

Valtteri Tastula

HAJAUTETUT INTERNET-PALVELUT

Hajautetun palvelumallin tarkastelu keskitettyyn
palvelumalliin vertaamalla

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Valtteri Tastula: Hajautetut internet-palvelut
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tietotekniikka
Huhtikuu 2019

Hajautettu arkkitehtuuri on keskitetyille arkkitehtuurille vaihtoehtoinen tapa kehittää järjestelmiä. Internet-pohjaiset palvelut voidaan jakaa keskitettyihin ja hajautettuihin sen mukaan, kumpaa arkkitehtuuria ne toteuttavat. Keskitetyille palveluille yleisiä ominaisuuksia ovat yksittäinen omistaja, kaupallinen toiminta ja yhtenäinen olemus. Hajautetut palvelut puolestaan koostuvat useista itsenäisistä osapalveluista, jotka muodostavat kokonaisen palveluverkoston. Facebook ja Twitter ovat esimerkkejä keskitetyistä palveluista, sähköposti sekä itse internet puolestaan hajautetuista palveluista.

Tässä työssä tarkastellaan hajautettuja ja keskitettyjä palveluja sekä niiden välisiä eroja. Vertailussa keskitytään sosiaalisen median palveluihin, jossa käyttäjä tuottaa sisältöä. Vertailun perusteella pohditaan hajauttamisen hyödyllisyyttä ja sovelluskohteita.

Avainsanat: hajauttaminen, keskittäminen, palvelu, verkosto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Palveluiden arkkitehtuurit	3
2.1	Laitteistotaso	3
2.2	Palvelutaso	4
2.3	Vertailtavat palvelumallit	6
3	Ominaisuuksien vertailu	7
3.1	Laitteistotason erot	7
3.1.1	Resurssit ja skaalautuvuus	7
3.1.2	Vasteaika	8
3.1.3	Päivitys	9
3.1.4	Tietoturva	9
3.1.5	Virheensietokyky	10
3.1.6	Kustannukset	10
3.2	Palvelutason erot	11
3.2.1	Palveluehdot	11
3.2.2	Datan säilytys ja lisensointi	12
3.2.3	Brändäys	13
3.2.4	Mainostus, yksityisyys ja rahoitus	13
3.2.5	Saatavuus	14
3.2.6	Sensuuri	15
4	Tulokset	17
4.1	Vertailun yhteenveto	17
4.2	Sovelluskohteet	18
5	Yhteenveto	19
	Lähdeluettelo	20

1 JOHDANTO

Internetistä on kehittynyt neljän vuosikymmenen aikana korvaamaton työkalu. Nykyään merkittävä osa kommunikaatiosta ja uuden tiedon jakamisesta tapahtuu sen välityksellä. Tämän hetken trendit, kuten esineiden internet, puettava elektroniikka ja digitalisaatio, ovat painottamassa internetin asemaa entisestään.

Niin sanottu Web 2.0 on korostanut käyttäjien tuottaman sisällön merkitystä. Tällä hetkellä jopa 8/20 maailman vierailuimmasta sivustosta perustuvat käyttäjien tuottaman sisällön sekä vuorovaikutteisen keskustelun ympärille [1]. Nämä sosiaaliset mediat ovat niin suosittuja, että niitä integroidaan kaikkialle televisio-ohjelmien ja tuotteiden markkinointikampanjoista jääkaappeihin [5].

Facebookin kaltaiset massiiviset palvelut ovat mahdollistaneet ennennäkemättömät mahdollisuudet yhteydenpidolle ja julkiselle keskustelulle. Kaiken sisällön ja käyttäjien keskittyminen vain muutamalle palvelualueelle luo kuitenkin uudenlaisia uhkakuvia, jotka näkyvät jatkuvasti uutisissa. Sisällön keskittyessä palveluista muodostuu hyvinkin kattavia datasiiloja, jotka ovat houkuttelevia tietomurron kohteita ja mahdollistavat käyttäjätietojen epäeettisen käytön. Erityisen paljon huomiota herätti viime vuonna tapahtunut Cambridge Analytica -skandaali [6]. Data altistuu myös sisäisille vaaroille, kuten Myspacen äskettäiset tietokantaongelmat osoittavat [16]. Käyttäjien keskittyminen puolestaan mahdollistaa muun muassa palveluehtojen mielivaltaisen muuttamisen. Esimerkiksi keskustelupalvelu Discord muutti palveluehtojaan estääkseen käyttäjiltä mahdollisuuden haastaa heidät oikeuteen [20].

Massiivisen ja jakamattoman palvelumallin rinnalle on noussut vaihtoehtoinen tapa toteuttaa palveluja: hajauttaminen. Hajautetut palvelut pyrkivät tarjoamaan saman toiminnallisuuden kuin keskitetyt palvelut sekä ratkaisemaan yllä kuvattuja ongelmia. Hajauttaminen on osittain vastareaktio, joka on saanut huomiota nimenomaan keskitetyn mallin ongelmien takia. Idea hajauttamisesta ei kuitenkaan ole millään tavalla uusi, sillä koko internet perustuu hajauttamiselle. Tim Berners-Lee, internetin isä, on jatkanut työtään hajautettamisen parissa ja kehittää kirjoitushetkelläkin hajautetulle arkkitehtuurille perustuvia uusia teknologioita [8].

Tässä kandidaatintyössä vertaillaan kahden eri palvelumallin, keskitetyn ja hajautetun, ominaisuuksia. Vertailun tarkoituksena on tutkia, millaisia hyötyjä ja haittoja hajautetut palvelut tuottavat, onko niiden kehittäminen järkevää sekä millaisiin tilanteisiin ne mahdollisesti soveltuisivat.

Toisessa luvussa perehdytään keskittämisen ja hajauttamisen teoriaan ja jaetaan arkkitehtuurit kahteen eri tasoon: järjestelmän fyysiseen laitteistotasoon ja käyttäjälle ulospäin näkyvään palvelutasoon. Kolmannessa luvussa vertaillaan palvelumallien eri ominaisuuksia laitteisto- ja palvelutason näkökulmista. Neljännessä luvussa tehdään yhteenveto vertailun tuloksista ja pohditaan, millaisia käyttötapauksia hajauttamisella voisi olla. Lisäksi esitellään hajautettujen palveluiden nykytila ja pohditaan tulevaisuutta. Lopuksi tehdään yhteenveto työssä käsitellyistä aiheista.

2 PALVELUIDEN ARKKITEHTUURIT

Jokainen palvelu pohjautuu jonkinlaiseen palveluarkkitehtuuriin eli palvelun toteuttamisessa käytettyyn operatiiviseen rakenteeseen. Hajauttaminen ja keskittäminen ovat arkkitehtuureissa hyödynnettyjä tekniikoita, jotka mielletään usein toistensa vastakohtiksi. Niiden määritelmät ja ilmentämät ominaisuudet riippuvat tekniikoita toteuttavan osa-alueen asemasta arkkitehtuurissa. Tässä työssä tekniikoita tarkastellaan kahdella eri tasolla, palvelun sisäiseen toimintaan vaikuttavalla fyysisellä laitteistotasolla sekä palvelun käyttäjälle ulospäin näkyvällä palvelutasolla. Jako on hiukan keinotekoinen mutta havainnollistava.

Sekä hajauttaminen että keskittäminen ovat laajoja aihealueita, ja niitä voi toteuttaa useassa eri muodossa. Hajautetun ja keskitetyn palvelumallin vertailun yksinkertaistamiseksi on hyvä rajata, millaisessa muodossa tekniikat ilmenevät palveluiden arkkitehtuureissa. Rajaaminen tapahtuu tämän luvun aikana ja se sovittaa vertailun kandidaatintyön laajuuteen sopivaksi sekä tekee vertailusta tehokasta.

Tässä luvussa määritellään laitteisto- ja palvelutaso. Hajauttaminen ja keskittäminen määritellään molemmille tasoille erikseen, sillä ne tarkoittavat hiukan eri asioita. Lisäksi määritellään, millaisiin arkkitehtuureihin vertailtavat palvelumallit pohjautuvat.

2.1 Laitteistotaso

Tässä työssä *laitteistotasolla* tarkoitetaan palvelun sisäistä, fyysistä osaa. Se ei näy ulospäin eikä palvelun käyttäjä ole tekemisissä sen kanssa, joten käyttäjä on irrotettu tason toiminnasta. Tämän takia laitteiston yhteydessä puhutaan palvelun sijaan teknisestä järjestelmästä.

Laitteistotasolla hajautettu järjestelmä on kokoelma itsenäisesti toimivia tietokoneyksiköitä, jotka kommunikoivat keskenään toteuttaakseen tietyn palvelun. Tietokoneiden välinen kommunikointi tapahtuu ennalta sovittujen yhteisten protokollien avulla verkon yli. Koska hajauttamiseen osallistuvat yksiköt ovat fyysisesti erillään toisistaan, niiden tekniset ominaisuudet voivat vaihdella. [13, s. 1] Hajautetut järjestelmät ovat siis luonteeltaan modulaarisia.

Laitteistotasolla keskitetty järjestelmä puolestaan koostuu yksittäisestä, fyysisesti yhtenevästä tietokonekokonaisuudesta. Keskitetyn järjestelmän koko voi vaihdella yhdestä

yksiköstä useaan lähiverkkoon liitettyyn yksikköön. Kokonaisuuden ei siis tarvitse olla yksittäinen tietokone. [13, s. 1,37]

Palvelun sisäisellä hajauttamisella tarkoitetaan laitteistotasolla tapahtuvaa hajautusta. Laitteistotason hajautuksen yhteydessä järjestelmän toteuttamalla palvelulla tarkoitetaan esimerkiksi sisäistä tietokantaprosessia, ei käyttäjälle tarjottavaa palvelua. Prosessien jakaminen usealle yksikölle muistuttaa rinnakkaista ohjelmointia, jossa prosessi jaetaan usealle säikeelle. Hajauttaminen mainitaankin yhtenä rinnakkaisuuden päätavoitteista [14, s. 88].

Keskitetyn järjestelmän käyttö on hyvin suoraviivaista hajautettuun järjestelmään verrattuna, sillä hajautettu järjestelmä täytyy suunnitella huolellisesti ennen sen käyttöönottoa: Täytyy pohtia, suorittaako jokainen järjestelmään liitetty yksikkö samaa tehtävää vai ovatko ne erikoistuneet yksittäisen palvelun tuottamiseen, millaisen hierarkian yksiköt muodostavat ja miten työtaakka jaetaan niiden kesken. Lisäksi täytyy päättää, kuinka yksiköt kommunikoivat keskenään. Nämä ongelmat saattavat esiintyä myös keskitetyssä järjestelmässä, mutta niiden luonne ja kokoluokka on erilainen.

Hajauttaminen on sen monimutkaisuudesta huolimatta hyvin yleistä. Esimerkiksi useamman datakeskuksen käyttö yksittäisessä palvelussa on yksi sisäisen hajautuksen muoto, jota suuret palvelut hyödyntävät. Yhden tietokoneyksikön resurssit eivät yksinkertaisesti riitä massiivisen käyttäjäkunnan palveluun. Kuitenkin myös keskittämislle on omat käyttökohteensa: henkilökohtaiset kotisivut eivät tarvitse monimutkaista ja laajaa infrastruktuuria toimiakseen oikein.

2.2 Palvelutaso

Tässä työssä *palvelutasolla* viitataan siihen palvelun osaan, jonka kanssa käyttäjä on vuorovaikutuksessa. Palvelutaso ei ole varsinaisesti yhteydessä laitteistotasoon, sillä eri tasoilla voi toteuttaa eri tekniikoita toisistaan riippumatta. Näin ollen jako on hyväksyttävä ja auttaa kuvaamaan hajauttamisen toteutusta palvelun eri osissa.

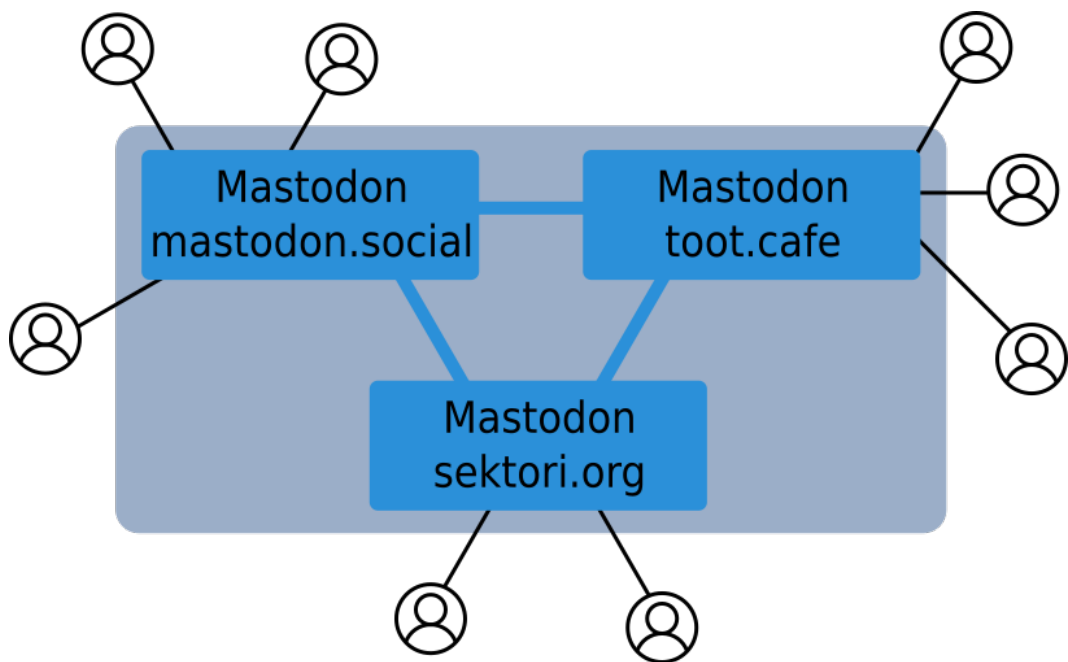
Hajautettu palvelu viittaa usean itsenäisen palvelun yhdessä muodostamaan palveluverkostoon [21, s. 710]. Palvelut kommunikoivat keskenään yhteisen protokollan avulla verkon yli. Sähköposti on tunnettu esimerkki hajautetusta palvelusta. *Keskitetty palvelu* puolestaan tarkoittaa keskitetyille arkkitehtuurille rakennettua palvelua, jolla on yksi muista riippumaton omistaja [18, s. 437]. Suuret sosiaaliset verkostot, kuten Facebook ja Twitter, on toteutettu tätä mallia käyttäen [9]. Sekä hajautetun että keskitetyn mallin palvelut toimivat perinteistä asiakas–palvelin-mallia käyttäen [7]. Tässä työssä keskitetyillä ja hajautetulla palvelumallilla tarkoitetaan palveluita, jotka toteuttavat keskittämistä ja hajauttamista palvelutasolla.

Hajautettujen palveluiden yhteydessä yksittäisiin palveluihin viitataan yleensä sanalla *instanssi* (engl. instance) [17]. Tässä työssä instanssilla tarkoitetaan minkä tahansa hajau-

tetun palveluverkoston osana toimivaa yksittäistä palvelua. Hajautetulla palvelulla puolestaan tarkoitetaan koko palveluverkostoa.

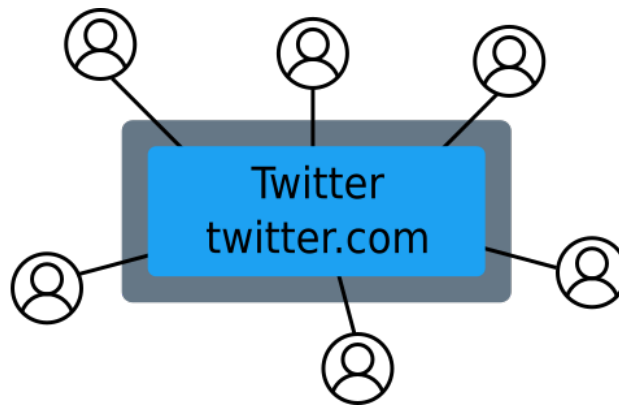
Laitteistotason ja palvelutason määritelmät hajautukselle ovat samankaltaiset. Hajautetun palvelun voidaan kuvitella olevan laitteistotasolla hajautettu järjestelmä, jonka yksiköt toimivat samalla hierarkian tasolla ja tarjoavat vuorovaikutteisen palvelun suoraan käyttäjille. Palvelutason hajautus ei kuitenkaan määritelmien mukaan vaadi laitteistotason hajautusta. Sekä palvelutasolla keskitetty että palvelutasolla hajautettu palvelu voivat toteuttaa laitteistotason hajautuksen.

Kuva 2.1 havainnollistaa hajautetun palvelun muodostamaa palveluverkostoa. Kuvassa kolme mikroblogipalvelu Mastodonin instanssia kommunikoivat keskenään muodostaen koko palvelun. Siniset kuplat kuvaavat omissa verkko-osoitteissaan toimivia instansseja. Koska jokainen instanssi toimii itsenäisesti, niillä on oma käyttäjäkuntansa. Instanssit pystyvät kommunikoimaan ActivityPub-protokollan avulla keskenään, jolloin käyttäjät eivät ole rajoittuneet vain oman instanssinsa sisältöön. Harmaa kupla kuvaa instanssien muodostamaa palveluverkostoa eli kokonaista Mastodon-palvelua.



Kuva 2.1. Mastodon-palvelun muodostama palveluverkosto.

Kuva 2.2 havainnollistaa keskitettyä mikroblogipalvelu Twitteriä edellisen kuvan tapaan. Sininen kupla kuvaa koko Twitter-palvelua. Koska se on palvelutasolla keskitetty, se ei muodosta samanlaista palveluverkostoa kuin hajautetut palvelut. Twitter voidaan kuitenkin vertailun vuoksi mieltää palveluverkoston ainoaksi instanssiksi. Harmaa kupla kuvaa kuviteltua palveluverkostoa.



Kuva 2.2. Twitter-palvelu palveluverkostoksi mielletynä.

Palvelumalli ei suoraan kerro palvelun koosta. Keskitetyllä palvelulla voi olla vain muutama käyttäjä. Toisaalta maailman suurimmalla sosiaalisella medialla, Facebookilla, on yhteensä noin 2,3 miljardia aktiivista käyttäjää [11]. Gmaililla, yhdellä maailman suurimmista sähköpostiverkoston instansseista, on noin 1,5 miljardia aktiivista käyttäjää [12]. Arvio hajautetun verkoston koosta yksittäistä instanssia suuremmassa mittakaavassa on epätarkka, sillä verkoston kartoittaminen on vaikeaa eikä kaikki instanssit välttämättä ole yhteydessä toisiinsa. Mastodonin on arvioitu koostuvan noin 2,7 tuhannesta instanssista, mutta aktiivisia käyttäjiä on silti noin 1,4 miljoonaa [17].

2.3 Vertailtavat palvelumallit

Tässä työssä vertaillaan hajautetun ja keskitetyn palvelumallin ominaisuuksia. Vertailtujen palveluiden täytyy siis toteuttaa vastakkaisia tekniikoita palvelutasolla, sillä ne vaikuttavat suoraan käyttäjään.

Palvelumalleja vertaillaan laitteisto- ja palvelutasoille jaoteltujen ominaisuuksien osalta. Laitteistotason toteutusta eli keskitetyn palvelun ja yksittäisten instanssien sisäistä rakennetta ei kuitenkaan tarvitse tietää. Koska palvelutason instanssi–palveluverkosto-rakenne muistuttaa paljon laitteistotason hajautusta, laitteistotason hajautuksen ilmentämät ominaisuudet ilmenevät myös palvelutasolla. Niitä käsitellään kyseisen rakenteen näkökulmasta. Vertailussa keskitetty palvelu mielletään yksittäiseksi instanssiksi kuten kuvassa 2.2. Laitteistotason ominaisuuksien erot pätevät kuitenkin myös sisäisen rakenteen yhteydessä.

Vertailussa hajautettu palvelu rajataan tarkoittamaan palvelua, jonka instanssit ajavat samaa ohjelmistoa. Tällöin esimerkiksi useasta uniikista instanssista koostuva sähköposti rajautuu vertailun ulkopuolelle. Vaikka hajautetun palvelun määritelmää rajataan vertailun takia, suurin osa vertailun tuloksista pätee kaikkiin hajautettuihin palveluihin.

3 OMINAISUUKSIEN VERTAILU

Keskitetyn ja hajautetun palvelumallin arkkitehtuurierot aiheuttavat eroavaisuuksia palveluiden ominaisuuksissa. Tässä kappaleessa tarkastellaan ja vertaillaan arkkitehtuurivalinnoista riippuvaisia ominaisuuksia eri palvelumalleissa. Tarkasteltavat ominaisuudet jaotellaan edellisen kappaleen mukaan laitteisto- ja palvelutasolle.

Laitteistotasolla vertaillaan resurssien käyttöä ja palvelun skaalautuvuutta, vasteajan vaikutusta palvelun käyttöön, päivityksen yksinkertaisuutta, palvelun tietoturva, virheensietokykyä sekä laitteiston aiheuttamia kustannuksia. Nämä näkökulmat antavat suhteellisen kattavan näkemyksen palvelumallien teknisistä heikkouksista ja vahvuuksista. Lisäksi niitä on helppo vertailla.

Palvelutasolla vertaillaan palveluehtoja yleisesti ja erityisesti käyttäjän datan käsittelyn kannalta, brändäystä ja tunnistettavuutta, mainostusta ja yksityisyyttä mainostuksen kannalta, palvelun saatavuutta eri olosuhteissa sekä erilaisia sensuurin malleja. Nämä näkökulmat puolestaan antavat katsauksen käyttäjän asemaan sekä organisatorisiin eroihin, jotka yleensä muodostuvat palveluiden ympärille.

3.1 Laitteistotason erot

Laitteistotason erot vaikuttavat palvelun tekniseen toiminnallisuuteen eivätkä näy suoraan käyttäjälle. Erot on kuitenkin hyvä tuntea, sillä ne vaikuttavat instanssien kautta suoraan koko palvelun luonteeseen ja ominaisuuksiin. Vaikuttaminen johtuu palvelutasosta, joka ilmentää instanssi-verkosto-rakenteen vuoksi myös hajautetun järjestelmän ominaisuuksia. Instanssien sisäisiä arkkitehtuureja ei ole mielekästä tarkastella, sillä ne eivät vaikuta oleellisesti palveluun.

Keskitetty palvelu voidaan mieltää kuvan 2.2 mukaisesti yhden instanssin kokoiseksi palveluverkostoksi, joka ilmentää keskitetyn järjestelmän ominaisuuksia. Näin laitteistotason erojen vertailu voidaan suorittaa instanssien kautta luonnollisen oloisesti.

3.1.1 Resurssit ja skaalautuvuus

Keskittäminen asettaa palvelulle selviä fyysisiä rajoitteita, sillä käytössä oleva kapasiteetti ja muut resurssit rajoittuvat yhden instanssin tarjoamiin tietokoneyksiköihin. Resursseja

pystyy lisäämään laitteistoa muokkaamalla, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti: laitteiston tekninen toteutus rajoittaa lisättävien resurssien määrää. Keskitetty arkkitehtuuri ei siis välttämättä riitä kattamaan kaikkia palvelun vaatimuksia [13, s. 4].

Hajautettu järjestelmä on rakenteeltaan modulaarinen. Tämä mahdollistaa resurssien lisääminen järjestelmään instanssien sisäisen rakenteen muokkaamisen lisäksi myös uusien instanssien liittämällä osaksi verkostoa. Modulaarisuus mahdollistaa myös resurssien hyvän hallinnoinnin. [13, s. 5] Näin hajautettu arkkitehtuuri pystyy tarjoamaan palvelun käyttöön keskitettyä arkkitehtuuria enemmän resursseja. Koska hajauttaminen tukee paremmin resurssien lisäämistä, tukee se myös paremmin palvelun koon skaalautuvuutta. Teoriassa hajautettu palvelu pystyy skaalautumaan rajattomasti, sillä uusien instanssien liittäminen onnistuu aina.

Instanssien lisäämisessä on kuitenkin selkeä ongelma järjestelmän resurssien lisäämiseen nähden: vaikka resursseja on saatavilla, hajautettu luonne hidastaa prosessointia ja palvelun suorittamista. Yksinkertainen mutta havainnollistava esimerkki on tiedonhaku. Keskitetyssä järjestelmässä haku tarkoittaa parhaimmillaan muutamaa tietokantakyselyä. Tilanne on sama yksittäisen instanssin sisäisessä toiminnassa, mutta monimutkaistuu huomattavasti kahden eri instanssin yhteydessä: kysely täytyy ensin muotoilla ensimmäisellä instanssilla yhteisesti ymmärrettävään muotoon, siirtää verkon yli toiselle jossa itse kysely suoritetaan, muotoilla vastaus jälleen ymmärrettävään muotoon ja siirtää takaisin.

Toinen hajautetuille järjestelmille ominainen ongelma on verkoston monimutkaisuus, joka lisääntyy jokaisen instanssin myötä. Tämän takia hajautetut järjestelmät vaativat aina paljon huolellisempaa suunnittelua kuin keskitetyt järjestelmät [13, s. 7]. Huolellisesti suunniteltu järjestelmä on tärkeää myös resurssien hallinnoinnin kannalta.

3.1.2 Vasteaika

Ellei keskitetty palvelu toteuta laitteistotason hajautusta, se sijaitsee fyysisesti yhdessä paikassa. Vaikka sisäinen hajautus olisi toteutettu, käyttäjä joutuu kommunikoidaan palvelun kanssa ennaltamäärätyiltä maantieteellisiltä alueilta.

Koska hajautettua palvelua pystyy laajentamaan uusilla instansseilla, sitä ei ole sidottu maantieteellisesti mihinkään. Tämä sitoutumattomuus mahdollistaa instanssin perustamisen lähialueelle, jolloin palvelun käytön vasteajat lyhenevät huomattavasti. Jos lähellä sijaitsevan instanssin on kommunikoitava useasti maantieteellisesti kaukana sijaitsevien instanssien kanssa, läheisyydestä saatu nopeusetu saatetaan menettää.

Nykyaikaiset verkkoyhteydet ovat jatkuvasti nopeampia kuin aikaisemmin. Maantieteellisellä sijainnilla on silti suuri vaikutus vasteaikaan. Tämä on perusteltavissa teoreettisella minimivasteajalla ja siihen liittyvällä esimerkillä. Oletetaan tiedon liikkuvan valonnopeudella, joka on noin 300 000 km/s. Vasteaika maapallon toisella puolella eli noin 20 000 kilo-

metrin päässä sijaitsevaan palveluun olisi noin 133 ms. Vasteaika paikalliseen, 100 kilometrin päässä sijaitsevaan palveluun puolestaan olisi 0,67 ms. Ero on noin 200-kertainen.

3.1.3 Päivitys

Keskitettyjen palveluiden päivittäminen on paljon helpompaa kuin hajautettujen palveluiden. Ohjelmistopäivitys täytyy tehdä vain muutamalle palvelua ylläpitävälle tietokoneelle. Päivitystä helpottaa, jos keskitetty palvelu ei toteuta laitteistotason hajautusta. Laitteistotason keskittämisestä johtuva fyysinen läheisyys tekee myös laitteiston päivittämisestä suhteellisen vaivatonta.

Jos palvelu on hajautettu, sen instanssit ovat maantieteellisesti erillään. Tämä luonnollisesti vaikeuttaa sekä ohjelmiston että laitteiston päivittämistä. Jos instansseilla on eri omistajat, päivitysprosessi saattaa kohdata organisatorisia ongelmia, kuten aikataulutuksesta johtuvan portaittaisen päivityksen. Kun instanssit päivittyvät eri aikaan, palvelun ohjelmistoversio ei ole enää yhtenevä ja palvelu kohtaa samantapaisen pirstoutumisen kuin Android-käyttöjärjestelmä [15]. Pirstoutuminen aiheuttaa uusien ominaisuuksien lykkäytymistä, tietoturvaongelmia ja pahimmillaan kommunikaatio-ongelmia instanssien välillä.

Jos instansseilla ajettavan ohjelmiston lähdekoodi on avointa, siitä voi haarauttaa uuden version tai parhaimmillaan kehittää täysin uuden ohjelmiston, joka kommunikoi vain osittain vanhan kanssa. Tämä edesauttaa palveluverkoston pirstoutumista.

Hajautettu päivitys tuo mukanaan myös etuja. Koska laitteisto on jaettu useaan eri kokonaisuuteen, kokonaisuuksia voi hallita itsenäisesti. Laitteistoa voi siis päivittää tarpeen tullen sopivilla komponenteilla muista riippumatta. Koko laitteistoa koskevat häiriöt ovat hajautetulle palvelulle käytännössä mahdottomia.

3.1.4 Tietoturva

Keskitetty palvelu on alttiimpi ohjelmistosta johtuville tietoturvaongelmille. Yksittäisellä onnistuneella tietomurrolla pääsee pahimmassa tapauksessa käsiksi kaikkeen palvelun sisältämään tietoon, sillä se sijaitsee fyysisesti samassa paikassa. Tiedon keskittyminen vaikuttaa jopa sisäisesti hajautettuihin palveluihin. Siilomaisen luonteensa takia keskitetty palvelu on houkutteleva tietomurron kohde.

Hajautettuun palveluun kohdistettu tietomurto kohdistuu yhteen instanssiin kerrallaan, jolloin tietomurron kohteena on vain murto-osa koko palvelun sisällöstä. Yhtä tunnettua tietoturva-aukkoa voi hyödyntää usealla instanssilla, mutta se on hitaampaa ja vaatii enemmän työtä. On myös mahdollista, että instanssien käyttämissä ohjelmistoissa on eroja, jolloin tietoturva-aukon laaja hyödyntäminen on vaikeampaa ellei mahdotonta.

Fyysisesti hajautetut palvelut ovat vastustuskykyisempiä myös muun kaltaisille hyökkäyk-

sille, esimerkiksi palvelunestohyökkäyksille. Jos hyökkäys kohdistuu vain yhteen instanssiin, muu palveluverkosto jatkaa toimintakykyisenä kyseisen instanssin tilasta huolimatta. Onnistunut palvelunestohyökkäys keskitettyyn palveluun saattaa keskeyttää sen toiminnan kokonaan.

Hajautetuilla palveluilla on olemassa yksi suuri tietoturvariski keskitettyihin palveluihin verrattuna: tiedon lähettäminen internetin yli. Instanssit kommunikoivat toistensa kanssa verkon välityksellä, kun taas keskitetyn palvelun tapauksessa kommunikointi on usein sisäistä. Runsas internetin käyttö instanssien välillä avaa hyökkääjille uudenlaisen hyökkäysrajapinnan. Hajautettujen palveluiden onkin keskityttävä kehittämään tarpeeksi vahvoja salauksia, jotta palvelun käyttö olisi turvallista.

3.1.5 Virheensietokyky

Jos keskitetty palvelu kohtaa vakavan ongelman, esimerkiksi yllä mainitun palvelunestohyökkäyksen, palvelun toiminta keskeytyy. Myös vakava virhe ohjelmistossa uhkaa koko palvelun toiminnallisuutta, vaikka sen voikin korjata helposti päivittämällä.

Hajautetun palvelun yksittäiset instanssit kestävät ongelmatilanteita yhtä huonosti kuin keskitetty palvelu. Palvelun saatavuus ja virheensietokyky ovat kuitenkin paljon parempia palveluverkoston ansiosta: yhden instanssin menettäminen ei kaada koko palvelua, vain tietyn osan siitä. Muu palveluverkosto pystyy siis jatkamaan toimintaansa normaalisti. Joissakin tilanteissa muut instanssit voivat tilapäisesti korvata menetetyn instanssin suorittamalla sille määrättyjä tehtäviä.

Jos hajautetun palvelun ohjelmistossa on virhe, paikkaavan päivityksen asentaminen on palvelun hajautetun luonteen takia vaikeaa. Toisaalta toisistaan eriävät ohjelmistoversiot ennaltaehkäisevät virheen yhtäaikaista ilmenemistä.

Hajautetun palvelun kohtaamat ongelmat ovat yleensä instanssikohtaisia, jolloin palvelun virheensietokyky on hyvä. On kuitenkin mahdollista, että koko palveluverkosto kohtaa yhtäaikaaisesti virheen. Tällaiset tilanteet voivat liittyä esimerkiksi instanssien välisessä kommunikoinnissa käytettävään protokollaan.

3.1.6 Kustannukset

Suuret keskitetyt palvelut vaativat laajan infrastruktuurin, jonka ylläpito maksaa. Palvelun hajauttaminen hajauttaa luonnollisesti myös palvelun ylläpitokustannukset, sillä kukaan ei hallinnoi koko verkostoa. Mitä vähemmän yhdellä instanssilla on käyttäjiä, sitä pienemmät vaatimukset instanssia ylläpitävälle laitteistolle on. Ideaalissa tilanteessa ylläpitokustannukset vajoaisivat niin alas, että jokainen pystyisi ylläpitämään henkilökohtaista instanssiaan. Toisaalta hajautuksen yhteydessä verkkoyhteyden käyttö korostuu ja saattaa aiheuttaa käyttäjälle kustannuksia, joita ei keskitetyn palvelun yhteydessä esiinny.

Instanssien koko voi olla mielivaltainen. Jos oletetaan käyttäjien määrä vakioksi, hajautetun palvelun yksittäisellä instanssilla on vähemmän käyttäjiä kuin keskitetyllä palvelulla. Näin ollen instanssin laitteistovaatimukset ja -kustannukset ovat pienemmät. Keskitetyn palvelun vaatima laitteisto voidaan ostaa kerralla. Koska yhden suuren erän ostaminen on yleensä halvempaa kuin monen pienen erän, keskitetty palvelu on laitteiston puolesta kokonaisuudessaan halvempi.

Palveluohjelmistojen kehittäminen vie aikaa. Keskitetyt palvelut, kuten kaikki suurimmat sosiaaliset mediat, ovat suljetun lähdekoodin kaupallisia projekteja. Niiden kehittämiseen on omat työntekijänsä, joista koituu kustannuksia. Kilpailukykyiset hajautetut sosiaaliset mediat ovat usein avoimen lähdekoodin projekteja, jotta kuka tahansa voi perustaa instanssin. Näin palveluverkostosta saadaan kasvatettua tarpeeksi laaja. Avoimen lähdekoodin ansiosta kuka tahansa pystyy kontribuoimaan projektiin, eikä erillisiä kehittäjiä tarvitse välttämättä palkata. Projektin kehittämisestä voi kuitenkin maksaa, vaikkei suoraa työsuhdetta olisikaan olemassa. Erilaisia rahoitusmalleja tarkastellaan luvussa 3.2.4.

Mastodon on esimerkki yllä kuvatusta avoimen lähdekoodin hajautetusta palvelusta. Sillä on laaja ja suhteellisen vakaa käyttäjäkunta, vaikka koko palvelu on ilmainen. Vapaaehtoiset rahoittavat ohjelmiston kehittämistä joukkorahoituspalvelu Patreonissa. Projektin pääkehittäjä maksaa osan tästä summasta muille kehittäjille ja esimerkki-instanssin moderaattoreille. [10, 17]

3.2 Palvelutason erot

Palvelutason erot vaikuttavat suoraan käyttökokemukseen tai käyttäjän ja palvelun väliseen suhteeseen. Erot perustuvat laitteistotasolla tehtyihin arkkitehtuurivalintoihin sekä toisistaan poikkeaviin organisaatiomalleihin. Hajautettujen palveluiden ei ole helppo saavuttaa samanlaista organisaatiomallia kuin keskitettyjen palveluiden, sillä keskitetty palvelumalli liittyy vahvasti kaupallisuuteen [3, s. 1].

Kaupallisuus ja kohdistuneiden mainosten tarjoilu ohjaavat vahvasti palveluiden menettelytapoja ja kehittämistä. Hajautetut palvelut ovat omaksuneet paljon käyttäjäkeskeisemmän toimintamallin, sillä ne pyrkivät toimimaan vastareaktionä keskitettyjen palveluiden epäeettiselle toiminnalle, jota on verrattu jopa orjakauppaan. [2]

3.2.1 Palveluehdot

Suurin käyttäjän ja palvelun väliseen vuorovaikutukseen vaikuttava tekijä on palveluehdot eli käyttöehdot sekä rekisteriseloste (engl. terms of service and privacy policy). Käyttäjän on hyväksyttävä ehdot päästäkseen käyttämään palveluja. Palveluehdot ovat yksi merkittävimmistä eroista, joka jaottelee keskitetyt ja hajautetut palvelut selvästi erilleen.

Keskitetyt palvelut tarjoavat usein suurimmalle osalle käyttäjistä samat palveluehdot. Jos

käyttäjä ei suostu tarjottuihin ehtoihin, hänet suljetaan ns. aidatun puutarhan ulkopuolelle. Keskitettyjä palveluja kutsutaan kyseisellä termillä, sillä niillä on tapana tarjota vain hyvin rajoitettu osa sisällöstä ja toiminnallisuudesta rekisteröitymättömille käyttäjille. Sisällön tarjoaminen vain rekisteröityneille käyttäjille toimii tehokkaana houkuttimena palvelun käyttöönottoon. Jos palvelulla on monopoliasema tai uskollinen käyttäjäkunta, se voi määrittellä kohtuuttomat palveluehdot milloin tahansa. Ehtoja voi myös kiristää portaittain, jolloin kynnys poistua palvelusta uudistuneiden ehtojen takia kasvaa.

Hajautettujen palveluiden kohdalla tilanne on aivan erilainen. Jokainen instanssi on itsenäinen kokonaisuus, joka pystyy määrittelemään itse omat palveluehtonsa. Mikä tahansa instanssi pystyy liittymään palveluverkostoon avoimien protokollien avulla, joten palveluehdot voivat vaihdella laidasta laitaan. Ehtojen kirjon vuoksi koko verkostolle yhteisiä sääntöjä on mahdotonta luoda. Hajautettu palvelumalli asettaa käyttäjät erittäin suotuisaan asemaan, sillä ne voivat kilpailuttaa instansseja eri perusteilla ja päättää, minkä kautta he ovat yhteydessä palveluun. Tietyn instanssin valinta tai valitsematta jättäminen ei sulje käyttäjiä palvelun ulkopuolelle. Hajautettu palvelu ei siis pysty muodostamaan samanlaista aidattua puutarhaa kuin keskitetty palvelu.

Jos kahdella instanssilla on täysin poikkeavat palveluehdot ja käyttäjä päättää rekisteröityä palveluun ensimmäisen instanssin kautta, hän pystyy pääsemään käsiksi myös toisen instanssin sisältöön. Käyttäjää ei siis suljeta edes ehdoiltaan epäyhteensopivan instanssin ulkopuolelle. Toisaalta vaikutus toimii myös toisin päin: yksittäinen instanssi voi käyttää toisten instanssien sisältöä esimerkiksi mainostoimintaan, vaikka muut instanssit eivät itse sitä tekisi. Osa palveluista mahdollistaa ulkoisen instanssin estämisen joko käyttäjän tai hänen instanssinsa toimesta.

Instanssien väliset suhteet monimutkaistavat palveluehtoja ja tietojen pääsynhallintaa (engl. access control), joka luo hajautetuille palveluille uniikkeja ongelmia. Tämänkaltaisiin ongelmiin etsitään aktiivisesti toimivia ratkaisuja ja hajautettua arkkitehtuuria kehitetään jatkuvasti.

3.2.2 Datan säilytys ja lisensointi

Käyttäjän tuottama sisältö ja käyttäjästä kerätty tieto on dataa, jonka säilytyksestä ja lisensoinnista on sovittu palveluehdoissa. Ehtojen lisäksi datan käsittelyyn vaikuttaa esimerkiksi maantieteellinen sijainti.

Keskitetyt palvelut eivät yleensä tarjoa käyttäjille mahdollisuutta valita maantieteellistä aluetta, jossa heihin liittyvää dataa käsitellään. Tällöin käyttäjät eivät myöskään voi päättää, millaisten lakien alaisuudessa käsittely tapahtuu. Palvelun omistaja voikin päättää palvelun maantieteellisen alueen lakiteknisesti edullisella tavalla. Tiedyt alueet saattavat olla esimerkiksi tietoturvan kannalta vaatimattomampia. Tällainen toiminta muistuttaa veronkiertoa. Lisensointi on toinen ongelmakohta. Vaikka tekijänoikeudet pysyisivät käyttäjillä, palvelujen omistajat voivat määrittää palveluehdoissa niin laajat lisensointi- ja käyt-

töiikeudet kuin haluavat.

Hajautettujen palveluiden yhteydessä käyttäjä voi itse päättää, mille instanssille hän antaa kontrollin datastansa [21, s. 710]. Käyttäjän on mahdollista kilpailuttaa instansseja esimerkiksi maantieteelliseen sijaintiin tai palveluehtoihin perustuen. Jos instanssit ovat voittoa tavoittelevia palveluita ja kilpailevat käyttäjistä, ne saattavat muuttaa toimintatapaansa käyttäjien voittamiseksi.

3.2.3 Brändäys

Vahvasta identiteetistä on usein hyötyä palveluille. Tarkasti suunniteltu ja kuratoitu väriteema, tunnuslauseet, logot, sivujen asettelu ja jopa oma termistö muodostavat selkeästi tunnistettavan brändin. Oikein toteutettu brändäys tekee palvelusta yhtenäisemmän ja käyttäjäystävällisemmän. Se luo käyttäjille mielikuvan vaivattomasta ja vakaasta käyttökokemuksesta.

Keskitetuille palveluille brändin luominen on suhteellisen helppoa. Niillä on yksi nimi ja yleensä yksi verkko-osoite, joiden ympärille muu brändi rakennetaan. Keskittämisen ansiosta brändin ilmentäminen palvelussa sekä mahdolliset muutokset ovat yksinkertaisia toimenpiteitä.

Myös hajautetuilla palveluilla voi olla oma brändi. Keskitettyjen palveluiden kaltaiseen tilanteeseen päästään silloin, kun palvelun instanssit käyttävät samaa ohjelmistoa muokkaamattomana. Tällöin instanssit ikään kuin perivät ohjelmiston brändin ja ulkoasun, jolloin ne ovat helposti tunnistettavissa osaksi samaa palveluverkostoa. Toisaalta jokaisella instanssilla on itsenäisenä palveluna täysi kontrolli muokata omaa brändiänsä. Sekä käyttäjä että palvelu kärsivät, jos verkoston brändi on liian pirstoutunut: palvelua ei enää tunnisteta eikä sitä ole houkuttelevaa käyttää.

Vaikka sähköposti on määritelmän mukaan hajautettu palvelu, jokaisella instanssilla on hyvin vahva oma brändi. Tämä ei kuitenkaan sekoita käyttäjiä, sillä instanssit ovat suuria ja keskitettyjä. Verkoston sisäinen erilaistuminen johtaa siihen, ettei sähköpostilla itsellään ole brändiä ollenkaan.

3.2.4 Mainostus, yksityisyys ja rahoitus

Internet-pohjaisten palveluiden rahoitusmalli koostuu suurimmaksi osaksi kohdistettujen mainosten tarjoilusta [3, s. 32]. Mainokset ovat siis elintärkeitä palveluiden olemassaololle. Palvelut ovat yleensä ilmaisia, sillä mainostulot kattavat palvelun ylläpidosta ja kehittämisestä aiheutuvat kustannukset. Mitä enemmän käyttäjiä palveluilla on, sitä enemmän sekä mainostaja että palvelu itse hyötyy rahoitusmallista.

Mainokset ovat sitä houkuttelevampia mitä henkilökohtaisempia ne ovat. Kohdennettu

mainonta perustuu siis käyttäjän tuntemiseen ja liikevoiton tavoittelu johtaa entistä tarkempaan käyttäjän toiminnan tarkkailuun [3, s. 3]. Joka ikinen toiminta palvelussa hiiren tai sormen sijaintiin asti on tallennettavissa ja analysoitavissa. Nykyään seuranta ei rajoitu enää itse palveluun: evästeet, sosiaalisen median jakonappulat sekä muut kehittyneet teknologiat mahdollistavat käyttäjän seuraamisen koko internetin laajuudella.

Seurannan takia mainostuksesta muodostuu suuri ongelma käyttäjien yksityisyydelle, varsinkin jos seuranta harjoitetaan äärimmilleen viedyssä mittakaavassa. Sosiaalisista medioista on kehittymässä koneistoja, jotka tietävät käyttäjistään kaiken ja pystyvät täten mallintamaan heidän ajatteluaan ja käytöstään. Käyttäjien yksityisyys heikentyy siis huomattavasti yrityksiensä rahoitusmallin takia. Yritykset tai niiden työntekijät voivat lupauksista huolimatta käyttää tietoja hyväkseen. Tämän mahdollistaa seurannan tuloksena saatu data, joka on säilöttävä jonnekin arkaluontoisuudestaan huolimatta. Kuten käyttäjien tuottama sisältö, myös tämä data muodostaa datasiiloja, jotka ovat ulkopuolisten hyökkäysten kohteena.

Suurten keskitettyjen palveluiden rahoitusmalli siis vaarantaa käyttäjien yksityisyyden usealla eri tavalla. Hajautetuille palveluille tämä on epätodennäköistä, ovathan hajautetut palvelut vastareaktio nimenomaan tälle toimintatavalle [2][3, s. 1]. Lisäksi verkoston hajautunut luonne ja toisistaan eriävät palveluehdot ovat este mahdollisten mainostajien houkuttelemiselle. Näin ollen käyttäjien seurantaakaan ei välttämättä tarvita.

Koska mainosten tarjoilu ei ole yhteensopivaa hajautettujen palveluiden kanssa, niiden on löydettävä muita rahoitusmalleja. Tämä voi koitua hyvinkin suureksi ongelmaksi. Eräitä vaihtoehtoja ovat lisäominaisuuksien tai koko palvelun myynti esimerkiksi kuukausimaksua vastaan tai rekisteröitymisen yhteydessä. Muita mahdollisia rahoitustapoja ovat lahjoitukset ja joukkorahoitukset. Jos hajautus vietäisiin äärimmilleen, jokaisella käyttäjällä olisi henkilökohtainen instanssi, jolloin palvelun ylläpito hinnat jäisivät erittäin pieniksi. Nämä mallit eivät kuitenkaan ole realistisia tai tule kestäämään skaalautumista keskitettyjen palveluiden tasolle.

3.2.5 Saatavuus

Palvelun saatavuutta voidaan mitata käyttäjän ja palvelun välille muodostuvan suhteen yksinkertaisuudella ja vakaudella. Tähän suhteeseen vaikuttavat sekä käyttäjä, palvelu että kolmannet osapuolet.

Älypuhelimet ovat erittäin suosittu tapa käyttää palveluita ja kuluttaa sisältöä. Niinpä mobiilialustojen tukeminen perinteisten käyttöjärjestelmien ja web-sovelluksen lisäksi on ratkaiseva tekijä onnistuneelle palvelulle [21, s. 712]. Keskitetyt palvelut tarjoavat yleensä virallisen sovelluksen suosituimmille mobiilialustoille eli Androidille ja iOS:lle. Kolmannen osapuolen kehittäjät saattavat tarjota palveluiden kanssa yhteensopivia sovelluksia, mutta niiden olemassaoloa rajoittavat palveluiden käyttöehdot sekä yksityiset API:t eli ohjelmointirajapinnat (engl. application programming interfaces). Avoimet ja standardoidut

protokollat ovat elinehto hajautetuille verkostoille, joten sovellusten kehittäminen niille on helpompaa. Harvinaisemmat alustat, kuten esimerkiksi SailfishOS, ovat todennäköisemmin tuettuja hajautettujen palveluiden tapauksissa, sillä kuka tahansa voi kehittää sovelluksen eikä taloudellisia hyötyjä tarvitse punnita. Mastodon-projekti tarjoaa käyttäjilleen web-sovelluksen ja mainitsee sivuillaan 13 kolmannen osapuolen sovellusta, jotka ovat saatavissa yhteensä seitsemälle eri alustalle [4].

Luvussa 3.1.5 todettiin hajautettujen palveluiden sietävän teknisiä virheitä paljon paremmin kuin keskitetyt verkostot. Virheensietokyvyllä on suora vaikutus saatavuuteen. Palveluiden saatavuuteen voi vaikuttaa myös poliittisesti, esimerkiksi pyrkimällä estämään pääsy palveluiden ääreen. Tällainen palveluiden esto toimii yhtenä sensuurin muotona. Sensuuria käsitellään laajemmin kappaleessa 3.2.6. Kiina on tunnettu kansallisesta palomuuristaan, jolla estetään huomattava osa ulkomaalaisista palveluista. Hajautetut palvelut kestävät paremmin myös tämänkaltaisia ongelmia, sillä koko verkosto on hyvin vaikea estää yhdellä kertaa. Hajautetun luonteensa puolesta on myös mahdollista, että ulkomaalaisen liikenteen estämisen jälkeen kotimaahan jää toimiva ja aktiivinen osaverkosto.

Palvelut voivat joissain tilanteissa itse toimia saatavuutta rajoittavana tekijänä. Mediapalvelut, kuten YouTube ja Netflix, voivat esimerkiksi rajoittaa sisällön saatavuutta vain tiettyihin maihin. Rajoituksen syynä saattaa toimia paikallinen laki tai käyttäjän sisällölleen asettama lisensointi. Sekä keskitettyjen että hajautettujen palveluiden tulisi noudattaa tämänkaltaista saatavuuden rajoittamista vaikka sisällön jakaminen olisikin mahdollista, sillä yleensä rajoitukset pohjautuvat lakiin.

3.2.6 Sensuuri

Sosiaalisista medioista on kehittynyt tärkeitä julkisen keskustelun alustoja ja uutisportaleja. Palveluita kohtaavat monet erilaiset sisäiset ja ulkoiset motiivit, jotka voivat pahimmassa tapauksessa johtaa kohtuuttomaan sensuuriin. Se voi tapahtua kahdessa eri osassa: rajoittamalla julkaistavaa sisältöä tai sen löytymistä palvelusta [3, s. 16].

Tietyn sisällön poistaminen on suoraa sensuuria, ja keskitetyt palvelut harjoittavat sitä todennäköisemmin kuin hajautetut järjestelmät. Tämä johtuu siitä, että keskitetyillä palveluilla on tekninen mahdollisuus poistaa sisältöä. Lisäksi palveluiden suuri koko herättää esimerkiksi valtioiden hallitusten mielenkiinnon, jolloin ne voivat asettaa palveluille erilaisia määräyksiä. [3, s. 16–18] Myös hajautetuilla palveluilla on tekninen mahdollisuus toteuttaa määräykset, mutta hajautettu luonne tekee siitä vaikeampaa: verkostolla ei ole yksittäistä vastuuhenkilöä.

Keskitetyt palvelut voivat linjata sallitusta sisällöstä vapaasti käyttöehdoissaan. Ehtoja voidaan uudelleenmääritellä milloin tahansa, jolloin kaikkea sisältöä koskeva sensuuri voidaan pakottaa käyttäjille. Myös hajautetuilla palveluilla on käyttöehdot, joissa linjataan, minkälainen sisältö on sallittua. Linjaukset ovat kuitenkin instanssikohtaisia, jolloin tietyn tyyppisen sisällön sensurointi on lähes mahdotonta. Yksittäinen instanssi voi estää

yhteydet omia käyttöehtoja rikkovaan instanssiin, mutta sisältö on silti olemassa ja saatavissa. Vaikeasti hallittavissa ja sensuroitavissa olevalla verkostolla on myös ongelmallisia sivuvaikutuksia, kuten laittoman sisällön jakamisen mahdollistaminen.

Moni palvelu tarjoaa käyttäjilleen ns. uutisvirran, johon kootaan sisältöä. Ellei sisältö ilmesty virtaan kronologisessa järjestyksessä, on taustalla jonkinlainen sisällön kuratointialgoritmi. Nämä algoritmit päättävät, millaista sisältöä sivustoilla tarjoillaan. Algoritmit ovat hiukan ongelmallisia, sillä niillä on mahdollisuus sensuroida tietynlaista sisältöä joko tarkoituksenmukaisesti tai vahingossa [3, s. 18]. Sivustot saattavat esimerkiksi suosia sisältöä, jonka kanssa ihmiset ovat vuorovaikutuksessa. Toinen esimerkki on tunnistaa tiettyä politiikkaa suosiva sisältö ja jättää se pois virrasta. Algoritmit ovat hyvin monimutkaisia eikä niiden toiminta ole yleensä läpinäkyvää [3, s. 20]. Algoritmien aiheuttama sensuuri uhkaa sekä keskitettyjä että hajautettuja palveluita.

4 TULOKSET

Tässä luvussa kootaan yhteen edellisessä luvussa suoritettujen palvelumallien vertailun tulokset. Tulosten pohjalta pohditaan, onko hajauttaminen hyödyllistä ja millaisissa tilanteissa sitä kannattaisi suosia.

Yhteenveto palvelumalleista on tehty vertailun pohjalta. Vertailua tehdessä palvelumalleissa ilmeni muutama huomattava ero, joita ei vertailtu. Tällaisia eroja ovat esimerkiksi käyttäjäkunnan kasvatus ja käyttäjäystävällisyys. Myös nämä erot on huomioitu yhteenvedossa.

4.1 Vertailun yhteenveto

Laitteistotasolla hajautettu järjestelmä on modulaarinen, jolloin se skaalautuu helposti. Lisäksi modulaarisuus takaa virheensietokykyisen verkoston. Hajauttaminen mahdollistaa pienemmän vasteajan, laitteiston paikallisen hallinnon sekä pienet hallinnointikulut. Hajautettu järjestelmä on työläs ja epähoukutteleva tietomurron kohde sekä vastustuskykyinen tietäntyyppisille hyökkäyksille. Toisaalta hajautettu järjestelmä on raskas suunnitella ja toteutuksesta tulee monimutkainen. Lisäksi järjestelmä on riippuvainen nopeista ja vakaista internet-yhteyksistä.

Keskitetty järjestelmä on helppo päivittää ja ylläpitää. Myös toteutus on yksinkertaisempi. Monoliittinen rakenne on kustannustehokkaampi, mutta järjestelmä ei skaalaudu yhtä hyvin kuin hajautettu verkosto ja on paljon virhealttiimpi. Toisaalta järjestelmän sisäinen toiminta poistaa yhden hyökkäysrajoituksen, sillä tietoa ei lähetetä verkon yli.

Hajautettu palvelu vaikuttaisi olevan käyttäjille parempi: palveluehdot ovat joko paremmat tai kilpailutettavissa ja käyttäjän yksityisyyttä arvostetaan. Tämä keskitetystä palvelumallista erottuminen on tarkoituksellista. Hajautettu palvelu on myös sisällön kannalta parempi vaihtoehto, sillä kyseinen malli mahdollistaa kaikenlaisen sisällön sensuroimattoman jakamisen ja paremman saatavuuden. Toisaalta verkoston kaoottisuus ja hallitsemattomuus voidaan nähdä myös uhkana, varsinkin kyseenalaisen ja laittoman sisällön suhteen. Eroja ilmeni myös esimerkiksi brändäyksen toteuttamismahdollisuuksissa.

Tiivistäen voisi sanoa, että laitteistotason hajauttaminen on harkitsemisen arvoinen vaihtoehto. Palvelutason hajauttaminen puolestaan on käyttäjän kannalta parempi ratkaisu.

Täysin ongelmaton palvelutason hajauttaminen ei kuitenkaan ole. Hajautetussa palvelu-

mallissa ilmeni kolme suurta ongelmaa tämän työn aikana: rahoitus, käyttökunnan kasvatus ja käyttäjäturvallisuus. Mainosten tarjoilu on oikein toimiva rahoitusmalli, olipa se eettistä tai ei. Sen tilalle ei ole vielä kehitetty hyvin skaalautuvaa vaihtoehtoista mallia. Aktiivisen käyttäjäkunnan kerryttäminen on hankalaa keskitetyille palveluille, joilla on varaa mainostaa. Hajautetuille palveluille tämä tulee olemaan vielä vaikeampaa. Kerryttämisestä vaikeuttaa käyttäjäkokemus, joka saattaa muodostua verkoston hajanaisuuden takia hyvinkin epäselkeäksi. Hajautetun palvelumallin ymmärtäminen vie aikaa, eivätkä kaikki ole valmiita opettelemaan sitä. Lisäksi palvelun laaja saatavuus ja virallisen sovelluksen puuttuminen saattavat hämmentää käyttäjiä.

Hajautettu palvelumalli tuo mukanaan uudenlaisia teknisiä ongelmia, joita ei välttämättä esiinny keskiteyssä palvelumallissa. Tällaisia ongelmia ovat esimerkiksi hajautettu tietokanta ja instanssien välinen pääsynhallinta. Niihin kuitenkin kehitetään jatkuvasti uusia ja parempia ratkaisuja, mikä parantaa hajauttamisen houkuttelevuutta ja hyödyllisyyttä.

4.2 Sovelluskohteet

Tässä työssä vertailtiin palvelumalleja ottamatta kantaa yksittäisen instanssin sisäiseen rakenteeseen. Hajautettujen järjestelmien käyttö on kuitenkin hyvin yleistä keskitettyjen palveluiden yhteydessä. Kuten kappaleessa 2.1 mainittiin, datakeskukset ovat yksi hajautuksen muoto. Ne ovatkin käytännössä ainoa tapa skaalata keskitettyä palvelua tarvittavan suureksi.

Yhdeksi hajautettujen palveluiden suurimmista ongelmista todettiin rahoitus. Hajautetut palvelut ovatkin oikein sopivia yksityiseen käyttöön, jolloin rahoituksesta ei tarvitse huolehtia. Esimerkiksi suurten organisaatioiden eri osastojen sisäinen viestintä, pilvitallennus tai versiohallinta voidaan toteuttaa hajautetulle arkkitehtuurille. Jos ulkopuoliset organisaatiot käyttävät samaa ohjelmistoa, on tiedon jakaminen myös heidän kanssaan helpoaa. Esimerkiksi suosittu pilvipalvelu Nextcloud tarjoaa sähköpostia muistuttavan tavan jakaa tiedostoja [22].

Hajauttamista käytetään matalan tason palveluissa, kuten sähköpostissa ja tekstiviesteissä (SMS). Voi olla, että keskitetyt tekniikat eivät olleet tarpeeksi kehittyneitä kyseisten palveluiden lanseerauksen aikana. Palveluita käytetään silti päivittäin, mikä kertoo hajautettujen palveluiden käytännöllisyydestä. Hajauttamisen hyödyt ovat selkeät sähköpostin yhteydessä. Esimerkiksi ProtonMail on sveitsiläinen sähköpostipalvelu, joka hyödyntää mm. instanssikohtaista brändäystä, palveluehtojen kilpailuttamista ja maantieteellisen sijainnin vaikutusta datan käsittelyyn [19].

Ongelmistaan huolimatta mikään ei estä hajautetun palvelumallin käyttöä palvelun tai sosiaalisen median kehittämiseen. Aikaisemmin mainittu mikrobilogipalvelu Mastodon on paras esimerkki hajautetusta sosiaalisesta mediasta, joka on onnistunut keräämään vakaan käyttäjäkunnan. Jos rahoitusongelma ratkaistaisiin, Mastodonin kaltaiset palvelut olisivat vielä houkuttelevampia ja todennäköisesti myös laadukkaampia.

5 YHTEENVETO

Hajautetulla palvelumallilla on paljon eroavaisuuksia keskitettyyn palvelumalliin verrattuna: Hajautetut palvelut nostavat käyttäjän keskiöön tarjoamalla palveluun liittyvää valinnanvapautta ja yksityisyyttä. Palveluilla on kuitenkin useita ongelmia esimerkiksi rahoituksessa ja käyttäjäystävällisyydessä. Ongelmistaan huolimatta hajautettu palvelumalli on suosittu monissa eri käyttökohteissa ja aihe on aktiivisen tutkimuksen alaisena.

Hajautetut järjestelmät ovat myös suosittuja ja kannattavia. Moni keskitetty palvelu tukeutuukin jonkinasteiseen hajauttamiseen, sillä täysi keskittäminen ei ole järkevää tai edes mahdollista.

Nykyinen suurten keskitettyjen palvelujen suosio on epäedullista käyttäjille, terveelle kilpailulle sekä tasapainoiselle internetille. Hajautetut palvelut kärsivät vielä ongelmista, jotka estävät niiden yleistymisen keskitettyjen palveluiden tasolle. Jos kehitys jatkuu samanlaisena, hajauttaminen tulee olemaan varsin kilpailukykyinen vaihtoehto perinteisille palveluille.

LÄHDELUETTELO

- [1] *Alexa Top 500 Global Sites*. 4. helmikuuta 2019. URL: <https://www.alexa.com/topsites> (viitattu 04.02.2019).
- [2] A. Balkan. *The nature of the self in the digital age*. 3. maaliskuuta 2016. URL: <https://ar.al/notes/the-nature-of-the-self-in-the-digital-age/> (viitattu 04.04.2019).
- [3] C. Barabas, N. Narula ja E. Zuckerman. *Defending Internet Freedom through Decentralization: Back to the Future?* MIT Media Lab. 18. elokuuta 2017. URL: https://dci.mit.edu/s/decentralized_web.pdf (viitattu 22.03.2019).
- [4] *Browse apps*. URL: <https://joinmastodon.org/apps> (viitattu 22.03.2019).
- [5] S. Byford. *Tweet my fridge: the bizarre home appliances of CES*. 16. tammikuuta 2013. URL: <https://www.theverge.com/2013/1/16/3867932/evernote-on-your-fridge-ces-home-appliance-insanity> (viitattu 21.03.2019).
- [6] C. Cadwalladr ja E. Graham-Harrison. *Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach*. 17. maaliskuuta 2018. URL: <https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/cambridge-analytica-facebook-influence-us-election> (viitattu 21.03.2019).
- [7] P. Christensson. *Client-Server Model Definition*. 17. kesäkuuta 2016. URL: https://techterms.com/definition/client-server_model (viitattu 04.04.2019).
- [8] K. Clark. *Tim Berners-Lee is on a mission to decentralize the web*. 9. lokakuuta 2018. URL: <https://techcrunch.com/2018/10/09/tim-berners-lee-is-on-a-mission-to-decentralize-the-web> (viitattu 21.03.2019).
- [9] *Decentralization - Mastodon documentation*. 29. syyskuuta 2018. URL: <https://docs.joinmastodon.org/usage/decentralization/> (viitattu 04.04.2019).
- [10] *Gargron is creating Mastodon*. URL: <https://www.patreon.com/mastodon> (viitattu 09.04.2019).
- [11] *Global social networks ranked by number of users 2019*. URL: <https://www.statista.com/statistics/272014/global-social-networks-ranked-by-number-of-users> (viitattu 25.01.2019).
- [12] *Gmail: active users worldwide 2012-2018*. URL: <https://www.statista.com/statistics/432390/active-gmail-users> (viitattu 25.01.2019).
- [13] J. Gray. *An Approach to Decentralized Computer Systems*. Tandem Computers, Inc. 1985. URL: <http://www.hpl.hp.com/techreports/tandem/TR-85.4.pdf>.
- [14] I. Haikala ja H.-M. Järvinen. *Käyttöjärjestelmät*. Talentum, 2004.
- [15] R. Hollander. *Android fragmentation is worsening*. 15. marraskuuta 2017. URL: <https://www.businessinsider.com/android-fragmentation-is-worsening-2017-11> (viitattu 09.04.2019).

- [16] Z. Kleinman. *MySpace admits losing 12 years' worth of music uploads*. 18. maaliskuuta 2019. URL: <https://www.bbc.com/news/technology-47610936> (viitattu 21.03.2019).
- [17] *Mastodon - Fediverse*. URL: <https://fediverse.party/en/mastodon> (viitattu 22.04.2019).
- [18] T. Paul, A. Famulari ja T. Strufe. A survey on decentralized Online Social Networks. *Computer Networks* 75 (2014).
- [19] *ProtonMail - Security Features*. URL: <https://protonmail.com/security-details> (viitattu 22.04.2019).
- [20] M. Thalen. *Discord's new terms of service say users can't sue*. URL: <https://www.dailydot.com/debug/discord-terms-of-service> (viitattu 19.02.2019).
- [21] S. Thiel, M. Bourimi, R. Giménez, S. Scerri, A. Schuller, M. Valla, S. Wrobel, C. Frà ja F. Hermann. A Requirements-Driven Approach Towards Decentralized Social Networks. Teoksessa: *Future Information Technology, Application, and Service*. Springer Netherlands, 2012, 709–718.
- [22] *Using Federation Shares*. 20. marraskuuta 2017. URL: https://docs.nextcloud.com/server/15/user_manual/files/federated_cloud_sharing.html (viitattu 22.04.2019).