

hyväksymispäivä

arvosana

arvostelija

Vektoritiilet

Henna Kalliokoski

Helsinki 23.5.2018

Kandidaatintutkielma

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen osasto

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Tietojenkäsittelytieteen osasto	
Tekijä — Författare — Author			
Henna Kalliokoski			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Vektoritiilet			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Tietojenkäsittelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
Kandidaatintutkielma	23.5.2018	20 sivua	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
Tutkielma kuvaa vektoritiiltä hyödyntämistä karttasovelluksissa ja tarkastelee vektoritiiltä tuotantoprosessin välivaiheita. Tutkielmassa esitellään keskeiset kartografian ja paikkatiedon käsitteet ja näytetään joitakin esimerkkejä vektoritiiliin liittyvistä aineistoista, määrittelyistä ja sovelluksista. Vektoritiilet ovat yksi vasta viime aikoina yleistynyt tapa jakaa ja visualisoida paikkatietoa internetissä. Ne ovat vaihtoehtoinen karttateknikka rasterikartoille, jotka ovat perinteinen tapa toteuttaa verkkokarttoja. Sekä vektorikartat että rasterikartat tuotetaan vektoriaineistosta, mutta ne muunnetaan kuvaksi eri vaiheissa. Rasterikartat piirretään ennen kuin ne lähetetään asiakassovellukselle, ja vektorikartat piirretään vasta asiakassovelluksessa kartanpiirtokirjastoja avulla. Vektorikarttojen käyttökokemus eroaa rasterikartoista, sillä vektorikartan tarkentaminen on portaatonta, karttaa voi kallistella ja kartan kohteille voi toteuttaa vuorovaikutteisia toiminnallisuuksia. Vektorikarttojen ulkoasua voi muunnella joutumatta päivittämään karttatiiliä. Vektoritiilisovellusten tuottaminen on prosessi, joka sisältää kaiken paikkatiedon keräämisestä tiedon lähettämiseen asiakassovellukselle. Sen vaiheita ovat muun muassa tiedon keräys, paikkatiedon tallentaminen, yleistäminen, tiiltä tuottaminen ja kuvaustekniikan määrittely. ACM Computing Classification System (CCS): Human-centered computing → Visualization → Visualization application domains → Geographic visualization, Human-centered computing → Visualization → Visualization systems and tools			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
vektoriitiilet, web-kartat, GIS, kartografia			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1 Johdanto	1
2 Käsitteet	1
2.1 Paikkatietoaineisto	2
2.2 Verkkokartta	4
2.2.1 Rasterikartat	4
2.2.2 Vektorikartat	5
2.3 Tiilitys	5
2.4 Vektoritiilten tietorakenne	7
2.5 Vektoritiilten serialisointi	8
3 Paikkatiedosta vektoritiilikartaksi	9
3.1 Yleistäminen	9
3.2 Tuottaminen	10
3.3 Tyylien määrittely	11
3.4 Palvelinsovellukset	13
3.5 Kartanpiirtokirjastot ja OpenGL	14
4 Vektoritiilten hyödyntäminen	15
4.1 Vektoritiilisovellukset tällä hetkellä	16
4.2 Vektorikarttojen mahdollisuuksia	17
5 Johtopäätökset	18
6 Yhteenveto	18
Lähteet	18

1 Johdanto

Kartografia on vuosisatoja vanha tieteenala, jonka tietokoneet ja internet ovat mullistaneet täysin. Se on tiede, joka tutkii maantieteellisen tiedon välittämistä karttojen avulla [1]. Kartografian osa-alueet on esitelty kuvassa 1. Karttoja käytetään kaikkialla ja moniin eri tarkoituksiin. Kartta voi yrittää kertoa maailmasta mahdollisimman paljon asioita, tai olla keskittynyt vain yhteen asiaan. Kartan tekijä päättää mikä on kartan tarkoitus ja mitä kartalla kertoo. Hyvä kartta on informatiivinen ja selkeä, ottaa huomioon kohdeyleisön ja vastaa tarkoitustaan [2].

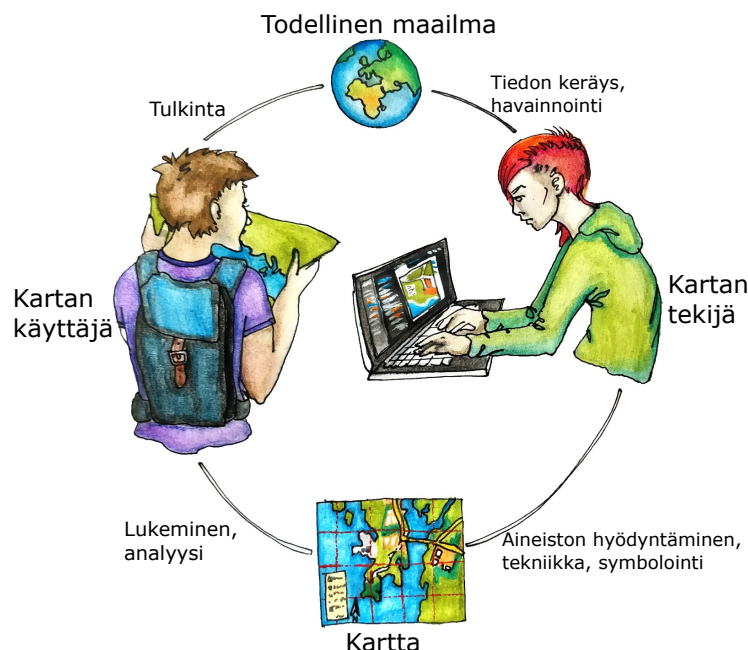
Tietokoneiden ansiosta kartoilla on nykyisin enemmän käyttötarkoituksia kuin pelkien paperikarttojen aikana. Internetin ansiosta kartoilla on myös enemmän tekijöitä. Verkossa saatavilla olevaa paikkatietoa tuottavat niin tavalliset ihmiset kuin suuret organisaatiotkin. Karttojen tekeminen ei enää kuulu vain kartografeille, vaan niitä voi tuottaa kuka tahansa, joka uskaltaa kokeilla ja lukea dokumentaatiota. Avoimen lähdekoodin ohjelmistojen ansiosta tarvittavat teknologiat ja tieto karttojen tekemiseen on kaikkien saatavilla.

Karttapalvelut ovat niin yleisiä, että niistä on tullut itsestäänselvyksiä. Älypuhelin käyttäjät tietävät, että taskusta löytyy kartta, jota voi tarkentaa, loitontaa ja panoroida. Useimmille ei ole kuitenkaan selvää, miten ne toimivat. Tietojenkäsittelytieteen opiskelijat tietävät hyvin, miten esimerkiksi sähköpostiohjelmat toimivat: miten tieto siirtyy ja missä muodossa. Verkkokartat ja niihin käytetyt protokollat eivät kuulu samalla tavalla tietojenkäsittelytieteen yleistietoon, vaikka verkkokarttoja on ollut yhtä kauan kuin WWW on ollut olemassa.

Karttapalveluiden toteuttaminen ei ole yksinkertaista, sillä niitä kehittäessä täytyy ratkaista, miten suuri määrä tietoa visualisoidaan ja jaetaan internetin yli käyttäjille. Yksi ratkaisu verkkokarttojen toteuttamiseen on nimeltään vektoritiilet (vector tiles). Tässä tutkielmassa perehdytään vektoritiilitekniikkaan verkkokarttasovelluksissa ja esitellään digitaalisen paikkatiedon ja verkkokarttojen perusteet. Tutkielmassa käydään läpi, miten karttasovelluksissa käytetty tiilistekniikka toimii, ja perehdytään vektoritiilien sisältöön, tuottamiseen, jakeluun ja tyyliin luomiseen eli kartan kuvaustekniikan luomiseen.

2 Käsitteet

Paikkatieto on johonkin tiettyyn maantieteelliseen sijaintiin liittyvää tietoa. Sen yksi visuaalinen esitys on kartta. Paikkatietoa voidaan käyttää karttojen ja karttapalveluiden luomiseen tai aineiston analysointiin. Paikkatietoa kerätään ja muodostetaan muun muassa erilaisilla kaukokartoitusmenetelmillä (satelliittikuvaus, ilmakuvaus), maastokartoituksella (takymetrit, laserkeilaimet, GPS-laitteet) ja digitoimalla rasterimuotoisista kuvista vektoriaineistoja. Digitoimista voidaan tehdä esimerkiksi siten, että käydään järjestelmällisesti ilmakuvia läpi ja merkitään ylös tiettyjen kohteiden koordinaattipisteet.



Kuva 1: Kartografian osa-alueet. Kuvitus: Senja Ruohonen

Karttapalvelut ovat sovelluksia, joiden avulla voidaan tarkastella paikkatietoa digitaalisella kartalla. Niitä käytetään moneen eri tarkoitukseen. Ammatillaiset käyttävät karttapalveluita esimerkiksi omien karttojen luomiseen ja oman aineiston analysointiin. Kansalaisten käyttämiä tyypillisiä karttapalveluita ovat sääkartat sekä opas- ja reittikartat, kuten Google Maps ¹ ja Reittiopas ²

2.1 Paikkatietoaineisto

On olemassa kahdentyypisiä paikkatietoaineistoja: vektorimuotoisia ja rasterimuotoisia. Vektorimuotoinen paikkatieto perustuu pisteisiin ja niiden välisiin suoriin. Vektoriaineisto muodostuu geometrisista primitiiveistä eli objekteista, joita sanotaan geometrioiksi, ja niihin liittyvistä ominaisuustiedoista [3]. Geometrioita on kolme eri päätyyppiä:

Piste. Koordinaattipari, muotoa (x, y) . Pisteitä ovat yleensä symboleina tai tekstinä kartalla ilmaistavat asiat, kuten paikkojen nimet, kivet, puut, bussipysäkit ja niin edelleen.

Murtoviiva. Pisteitä yhdistävistä janoista muodostuva yhtenäinen käyrä. Murtoviivoja ovat tyypillisesti tiet, joet ja hallinnolliset rajat. Janojen pisteistä muodostetaan joskus pehmeäkurvinen splini (spline) esimerkiksi korkeuskäyrille.

¹<https://www.google.com/maps>

²<https://www.reittiopas.fi>



Kuva 2: Maanmittauslaitoksen karttapalvelusta haettu peruskarttarasteri. Kuva on tuotettu tietokannassa sijaitsevasta vektoriaineistosta.

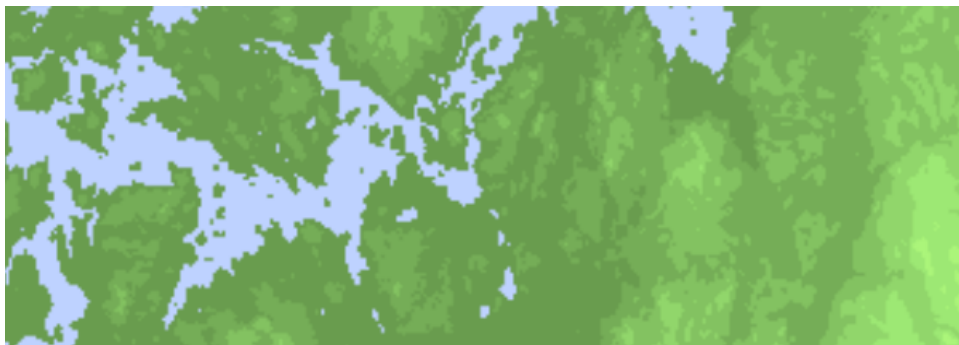
Polygoni. Suljettu murtoviiva, jolla on sama alkupiste ja loppupiste ja joka ei leikkaa itseään. Polygonissa voi olla useita murtoviivoja siten, että yksi suljettu käyrä on ulkopiiri ja muut käyrät sisäpiirejä. Polygoneja ovat kaikenlaiset alueet, kuten järvet, valtiot ja erityyppiset maastot.

Geometriaan liittyvä ominaisuustieto voi olla esimerkiksi teiden nimiä tai rakennusten korkeuksia. Karttapalveluissa tarjottavat rasterikartat, esimerkiksi kuva 2, on yleensä luotu tietokannoissa ylläpidettävistä vektoriaineistoista, joille on määritetty kuvaustekniikka (esimerkiksi viivojen leveys ja väri).

Rasterimuotoinen paikkatieto muodostaa säännöllisen hilan, jonka jokaisella solulla on jokin arvo [4]. Tyypillistä rasterimuotoista paikkatietoa ovat ilmakuvat, satelliittikuvat, lämpötilamallit ja korkeusmallit, josta esimerkkinä kuva 3. Rasterimuotoisen aineiston tarkkuus on täysin riippuvainen resoluutiosta eli siitä kuinka suurta aluetta yhden solun arvo kuvaa.

Paikkatiedon visuaaliseen tarkasteluun käytetään paikkatietojärjestelmiä (Geographic Information System, GIS), joiden avulla voidaan tarkastella rasteri- tai vektormuotoisia aineistoja, tehdä analyysejä ja luoda uusia aineistoja [5]. Paikkatietojärjestelmä on kokoelma työkaluja, joilla käsitellään yleensä käyttäjän itse valitsemaa aineistoa. Paikkatietojärjestelmä on kattotermi, jonka alla ovat kaikki järjestelmät, joilla kerätään, käsitellään ja visualisoidaan paikkatietoa. Tyypilliset paikkatietojärjestelmät ovat työpöytäsovelluksia.

Karttapalvelut ovat eräänlaisia rajoitettuja paikkatietojärjestelmiä, joissa aineisto on yleensä valittu käyttäjän puolesta. Karttapalvelun tarkoitus on esimerkiksi antaa käyttäjälle lisää tietoa tietystä alueesta. Karttapalveluiden työkaluihin kuuluu tyypillisesti karttatoiminnallisuuksien lisäksi ainakin paikkahaku, joka perustuu geokoodaukseen. Geokoodaus on menetelmä, jonka avulla haetaan osoitteen tai paikan nimen perusteella tietty koordinaattipiste.



Kuva 3: Rasterimuotoista paikkatietoa. Tämä on maanmittauslaitoksen karttapalvelusta haettu korkeusvyöhykerasterikuva. Pikselien väri riippuu korkeudesta suhteessa merenpintaan. Kuvan aineisto muodostaa säännöllisen hilan, jonka jokaisella solulla on jokin arvo.

2.2 Verkkokartta

Yksinkertaisimmillaan verkkokartta on staattinen kartta, jota ei voi tarkentaa tai kohdentaa. Käytännössä tällainen kartta on yksi rasterimuotoinen kuva, esimerkiksi png- tai tif-muotoinen verkkosivulle upotettu tiedosto. Karttapalvelut yleensä ovat interaktiivisia eli vuorovaikutteisia karttoja, joita käyttäjä voi vähintään tarkentaa, loitontaa ja panoroida eli siirrellä. Vuorovaikutteisella kartalla on myös usein kohteita, joiden klikkaamisesta tapahtuu jotakin. Vuorovaikutteisen verkkokartan toteuttamiseen vaaditaan paljon staattista karttaa enemmän ohjelmointia ja automatisointia [6]. Vuorovaikutteiset verkkokartat ovat vanha idea ja ne ovat perinteisesti toteutettu rasterikuvien, HTML:n, CSS:n ja JavaScriptin avulla. Toinen tapa on käyttää vuorovaikutteisia selainliitännäisiä, kuten Adobe Flashia tai Silverlightia [7]. Liitännäisten asentaminen on kuitenkin vaivalloista loppukäyttäjälle ja ne ovat myös ongelmallisia tietoturvan kannalta, minkä vuoksi niiden käyttö on hiipumassa.

Karttapalveluiden toteuttamiseen verkossa on muutamia yleisesti käytössä olevia vaihtoehtoja. Ne voidaan jaotella sen mukaan minkä muotoista aineistoa verkkosovellukseen lähetetään. Aineisto voi olla rasterimuotoista tai vektorimuotoista.

2.2.1 Rasterikartat

Rasterikartat ovat tällä hetkellä yleisin tapa toteuttaa verkkokarttapalveluita. Niiden toteutukseen on kaksi yleistä protokollaa, jotka on kehittänyt Open Geospatial Consortium (OGC) [8]. Ensimmäinen on Web Map Service eli WMS, joka perustuu paikkatietokantaan ja karttapalvelimeen, joka tuottaa yksilöllisiä karttakuvia tietokannasta sitä mukaa kun käyttäjän sovellus niitä pyytää. Tämä on suhteellisen hyvä ratkaisu, jos käytettävä aineisto ei ole merkittävän monimutkaista, eikä käyttäjiä ole kovin monta.

Kaikkiin tarpeisiin WMS ei kuitenkaan sovi: jos käyttäjiä on paljon, kuvien piirtäminen jokaiselle käyttäjälle erikseen rasittaa karttapalvelinta liikaa. Tähän ratkaisuna

on kehitetty tiilistystekniikka, jossa karttatiilet esipiirretään tai tuotetaan ja talletetaan karttapalvelimelle. Karttatiilten jakeluun kehitetyn protokollan nimi on Web Map Tile Service eli WMTS [9]. WMTS-protokollan on myös määrittänyt OGC.

2.2.2 Vektorikartat

Vektoritiilet ovat verkkokarttatekniikka, jolla voidaan luoda helposti interaktiivisia karttoja [6]. Sama karttatiili vie tyypillisesti vektoritiilenä merkittävästi vähemmän tallennustilaa kuin rasteritiili, sillä se tulkitaan kuvaksi vasta tarvittaessa, suoraan käyttäjän sovelluksessa. Tämän ansiosta kuvan ei tarvitse näyttää jokaiselle käyttäjälle samanlaiselta. Vektoritiilten näyttäminen vaatii kuitenkin enemmän suorituskykyä päätelaitteelta kuin rasteritiilten näyttäminen, sillä karttakuvan piirtäminen jää selaimen tai sovelluksen tehtäväksi.

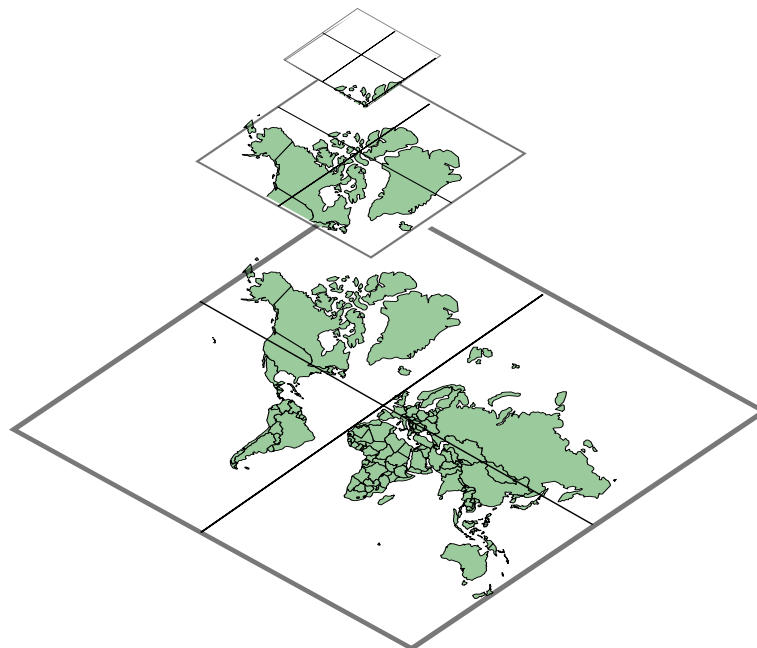
Vektoriaineiston hakeminen palvelimelta on suhteessa rasterikuviin hyvin nopeaa, sillä aineistojen tilankulutus vaikuttaa suoraan latausnopeuteen [10]. Vektorikartan tarkennus ja loitonnus on portaaton ja käyttäjälle miellyttävämpää kuin rasterikartan tarkennus. Portaattomuudella tarkoitetaan, että karttaa voidaan tarkentaa ilman ennalta määrättyjä tarkennusasteita (zoom level). Rasterikarttaa tarkentaessa karttakuva on tyypillisesti hetken aikaa sumea ennen kuin korkeamman tarkennusasteen kuva on haettu palvelimelta. Vektoritiilipohjaisissa kartoissa tätä ei tapahdu.

Vektorikartat ovat yleistyneet 2010-luvulla nopeasti Googlen ja Applen otettua vektoritiilet käyttöön palveluissaan. Vektorikarttojen etu rasterikarttoihin nähden on nopeuden lisäksi vuorovaikutteisuusmahdollisuuksien lisääntyminen. Vektorikartoissa yksittäisiä objekteja ovat geometriat ja rasterikartoissa pikselit. Tyypillisessä kartassa käyttäjä haluaa käsitellä nimenomaan geometrioita, kuten rakennuksia tai teitä, eikä vaikkapa jonkin yksittäisen rakennuksen pikseliä, koska geometriat yleensä vastaavat tarkemmin tosimaailman käsitteitä. Vektorikarttaa voi muunnella käyttäjän sovelluksessa ilman, että sovelluksen tarvitsee ottaa yhteyttä vektoriaineistoihin jakavaan palvelimeen, mikä tekee vuorovaikuttamisesta huomattavasti nopeampaa rasterikarttoihin nähden [11].

2.3 Tiilitys

Tiilitys on yksi tekniikoista, joiden avulla voidaan toteuttaa tarkennettavia verkkokarttoja [12]. Kartta-aineistot sisältävät paljon informaatiota ja vievät tyypillisesti paljon tilaa. Kaiken tiedon lataaminen yhtäaikaan on yleensä todella hidasta ja usein mahdotonta. Tiilistystekniikka ratkaisee ongelman jakamalla tiedon pieniin tiettyä aluetta vastaaviin palasiin, joita voidaan lähettää eteenpäin riittävän nopeasti. Tiilistystekniikan tarkoituksena on parantaa karttapalvelun käyttäjäkokemusta nopeuttamalla tarkennus- ja loitonnusprosessia ja erityisesti panorointia.

Yksi tiili kuvaa neliön muotoista aluetta kartalla. Tiilen kuvaaman alueen koko riippuu tarkennusasteesta. Karttatiiliä on useita päällekkäin ja muodostavat monitasoisesti tarkentuvan hierarkian. Pohjalla on pienin, koko maailman sisältävä tarken-



Kuva 4: Karttatiilipyramidi, joka muodostaa nelipuun, jonka jokaisella solmulla on neljä lapsisolmua.

nusaste, 0. Seuraavalla asteella maailma on jaettu neljään yhtä suuren tiileen ja sitä seuraavalla kuuteentoista. Jokaisella neliön muotoisella sisäsolmulla on tasan neljä lapsisolmua, jota havainnollistaa kuva 4. Koko maailman kuvaamiseen tarvittavien tiilien määrä nousee siis eksponentiaalisesti tarkennusasteeseen nähden. Tätä rakennetta kutsutaan nelipuuksi (quadtree) [11]. Jokainen tiili voidaan tässä tietorakenteessa yksilöidä kolmella parametrilla: tarkennusaste, vaakarivin numero ja pystyrivin numero.

Tiilet tuotetaan palvelimella, tallennetaan levyille ja lähetetään käyttäjän sovellukselle sitä mukaa kun käyttäjä tarkentaa karttaa. Niitä voidaan myös tallentaa asiakassovelluksen kuten verkkoselaimen välimuistiin, jolloin ne saadaan nopeasti takaisin käyttäjän ulottuville. Tiilitys vaatii karttapalvelimelta paljon tilaa, sillä sama paikkatieto pidetään tallessa kahdesti: paikkatietokannassa vektorimuodossa ja tiilitiedostoissa rasteroituna tai serialisoituna. Tiiliä voidaan tuottaa lennossa ja jättää palvelimelle talteen vain useimmin pyydytyt tiilet. Valmiiksi tuotetut tiilet ovat kuitenkin nopeammin asiakassovelluksen käytettävissä kuin pyynnöstä tuotetut aineistot, eivätkä kuormita palvelinta.

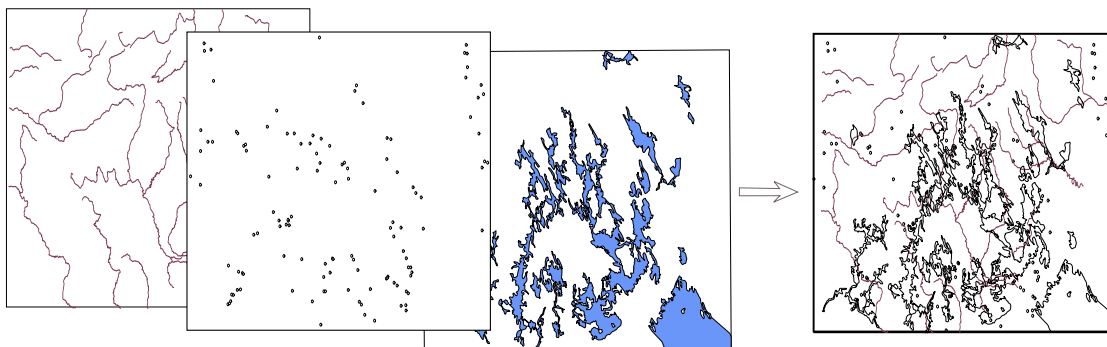
Tiilien nimeämiseen ja lähettämiseen HTTP:n yli on yleinen standardi, joka näyttää seuraavalta:

`http://.../Z/X/Y.png`

missä X ja Y osoittavat tiilen sijainnin tarkennusasteella Z [13].

2.4 Vektoritiilten tietorakenne

Vektoritiili on aineisto, joka sisältää paikkatietoa neliön muotoiselta alueelta. Yksi vektoritiili muodostuu geometrioista ja niihin liittyvistä ominaisuustiedoista. Vektoritiilen sisällä eri kohteet on luokiteltu omiin karttatasoihin, kuten kuva 5 havainnollistaa. Esimerkiksi järvet voisivat muodostaa yhden tason, joka sisältää järvien muodon ja sijainnin polygoneina, ja nimen ja syvyyden ominaisuustietoina. Toinen karttataso voisi sisältää jokia murtoviivoina ja kolmas asuintaloja pisteinä. Tasojen määrää ei ole rajattu. Tasojen muodostamaa kokoelmaa kutsutaan *skeemaksi* eli määrittelykokonaisuudeksi. [14]



Kuva 5: Yhden vektoritiilen sisällä on monta tasoa, jotka voivat sisältää erilaisia geometrioita.

Jokaisen vektoritiilen sisällä on yksinkertainen sisäinen koordinaattijärjestelmä. Sisäisillä koordinaateilla on nopeampaa laskea viivojen ja alueiden ulottuvuudet [10]. Geometrioiden piirtäminen myös nopeutuu, kun ei tarvitse tehdä monimutkaisia koordinaatistolaskuja. Vektoritiiliaineisto tuotetaan maantieteellisestä vektoriaineistosta muuttamalla maantieteelliset koordinaattipisteet kunkin tiilen omiksi koordinaattipisteiksi [15].

Koska tiilet jakaantuvat periaatteessa rajattomasti, käy väistämättä niin, että yksittäiset geometriat leikkaantuvat tiilten välillä. Tällöin täytyy pitää huolta siitä, että kohteet osataan piirtää oikein. Tämä voidaan ratkaista useammalla tavalla:

1. Ei leikata geometrioita, vaan säilytetään tiilissä niiden rajojen yli meneviä viivoja ja polygoneja kokonaisina.
2. Määritellään jokaiselle kohteelle, kuten yhden polygonin muodostamalle järvelle, yksilöllinen tunnus, jonka avulla tunnistetaan yhteenkuuluvat geometriat.
3. Määritellään jokaisen tiilen ympärille vyöhyke, joka menee päällekkäin vierekkäisten tiilten kanssa [11, 15].

Geometrioiden pitäminen kokonaisina voi aiheuttaa valtavasti tilaa vieviä tiiliä, joten kyseistä ratkaisua suositellaan vain pienille aineistoille. Tunnuksen määrittäminen kasvattaa ominaisuustietojen määrää ja siten tiilten kokoa, joten sekään ei ole

kovin hyvä ratkaisu. Parhaimmaksi ratkaisuksi on osoittautunut kolmas vaihtoehto, jossa määritellään tietyn suuruinen vyöhyke, joka sisällytetään vektoritiileen. Tällöin voidaan tunnistaa, mitkä geometriat kuuluvat yhteen.

2.5 Vektoritiilten serialisointi

Vektoriaineistoja säilytetään joko paikkatietokannoissa tai tiedostoissa. Paikkatietoa tukevia tietokantoja on useita, esimerkiksi PostgreSQL ja Oracle Spatial. Kohteita voidaan myös säilyttää tiedostoissa, kuten Shapefile- tai GeoJSON-tiedostoissa, josta esimerkkinä listaus 1. Tietokantaa on kuitenkin helpompaa ja monipuolisempaa käsitellä kuin tiedostokokoelmia. Vektoriaineistoista tuotetaan asiakassovellukselle lähetettäväksi serialisoituja tiiliä, jotka voivat olla ihmis- tai koneluettavassa muodossa. Tyypillisiä vektoritiilissä käytettyjä ihmisluettavia formaatteja ovat GeoJSON ja sen variaatiot, kuten TopoJSON.

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "id": "FIN",
      "properties": { "name": "Finland" },
      "geometry": {
        "type": "Polygon",
        "coordinates": [
          [
            [28.59193, 69.064777],
            [28.445944, 68.364613],
            ( ... )
            [29.054589, 66.944286],
            [28.59193, 69.064777]
          ]
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Listaus 1: Suomen alue kuvattuna GeoJSON-muodossa.

Koneluettavista serialisointiformaateista vektoritiilissä käytetyin on Googlen kehittämä protobuf (Protocol Buffer), jota ainakin OpenMapTiles, Mapbox ja Esri käyttävät [15][16]. Mapboxin määrittelemän protobuf-muotoisen tiiliformaatin nimi on MVT (Mapbox Vector Tiles). Muita koneluettavia tiilityyppejä ovat erilaiset BSON-formaatit [10]. Koneluettavia formaatteja käytetään aineistojen pakkaamiseen ja piirtämisnopeuden optimointiin. Esimerkiksi Mapbox GL JS -piirtäjä on optimoitu käyttämään protobuf-tiedostoja.

Vektoritiiliä voidaan tuottaa suoraan tietokannasta tai tiedostosta lähetettäväksi asiakassovellukselle, tai niitä voidaan tallentaa tiedostokokoelmina palvelimelle.

Usein halutaan käsitellä tiilikokoelmaa yhtenä tiedostona. Tällöin tiilet voidaan tallentaa yhteen tiedostoon MBTiles-formaattiin, joka on käytännössä SQLite-tietokanta.

3 Paikkatiedosta vektoritiilikartaksi

Vektoritiiliteknologia on vielä suhteellisen uusi. Sitä on kokeillut ja kehittänyt eniten yksi ohjelmistotoimittaja, Mapbox, joka tarjoaa laajan työkalupakin avoimen lähdekoodin sovelluksia vektoritiilten käsittelyyn. Mapboxin kehittämä vektoritiilten määrittelystandardi on myös avoin. Sitä hyödyntävät monet sovellukset ja kirjastot, minkä seurauksena yhä kasvava osa tiilipalvelimista ja piirtäjäsovelluksista tukee nimenomaan Mapboxin vektoritiilistandardia [17].

Tämä osio on katsaus siihen miten vektoritiilet syntyvät ja lopulta piirtyvät päätelaitteen näytölle. Vektoritiilisovelluksen tuotantoprosessin välivaiheita esittelee kuva 7.

3.1 Yleistäminen

Rasteritiilissä yksi tiili vie aina saman verran tilaa, jolloin tiilen resoluutio määrittelee rajan tiilessä olevan informaation määrälle. Yhdessä vektoritiilessä voi olla kuitenkin lähes rajattomasti geometrioita — jopa enemmän kuin mitä sovellus kykenee piirtämään. Vektoritiilen viemä tila luonnollisesti kasvaa geometrioiden lukumäärän kasvaessa. Jotta yhden tiilen viemä tila olisi kohtuullinen, aineistoa joudutaan yleistämään. Kartografiassa yleistäminen tai yksinkertaistaminen on jo paperikarttojen ajalta tuttu termi. Se tarkoittaa sitä, että aineistoa selkeytetään poistamalla pienimpiä kohteita, tai yksinkertaistamalla monimutkaisia objekteja, kuten rantaviivoja [1]. Yleistämistä voidaan myös tehdä rajaamalla aineiston näkymistä pienemmillä tarkennusasteilla, jolloin sitä ei tarvitse säilyttää kaikissa vektoritiilissä. Vektoritiiliä tuottaessa täytyy siis harkita, mitä aineistoja halutaan näyttää milläkin tarkennusasteella ja tallentaa kuhunkin tiileen vain ne aineistot, joita potentiaalisesti halutaan piirtää. Yleistämisellä pyritään siihen, että kartat näyttävät hyvältä ja informatiiviselta, sekä siihen, että kartat latautuvat ja piirtyvät nopeasti.

Yleistämistä voidaan tehdä esimerkiksi paikkatietojärjestelmien työkaluilla tai PostGIS-funktioilla. PostGIS on PostgreSQL:n lisäosa, joka tarjoaa hyödyllisiä työkaluja paikkatiedon käsittelemiseen [18]. PostGIS sisältää esimerkiksi funktion `ST_Simplify`, joka yksinkertaistaa monimutkaisia murtoviivoja Douglas-Peucker -algoritmilla. Polygoni on murtoviiva, jolla on sama alku- ja loppusolmu, joten `ST_Simplify` toimii myös Polygoneille. Douglas-Peucker-algoritmi on vektorigrafiikassa ja kartografiassa eniten käytetty yleistämisalgoritmi. Se on rekursiivinen algoritmi, joka etsii annetusta käyrästä samankaltaisen käyrän vähemmällä pisteillä [19].

3.2 Tuottaminen

Varsinaisesta aineistosta voidaan luoda vektoritiiliä muutamilla eri työkaluilla. Työkalu täytyy valita sen mukaan, missä muodossa alkuperäinen paikkatietoaineisto on ja missä muodossa sitä halutaan ylläpitää, sekä sen mukaan missä formaatissa vektoritiilet halutaan. Useimmille paikkatietoformaateille on kehitetty työkaluja, joilla voidaan tuottaa vektoritiiliä suoraan tiedostosta. Silloin kun aineistolähteitä on paljon, ja halutaan tehdä paljon muutoksia geometrioihin, aineistot kannattaa viedä tietokantaan ennen tiilien tuottamista.

Vektoritiilien tuottamista ovat käyneet läpi tutkielmissaan ja Pro Gradu -töissään L. Martinelli ja M. Roth [20], O. Eriksson ja E. Rydkvist [10], P. Nordan [11] ja M. Taraldsvik [6]. Näistä saadaan kootusti seuraavanlaisia vektoritiilien tuottamisen vaiheita:

1. **Aineiston hakeminen tai tuottaminen.** Paikkatietoa pidetään tallessa jossakin paikkatietoa tukevassa formaatissa, joita ovat esimerkiksi Shapefile, XML, GeoJSON, GeoBuf ja CSV. Aineistoa voi tuottaa näihin tiedostomuotoihin paikkatietojärjestelmissä tai komentorivityökaluilla. Aineistoa voi tuottaa myös suoraan tietokantaan.
2. **Vieminen tietokantaan.** Jos halutaan käyttää PostGIS -funktioita ja muodostaa vektoritiiliskeema SQL-lauseilla, aineisto täytyy viedä PostgreSQL-tietokantaan.
3. **Koordinaattimuunnokset.** Mapboxin määrittelemä MVT-formaatti tukee ainoastaan Web Mercator -karttaprojektiota, joten kaikki koordinaatit täytyy muuttaa tähän projektioon, jos halutaan käyttää MVT:tä. MVT on suurimpien paikkatieto-organisaatioiden käyttämä formaatti ja sen seurauksena kaikkein yleisin.
4. **Skeeman muodostaminen ja yleistäminen.** Jos alkuperäisessä aineistossa on paljon erilaisia geometrioita ja tietokantatauluja, halutaan tyylien määrittelymisen helpottamiseksi luoda oma vektoritiiliskeema. Yleistämistä tehdään silloin, kun aineisto sisältää paljon monimutkaisia objekteja, sillä karttapalvelun nopeuttamiseksi halutaan vähentää internetin yli kulkevaa tiedon määrää. Tässä vaiheessa myös määritellään millä tarkennusasteella tarvitaan mitään tietoa. Optimaalisinta tilan ja nopeuden suhteen olisi sisällyttää yhteen vektoritiileen vain ne aineistot, joita halutaan piirtää. Toisaalta mitä enemmän aineistoa sisällytetään yhteen tiileen, sitä enemmän tyylin määrittelijällä on valinnanvaraa kartan suunnittelussa.
5. **Vektoritiilikokoelman tuottaminen.** Vektoritiilien tuottamistyökaluja on olemassa useita ja niitä kehitetään jatkuvasti lisää. Tässä on lueteltuna muutama työkalu:
 - PostGIS sisältää funktion `ST_AsMVTGeom`, jolla voidaan tuottaa tietokannasta MVT-tiedostoja.

- Mapbox on kehittänyt työkalun nimeltä *tippecanoe*, jolla voi tuottaa vektoritiilikokoelmia GeoJSON-, GeoBuf- tai CSV -tiedostoista. Tippecanoe sisältää myös hyvin paljon samankaltaisia funktioita kuin PostGIS, joten aineiston viemisen tietokantaan voi välttää käyttämällä tippecanoe-työkalua.
- Geoserver- ja Mapserver-sovellukset osaavat myös muuntaa paikkatietokannoissa olevia aineistoja vektoritiiliksi.

Tiilikokoelmat tallennetaan yleensä MBTiles SQLite -tiedostoon, sillä tiilipalvelimet tukevat poikkeuksetta MBTiles -tiedostoja.

Tiilet voidaan tuottaa kaikki kerralla, tai sitä mukaa kun asiakassovellus niitä pyytää. Tuottaminen voi aineistosta riippuen olla kuitenkin hyvin hidasta, joten karttapalvelun sujuvan käytön tähden tiilet kannattaa tuottaa etukäteen. Vektoritiilistä on myös helppo tuottaa rasteritiiliä, joten nekin voidaan tarvittaessa luoda sellaisia sovelluksia varten, jotka eivät pysty hyödyntämään vektoritiiliä.

3.3 Tyylien määrittely

Vektoritiiliä tuottaessa ei oteta kantaa siihen, miltä kartta näyttää. Tuottamisvaiheessa päätetään, mitä geometrioita tallennetaan millekin tarkennusasteelle, mikä rajoittaa sitä, miten kartan tyylejä on mahdollista määritellä. Kartan geometriakohdeiden visuaalinen ulkoasu määritellään erikseen. Vektoritiili jaetaan karttatasoihin juuri siksi, että se ei sisällä tyyli tietoa. Karttatasoista on helppo määritellä tyyli tasot, joita voi olla monta yhtä karttatasoa kohden. Tyylimäärittelylle ei ole olemassa ylemmän tahon standardia, vaan jokaisella piirto-sovelluksella ja -kirjastolla on omat tiedostomuotonsa.

Tyyli voidaan määritellä erillisessä tiedostossa tai asiakassovelluksen lähdekoodin seassa. Mapboxin kehittämässä standardissa tyyli tiedosto on JSON-muotoinen olio, joka sisältää jokaiselle karttatasolle tyylimäärittelyn. Sen perusominaisuudet näyttävät esimerkiksi seuraavalta:

```
{
  "version": 8,
  "name": "Mapbox Streets",
  "sprite": "mapbox://sprites/mapbox/streets-v8",
  "glyphs": "mapbox://fonts/mapbox/{fontstack}/{range}.pbf",
  "sources": {...},
  "layers": [...]
}
```

Lista 2: style.json -tiedoston kentät

sprite on lähde, joka sisältää ikonit ja kuviot kuvina. Kuvioita ja ikoneja käytetään pistegeometrioiden symboleina ja polygonien täyttämiseen. **glyphs** sisältää lähteen

kartan kirjasimille. `sources` sisältää vektoritiililähteen osoitteen. `layers`-kentän alla on listattu jokaiselle tasolle tyylimääritelmät tyylitasoina [6]. Tasojen järjestys vaikuttaa siihen, missä järjestyksessä ne piirretään.

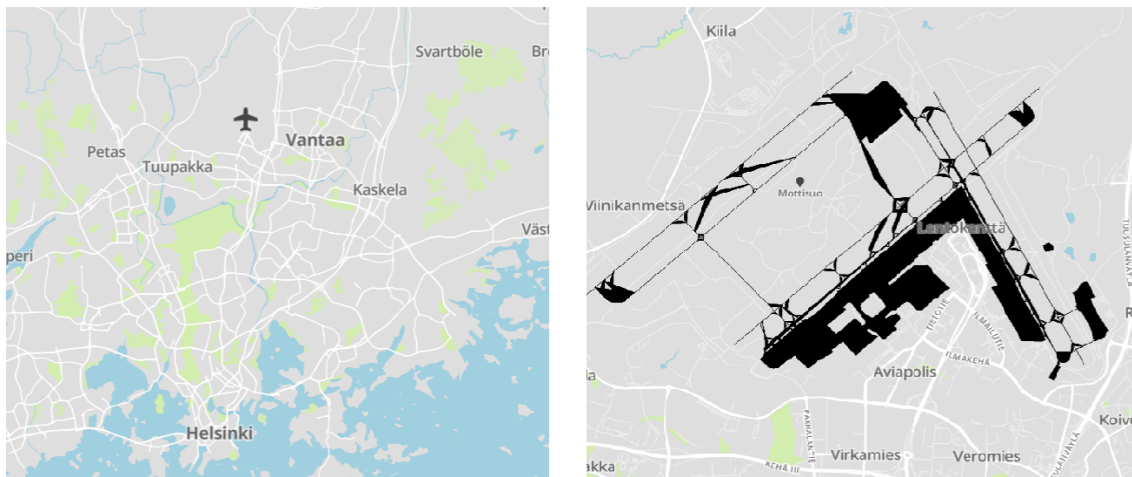
Yksittäisen tason tyylimääritelmä näyttää esimerkiksi seuraavalta:

```
{
  "id": "water",
  "source": "mapbox-streets",
  "source-layer": "water",
  "type": "fill",
  "paint": { "fill-color": "#00ffff" }
}
```

Listaus 3: Tyylimääritelmä vesi-karttatasolle

Muita formaatteja karttatasojen tyylien määrittelyyn ovat esimerkiksi Mapnik XML ja cartoCSS. Leaflet ja Openlayers, jotka ovat selaimessa toimivia JavaScript -kartanpiirtokirjastoja, sallivat vektoritiilien tyyllittelyn myös JavaScriptinä. Yhteistä näille kaikille on, että tyylien määrittelyyn on jokin tietorakenne, jota piirtäjäsovel- lus ymmärtää.

Tyylejä määritellään tasokohtaisesti. Tason ulkoasuun voi vaikuttaa tarkennusasteittain esimerkiksi niin, että viivat ovat paksumpia korkeammilla tarkennusasteilla ja ohuempia pienemmillä asteilla. Samalle tasolle voi määritellä myös monta tyyliä, esimerkiksi jos tarkennusaste on pienempi kuin 13, näytetään viiva yhtenäisenä ja asteilla, jotka ovat suurempia kuin 13, näytetään viiva katkoviivana.



Kuva 6: Lentokentän tyyli eri tarkennusasteilla. Vasemmalla kartta on tarkennettuna asteelle 10 ja oikealla asteelle 13. Kuvissa on käytetty OpenStreetMap-aineistoa ja Mapboxin tyyliä

Yhdessä tasossa on aina yhdentyyppisiä geometriakohteita. Esimerkiksi tarkennusasteella 10 näytettävä taso voisi olla nimeltään lentokenttä, joka sisältää kaikki lento-

kentät pisteinä. Yksi kenttä voitaisiin esittää kartalla symbolina, joka on lentokoneen kuva. Suuremmilla tarkennusasteilla vektoritiilissä voisi olla lentokenttäaluetta kuvaava polygonimuotoinen taso, koska yhden tiilen kuvaama alue on paljon pienempi. Piste- ja polygonitasojen tyyllittelystä on esimerkkinä kuva 6. Lentokenttäpolygonia voisi tyylimäärittelyssä täyttää jollakin lentokentälle sopivalla värillä.

3.4 Palvelinsovellukset

Jotta vektoritiilet saadaan asiakassovellukselle, tarvitaan vektoritiiliä tuottava sovellus ja tiilet HTTP:n yli lähettävä palvelinsovellus. Tiilipalvelin tuottaa vektoritiiliä tietokannasta tai paikkatietotiedostoista. Kaikki tiilipalvelimet eivät tue kaikkia vektoritiiliformaatteja, joten tiilipalvelinsovellus on valittava sen mukaan, mitä formaattia aiotaan käyttää. Web-palvelin yksinkertaisimmillaan lukee vain MBTiles-kokoelmaa tai suoraan tiedostojärjestelmässä olevia tiiliä ja lähettää niitä protobuftai JSON-muodossa pyynnöstä eteenpäin. Palvelinsovelluksissa on paljon eroja: Osa sovelluksista on suunniteltu käsittelemään paikkatietoa ja tuottamaan tiiliä, sekä jakamaan niitä HTTP:n yli. Osa keskittyy vain yhteen näistä.

Perinteisiä rasteritiiliä tuottavia tiilipalvelimia ovat GeoServer ja vastaava sovellus MapServer, joihin on myöhemmin lisätty tuki vektoritiilille. Ne ovat raskaita sovelluksia tuottamistyökaluineen ja graafisine käyttöliittymineen. On myös kehitetty paljon nimenomaan vektoritiiliä tuottavia ja jakelevia palvelimia, esimerkiksi tesse-
ra, Tileserver GL, OpenMapTiles ja t-rex [17].

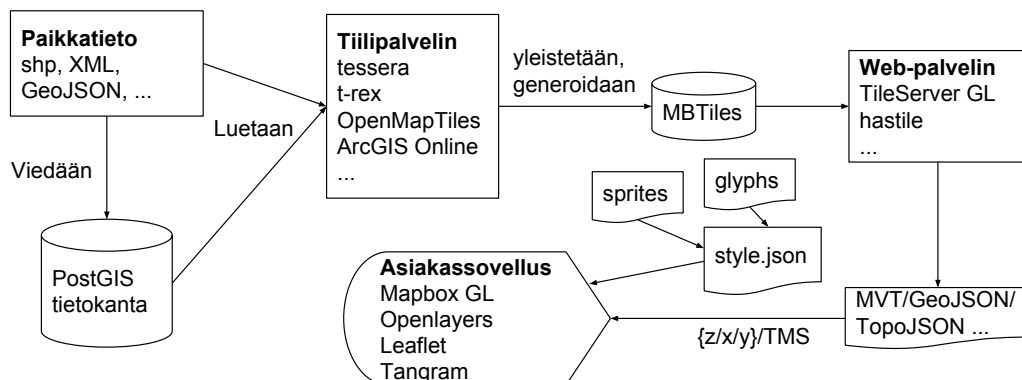
Tiilien hakuun HTTP:n yli on määritelty erilaisia standardeja:

- WMTS eli Web Map Tile Service. Tämä on yleisin rasteritiilien jakeluun käytetty protokolla [9]. Sen kautta on mahdollista kuljettaa rasteritiilien kannalta olennaista metatietoa, joka on vektoritiilien kannalta turhaa. Suurin osa vektoritiilisovelluksista käyttää kevyempiä vaihtoehtoja.
- TMS eli Tiled Map Service. Open Source Geospatial Foundationin (OSGeo) määrittelemä protokolla, joka on yksinkertaisempi kuin WMTS. TMS noudattaa tiilien nimeämiskäytäntöä, jossa tiilet yksilöidään siten, että Y-akselin tiilet lasketaan ylhäältä alaspäin [21].
- XYZ, joka ei varsinaisesti ole protokolla, vaan tiilien nimeämiskäytäntö. Tässä käytännössä tiilet yksilöidään niin, että Y-akselin tiilet lasketaan alhaalta ylöspäin [13].
- TileJSON. Mapboxin kehittämä formaatti, jolla voidaan kuvata tiilikokoelman ominaisuuksia, kuten käytetty nimeämiskäytäntö ja tiilien kuvaaman alueen rajat kahtena latitudina ja longitudina.

Osa tiilipalvelimista, esimerkiksi Tileserver GL, jota myös OpenMapTiles käyttää, osaa tuottaa vektoritiilistä rasteritiiliä ja jakaa niitä WMS- ja WMTS-protokollan

yli. Vektoritiiliteknologiaa voi siis käyttää yhtenä tapana luoda rasteritiilipohjainen karttapalvelu.

XYZ-nimeämiskäytäntö esiteltiin jo aiemmin luvussa 2.3. Sen on alun perin ottanut käyttöön Google, jonka jälkeen sen on määritellyt OpenStreetMap-yhteisö [13]. Siitä on tullut myös vektoritiiltien suosituin nimeämiskäytäntö, sillä Mapbox suosii sitä.



Kuva 7: Vektoritiiltien tuottaminen ja lähettäminen asiakassovellukselle.

3.5 Kartanpiirtokirjastot ja OpenGL

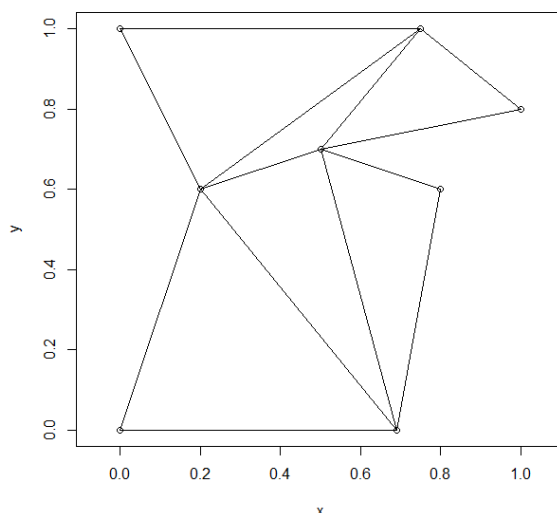
Nykyään päätelaitteissa on aina kuvapistesiin eikä vektoreihin perustuva näyttö, mikä tarkoittaa sitä, että vektoritiiletkin lopulta rasteroituvat päätelaitteen näytöllä. Pohjimmiltaan rasteritiiltien ja vektoritiiltien ero on siis siinä, missä vaiheessa rasteroituminen tapahtuu. Rasteritiilet ovat rasterimuotoisia jo ennen kuin ne lähetetään asiakassovellukselle. Vektoritiilet ovat rasterimuotoisia vasta, kun ne piirretään päätelaitteen näytölle.

Vektoritiiltien piirtäminen selain- ja mobiilisovelluksissa perustuu OpenGL-grafiikkakirjastoon. OpenGL:n toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Sille annetaan pisteitä ja niiden välisiä suhteita, joiden perusteella se osaa piirtää vain ja ainoastaan pisteitä, viivoja ja kolmioita [22]. Tämän vuoksi monimutkaiset polygonit täytyy jakaa kolmion muotoisiin alueisiin ennen kuin ne voidaan antaa OpenGL:n piirrettäväksi, kuten kuvassa 8 on tehty.

Vektoritiiliä piirtäviä selaimessa ja mobiilisovelluksissa toimivia kartanpiirtokirjastoja on kehitetty vain muutama. Kartanpiirtokirjaston täytyy osata jakaa polygonit kolmioiksi tehokkaasti ja hyödyntää OpenGL:n rajapintaa polygonien piirtämiseen. Selainsovelluksissa käytetään WebGL-kirjastoa, jonka avulla voidaan piirtää vektorigrafiikkaa ilman selainliitännäisiä. WebGL on JavaScriptillä kirjoitettu kirjasto, joka hyödyntää OpenGL:ää.

Suurin osa kaikista selain- tai mobiilikarttasovelluksista on toteutettu jollakin seuraavista kartanpiirtokirjastoista:

- **Leaflet**, joka on hyvin laajassa käytössä. Esimerkiksi Facebook, Pinterest,



Kuva 8: Polygoni jaettuna kolmioihin mapbox/earcut-kirjaston avulla.

Foursquare ja GitHub käyttävät sitä. Sen käyttäjät osallistuvat aktiivisesti myös sen kehittämiseen.

- **Openlayers**, joka on nykyään OSGeo:n projekti.
- **Mapbox GL**, joka on nimensä mukaisesti Mapboxin kehittämä kirjasto. Se toimii parhaiten, kun käytetään MVT-tiiliä ja Mapboxin formaattia tyylitiedostolle.
- **Tangram**, jonka on kehittänyt Mapzen.

Nämä kartanpiirtokirjastot ovat avoimen lähdekoodin projekteja. Niille kaikille on olemassa selain- ja mobiiliversiot [17]. Niillä voi piirtää kaksiulotteisia objekteja ja kaksiulotteisten geometrioiden kolmiulotteisia vaikutelmia ominaisuustietojen perusteella (esimerkiksi rakennuksen korkeuden). Ne tarjoavat myös työkaluja karttojen tyyllittelyyn ja teemoittamiseen. Osalla näistä voi tehdä myös projektimuunnoksia ja muuta laskentaa geometrioille.

4 Vektoritiilien hyödyntäminen

Vektoritiilet ovat monikäyttöisempiä kuin rasteritiilet, sillä mikä tahansa vektorikartalla voi olla vuorovaikutteinen objekti. Se on ominaisuus, jolla on todella paljon hyödyntämismahdollisuuksia.

Visualisointia voidaan vektoritiilitekniikan ansiosta tehdä käyttäjäkohtaisesti [23]. Esimerkiksi kuvassa 9 Googlen kartat korostavat niitä alueita, joissa kartan käyttäjä on vierailut. Tämä voidaan toteuttaa niin, että yhdessä tiilessä pidetään tallessa paljon geometrioita, joista piirretään ainoastaan ne, joista ollaan kiinnostuneita.



Kuva 9: Vektoritiilillä toteutettu Google Maps -mobiilisovellus. Google tietää, missä tämän kartan käyttäjä käy syömässä, ostoksilla ja viettämässä iltaa.

Vektoriaineistosta on helpompaa tehdä vuorovaikutteista. Esimerkiksi klikkaamalla taloa kartalla, voitaisiin hakea nopeasti kyseisen talon ominaisuustiedot ja näyttää ne käyttäjälle. Ominaisuustietoja voidaan säilyttää geometrian ohessa, jolloin ei tarvita vuorovaikuttamista karttapalvelimen kanssa. Vektoriaineistosta yhdistettynä rasteriaineistoon voidaan myös tehdä analyyseja, kuten matka-aikojen mallintamista.

Vektoritiiliä voidaan käyttää myös rasterikarttojen kanssa yhdessä. Esimerkiksi Reittiopas-sovelluksessa taustakartat ovat vektoritiilistä tuotettuja rasteritiiliä, joiden päällä esitetään pysäkit, juna-asemat ja kaupunkipyöräasemat vektoritiilistä.

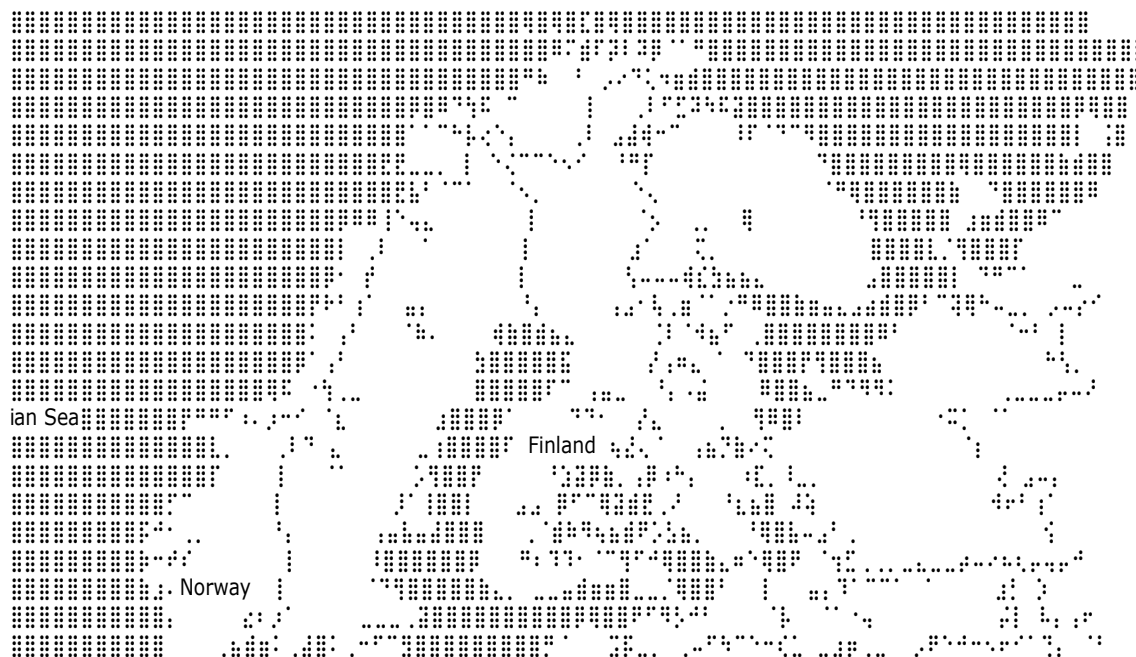
4.1 Vektoritiilisovellukset tällä hetkellä

Vektoritiiliteknologia on päässyt kehittymään kunnolla vasta viimeisen vuosikymmenen aikana, sillä päätelaitteiden teho ei ole aiemmin riittänyt karttojen piirtämiseen asiakassovelluksissa [6]. HTML5:n ilmestyminen ja WebGL-kirjaston kehitys on mahdollistanut selaimessa toimivat vektoritiilisovellukset.

Todennäköisesti tunnetuimmat karttasovellukset ovat Google Maps ja Apple Maps, jotka ovat jo siirtyneet käyttämään vektoritiiliteknologiaa. Kiinassa Googlea vastaava organisaatio Baidu, käyttää kartoissaan myös vektoritiiliä. Google Maps tarjoaa avoimen rajapinnan karttoihinsa, vaikka lähdekoodi onkin suljettua. Omien aineistojen ja tyylien toteuttamiseen on kuitenkin käytettävä muita vaihtoehtoja.

Omia vektoritiilikarttoja voi tällä hetkellä tehdä helpoiten Mapboxin ja OpenMap-Tiles:n avoimen lähdekoodin työkaluilla. Molemmat toimittajat käyttävät OpenStreetMapin aineistoja ja tarjoavat niistä tuotettuja tiiliä tietyin ehdoin avoimena, jolloin niitä ei tarvitse itse välttämättä tuottaa. Mapboxilla on myös kaupallinen ohjelmisto, Mapbox Studio, jolla on graafinen käyttöliittymä. Sillä voi hallinnoida omia aineistoja, luoda niistä vektoritiiliä ja luoda tyyliä.

4.2 Vektorikarttojen mahdollisuuksia



Kuva 10: MapSCII-karttapalvelu

Vektoritiilistä voi tehdä muitakin kuin selain- ja mobiilisovelluksia. Esimerkiksi kuvassa 10 telnetin yli palveltu MapSCII -karttapalvelu hyödyntää vektoritiiliä ja tyyliittelee kartan ASCII-merkeillä.

OpenGL:n ja vektoritiiltien avulla voi tehdä myös kolmiulotteisia karttoja. Kolmiulotteisten karttojen tietorakenteisiin ja piirtämisteknologiaan ei perehdytä tässä tutkielmassa syvemmin, mutta eri kartanpiirtokirjastot tarjoavat jo joitain työkaluja kolmiulotteisten karttojen luomiseen. Kolmiulotteisia karttoja voi tarkastella vaikkapa tarkentamalla Googlen karttoja tarpeeksi lähelle alueilla, joissa on tarpeeksi korkeita rakennuksia. Siirtelemällä karttaa huomataan, että rakennusten näkyvät seinät ja varjostukset vaihtuvat suhteessa kartan yläreunaan ja keskipisteeseen. Kyseisen efektin luomiseen tosin ei tarvita aitoja kolmiulotteisia geometrioita, sillä pelkkä korkeus geometrian ominaisuustietona riittää kartanpiirtokirjastolle. Kolmiulotteiset objektit voivat olla muitakin kuin kartan geometrioita. Karttoista voi esimerkiksi tehdä teemakarttoja, joissa on kolmiulotteisia pylväsdiagrammeja.

Aikasarja-aineistot ja reaaliaikaisuus ovat näyttävää ja houkuttelevaa visualisoitavaa verkkokartoissa. Käyttämällä vektoritiiliteknologiaa, karttaa voi visualisoida suhteessa nykyhetkeen, tai aikasarjaan. Yhdistelemällä vektoritiiliä ja reaaliaikatietoa, saadaan karttoja, jotka kuvaavat tällä hetkellä tapahtuvia asioita.

5 Johtopäätökset

Vektoritiilet ovat teknologiana niin uusi, että sen hyödyntämisessä on vielä joitakin rajoituksia ja vaikeuksia.

Rasteritiilien jakeluun on olemassa jo vakiintuneita tekniikoita, joita ei voida samalla tavalla hyödyntää vektoritiilien jakelussa. WMS-protokolla ei sovi vektoritiilille. WMTS periaatteessa sopisi vektoritiilien jakeluun, mutta käytännössä yksikään vektoritiilisovellus ei käytä sitä.

Eniten vektoritiilitekniikkaa on vienyt eteenpäin yksi toimittaja, Mapbox, mikä aiheuttaa eräänlaisen toimittajaloukun, vaikka suurin osa työkalujen lähdekoodista onkin avointa. Lisenssit kuitenkin vaihtelevat täysin avoimista kaupallisiin. Mapbox on voittoa tavoitteleva yritys, jonka liiketoiminta perustuu vektoritiilikarttapalvelinten ja -aineistojen ylläpitoon.

Vektoritiiliin liittyvä teknologia on vielä melko uutta ja joitain kartografisia ja geodesian perusominaisuuksia puuttuu. Esimerkiksi Mapboxilla on tällä hetkellä olemassa tuki ainoastaan Web Mercator -projektioille, mikä joissakin tapauksissa on rajoittavaa. Web Mercator on kelvollinen yleisprojektiio, mutta kun tarkennetaan korkeammille asteille, projektion aiheuttamat vääristymät näkyvät selvemmin. Suomessa yleisesti käytetty projektiio on Gauss-Krüger-projektiio.

Vektoritiiliä piirretään selainsovelluksissa WebGL-rajapinnan kautta, joka on myös suhteellisen uusi teknologia ja aiheuttaa omanlaistaan päänvaivaa. WebGL:n käyttämä OpenGL on alemman tason teknologia, joka ei tarjoa kovin monipuolista rajapintaa, jolloin piirtäjäkirjastot joutuvat tekemään suuren työn saadakseen geometriat lopulta näytölle.

6 Yhteenveto

Vektoritiilitekniikka on yhdistelmä maantiedettä ja kartografiaa, teknologiaa ja taidetta. Se on elegantti ratkaisu paikkatiedon esittämiseen ja jakamiseen visuaalisessa muodossa. Vektorikartat ovat portaattoman tarkennuksen ansiosta miellyttävämpiä käyttää kuin rasterikartat. Nykyisten päätelaitteiden tehokkuuden ja uusien web-standardien ansiosta vektorikartat yleistyvät karttasovelluksissa. Tulevaisuudessa voidaan tehdä vektorikarttoja aidosti kolmiulotteisista geometrioista, sillä kartanpiirtokirjastoja ja vektoritiiliä tuottavia sovelluksia kehitetään jatkuvasti. Koska vektoritiilet ovat selvä parannus verkkokarttojen tuotantoprosessissa, tietoisuutta niistä pitäisi lisätä ja tutkia vektoritiilien uusia sovellusalueita.

Lähteet

- 1 M.-J. Kraak and F. Ormeling, *Cartography: Visualization of Spatial Data*. New York: Pearson Education Limited, 3 ed., 2010.

- 2 K. Field, “Re-freshing cartography.,” *Cartographic Journal*, vol. 52, no. 2, pp. 93 – 94, 2015.
- 3 H. Samet, “Applications of spatial data structures,” Addison-Wesley, 1990.
- 4 J. R. Jensen and R. R. Jensen, *Introductory Geographic Information Systems*, pp. 125–147. Pearson Education, 2013.
- 5 O. Huisman and R. A. de By, *Principles of Geographic Information Systems*, pp. 140–490. Enschede, The Netherlands: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 4 ed., 2009.
- 6 O. Eriksson and E. Rydkvist, “An in-depth analysis of dynamically rendered vector-based maps with WebGL using Mapbox GL JS,” Master’s thesis, Linköping, 2015.
- 7 M. N. K. Boulos, J. Warren, J. Gong, and P. Yue, “Web GIS in practice VIII: HTML5 and the canvas element for interactive online mapping,” *International Journal of Health Geographics*, vol. 9, p. 14, Mar 2010.
- 8 “OpenGIS Web Map Service version 1.3. 0,” tech. rep., Open Geospatial Consortium (OGC), 2006.
- 9 S. Emmanuel, “Web Mercator and raster tile maps: two cornerstones of online map service providers,” *GEOMATICA*, vol. 71, no. 2, pp. 100–109, 2017.
- 10 M. Taraldsvik, “The future of web-based maps: can vector tiles and HTML5 solve the need for high-performance delivery of maps on the web?,” Master’s thesis, Trondheim, 2012.
- 11 R. P. V. Nordan, “An investigation of potential methods for topology preservation in interactive vector tile map applications,” Master’s thesis, Trondheim, 2012.
- 12 M. Kyffin, “Dynamic tiling in modern web GIS,” *Association of Canadian Map Libraries and Archives Bulletin*, vol. 2016-Spring, no. 153, pp. 65–69, 2016.
- 13 “Slippy map tilenames,” 2018. https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Slippy_map_tilenames visited 28.4.2018.
- 14 “Openmaptiles schema.” <https://openmaptiles.org/schema/> visited 28.5.2018.
- 15 “Vector-tiles specification,” 2018. <https://www.mapbox.com/vector-tiles/specification/> visited 28.4.2018.
- 16 “Esri vector basemap,” 2017. <http://www.arcgis.com/home/group.html?id=30de8da907d240a0bccd5ad3ff25ef4a> visited 28.4.2018.
- 17 “awesome-vector-tiles.” <https://github.com/mapbox/awesome-vector-tiles> visited 4.5.2018.

- 18 S. Iacovella, “The past, present and future of GIS: PostGIS 2.0 is here!,” *Linux J.*, vol. 2012, Nov. 2012.
- 19 A. Saalfeld, “Topologically consistent line simplification with the Douglas-Peucker algorithm,” *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 26, no. 1, pp. 7–18, 1999.
- 20 L. Martinelli and M. Roth, “Vector tiles from openstreetmap,” tech. rep., Department of Computer Science, University of Applied Science Rapperswil, 2015.
- 21 “Tile Map Service specification,” 2018. http://wiki.osgeo.org/wiki/Tile_Map_Service_Specification visited 5.5.2018.
- 22 D. Cantor and B. Jones, *WebGL Beginner’s Guide.*, ch. 2. Packt Publishing, 2012.
- 23 M. B. Andrea Ballatore, “Personalizing maps,” *ACM*, vol. 58, no. 12, pp. 68–74, 2015.