönkulutusta ei lasketa tähän lukuun mukaan, vaikka jo pelkästään bitcoin-louhinnan sähkönkulutus on noin 100–140 TWh (Edwards ym. 2024; Ayyildiz ym. 2025). Bitcoin on yksi kryptovaluutoista, joita louhitaan kryptolouhintadatakeskuksissa.

Keskikokoisen datakeskuksen jatkuva sähköteho on noin 15 MW (Mytton 2021). Vastaava sähköteho on noin 7 500 – 15 000 omakotitalon yhteenlasketulla sähkönkulutuksella. Datakeskukset ovat merkittäviä sähkönkuluttajia, ja esimerkiksi Irlannissa datakeskusten osuus koko maan sähkönkulutuksesta oli vuonna 2022 17 % vuonna 2022 (Kumar & Pindoriya 2026).

IT-tehokapasiteetti kuvaa yhteenlaskettua enimmäissähkötehoa, johon jokin infrastruktuuri on mitoitettu. IT-tehokapasiteetti ei siis viittaa kokoaikaiseen sähkönkulutukseen vaan enimmäiskapasiteettiin. Maailmanlaajuinen datakeskuskapasiteetti (IT-tehokapasiteetti) oli 122,2 gigawattia (GW) vuonna 2025, mikä vastaa kymmenien ydinvoimaloiden yhteenlaskettua tehoa (Leichter 2026). Hyperskaalan datakeskusten osuus maailmanlaajuisesta datakeskuskapasiteetista on 44 % ja osuuden ennustetaan kasvavan 61 %:iin vuoteen 2030 mennessä.

Datakeskusten kasvava energiantarve voi lisätä hiilidioksidipäästöjä jopa kahdeksalla gigatonnilla (Gt) vuoteen 2030 mennessä (Kumar & Pindoriya 2026). Tämä vastaa noin viidesosaa maailman vuotuisista hiilidioksidipäästöistä. Energiankulutusta voidaan yrittää vähentää muun muassa jäähdytysjärjestelmien kautta, kehittämällä datakeskusten infrastruktuuria energiatehokkaammaksi tai parantamalla sähkönsyöttöä.

## **2.3 Datakeskusten jäähdytysjärjestelmät**

### **2.3.1 Yleiskatsaus jäähdytysjärjestelmiin**

Datakeskusten palvelintilat tuottavat merkittävän määrän lämpöä, koska lähes kaikki datakeskuksissa kuluva sähkö muuttuu lämmöksi (Capozzoli & Primiceri 2015; Ahmed 2025; Kumar & Pindoriya 2026). Lämpö on poistettava jäähdytysjärjestelmän avulla, jotta laitteet voivat toimia turvallisesti ja luotettavasti. Jäähdytysjärjestelmä on tästä syystä datakeskuksille välttämätön.

Datakeskusten jäähdyttämiseen on useita erilaisia järjestelmiä ilmapohjaisista (engl. *air-cooled systems*) vesipohjaisiin järjestelmiin (engl. *water-cooled systems*) (Ahmed 2025). Ilmapohjaiset jäähdytysjärjestelmät käyttävät tuulettimia ja mekaanista ilmastointia lämmön poistamiseen. Vesipohjaiset jäähdytysjärjestelmät käyttävät puolestaan vettä jäähdytykseen jäähdyttimien tai jäähdytystornien kautta.

Vaikka ilmapohjaiset jäähdytysjärjestelmät ovat yleisiä ja helppokäyttöisiä, niiden jäähdytysteho ei ole riittävä vastaamaan datakeskusten kasvaviin jäähdytystarpeisiin (Xu ym. 2023). Vesipohjaiset jäähdytysjärjestelmät, vapaajäähdytys sekä kohdennetut jäähdytysjärjestelmät, kuten neste- ja upotusjäähdytys, ovat tehokkaampia jäähdytysratkaisuja.

### 2.3.2 Vesikiertoinen jäähdytysjärjestelmä

Vesikiertoinen jäähdytysjärjestelmä (engl. *chilled water cooling system* tai *chiller-based cooling*) kuuluu nimensä mukaisesti vesipohjaisiin jäähdytysjärjestelmiin. Vesikiertoinen jäähdytysjärjestelmä on yksi yleisimmin käytetyistä jäähdytysjärjestelmistä. Se koostuu jäähdytystorneista, jäähdyttimistä, pumpuista, tarkkuusilmastointiyksiköistä ja ilmapuhaltimilaitteista (Kumar & Pindoriya 2026). Jäähdytysprosessi on syklinen: 1) Ensin kylmä vesi johdetaan jäähdyttimeen jäähdytystornien kautta. 2) Tämän jälkeen jäähdytetty vesi kierretään pumppujen avulla ilmapuhaltimilaitteisiin, jotka jäähdyttävät ilmavirtaa jäähdytetyn veden avulla. 3) Lopuksi kylmä ilma siirretään viilennettäviin palvelintiloihin. Näin saadaan ylläpidettyä laitteille tarkoitettua toimintalämpötilaa.

### 2.3.3 Vapaa jäähdytys

Vapaa jäähdytys on jäähdytysmenetelmä, jossa hyödynnetään ulkoilman tai luonnonvesien alhaisempaa lämpötilaa joko suoraan tai epäsuorasti (Capozzoli & Primiceri 2015; Xu ym. 2023). Menetelmää ei tule sekoittaa ilmapohjaisiin jäähdytysjärjestelmiin. Suorassa ilmapohjaisessa vapaa jäähdytyksessä suodatettu ulkoilma johdetaan palvelinsaliin jäähdyttämään laitteita (Capozzoli & Primiceri 2015; Mytton 2021; Xu ym. 2023). Epäsuorassa ilmapohjaisessa vapaa jäähdytyksessä ulkoilma ei pääse suoraan sisätilaan, vaan lämpö siirtyy sisä- ja ulkoilman välillä lämmönvaihtimen kautta.

Vesipohjainen vapaa jäähdytys hyödyntää luonnollista kylmää vettä, jota saadaan esimerkiksi merestä tai järvistä (Xu ym. 2023). Merivesijäähdytyksessä vesi kulkee lämmönvaihtimien läpi samalla kun datakeskuksen sisäinen makea vesi kiertää erillisessä kierrossa (Mytton 2021). Lämmönvaihtimessa lämpö siirtyy datakeskustoiminnassa lämmentyneestä sisäisestä vedestä kylmään meriveteen ilman, että vedet sekoittuvat keskenään. Kun merivesi on ottanut vastaan lämpöä, se johdetaan takaisin mereen. Lämmentynyt merivesi viilennetään ennen mereen laskemista sekoittamalla sitä kylmän meriveden kanssa ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

### 2.3.4 Suora nestejäähdytys ja upotusjäähdytys

Suora nestejäähdytys sekä upotusjäähdytys ovat yleistymässä, koska tekoälyn ja pilvipalvelujen luomat suuren tehokkuuden ympäristöt haastavat perinteisiä ilmapohjaisia

jäähdytysmenetelmiä (Xu ym. 2023; Chauhan 2024; Kumar & Pindoriya 2026). Perinteisessä jäähdytyksessä säädellään koko huoneen lämpötilaa, kun taas kohdennetun jäähdytyksen ideana on, että jäähdytys tapahtuu mahdollisimman lähellä lämmön syntyä paikkaa (Mytton 2021; Kumar & Pindoriya 2026). Juuri tähän suora neste- ja upotusjäähdytys perustuvat. Siirtymällä kohdennettuun jäähdytykseen voidaan saavuttaa jopa 29 %:n energiasäästö (Mytton 2021).

Suora nestejäähdytys (engl. *direct liquid cooling*) parantaa lämmönpoistokykyä huomattavasti datakeskuksissa (Kumar & Pindoriya 2026). Menetelmässä kylmälevyt asetetaan kuumenevien prosessoreiden, näytönohjainten ja muiden suuritehoisten IT-laitteiden päälle. Kylmälevyjen sisällä olevissa mikrokanavissa kiertää jäähdytysneste (vesi tai vesiglykoliseos), joka absorboi lämpöä suoraan laitteen pinnasta ja kuljettaa sen pois.

Upotusjäähdytyksessä (engl. *immersion cooling*) koko IT-laitteisto upotetaan sähköä johtamattomaan jäähdytysnesteeseen, joka absorboi lämpöä ja siirtää sen ulkoiseen lämmönvaihtimeen (Kumar & Pindoriya 2026). Upotusjäähdytys yleistyy erityisesti tekoäly- ja kryptolouhintadatakeskuksissa, joissa lämpövirrat ovat erittäin suuria.

## 2.4 Datakeskusten vedenkulutus

Datakeskusten vedenkulutus on merkittävä ympäristöongelma, joka jää usein huomioimatta datakeskuskeskustelussa (Ahmed 2025). Datakeskukset kuluttavat vettä epäsuorasti sähköntuotannon kautta ja suoraan jäähdytysjärjestelmien kautta (Mytton 2021).

Datakeskusten määrän kasvaessa maailmanlaajuisesti niiden kokonaisvedenkulutuksesta on muodostumassa merkittävä haaste kestäväyydelle (Ahmed 2025). Datakeskukset kuluttavat maailmanlaajuisesti noin 660 miljardia litraa vettä vuodessa ja määrän ennustetaan kasvavan 30–50 % vuoteen 2030 mennessä, ellei vedenkulutusta hillitä.

Pieni datakeskus voi kuluttaa jopa 25,5 miljoonaa litraa vettä vuodessa. Keskisuuret ja suuret datakeskukset voivat käyttää puolestaan jopa 11–19 miljoonaa litraa vettä päivässä, mikä vastaa noin 75 000 – 150 000 ihmisen päivittäistä vedenkulutusta (Ahmed 2025).

Datakeskukset ottavat vetensä usein paikallisista pohjavesilähteistä tai julkisista vesivarannoista. Osa datakeskuksista käyttää jopa puolet ajasta juomakelpoista vettä jäähdytykseen, mikä herättää herkästi kiistaa alueilla, joissa juomakelpoisen veden määrä on

rajallinen. Kaupunkialueiden läheisyydessä sijaitsevat datakeskukset käyttävät usein samoja vedenlähteitä kuin paikallinen väestö, mikä on aiheuttanut haasteita muun muassa Yhdysvaltojen Phoenixissa ja Intian Chennaissa sekä osissa Irlantia ja Alankomaita (Ahmed 2025).

## 2.5 Ekologinen kestävyys

### 2.5.1 Kestävä kehitys ja Agenda 2030

Kestävän kehityksen käsite vakiintui ja nousi maailmanlaajuisesti tunnetuksi Yhdistyneiden kansakuntien Brundtlandin raportin *Our Common Future* (1987) myötä. Kestävä kehitys tarkoittaa yhteiskunnan nykyisten tarpeiden tyydyttämistä vaarantamatta tulevien sukupolvien mahdollisuuksia omien tarpeidensa tyydyttämiseen (Yhdistyneet kansakunnat 1987). Brundtlandin raportissa perustellaan, miksi yhteiskunnan on muutettava tapaa, jolla se kuluttaa luonnonvaroja, tuottaa energiaa ja rakentaa taloutta. Täten se nostaa kestävän kehityksen maailmanlaajuiseksi tavoitteeksi. Kestävän kehityksen osa-alueita ovat ekologinen, sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys. Lisäksi muita kestävyiden osa-alueita ovat esimerkiksi kulttuurinen kestävyys ja teknologinen kestävyys.

Agenda 2030 on YK:n vuonna 2015 hyväksymä toimintaohjelma, jonka tavoitteena on ohjata maailmaa kestävämpään suuntaan vuoteen 2030 mennessä. Agenda 2030 koostuu 17 päätavoitteesta, jotka kattavat ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyiden (Suomen YK-liitto 2026). Kaikilla päätavoitteilla on lisäksi alatavoitteita, joita on yhteensä 169.

### 2.5.2 Ekologinen kestävyys ja datakeskustoiminta

Agenda 2030 -toimintaohjelman ekologisen kestävyiden tavoitteita ovat puhdas vesi ja sanitaatio (tavoite 6), edullista ja puhdasta energiaa (tavoite 7), vastuullista kuluttamista (tavoite 12), ilmastotokeja (tavoite 13), vedenalainen elämä (tavoite 14) ja maanpäällinen elämä (tavoite 15) (Suomen YK-liitto 2026).

Ekologinen kestävyys on keskeisessä asemassa ilmastomuutoksen ja luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen kaltaisten maailmanlaajuisien haasteiden ratkaisemisessa. Nämä ilmiöt ovat niin kutsuttuja viheliäisiä ongelmia (engl. *wicked problems*), joilla viitataan monisyisiin, pitkäkestoisiin ja muuttuviin ongelmiin, ja joihin vaikuttavat useat toisiinsa

kytkeytyneet tekijät (Rittel & Webber 1973). Viheliäiset ongelmat ovat vaikeasti rajattavia ja määriteltäviä, niihin liittyy usein arvostiritoja, eikä niille ole yhtä selkeää ratkaisua.

Teknologia-ala, johon datakeskukset kuuluvat, sitoutui vuonna 2020 hyväksytyssä ITU-standardissa (International Telecommunication Union) vähentämään päästöjään 45 % vuoteen 2030 mennessä edistääkseen kehityspolkua, joka rajoittaa ilmaston lämpenemisen 1,5 asteeseen (°C) (Rostirolla ym. 2022).

Datakeskustoiminnassa on pyrittävä ekologiseen kestävyYTEEN ja huomioitava YK:n Agenda 2030 -tavoitteet, sillä datakeskuksilla on merkittäviä ympäristövaikutuksia. Ne kuluttavat suuria määriä energiaa, mikä kytkeytyy erityisesti tavoitteisiin 7 (edullinen ja puhdas energia) ja 13 (ilmastoteot). Lisäksi datakeskukset käyttävät huomattavia määriä suolatonta ja juomakelpoista vettä jäähdytykseen, mikä liittyy tavoitteeseen 6 (puhdas vesi ja sanitaatio).

## **2.6 Datakeskusten strateginen sijoittuminen ja aluesuunnittelu**

Datakeskusten sijainti ei valikoidu sattumanvaraisesti, vaan se on osa tarkasti mietittyä strategiaa (Edwards ym. 2024). Sijaintiin vaikuttavat muun muassa alueen taloudelliset ja poliittiset tekijät, ilmasto-olosuhteet sekä infrastruktuurin saatavuus.

Datakeskukset voivat sijaita erilaisissa ympäristöissä (Edwards ym. 2024). Niitä varten voidaan rakentaa kokonaan uutta infrastruktuuria tai muuttaa esimerkiksi entisiä teollisuusrakennuksia datakeskusten käyttöön. Joissakin tapauksissa datakeskusten tarkka sijainti on salassa tietoturvasyistä. Tämän vuoksi datakeskuksia voi toisinaan olla myös vaikea erottaa muista teollisuusrakennuksista, ja ulkoisesti ne muistuttavatkin usein suuria, ikkunattomia varastorakennuksia.

Datakeskusten energiatehokkuuden parantamiseksi on ehdotettu erilaisia aluesuunnittelun strategioita. Datakeskuksia sijoitetaan esimerkiksi mahdollisimman korkealle merenpinnasta, jossa ilma on viileämpää, jäähdytyskustannusten vähentämiseksi (Au 2024). Saksalainen WindCores-hanke on asentanut pienikokoisia datakeskuksia suoraan tuulivoimaloiden turbiinien sisään, jolloin käytetty sähkö on ollut 92 % tuulivoimaa (Moss 2018).

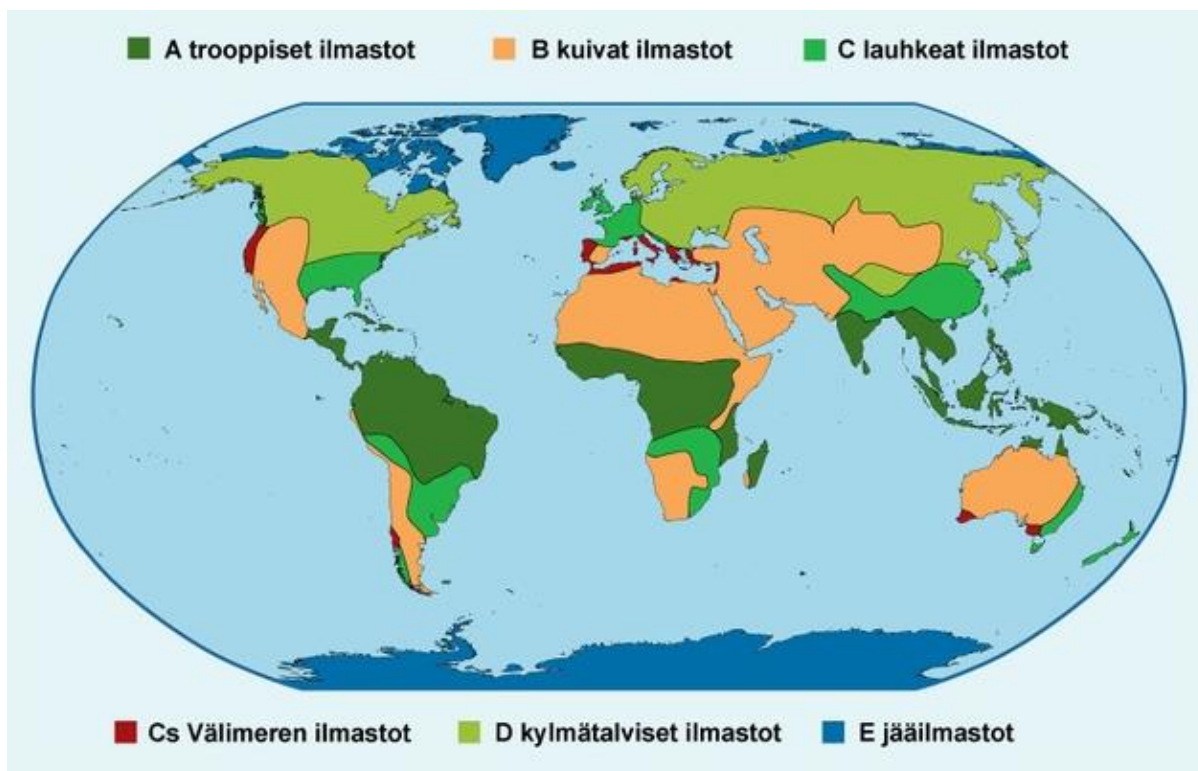
Kokeilumielessä datakeskuksia on sijoitettu myös merenpinnan alle automaattisen jäähdytyksen saavuttamiseksi (Ewim ym. 2023). Esimerkiksi Microsoft on kokeillut tällaisia

vedenalaisia datakeskuksia (Mytton 2021; Au 2024). Vedenalaiset datakeskukset ovat teoriassa toimiva ja energiatehokas ratkaisu, mutta ne ovat kalliita ja haastavia ylläpitää (Mytton 2021; Wang ym. 2025). Lisäksi ne vaikuttavat kielteisesti meriekosysteemeihin.

Datakeskuksia kehitetään tällä hetkellä toimimaan myös avaruudessa ja Kuussa (Au 2024). Teknologia-yrittäjä Elon Muskin avaruusyhtiöllä SpaceX:llä on tavoitteenaan rakentaa avaruuteen aurinkopaneeleilla toimivia tekoälydatakeskuksia (Elon 2026). Tätä varten SpaceX olisi laukaisemassa miljoonan satelliitin verkoston Maan kiertoradalle. Musk on arvioinut, että 2–3 vuoden kuluessa halvin tapa tuottaa tekoälylaskentaa on avaruudessa, jossa aurinkoenergiaa on saatavilla ilman ilmakehän aiheuttamia rajoitteita. Tekoälylaskenta viittaa laskentatehoon, jota käytetään tekoälymallien kouluttamiseen ja käyttämiseen. Tekoälydatakeskusten siirtäminen avaruuteen auttaisi vähentämään maanpäällisen sähköverkon kuormitusta.

## **2.7 Ilmasto- ja lämpövyöhykkeet**

Ilmasto viittaa alueelle tyypilliseen säähän ja sen vaihteluun pitkällä aikavälillä (Brander ym. 2016). Alueen ilmastoon vaikuttavat sijainti, leveyspiiri, merivirrat sekä korkeus merenpinnasta. Klimatologi Wladimir Köppenin vuonna 1900 laatima luokittelu jakaa ilmastot viiteen pääluokkaan eli ilmastovyöhykkeeseen (A–E) alueen lämpötilan ja sademäärän perusteella (kuva 1). Pääluokkia ovat trooppiset ilmastot (A), kuivat ilmastot (B), lauhkeat ilmastot (C), kylmätalviset ilmastot (D) ja jääilmastot (E).



Kuva 1. Maailmankartta Köppenin ilmastoluokituksen päävyöhykkeistä, joissa trooppiset (A), kuivat (B), lauhkeat (C), Välimerelliset (Cs), kylmätaivaliset (D) ja jääilmastot (E) on esitetty eri väreillä. Luokituksessa ensimmäinen kirjain (A–E) ilmaisee ilmaston pääluokan, ja sitä seuraavat kirjaimet tarkentavat alatyyppejä (esim. s = kuiva kesä). Välimeren ilmasto (Cs) kuuluu lauhkeisiin ilmastoihin. Kuva: Peda.net (2026a).

Trooppiset ilmastot (A) ovat kosteita ja lämpimiä ympäri vuoden ja niitä esiintyy päiväntasaajan alueella. Trooppisia ilastoja on esimerkiksi Amazonin alueella, Keski-Afrikassa ja Kaakkois-Aasiassa. Kylmimmän kuukauden keskilämpötila on tässä ilmastossa vähintään 18 °C ja vuotuinen sademäärä noin 1500 mm (Peel ym. 2007; Dastrup 2026).

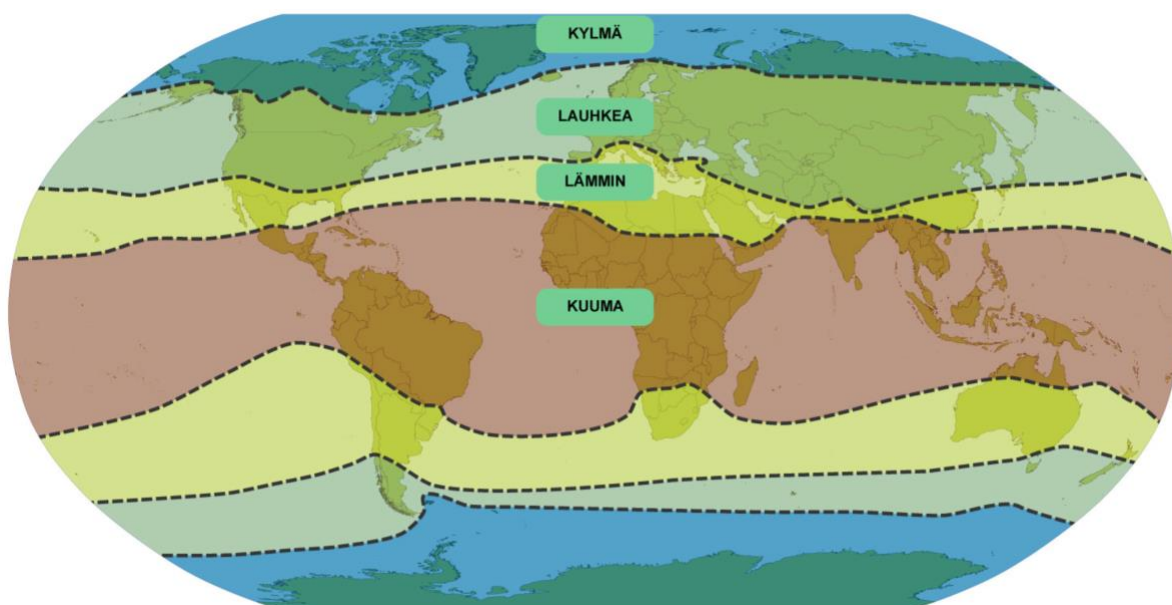
Kuivissa ilastoissa (B) puolestaan sataa hyvin vähän ja haihdunta ylittää aina sadannan, minkä seurauksena alueet ovat pääosin aavikkoa tai puolaaavikkoa (Peel ym. 2007; Dastrup 2026). Aavikot voivat olla kuumia tai kylmiä.

Lauhkeille ilastoille (C) tyypillisiä ovat leudot talvet ja lämpimät kesät. Vuoden lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on lauhkeissa ilastoissa yli 10 °C ja kylmimmän kuukauden keskilämpötila 0–18 °C:n välillä (Peel ym. 2007; Dastrup 2026). Lämpötilan lisäksi myös vuotuinen sadanta vaihtelee lauhkeissa ilastoissa paljon, alueesta riippuen 300 – 1 650 mm. Välimeren ilmastot (Cs) kuuluvat lauhkeisiin ilastoihin, mutta eroavat siinä, että kesäkaudet ovat tavallista kuivempia. Välimeren ilastoja on muun muassa Välimeren alueella sekä Yhdysvaltojen länsirannikolla.

Kylmätalvisissa ilmastoissa (D) talvet ovat kylmiä ja vuodenajat erottuvat selkeästi. Siksi lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on yli 10 °C ja kylmimmän kuukauden 0 °C tai alle (Peel ym. 2007; Dastrup 2026). Kylmätalviset ilmastot ovat tyypillisiä Pohjois-Euroopassa, Venäjällä ja Kanadassa.

Jääilmastoissa (E) lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on alle 10 °C ja vuotuinen sadanta on alle 250 mm (Peel ym. 2007; Dastrup 2026). Jääilmastot voivat olla arktisia tai subarktisia ja niitä esiintyy esimerkiksi Grönlannissa ja Etelämantereella.

Ilmastovyöhykkeiden lisäksi maapallo voidaan jakaa myös neljään lämpövyöhykkeeseen: trooppiin eli kuumaan, subtrooppiin eli lämpimään, lauhkeaan ja kylmään (kuva 2) (Brander ym. 2016). Lämpövyöhykkeet sijoittuvat tässä järjestyksessä päiväntasaajalta kohti napa-alueita. Jako perustuu Auringon lämmittävään vaikutukseen, joka pienenee päiväntasaajalta kohti napa-alueita. Alueellisiin lämpötiloihin vaikuttavat merivirrat, tuulet, topografia sekä mantereiden ja vuoristojen sijainnit. Yhdellä lämpövyöhykkeellä voi esiintyä useita erilaisia ilmastoja, ja sama ilmastotyyppi voi puolestaan esiintyä useilla eri lämpövyöhykkeillä. Lämpövyöhyke vaikuttaa kuitenkin aina ilmaston lämpöoloihin joko lämmittävästi tai viilentävästi, vaikka ilmastotyyppi olisi sama.



Kuva 2. Maailmankartta lämpövyöhykkeistä, joissa kuuma, lämmin, lauhkea ja kylmä lämpövyöhyke on esitetty eri väreillä. Vyöhykkeet sijoittuvat leveysasteiden mukaisesti päiväntasaajalta kohti napoja, ja niiden rajat on kuvattu katkoviivoilla. Kuva: Peda.net (2026b).

Datakeskuksen sijainnin valinta ilmasto- ja vesivarojen perusteella voi vähentää datakeskustoiminnan pitkän aikavälin ympäristövaikutuksia (Ahmed 2025). Ilmasto- ja lämpövyöhykkeet vaikuttavat alueen keskilämpötiloihin ja vuodenaikaisvaihteluihin, mikä heijastuu jäähdytystarpeeseen ja energiankulutukseen. Lisäksi ilmasto-olosuhteisiin sisältyy sateisuus, joka vaikuttaa osittain alueen vesivaroihin.

### 3 Aineisto ja menetelmät

Tutkimus kohdistuu yleisiin, kaupallisiin ja teollisen mittakaavan datakeskuksiin. Tarkastelun ulkopuolelle rajataan pienimuotoiset yritysten sisäiset palvelinkaapit sekä ainoastaan tutkimuskäyttöön suunnitellut datakeskukset, sillä näiden tekniset ratkaisut, mittakaava ja sijaintiperusteet poikkeavat olennaisesti laajamittaisesta datakeskustoiminnasta.

Tutkimus on kirjallisuuskatsaukseen ja kartta-analyysiin perustuva laadullinen tutkimus. Aiempaa tutkimusta analysoidaan keskittyen erityisesti datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytysratkaisuihin, vedenkulutukseen, sijaintitekijöihin sekä ympäristövaikutuksiin. Lisäksi datakeskusten sijaintitietojen avulla tarkastellaan niiden maantieteellistä sijoittumista suhteessa ilmasto- ja lämpövyöhykkeisiin.

Kirjallisuusaineisto koostuu pääasiassa vertaisarvioituissa kansainvälisissä tiedelehdissä julkaistuista artikkeleista. Aineistoa täydentävät kansainvälisten organisaatioiden julkaisut, toimialaraportit sekä ajankohtaiset uutislähteet. Ajallisesti aineisto painottuu vuosille 2021–2026, mikä on perusteltua nopeasti kehittyvän teknologia-alan vuoksi. Vanhemmat lähteet (1970–2009) muodostavat tutkimuksen teoreettisen perustan ja kestäväen kehityksen käsitteellisen viitekehyksen.

Datakeskusten maantieteellistä sijoittumista kuvaavien karttojen sijaintipisteet ovat Data Center Map -sivustolta (2026), joka on kartoittanut datakeskusten sijainteja maailmanlaajuisesti vuodesta 2007 lähtien. Datakeskusten sijaintipisteitä on 11 084, ja ne koostuvat ensisijaisesti *colocation*- ja pilvdatakeskuksista sekä valikoiduista kryptolouhintadatakeskuksista ja hyperskaalan datakeskuksista. Lisäksi mukana on rajallinen määrä *enterprise*-datakeskuksia. Listaukseen hyväksyttävissä datakeskuksissa on oltava vähintään kymmenen palvelinkaappia, mikä on rajannut pois pienimuotoiset palvelintilat.

Datakeskusten sijainteja tarkastellaan suhteessa Köppenin ilmastovyöhykkeisiin ja niiden ominaisuuksiin (taulukko 1) sekä analysoidaan, miten ilmasto-olosuhteet vaikuttavat datakeskusten energiankulutukseen, jäähdytysratkaisuihin ja vedenkäyttöön. Tutkimuksessa tarkasteluun on otettu mukaan myös Välimeren ilmastot, joita tarkastellaan tutkimustuloksissa sekä yhdessä lauhkeiden ilmastojen kanssa että erillisenä

ilmastoluokkanaan. Tarkastelua varten ilmastovyöhykkeet on piirretty silmämääräisesti datakeskusten sijoittumista kuvaavien karttojen päälle.

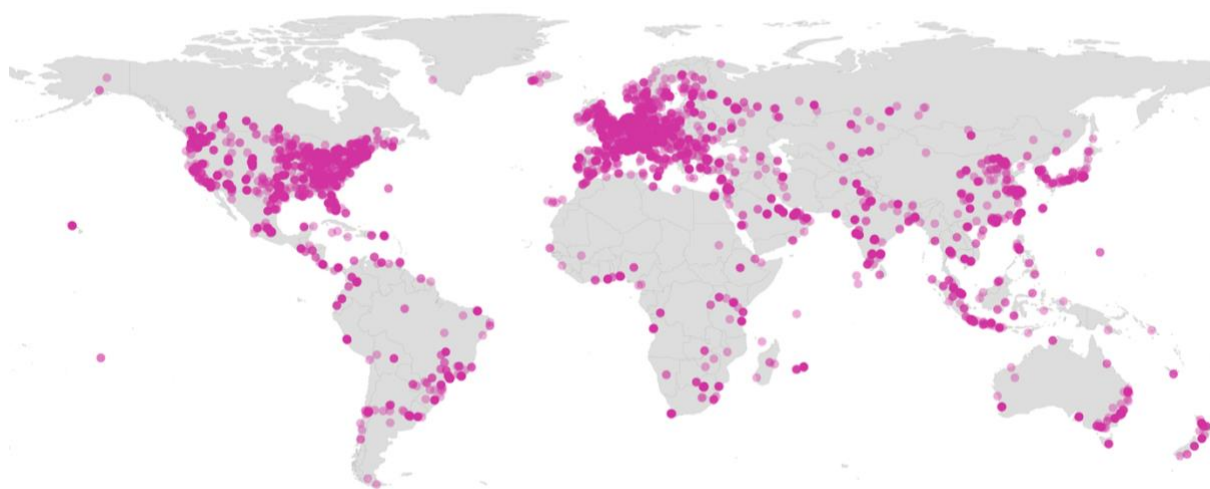
Taulukko 1. Ilmastovyöhykkeet ja niiden ominaisuudet (Peel ym. 2007; Dastrup 2026).

| <b>Ilmastovyöhyke</b> | <b>Keskilämpötila</b>                                                                | <b>Vuotuinen sademäärä</b>    | <b>Kuvaus ja tyypilliset alueet</b>                                                       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trooppinen (A)        | kylmin kk $\geq 18\text{ °C}$                                                        | n. 1500 mm                    | Kostea ja lämmin ympäri vuoden. Päiväntasaajan alueet                                     |
| Kuiva (B)             | vuotuinen $\geq 18\text{ °C}$ (kuumat aavikot) tai $< 18\text{ °C}$ (kylmät aavikot) | $< 250\text{--}400\text{ mm}$ | Haihdunta on suurempaa kuin sadanta. Aavikot ja puoliaavikot                              |
| Lauhkea (C)           | lämpimin kk $> 10\text{ °C}$ , kylmin $0\text{--}18\text{ °C}$                       | 300–1650 mm                   | Leudot talvet ja lämpimät kesät. Välimeren alue, Länsi-Eurooppa, itäinen Pohjois-Amerikka |
| Kylmätalvinen (D)     | lämpimin kk $> 10\text{ °C}$ , kylmin $\leq 0\text{ °C}$                             | n. 500 mm                     | Kylmät talvet, selkeät vuodenajat. Pohjois-Eurooppa, Venäjä, Kanada                       |
| Jääilmasto (E)        | lämpimin kk $< 10\text{ °C}$                                                         | $< 250\text{ mm}$             | Arktinen ja subarktinen. Grönlanti, Etelämannen, pohjoiset napa-alueet                    |

## 4 Tulokset

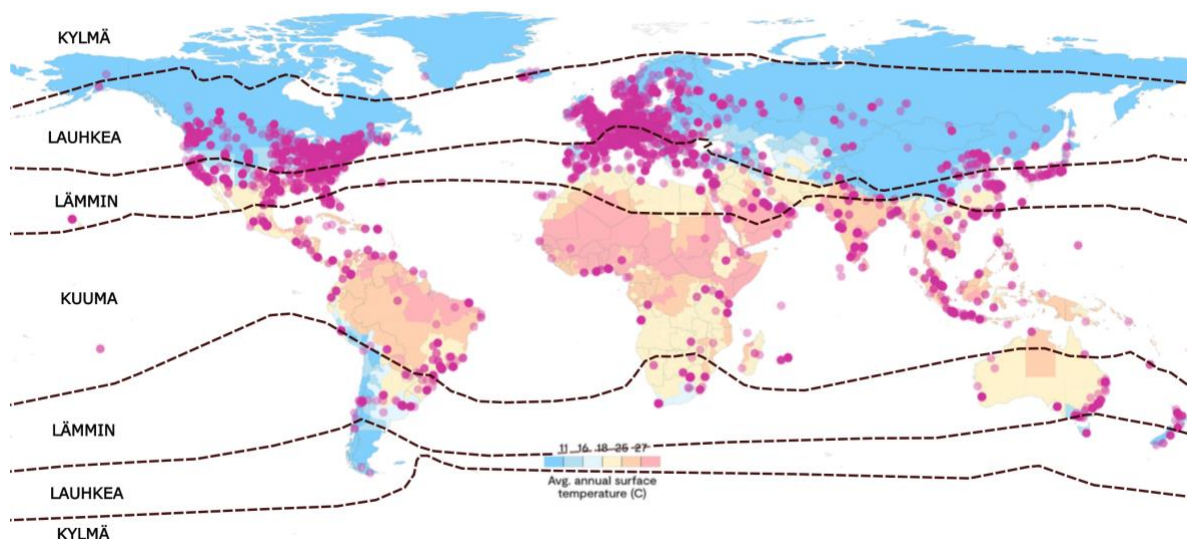
### 4.1 Datakeskusten jakautuminen maailmassa ja sijainti eri ilmastoissa

Maailmassa on yli 12 000 datakeskusta (Leichter 2026). Merkittävimmät datakeskusklusterit sijaitsevat Yhdysvalloissa, Euroopassa sekä osissa Aasiaa (kuva 3). Pohjois-Amerikassa on 5 940 datakeskusta, joista 91 % sijaitsee Yhdysvalloissa (Leichter 2026). Euroopassa datakeskuksia on 3 346, eniten Saksassa ja Iso-Britanniassa. Aasiassa ja Tyynenmeren alueella on yhteensä 1 818 datakeskusta, joista suurin osa sijaitsee Kiinassa, Australiassa ja Japanissa. Etelä-Amerikassa on 481 datakeskusta joista 41 % sijaitsee Brasiliassa. Afrikassa on arviolta 220–230 datakeskusta (Africa Data Centres Association 2026). Eniten datakeskuksia on Etelä-Afrikassa, Nigeriassa ja Keniassa. Myös Etelämantereella on joitain datakeskuksia, mutta ne ovat pieniä ja tieteelliselle tutkimukselle tarkoitettuja.



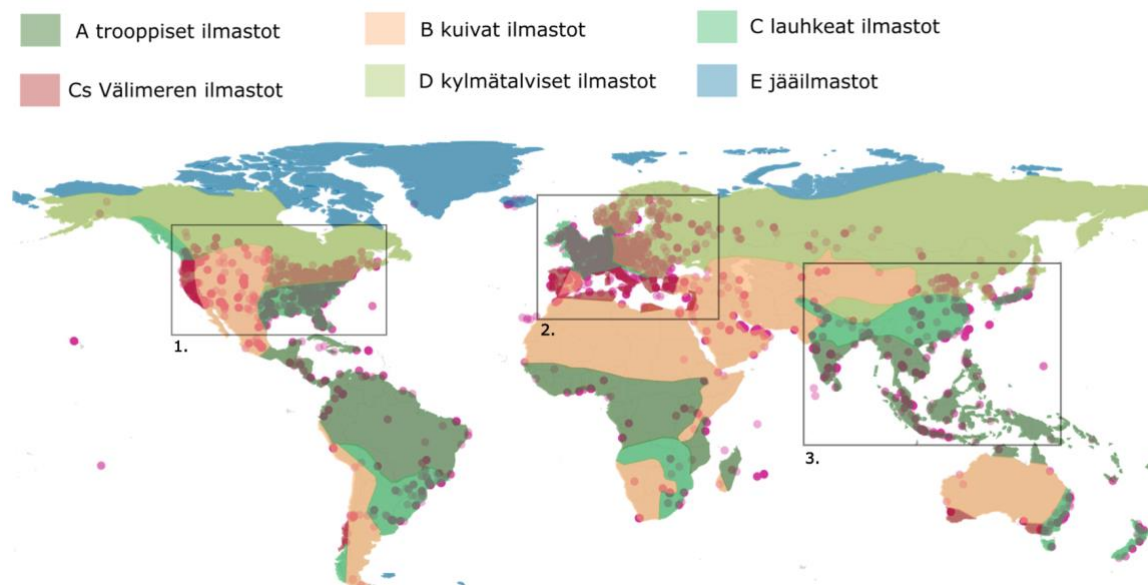
Kuva 3. Maailmankartta datakeskusten sijoittumisesta. Pisteet kuvaavat datakeskuksia. Datakeskukset keskittyvät erityisesti Pohjois-Amerikkaan, Eurooppaan ja Itä-Aasiaan. Kuva: Rest of World (2025).

Suurin osa datakeskuksista sijaitsee pohjoisella pallonpuoliskolla. Eniten datakeskuksia on lauhkealla ja lämpimällä lämpövyöhykkeellä (kuva 4). Kuumen lämpövyöhykkeen datakeskuksista suurin osa sijaitsee Aasiassa (Gandhi & Chandran 2025).



Kuva 4. Lämpövyöhykkeet suhteessa datakeskusten sijoittumiseen sekä alueiden keskimääräiseen vuotuisen pintalämpötilaan (°C) (Gandhi & Chandran 2025). Kartassa katkoviivat kuvaavat lämpövyöhykkeiden rajoja (Peda.net 2026b). Pisteet kuvaavat datakeskuksia. Datakeskukset keskittyvät erityisesti lauhkealle ja lämpimälle lämpövyöhykkeelle. Kuva muokattu alkuperäisestä lähteestä: Rest of World (2025).

Datakeskukset keskittyvät lauhkeisiin (C) ja kylmätalvisiin (D) ilmastoihin Pohjois-Amerikassa, Euroopassa ja Itä-Aasiassa (kuva 5). Kanadassa on selvästi vähemmän datakeskuksia kuin Yhdysvalloissa, vaikka ilmasto-olosuhteet pysyvät verrattain samanlaisina. Samoin kylmätalvisten ilmastojen alueella Aasiassa ja Venäjällä datakeskusten määrä on vähäinen. Eteläisellä pallonpuoliskolla suurin osa ihmistoiminnan kannalta keskeisistä alueista sijaitsee lämpimällä ja kuumalla lämpövyöhykkeellä. Tästä syystä datakeskuksia sijaitsee lauhkealla lämpövyöhykkeellä pääasiassa vain pohjoisella pallonpuoliskolla.



Kuva 5. Datakeskusten sijoittuminen maailmalla suhteessa Köppenin ilmastovyöhykkeisiin (Gandhi & Chandran 2025; Peda.net 2026a). Kartassa ilmastovyöhykkeet (A–E ja Cs) on esitetty eri väreillä. Pisteet kuvaavat datakeskuksia. Laatikot 1–3 on kuvattu tarkemmin kuvissa 6–8. Kuva muokattu alkuperäisestä lähteestä: Rest of World (2025).

Trooppisissa ilmastoissa (A) datakeskuksia on vähemmän kuin lauhkeissa ja kylmätalvisissa ilmastoissa. Trooppisen ilmaston alueista Kaakkois-Aasiassa on eniten datakeskuksia. Etelä-Amerikassa ja Afrikassa datakeskukset keskittyvät trooppisissa ilmastoissa lähinnä rannikoille.

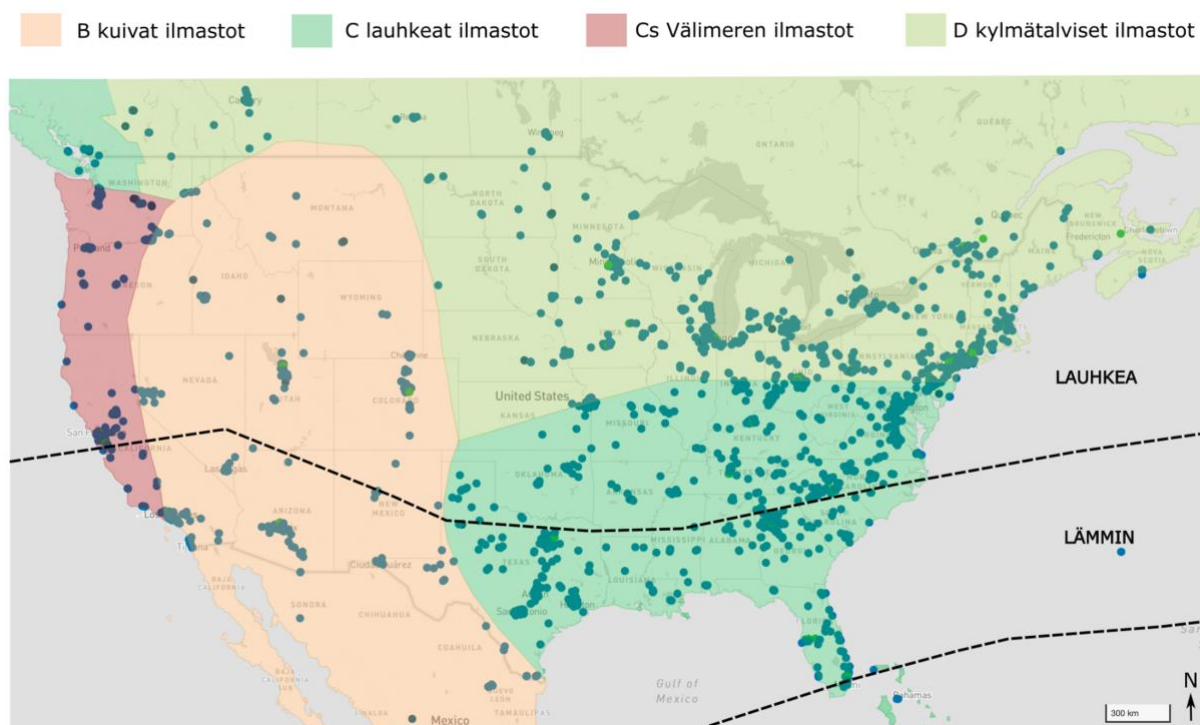
Kuivissa ilmastoissa (B) datakeskuksia tavataan osissa Yhdysvaltoja ja Espanjaa sekä Lähi-idässä. Muutoin aavikoilla ei juuri ole datakeskuksia. Esimerkiksi Australiassa datakeskukset keskittyvät maan rannikkoalueille ja lähes puuttuvat kuivista ilmastoista. Välimeren ilmastoissa Yhdysvalloissa ja Euroopassa datakeskustoimintaa on paljon, vaikka kesät ovat kuivia.

Vähiten datakeskuksia on jääilmastoissa (E). Islanti on yksi harvoista jääilmaston alueista, joissa on datakeskustoimintaa.

#### 4.1.1 Yhdysvallat

Yhdysvallat sijaitsee pääosin lauhkealla lämpövyöhykkeellä, mutta maan eteläisimmät osat ulottuvat lämpimälle lämpövyöhykkeelle (kuva 6). Suurin osa datakeskuksista sijaitsee lauhkealla lämpövyöhykkeellä. Yhdysvalloissa on neljä ilmastovyöhykettä: kuivat ilmastot, lauhkeat ilmastot, Välimeren ilmastot ja kylmätalviset ilmastot. Maan itäosissa vallitsevat

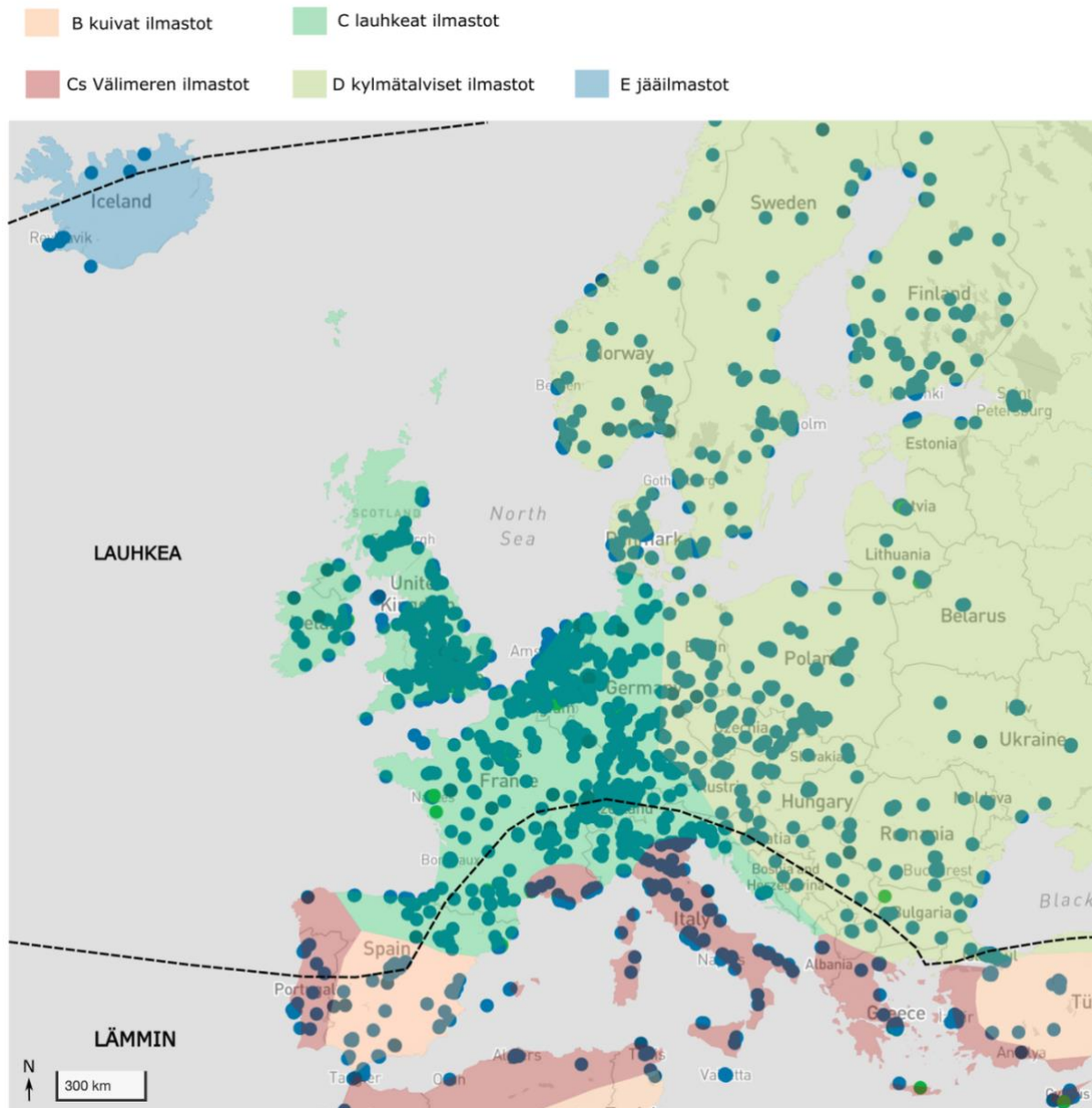
kylmätalviset ja lauhkeat ilmastot. Näihin ilmastoihin keskittyy myös suurin osa Yhdysvaltojen datakeskuksista. Maan länsirannikolla esiintyy lauhkeita Välimeren ilmastoja. Kuivia ilmastoja on Yhdysvaltojen keskiosissa. Datakeskusklustereita on selvästi harvemmin Välimeren ilmastoissa ja kuivissa ilmastoissa.



Kuva 6. Datakeskusten sijoittuminen Yhdysvalloissa suhteessa ilmasto- ja lämpövyöhykkeisiin (Peda.net 2026a; Peda.net 2026b). Kartassa siniset ja vihreät pisteet esittävät datakeskusten sijainteja (vihreät pisteet viittaavat maksullisiin premium-listauksiin ja siniset ilmaisiin listauksiin). Datakeskukset keskittyvät erityisesti maan itäosiin lauhkealle lämpövyöhykkeelle lauhkeisiin ja kylmätalvisiin ilmastoihin. Kuivissa ilmastoissa datakeskuksia esiintyy harvemmin. Kuva muokattu alkuperäisestä lähteestä: Data Center Map (2026).

#### 4.1.2 Eurooppa

Suurin osa Eurooppaa sijaitsee lauhkealla lämpövyöhykkeellä, mutta maanosan eteläisimmät osat yltävät lämpimälle lämpövyöhykkeelle (kuva 7). Euroopasta löytyy kaikkia ilmastovyöhykkeitä lukuun ottamatta trooppisia ilmastoja. Datakeskusten sijainti keskittyy erityisesti lauhkeisiin ilmastoihin, joita tavataan Länsi- ja Keski-Euroopassa. Kylmätalviset ilmastot sijaitsevat Pohjois- ja Itä-Euroopassa. Kylmätalvisten ilmastojen alueella datakeskuksia sijaitsee erityisesti Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. Islannissa vallitsevat jääilmastot. Euroopan eteläisimmissä osissa lämpimän lämpövyöhykkeen alueella on Välimeren ilmastoja ja lisäksi Espanjassa on kuivia ilmastoja. Datakeskuksia sijaitsee vähemmän kuumemmissa ja kuivemmissa ilmastoissa.

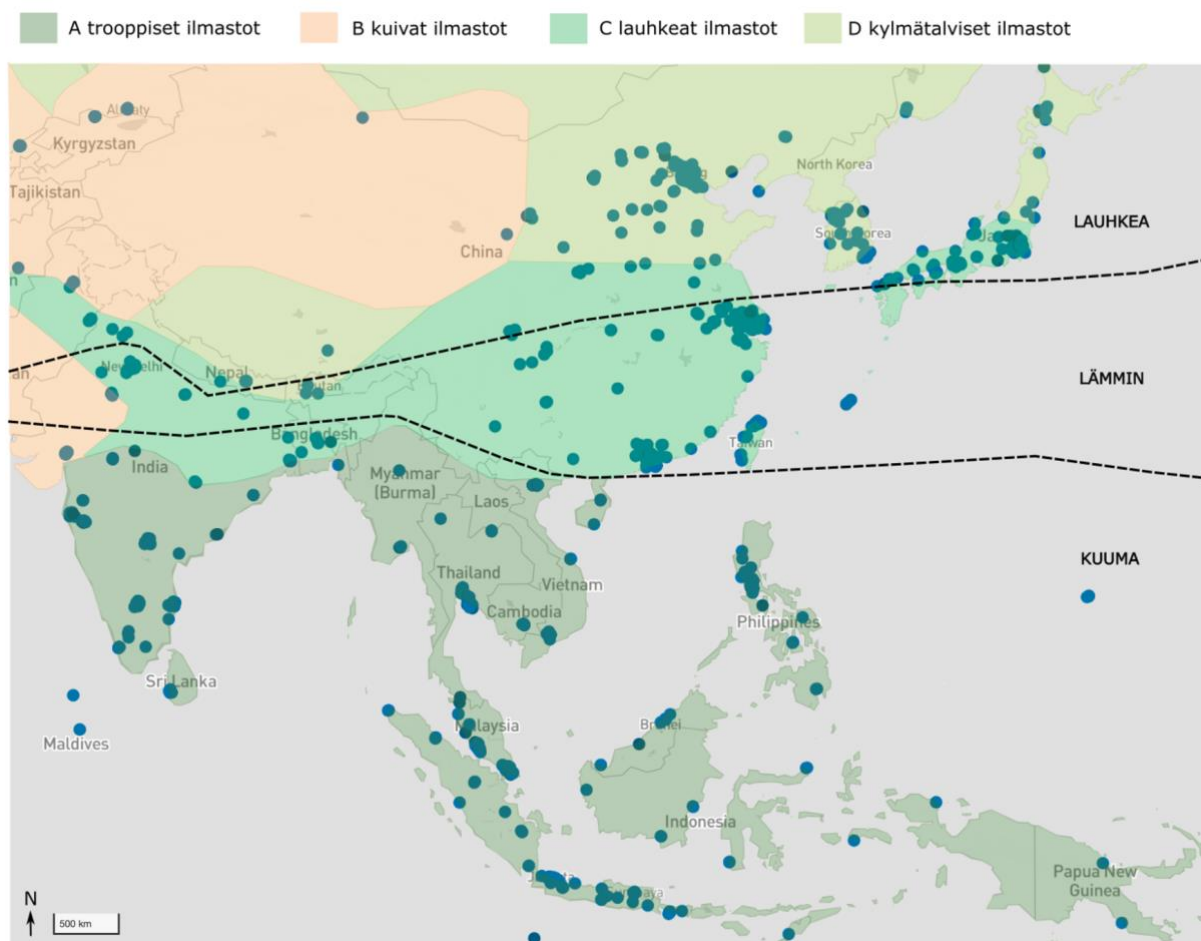


Kuva 7. Datakeskusten sijoittuminen Euroopassa suhteessa ilmasto- ja lämpövyöhykkeisiin (Peda.net 2026a; Peda.net 2026b). Kartassa siniset ja vihreät pisteet esittävät datakeskusten sijainteja (vihreät pisteet viittaavat maksullisiin premium-listauksiin ja siniset ilmaisiin listauksiin). Datakeskukset keskittyvät erityisesti Keski- ja Länsi-Euroopan lauhkeisiin ilmastoihin. Pohjois-Euroopassa kylmillä alueilla ja Etelä-Euroopassa kuumemmilla ja kuivemmilla alueilla datakeskuksia esiintyy vähemmän. Kuva muokattu alkuperäisestä lähteestä: Data Center Map (2026).

#### 4.1.3 Itä- ja Kaakkois-Aasia

Itä- ja Kaakkois-Aasian alueella on kolme lämpövyöhykettä: lauhkea, lämmin ja kuuma lämpövyöhyke. Lauhkealla lämpövyöhykkeellä sijaitsee eniten datakeskuksia, ja ne keskittyvät siellä lauhkeisiin ja kylmätalvisiin ilmastoihin (kuva 8). Lämmin lämpövyöhyke on kapea, ja alueella on lähes pelkästään lauhkeita ilastoja. Kuuman lämpövyöhykkeen alueella on

trooppisia ilmastoja. Datakeskuksia on runsaasti kaikilla ilmastovyöhykkeillä, paitsi kuivissa ilmastoissa niitä on selvästi vähemmän. Datakeskukset keskittyvät rannikoille.



Kuva 8. Datakeskusten sijoittuminen Itä- ja Kaakkois-Aasiassa suhteessa ilmasto- ja lämpövyöhykkeisiin (Peda.net 2026a; Peda.net 2026b). Kartassa siniset ja vihreät pisteet esittävät datakeskusten sijainteja (vihreät pisteet viittaavat maksullisiin premium-listauksiin ja siniset ilmaisiin listauksiin). Datakeskukset keskittyvät rannikoille ja niitä on runsaasti kaikilla ilmasto- ja lämpövyöhykkeillä, lukuun ottamatta kuivia ilmastoja, joissa datakeskuksia on vain vähän. Kuva muokattu alkuperäisestä lähteestä: Data Center Map (2026).

## 5 Keskustelu

### 5.1 Ilmaston vaikutus datakeskusten energiankulutukseen ja jäähdytykseen

Datakeskusten toiminta kytkeytyy Agenda 2030 -toimintaohjelman tavoitteisiin 7 (edullista ja puhdasta energiaa) ja 13 (ilmastotekoja) erityisesti energiankulutuksen kautta. Datakeskusten kasvava energiantarve voi lisätä hiilidioksidipäästöjä jopa 8 Gt vuoteen 2030 mennessä (Kumar & Pindoriya 2026). Määrä vastaisi noin viidesosaa koko maailman vuotuisista hiilidioksidipäästöistä. Teknologia-ala on kuitenkin sitoutunut vähentämään päästöjään 45 % vuoteen 2030 mennessä (Rostirolla ym. 2022).

Yksi keskeisimmistä keinoista vähentää datakeskusten energiankulutusta on jäähdytyksen tehostaminen, koska jäähdytys voi muodostaa jopa 40 % kokonaisenergiankulutuksesta (Chauhan 2024; Huang ym. 2024; Ahmed 2025). Paikallinen ilmasto vaikuttaa puolestaan siihen, millaiset jäähdytysratkaisut ovat alueella toimivia ja energiatehokkaita (Xu ym. 2023).

Ilmapohjaiset jäähdytysjärjestelmät ovat yleisiä, mutta niiden käyttö jäähdytyksessä on vähentymässä, sillä jäähdytysteho on liian heikko datakeskusten kasvaviin jäähdytystarpeisiin. (Xu ym. 2023). Sen sijaan datakeskuksissa hyödynnetään laajasti vapaajäähdytystä, vesipohjaisia jäähdytysjärjestelmiä sekä kohdennettuja jäähdytysjärjestelmiä.

Vapaajäähdytys on erittäin energiatehokas jäähdytysratkaisu ja siksi hyvin olennainen datakeskusten energiankulutuksen pienentämisessä. Suora vapaajäähdytys voi säästää noin 68 % energiasta, epäsuora vapaajäähdytys noin 50 % ja vesipohjainen vapaajäähdytys noin 15 % (Xu ym. 2023).

Vapaajäähdytyksen energiansäästöpotentiaali vaihtelee eri ilmastojen välillä (Siriwardana ym. 2013; Oró ym. 2015). Lauhkeat ja kylmätalviset ilmastot mahdollistavat vapaajäähdytyksen laajemman käytön viileämmän ilmastonsa ansiosta. Kuumissa ilmastoissa, kuten tropiikissa, vapaajäähdytyksen soveltuvuus puolestaan heikkenee. Tämän seurauksena datakeskukset ovat lämpimillä ja kuumilla alueilla riippuvaisempia muista, energiavaltaisemmista, jäähdytysratkaisuista.

Vapaajäähdytyksen käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat alueen lämpötilan lisäksi ilmankosteus sekä ilmassa olevat hiukkaset ja erilaiset epäpuhtaudet (Shehabi ym. 2008; Stein 2009; Xu ym.

2023). Erittäin korkea tai erittäin alhainen ilmankosteus sekä ilmassa olevat hiukkaset rajoittavat vapaajäähdytyksen käyttömahdollisuuksia ja voivat lisätä esimerkiksi laitteiden toimintahäiriöiden riskiä. Esimerkiksi Pekingissä suoraa vapaajäähdytystä ei pystytä hyödyntämään, sillä ilma on siellä liian saastunutta ja pölypitoisuus korkea (Xu ym. 2023).

Vesipohjainen vapaajäähdytys on maantieteellisesti rajoittuneempaa kuin ilmapohjainen vapaajäähdytys, sillä se edellyttää pääsyä kylmiin luonnonvesiin (Xu ym. 2023). Menetelmään liittyvät mahdolliset ympäristövaikutukset voivat myös rajoittaa sen laajempaa käyttöönottoa. Esimerkiksi merivesijäähdytys voi olla toimiva ratkaisu tarpeeksi pohjoisissa rannikkosijainneissa, kuten Haminassa, jossa Googlen hyperskaalan datakeskus käyttää merivesijäähdytystä (Gapps 2026).

Kohdennetut jäähdytysjärjestelmät, kuten neste- ja upotusjäähdytys, kuuluvat tehokkaimpiin jäähdytysratkaisuihin. Lisäksi ne ovat sijainnista riippumattomia, mikä tekee niistä kiinnostavan vaihtoehdon datakeskusten jäähdytykseen erityisesti lämpimillä ja kuumilla alueilla. Toisaalta kohdennetut jäähdytysjärjestelmät eivät kalliin hintansa takia ole aina mahdollinen ratkaisu.

## **5.2 Ilmaston vaikutus datakeskusten vedenkäyttöön**

Agenda 2030 -toimintaohjelman tavoitteeseen 6 (puhdas vesi ja sanitaatio) liittyvät muun muassa veden saatavuuden ja kohtuuhintaisuuden takaaminen, veden kestävä, eli tehokas ja säästäväinen käyttö sekä vesiekosysteemien, kuten pohjavesien, säilyttäminen.

Datakeskusten vedenkäyttö haastaa tavoitetta, ja datakeskusten kokonaisvedenkulutuksesta onkin muodostumassa merkittävä haaste kestävyydelle (Ahmed 2025). Datakeskukset kuluttavat 660 miljardia litraa vettä vuodessa, ja määrän ennustetaan vielä kasvavan 30–50 % vuoteen 2030 mennessä.

Datakeskusten vedenkulutusta on tarpeen hillitä. Vettä kuluu datakeskustoiminnassa sekä epäsuorasti sähköntuotannon kautta että suorasti jäähdytyksen kautta (Mytton 2021). Suurin määrä vettä kuluu vesipohjaisissa jäähdytysjärjestelmissä, jotka käyttävät nimensä mukaisesti pääasiassa vettä jäähdytykseen. Vesipohjaiset jäähdytysjärjestelmät soveltuvat käyttöön alueilla, joilla on runsaat vesivarat (Xu ym. 2023).

Sadannan perusteella voidaan tehdä yleisluonteisia arvioita alueiden vesivarojen saatavuudesta. Suuri sadanta voi edesauttaa vesivarojen uusiutumista, mutta runsas sademäärä ei välttämättä ehkäise vesivarojen ehtymistä alueilla, joilla datakeskuksia on paljon. Tiheät datakeskuskeskittymät voivat kuormittaa paikallisia vesivaroja merkittävästi. Erityisesti kaupunkien läheisyydessä sijaitsevat datakeskuskeskittymät voivat aiheuttaa haasteita vedenjakelulle (Ahmed 2025). Esimerkkejä tällaisista tilanteista on havaittu sekä Irlannissa että Chennaissa Intiassa, vaikka molemmat alueet ovat ilmasto-olosuhteiltaan runsassateisia.

Datakeskusten vedenkäytön kestävyys riippuu ilmaston lisäksi siitä, kuinka paljon vettä on paikallisten saatavilla, miten vedenkäyttöä hallitaan ja kilpaileeko datakeskus vesivaroista muun yhteiskunnan kanssa.

### **5.3 Datakeskusten sijoittuminen ekologisen kestävyysnäkökulmasta**

Datakeskusten sijoittuminen maailmalla tukee osittain ekologisen kestävyysnäkökulman tavoitteita 6, 7 ja 13. Suurin osa datakeskuksista sijaitsee lauhkeissa ja kylmätalvisissa ilmastoissa, mikä edistää energiatehokasta jäähdytystä. Merkittävä osa datakeskuksista sijaitsee kuitenkin myös lämpimissä, kuivissa, trooppisissa ja Välimeren ilmastoissa, joissa niiden ekologinen kestävyys on haavoittuvampaa.

Lämpövyöhykkeitä tarkastelemalla voidaan todeta, että datakeskuksille ekologisesti otollisimmat alueet sijoittuvat kylmälle ja lauhkealle lämpövyöhykkeelle, joissa lämpötila on tarpeeksi viileä energiatehokkaan jäähdytyksen kannalta. Valtaosa datakeskuksista sijaitsee lauhkealla lämpövyöhykkeellä, erityisesti Yhdysvalloissa ja Euroopassa. Kanadassa, Venäjällä ja Aasiassa datakeskuksia on vain vähän lauhkeudesta huolimatta. Datakeskuksia on runsaasti myös lämpimällä ja kuumalla lämpövyöhykkeellä, esimerkiksi Yhdysvaltojen ja Euroopan eteläosissa sekä Itä- ja Kaakkois-Aasiassa, vaikka korkeammat lämpötilat heikentävät datakeskusten ekologista kestävyyttä.

Alueen lämpötila vaikuttaa datakeskuksiin ja niiden ekologiseen kestävyysnäkökulmaan monin tavoin. Yhdysvaltalainen asiantuntijajärjestö ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) on määritellyt datakeskuksille suositelluksi lämpötilaksi 18–27 °C (ASHRAE 2024). Suosituksen perusteella arviolta noin 600 datakeskusta sijaitsee niille liian

kuumilla alueilla (Gandhi & Chandran 2025). Lisäksi merkittävä osa datakeskuksista sijoittuu suositeltua viileämmille alueille, mutta tilojen lämmittäminen on yleensä huomattavasti helpompaa ja energiatehokkaampaa kuin niiden jäähdyttäminen.

Kuumissa ilmastoissa, kuten trooppisissa, datakeskusten jäähdytys kasvattaa sähkönkulutusta, lisää päästöjä ja nostaa toimintakustannuksia (Gandhi & Chandran 2025). Korkeat lämpötilat rasittavat jäähdytysjärjestelmien lisäksi myös sähkönsiirtoa ja voivat lisätä sähkökatkosten riskiä. Myös jäähdytyksestä aiheutuva vedenkulutus voi olla kuumissa ilmastoissa voimakasta, sillä esimerkiksi vapaajäähdytys ei sovellu alueella käytettäväksi.

Kuivat ilmastot sijaitsevat usein trooppisten ilmastojen tuntumassa ja voivat olla kuivuuden lisäksi kuumia. Kuivuus ja korkeat lämpötilat rajoittavat datakeskusten sijoittumista. Kuiva ilmasto ei kuitenkaan muodosta ehdotonta estettä datakeskustoiminnalle, vaan datakeskuksia sijaitsee myös kuivilla alueilla, usein pitkälti asutusta ja infrastruktuuria seuraillen. Kuivilla ja kuumilla alueilla datakeskusten jäähdytys kohtaa erityisiä haasteita, sillä vapaajäähdytyksen ja vesipohjaisten jäähdytysjärjestelmien käyttö on siellä vaikeaa.

Teknologinen kehitys voi osittain kompensoida epäsuotuisia ilmasto-olosuhteita. Datakeskuksen jäähdytyksen ympäristövaikutuksia voidaan vähentää esimerkiksi hybridijäähdytyksellä, jossa yhdistetään useampi eri jäähdytysmenetelmä, suljetun kierron vedenkierrätysjärjestelmillä, joissa sama vesi voidaan käyttää uudelleen tai hyödyntämällä kierrätettyä ja juomakelvotonta vettä (Mytton 2021; Ahmed 2025; Gandhi & Chandran 2025). Näiden ratkaisujen käyttöönotto vaatii kuitenkin huomattavia investointeja, toimivaa sääntelyä ja riittävää paikallista infrastruktuuria.

Kylmätalvisten ilmastojen merkitys korostuu esimerkiksi Pohjois-Euroopassa, jossa viileä ilmasto, vakaa infrastruktuuri ja hyvä pääsy uusiutuvaan energiaan tekevät alueesta houkuttelevan datakeskuksille. Viileät ilmasto-olosuhteet eivät kuitenkaan yksin selitä datakeskusten sijoittumista, sillä investointeja ohjaavat edelleen voimakkaasti myös kysyntä, markkinoiden koko sekä verkkoyhteyksien keskeinen sijainti. Esimerkiksi jääilmastot ovat lämpötilaltaan kaikkein viileimpiä, mutta niiden haastavat sääolosuhteet sekä etäisyys asutuksesta ja infrastruktuurista rajoittavat datakeskustoimintaa ratkaisevasti.

Yhdysvallat, Eurooppa sekä Itä- ja Kaakkois-Aasia muodostavat tärkeimmät datakeskusalueet. Näillä alueilla ilmasto on monin paikoin datakeskustoiminnalle suotuisa, mutta samalla ne ovat taloudellisesti kehittyneitä, infrastruktuuriltaan vahvoja ja suuria digitaalisten palveluiden markkina-alueita. Tämän vuoksi datakeskusten sijoittumista ei voida selittää pelkästään ilmastotekijöillä. Datakeskusten sijaintiin vaikuttavat usein merkittävästi myös muun muassa markkinoiden läheisyys, poliittiset tavoitteet, energian saatavuus sekä teknologinen infrastruktuuri, jotka voivat joissain tapauksissa olla ilmaston soveltuvuutta painavampia tekijöitä päätöksenteossa.

Pelkkä viileä ilmasto ei riitä takaamaan datakeskusten ekologista kestävyyttä. Erityisesti tekoäly- ja hyperskaalan datakeskusten kasvava tehotehous lisää jäähdytystarvetta myös perinteisesti suotuisilla, viileillä alueilla. Tämän seurauksena kohdennetut jäähdytysratkaisut, kuten suora nestejäähdytys ja upotusjäähdytys, ovat yleistymässä (Edwards ym. 2024). Tulevaisuudessa datakeskusten ekologinen kestävyys määräytyy yhä enemmän ilmasto-olosuhteiden, jäähdytysteknologioiden ja energiaratkaisujen yhteisvaikutuksesta.

Datakeskusten ekologisen kestävyuden varmistaminen on kuin viheliäinen ongelma, siihen liittyy monia tekijöitä ja arvostiritoja, eikä sille ole yhtä selkeää ratkaisua. Datakeskukset eivät sijoitu täysin ekologisesti kestävällä tavalla, vaan sijoittuminen heijastaa kompromissia ilmasto-olosuhteiden ja taloudellis-tekniisten tekijöiden välillä.

#### **5.4 Tutkimuksen rajoitteet ja jatkotutkimusaiheet**

Tutkimuksen rajoitteet koskevat erityisesti tutkimusaineistoja, tutkimuksen rajauksia sekä datakeskusten sijaintitietojen tarkkuutta.

Datakeskustoiminta on nopeasti kehittyvä ala, minkä vuoksi osa tutkimuksessa käytetyistä tiedoista voi vanhentua melko nopeasti. Tämä koskee erityisesti datakeskusten energiankulutusta, jäähdytysteknologioita sekä datakeskusten kokonaismäärää.

Tutkimuksessa hyödynnetty datakeskusten sijaintiaineisto, Data Center Map (2025), ei kata kaikkia maailman datakeskuksia, ja siihen voi sisältyä epävarmuuksia. Tämän vuoksi karttatarkastelua on pidettävä suuntaa antavana kuvauksena datakeskusten maailmanlaajuisesta sijoittumisesta.

Lisäksi datakeskusten sijoittumista suhteessa ilmasto- ja lämpövyöhykkeisiin tarkasteltiin silmämääräisesti karttojen avulla. Menetelmä soveltuu yleisten alueellisten sijoittumismallien hahmottamiseen, mutta ei mahdollista tarkkaa paikkatietoanalyysia. Tarkastelun ulkopuolelle jäivät esimerkiksi mikroilmastot, korkeuserot, rannikoiden läheisyys ja muita alueellisia tekijöitä. Myös sadantaa käytettiin tutkimuksessa vain yleispiirteisenä vesivarojen saatavuuden indikaattorina, jolloin tarkastelun ulkopuolelle jäivät muun muassa pohjavesivarannot, veden infrastruktuuri sekä kulutuksen paikallinen jakautuminen.

Tutkimuksen rajoitusten takia tarkastelu painottui ilmaston vaikutuksiin datakeskusten energiankulutuksen, jäähdytysratkaisujen ja vedenkäytön näkökulmasta. Tarkastelun ulkopuolelle jäivät esimerkiksi datakeskusten rakentamisen materiaalivaikutukset, laitteistojen elinkaarivaikutukset, uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet, sähköverkon kuormitus sekä sosiaaliseen ja taloudelliseen kestävyysliittymään liittyvät kysymykset. Näin ollen tutkimus lähestyy ekologista kestävyyttä rajatusta näkökulmasta eikä anna täydellistä kuvaa datakeskusten kokonaiskestävyydestä.

Keskeinen jatkotutkimusaihe koskee ilmastonmuutoksen vaikutuksia datakeskustoimintaan. Muuttuvat lämpötila- ja sademääräolosuhteet voivat pitkällä aikavälillä heikentää tai parantaa nykyisten datakeskusalueiden soveltuvuutta. Lisäksi jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tarkastella datakeskusten sijoittumista tarkemmilla paikkatietomenetelmillä sekä yhdistää analyysiin paikalliset vesivarat, energiantuotannon rakenne ja alueellinen infrastruktuuri.

## 6 Johtopäätökset

- Ilmasto vaikuttaa datakeskusten ekologiseen kestävyys erityisesti energiankulutuksen, jäähdytyksen ja vedenkäytön kautta.
- Viileät lauhkeat ja kylmätalviset ilmastot ovat ekologisen kestävyys tavoitteiden 6 (puhdas vesi ja sanitaatio), 7 (edullista ja puhdasta energiaa) ja 13 (ilmastotekoja) kannalta suotuisampia, koska ne mahdollistavat vapaajäähdytyksen laajemman hyödyntämisen ja siten pienemmän energiankulutuksen ja vedenkäytön.
- Lämpimämissä ilmastoissa, kuten trooppisissa ja kuivissa, datakeskusten jäähdytys on energiantensiivisempää ja usein myös vesiriippuvaisempaa, mikä heikentää ekologista kestävyttä.
- Datakeskusten sijoittumista ohjaavat ilmaston lisäksi keskeisesti markkinoiden läheisyys, infrastruktuuri, energian saatavuus ja poliittiset tekijät, minkä vuoksi datakeskuksia sijaitsee myös ekologisesti epäedullisilla alueilla.
- Pelkkä viileä ilmasto ei riitä takamaan ekologista kestävyttä, sillä datakeskusten kasvava tehotiheys lisää jäähdytystarvetta kaikilla alueilla.
- Datakeskusten ekologinen kestävyys määräytyy tulevaisuudessa yhä enemmän ilmaston, teknologian ja energiaratkaisujen yhteisvaikutuksesta.

## Lähteet

- Africa Data Centres Association (2026) *The Economic Report: Data Centres in Africa*. Africa Data Centres Association. <https://africadca.org/wp-content/uploads/2026/02/DataCentresInAfrica2026-EN.pdf>
- Ahmed, S. (2025) The thirst of the cloud: Data centres and local water depletion. *International Journal of Sciences and Innovation Engineering* 2(8) 624–639. <https://doi.org/10.70849/IJSCI>
- ASHRAE (2024) 2021 equipment thermal guidelines for data processing environments. ASHRAE TC 9.9 Reference Card. <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/supplemental%20files/therm-gdlns-5th-r-e-refcard.pdf> 22.3.2026.
- Au, Y. (2024) Data centres on the Moon and other tales: a volumetric and elemental analysis of the coloniality of digital infrastructures. *Territory, Politics, Governance* 12(1) 12–30. <https://doi.org/10.1080/21622671.2022.2153160>
- Ayyildiz, E., Yildirim, B. & Aydin, N. (2025) Location selection methodology for data center with renewable energy integration. *Renewable Energy* 250 123270. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.123270>
- Barroso, L. A., Clidaras, J. & Hölzle, U. (2018) *The datacenter as a computer: an introduction to the design of warehouse-scale machines*. 2 p. Morgan & Claypool Publishers, San Rafael.
- Brander, N., Hiekka, S., Paarlahti, A., Ruth, C. & Ruth, O. (2016) *Manner 2 (LOPS16) – GE2 Sininen planeetta*. 1. p. Otava, Helsinki.
- Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J. & Brandic, I. (2009) Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems* 25(6) 599–616. <https://doi.org/10.1016/j.future.2008.12.001>
- Capozzoli, A. & Primiceri, G. (2015) Cooling systems in data centers: State of art and emerging technologies. *Energy Procedia* 83(2) 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.168>

- Chauhan, S. (2024) The growing energy demand of data centers: Impacts of AI and cloud computing. *International Journal for Multidisciplinary Research* 6(4).  
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i04.26591>
- Cisco (2026) *What is a data center?* Cisco Systems.  
<https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/computing/what-is-a-data-center.html>  
 9.2.2026.
- Dastrup, A. (2026) *10.3: Köppen Classification System*. LibreTexts  
 Geosciences. [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geography\\_\(Physical\)/Physical\\_Geography\\_and\\_Natural\\_Disasters\\_\(Dastrup\)/10%3A\\_Global\\_Climate\\_and\\_Change/10.03%3A\\_Koppen\\_Classification\\_System](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Geography_(Physical)/Physical_Geography_and_Natural_Disasters_(Dastrup)/10%3A_Global_Climate_and_Change/10.03%3A_Koppen_Classification_System) 10.3.2026.
- Data Center Map (2026) *Data Center Map*. <https://www.datacentermap.com> 24.2.2026.
- Edwards, D., Cooper, Z. G. T. & Hogan, M. (2024) The making of critical data center studies. *Cultural Geographies* 31(2) 429–446.  
<https://doi.org/10.1177/13548565231224157>
- Elon, M. (2026) *xAI Joins SpaceX to Accelerate Humanity's Future*. SpaceX 2.2.2026.  
<https://www.spacex.com/updates#xai-joins-spacex> 26.4.2026.
- Ewim, D. R. E., Ninduwezuor-Ehiobu, N., Orikpete, O. F., Egbokhaebho, B. A., Fawole, A. A. & Onunka, C. (2023) Impact of data centers on climate change: a review of energy efficient strategies. *The Journal of Engineering and Exact Sciences* 9(6) 16397. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss6pp16397-01e>
- Gandhi, H. & Chandran, R. (2025) *We mapped the world's hottest data centers*. Rest of World. 15.12.2025. <https://restofworld.org/2025/data-center-heat-map/> 3.3.2026.
- Gapps (2026). *Yhdessä kohti hiilivapaata tulevaisuutta – Näin Google Cloud pienentää yrityksesi hiilijalanjälkeä*. <https://www.gappsgroup.com/fi/sisallot/kestava-kehitys>  
 6.3.2025.
- Gayle, D. (2026) Officials hugely underestimated impact of AI datacenters on UK carbon emissions. *The Guardian* 24.4.2026.  
<https://www.theguardian.com/technology/2026/apr/24/officials-hugely-underestimated-impact-of-ai-datacentres-on-uk-carbon-emissions> 26.4.2026.
- Geiger, D. (2026) Data center executives fret over the industry's increasingly toxic public image. *Business Insider* 16.4.2026. <https://www.businessinsider.com/data-center-industry-response-growing-pushback-regulation-2026-4> 26.4.2026.

- Huang, X., Yan, J., Zhou, X., Shen, A. & Yang, Z. (2024) Optimization strategy for minimizing energy consumption of air conditioning terminal system in the Internet data center. *Journal of Building Engineering* 96 110315.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110315>
- IEA (2026) *Energy demand from AI*. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai> 26.4.2026.
- Kumar, A. & Pindoriya, N. M. (2026) Toward sustainable data center operation: A review on existing infrastructures, integrated smart energy management frameworks, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 230 116664  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116664>
- Leichter, R. (2026) *Number of Data Centers by Country (November 2026)*. Cargoson.  
<https://www.cargoson.com/en/blog/number-of-data-centers-by-country>. 17.1.2026.
- Moss, S. (2018) WindCores project deploys small data centers inside wind turbines: German company to use Fujitsu servers. *Data Center Dynamics* 7.11.2018.  
<https://www.datacenterdynamics.com/en/news/windcores-project-deploys-small-data-centers-inside-wind-turbines/> 22.3.2026.
- Mytton, D. (2021) Data centre water consumption. *npj Clean Water* 4(1) 11.  
<https://doi.org/10.1038/s41545-021-00101-w>
- Oró, E., Depoorter, V., Pflugradt, N. & Salom, J. (2015) Overview of direct air free cooling and thermal energy storage potential energy savings in data centres. *Applied Thermal Engineering* 85 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.03.001>
- Paddison, L. (2026) Scientist have found an alarm in environmental impact of vast data centers. CNN 30.3.2026. <https://edition.cnn.com/2026/03/30/climate/data-centers-are-having-an-underreported> 26.4.2026.
- Peda.net (2026a) Ilmastovyöhykkeet. [https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/yläkoulu/lukuvuosi-20-21/e7l/emaantieto\\_a4/4-suvi/tehtävät/kuvamappi/ilmasto1/ilmastovyöhykkeet#top](https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/yläkoulu/lukuvuosi-20-21/e7l/emaantieto_a4/4-suvi/tehtävät/kuvamappi/ilmasto1/ilmastovyöhykkeet#top) 3.3.2026.
- Peda.net (2026b) Lämpövyöhykkeet. [https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/yläkoulu/lukuvuosi-20-21/e7l/emaantieto\\_a4/4-suvi/kkv/ml](https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/yläkoulu/lukuvuosi-20-21/e7l/emaantieto_a4/4-suvi/kkv/ml) 24.2.2026.

- Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2007) Updated world map of *the* Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11(5) 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Rest of World (2025) *We mapped the world's hottest data centers*. Rest of World. 15.12.2025. <https://restofworld.org/2025/data-center-heat-map/> 3.3.2026.
- Rittel, H. W. J. & Webber, M. M. (1973) Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* 4(2) 155–169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>
- Rostirolla, G., Grange, L., Minh-Thuyen, T., Stolf, P., Pierson, J. M., Da Costa, G., Baudin, G., Haddad, M., Kassab, A., Nicod, J. M., Philippe, L., Rehn-Sonigo, V., Roche, R., Celik, B., Caux, S. & Lecuivre, J. (2022) A survey of challenges and solutions for the integration of renewable energy in datacenters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 155 111787. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111787>
- Shehabi, A., Horvath, A., Tschudi, W., Gadgil, A. J. & Nazaroff, W. W. (2008) Particle concentrations in data centers. *Atmospheric Environment*. 42(24) 5978–5990. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.049>
- Siriwardana, J., Jayasekara, S. & Halgamuge, S. K. (2013) Potential of air-side economizers for data center cooling: A case study for key Australian cities. *Applied Energy* 104 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.046>
- Stein, J. (2009) Waterside economizing in data centers: Design and control considerations. *ASHRAE Transactions* 115(2) 192.
- Suomen YK-liitto (2026) *Kestävä kehitys – Agenda 2030*. <https://www.ykliitto.fi/kestava-kehitys> 18.1.2026.
- Wang, H., Hua, W., Peng, J. & Hu, M. (2025) Public sentiment analysis of data center energy consumption using social media data and large language models. *Energy and Buildings* 341(1–4) 115802. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115802>
- Washington, T. (2026) Data Centers, Pollution, and the Communities Left Behind. UChicago Sustainability Dialogue. <https://sustainabilitydialogue.uchicago.edu/news/data-centers-pollution-and-the-communities-left-behind/> 26.4.2026.
- Xu, S., Zhang, H. & Wang, Z. (2023) Thermal management and energy consumption in air, liquid, and free cooling systems for data centers: A review. *Energies* 16(3) 1279. <https://doi.org/10.3390/en16031279>
- Yhdistyneet kansakunnat. (1987) *Our Common Future*. Yhdistyneet kansakunnat, New York.