

SEMANTTINEN WEB JA PAIKKATIETOIHIN PERUSTUVAT PALVELUT

Eero Hyvönen

Teknillinen korkeakoulu, mediatekniikan laitos ja
Helsingin yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos
etunimi.sukunimi@tkk.fi

TIIVISTELMÄ

Artikkelissa luodaan yleiskatsaus kansallisessa Suomalaiset semanttisen webin ontologiat –hankkeessa FinnONTO 2003-2007 ja FinnONTO 2.0 2008-2010 kehitettyihin paikkaontologioihin SUO (Suomalainen paikkaontologia) ja SAPO (Suomen ajallinen paikkaontologia), näiden julkaisemiseen AJAX-palveluina Kansallisessa ontologiapalvelussa ONKI, sekä paikkaontologioiden avulla Kulttuurisampo-portaaliin kehitettyihin palveluihin.

Avainsanat: semanttinen web, ontologiat, paikkatieto, palvelut, semanttiset portaalit

1 SEMANTTINEN WEB JA PAIKKAONTOLOGIAT

Semanttisessa webissä¹ sisällönkuvailu tapahtuu määrämuotoisten metadataformaattien avulla kuten perinteisissäkin informaatiojärjestelmissä. Esimerkiksi valokuvasta voidaan kertoa kuvan ottohetki ja -paikka, kuvaaja, kuvan aihe, kameratyyppi jne. Verkkosisältöjen kuvailuun käytetään kuitenkin perinteisten asiansanojen ja ”tägien” sijasta ontologioista (Fensel, 2003; Staab, Studer, 2008) otettuja käsitteitä, jotka yksilöidään URI-tunnisteiden avulla. Tämä mahdollistaa sisältöjen aiempaa täsmällisemmän ja monipuolisemman haun, yhdistelemisen ja visualisoinnin verkkopalveluissa (Hyvönen, 2005). Suureen osaan verkossa olevista aineistoista liittyy tavalla tai toisella paikkatietoa. Paikkaontologiat ja paikannimirekisterit kuten Geonames² ja GEONet Names Server (GNS)³ ovat muodostuneet keskeisiksi semanttisen webin resursseiksi.

Ontologiat mahdollistavat sisältöjen koneellisen ”ymmärtämisen”, mikä puolestaan mahdollistaa aiempaa älykkäämpien verkkopalveluiden kehittämisen. Toinen ontologioiden etu on, että yhteisesti sovittujen käsitteistöjen avulla verkon monimuotoiset, hajautetusti tuotetut eri alojen sisällöt ja palvelut voidaan saada keskenään yhteentoimiviksi (interoperable) sisällöllisellä semanttisella tasolla. Semanttisen webin standardointityötä on tehty W3C-järjestössä määrätietoisesti erityisesti v. 2001 käynnistyneeseen Semantic Web Activity -ohjelmaan liittyen. Työn tuloksia ovat mm. metatiedon tietomalli Resource Description Framework RDF, sanastokieli Simple Knowledge Organisation System SKOS, ontologiakieli Web Ontology Language OWL ja RDF-kyselykieli SPARQL.⁴ Nämä standardit määrittelevät yleisiä, yhteentoimivuuden ja päättelyn kannalta keskeisiä periaatteita, joita noudattamalla semanttista webiä rakennetaan. Esimerkiksi RDF(S)-suosituksessa määritellyllä rdfs:subClassOf-suhteella

¹ <http://www.w3.org/2001/sw/>

² <http://www.geonames.org/>

³ <http://www1.nga.mil/ProductsServices/GeographicNames/Pages/default.aspx/html/index.html>

⁴ <http://www.w3.org/2001/sw/>

voidaan ilmaista käsitettä yleisempi käsite, esimerkiksi että vakavesi on eräänlainen vesialue. Suhteella `rdf:type` taas voidaan kertoa, että joku tietty Pyhäjärvi on vakavesi-luokan yksilö, toinen Pyhäjärvi taas voi kuulua luokkaan kylät. W3C:n standardit ovat luonteeltaan sovellusriippumattomia. Varsinainen sisältö- ja ontologiatyö on jätetty kunkin alan asiantuntijatahojen tehtäväksi.

Suomessa ontologioita alettiin kehittää laajamittaisemmin semanttisen MuseoSuomi-portaalin⁵ (Hyvönen et al., 2005) yhteydessä v. 2002 alussa. Työssä tarvittiin käsitteistöjä mm. esinetyypeille, materiaaleille, henkilöille, paikoille ja tapahtumille. Vuonna 2004 valmistuneen järjestelmän paikkaontologia koostui 33 luokasta (esim. kaupunki, kylä) sekä näistä luoduista 864 paikkayksilöstä (esim. Helsinki, Kauklahti). Ontologioita käytettiin sisällönkuvailussa esineiden valmistus- ja käyttöpaikkoina. Paikkojen yksikäsitteiset URI-tunnisteet mahdollistivat eri kokoelmissa olevan paikkatiedon yhdistämisen. Paikkojen väliset semanttiset `partOf`-suhteet taas mahdollistivat paikkatietoon perustuvan yksinkertaisen päättelyn. Esimerkiksi espoolaisia esineitä haettaessa löytyy myös kauklahtelaiset ja bemböleläiset esineet. Paikkojen hierarkiaa käytetään MuseoSuomen haku- ja selailuliittymässä hakufasetteina ja sen perusteella voidaan ryhmitellä hakutuloksia.

2 KANSALLINEN SEMANTTISEN WEBIN SISÄLTÖINFRASTRUKTUURI

MuseoSuomi-hankkeessa kävi ilmi, ettei maassamme ollut käytettävissä ontologioita ja ettei kansainvälisiä järjestelmiä useinkaan voitu sellaisinaan hyödyntää suomenkielestä ja kansallisista sisällöistä ja käytännöistä johtuen. Tästä havainnosta syntyi ajatus siitä, että maamme tarvitsee oman semanttisen webin ontologisen sisältöinfrastruktuurin, jonka varaan julkiset ja yksityiset palvelut voitaisiin rakentaa kustannustehokkaasti. Hanketta toteuttamaan koottiin 14 yrityksen ja julkisen organisaation rahoittajakonsortio, ja tutkimustyö käynnistyi Tekesin tuella v. 2003 FinnONTO-hankkeena⁶. Vuosien kuluessa FinnONTO-hankkeen koko on kasvanut nykyiseen 39 rahoittajaan tehden projektista Tekesin historian laajimman hankkeen konsortion koolla mitattuna. FinnONTO-hanketta on vetänyt Teknillisen korkeakoulun ja Helsingin yliopiston Semanttisen laskennan tutkimusryhmä SeCo, jonka suojissa myös pääosa tutkimustyöstä on tehty.

Ajatusta semanttisen webin sisältöinfrastruktuurista voi verrata tie-, sähkö- ja puhelinverkkojen muodostamiin perinteisiin infrastruktuureihin. Semanttisten käsitteiden verkosto on luonnollisesti abstrakti ja näkymätön, mutta mahdollistaa vastaavaan tapaan yhteyksiä kuin vaikkapa tieverkko. Visiona on, että jos FinnONTO-infrastruktuurin pelisäännöillä tuotettu sisältö julkaistaan verkossa, voidaan se kytkeä ja hyödyntää automaattisesti muiden toimijoiden semanttisissa verkostoissa hieman vastaavaan tapaan kuin uusi maantienpätkä tieverkoston osana. Kantava ajatus on, että uuden sisällön arvo rikastuu ”ilmaiseksi” infrastruktuurin avulla verkon muusta sisällöstä (vastaavasti kuin uuden tieosuuden arvo syntyy sen kytkeytymisestä muihin teihin), ja toisaalta muiden verkon julkaisijoiden sisältöjen arvo rikastuu uuden tiedonsirpaleen avulla (vastaavasti kuin uusi tie parantaa muiden teiden keskinäistä saavutettavuutta). Sekä itse infrastruktuuri että siinä jo oleva tieto voidaan hyödyntää toisissa sovelluksissa, mikä säästää merkittävästi järjestelmien kehityskustannuksia. (Hyvönen, 2008)

⁵ <http://www.museosuomi.fi/>

⁶ <http://www.seco.tkk.fi/projects/finnonto/>

FinnONTO:n ratkaisumallissa (Hyvönen 2008a, Hyvönen et al., 2008) sisältöinfrastruktuurin keskeisimmät komponentit ovat:

1. **Ontologiat** ja niiden väliset peilaukset (ontology alignment) (Euzenat, Shvaiko, 2007), joista muodostuu yhtenäinen kokonaisontologia KOKO
2. **Metadastandardit**
3. Ontologioiden julkaisemiseen ja hyödyntämiseen tarkoitettu Kansallinen **ontologiapalvelu ONKI**⁷ (Viljanen et al., 2008ab; Hyvönen et al., 2008)

Ontologioiden osalta infrastruktuurissa pyritään noudattamaan W3C:n suosituksia. Samoin metadatumäärittelyissä yhteentoimivuus kansainvälisiin standardeihin on tärkeää. Hankkeessa käytetyistä ja itse kehitetyistä työkaluista mainittakoon Stanfordin yliopistossa kehitetty ontologiaeditori Protégé, ONKI:a hyödyntävä metadataeditori SAHA (Valkeapää et al., 2007), (puoli)automaattisen annotoinnin väline POKA (Alm, 2007), erilaiset muuntimet formaattien välillä, ontologioiden peilausten muodostajat ja metadatan semanttisen validoinnin työkalut kuten VERA⁸.

Seuraavassa esitellään lyhyesti FinnONTO-hankkeen sisältöinfrastruktuuriin kehitetyt paikkaontologiat ja näiden hyödyntämiseen tarkoitettu ONKI-palvelu. Paikkaontologioita on sovellettu mm. Kulttuurisampo-järjestelmässä⁹.

3 SUOMEN AJALLINEN PAIKKAONTOLOGIA SAPO

Karjalan paikkaontologiaa MuseoSuomeen kehitettäessä huomattiin luovutetun Karjalan kuntien aineistojen löytyvän yllättäen Venäjän alta. Samoin huomattiin aineistojen metatietojen viittaavaan usein paikkoihin, joita nykyään ei enää ole kartalla tai joiden nimi on muuttunut. Ongelmana oli kulttuuriportaalin kannalta keskeisen aikadimension puuttuminen paikkojen ontologisesta mallista. Tilanteen korjaamiseksi päätettiin kehittää Suomen ajallinen paikkaontologia SAPO. Sen ajatuksena on kuvata Suomen kuntahistoria muutosten (kuntien syntyminen, jakautuminen jne.) sarjana, jonka perusteella voidaan muodostaa kullakin hetkellä voimassa oleva ontologinen kuvaus Suomen kunnista (Kauppinen, Hyvönen, 2007). Kuntanimistön muuttumisesta johtuviin hankaluuksiin oli samanaikaisesti törmätty myös Geologian tutkimuskeskuksen GTK kuva-arkistossa. Esimerkiksi Akaalla otetun valokuvan löytäminen saattoi olla haasteellista, koska kunta oli hävinnyt kartalta kuntaliitosten takia. Sittenkin Akaan kunta on perustettu taas uudelleen, mutta alueelliselta kannalta samalla nimellä voidaan edelleenkin viitata erilaisiin alueisiin eri aikoina. FinnONTO-hankkeessa yhdistettiin GTK:n sisältötyö (Väättäinen, 2007) ja TKK:n ja Helsingin yliopiston ontologiatyö. Tuloksena syntyi Suomen ajallinen ontologia SAPO, joka kuvaa Suomen kuntahistorian muutokset 1965-2007 (Kauppinen et al., 2008).

SAPO-ontologiaa ylläpidetään helppokäyttöisessä taulukkolaskimen taulukossa, jossa jokainen rivi vastaa yhtä kuntamuutosta, kuten kunnan syntymistä, jakautumista tai liitosta. Kuvauksen perusteella voidaan mekaanisesti muodostaa ontologinen RDF-malli semanttista webiä varten ja

⁷ <http://www.yso.fi/>

⁸ <http://www.seco.tkk.fi/services/vera/>

⁹ <http://www.kulttuurisampo.fi/>

rikastaa kuntien välisiä semanttisia suhteita päättelyllä. Malliin on myös digitoitu ajallisten kuntien rajoja polygoneina kahdelta eri ajanjaksolta.

4 SUOMALAINEN PAIKKAONTOLOGIA SUO

FinnONTO-hankkeen kooltaan suurin ontologia on Suomen paikkaontologia SUO. Sen perustana on Maanmittauslaitoksen n. 800 000 yksilön Paikannimirekisteri (PNR) kielinä suomi, ruotsi ja saamen murteita. Aineisto on luokiteltu 52 eri paikkatyyppiin, jotka muodostavat SUO:n luokkarakenteen ytimen. Ontologian luokkarakennetta on tämän lisäksi laajennettu GNS-järjestelmän 648 paikkatyyppillä. Luokat yhdistetään kansallisen ontologiajärjestelmään KOKO peilaamalla se Yleisen suomalaisen ontologian YSO¹⁰ paikkakäsitteisiin.

SUO-ontologiaan on tuotu PNR:n ohella miljoonia paikkoja Suomen ulkopuolelta, erityisesti GNS-järjestelmän kautta. Ontologian rakenneperiaatteita, nimeämiskäytäntöjä, sisältöjä ja teknistä toteutusta on esitelty tarkemmin viitteissä (Henriksson et al., 2008) ja (Lindroos, 2008).

5 KANSALLINEN ONTOLOGIAPALVELU ONKI

Ontologioiden julkaisemista ja hyödyntämistä varten kehitettiin Kansallinen ontologiapalvelu ONKI¹¹. ONKI mahdollistaa ontologioiden, luokitusjärjestelmien ja sanastojen kustannustehokkaan keskitetyn julkaisemisen verkossa sekä vaivattoman hyödyntämisen asiakassovelluksissa. Palvelut voidaan ottaa käyttöön joko valmiina käyttöliittymäkomponentteina (widget) Google Maps -palvelun tapaan (AJAX-teknologia) tai perinteisempinä Web Service -palveluina (SOAP- ja WSDL-rajapinnat).

ONKI-palvelimista on kehitetty kolme eri versiota erilaisia aineistoja varten:

1. ONKI SKOS (Tuominen, 2008; Viljanen et al., 2008b) on tarkoitettu SKOS-muotoisten sanastojen ja yksinkertaisten OWL-ontologioiden julkaisemiseen.
2. ONKI Geo (Lindroos, 2008) on paikkatiedon ontologiapalvelin.
3. ONKI People¹² on kehitetty henkilö- ja organisaatio-ontologioita varten.

Palvelimet tarjoavat:

- ihmiskäyttäjälle haku- ja selainliittymän (browser) ja valitsinkomponentin (widget)
- verkkosovelluksille AJAX ja Web Service -rajapinnat

Seuraavassa näytetään, miten ONKI valitsin leijuke (selector widget) voidaan ottaa käyttöön asiakassovelluksessa (Viljanen et al., 2008a). Oletetaan, että halutaan kehittää verkkosovelluksissa yleisesti käytetty syötekenttä (input) HTML-lomakkeeseen paikkatietoa varten. Tämä onnistuu lisäämällä ensin HTML-lomakkeen HEAD osioon viittaus ONKI-palvelun Javascript-kirjastoon vakiorivillä:

¹⁰ <http://www.seco.tkk.fi/ontologies/ys/>

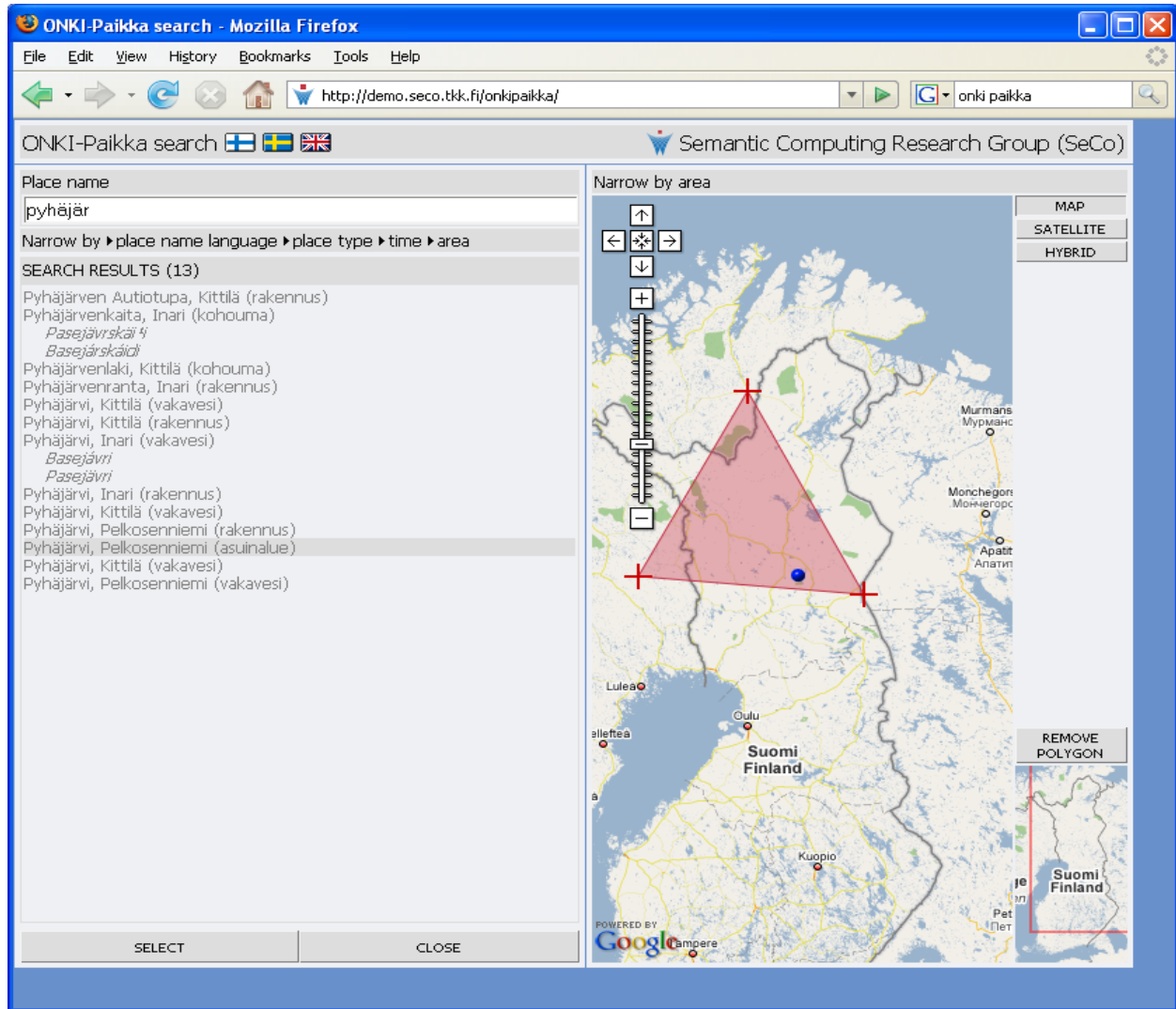
¹¹ <http://www.yso.fi/>

¹² <http://www.seco.tkk.fi/services/onkipeople/>

```
<script type="text/javascript" src="http://www.yso.fi/onki.js"></script>
```

Tämän jälkeen syötekentälle annetaan kytkentä SUO-ontologiaan seuraavalla rivillä:

```
<input id="dc:subject" onkeyup="onki['suo'].search()"/>
```



Kuva 1. ONKI Geo -palvelu yhdistää SUO paikkaontologian ja Google Maps -palvelun. Kuvassa käyttäjä etsii Suomen Pyhäjärvi-nimisiä paikkoja ja on rajoittanut hakuja Pohjois-Suomessa olevaan alueeseen. Tumma piste ilmaisee valitun paikan kartalla.

Javascript-koodirivin automaattista muodostamista varten ONKI-palvelussa on erityinen interaktiivinen koodigeneraattori, jolla erilaisia valitsimia on helppo luoda ja kokeilla.

Tämän jälkeen paikkatiedon input-kenttään on asentunut SUO-ontologian automaattitäydentäjä (Hyvönen, Mäkelä, 2006) ja eräitä painikkeita. Kun kenttään kirjoitetaan P-y-h-ä-j-ä-r-v-i, kone yrittää jokaisen merkin jälkeen tarjota paikannimirekisteristä merkkijonoon sopivia paikannimiä. Input-kentästä voidaan myös avata ONKI Geo -palvelimen oma karttapalvelu (Lindroos, 2008)

erillistä nappia painamalla. Kirjoittamalla sen hakukenttään P-y-h-ä-j-ä-r-v-i käyttäjä voi valita Suomen 49 Pyhäjärvestä oikean tulkinnan. Paikkojen haku voidaan tehdä myös erilaisten lisärajoitteiden avulla, joita ovat esimerkiksi paikkatyyppe, nimen kieli ja rajattu alue. Kuvassa 1 näkyy esimerkiksi tilanne, jossa käyttäjä on Pyhäjärvi-nimen ohella rajannut ONKI Geon hakua piirtämällä Pohjois-Suomeen rajatun alueen. Tällöin haku kohdistuu vain kyseisen alueen Pyhäjärviin. Select-nappia painamalla valitun paikan tunniste ja muut tiedot siirtyvät keskitetyltä ONKI-palvelimelta asiakassovelluksen HTML-sivulle. Paikkatieto voidaan antaa kartalla myös koordinaattipisteinä karttaa hiirellä napauttamalla. Sovelluksen oma asia on päättää, miten ONKI-palvelimelta saadut tunnisteet, nimikkeet ja koordinaatit talletetaan esimerkiksi tietokantaan ja hyödynnetään.

ONKI Geo -palvelu on ns. mash-up-sovellus, joka hyödyntää Google Maps -palvelua karttanäyttäjien osalta. ONKI Geon avulla voidaan vastaavasti luoda oma uusi mash-up-sovellus. Esimerkki osoittaa, että ONKI:n avulla voidaan helpottaa merkittävästi vaikkapa luettelointisovelluksen ohjelmointia, jos halutaan saada käyttöön ajantasaiset paikkatietopalvelut.

ONKI Geo voidaan ottaa käyttöön myös perinteisen Web Service -rajapinnan kautta. Tällöin asiakasovellus kutsuu ONKI-palvelimen WSDL-rajapintaa HTTP- ja SOAP-protokollia käyttäen. SOAP-kutsujen ja WSDL-rajapinnan määritysten generointiin on tarjolla oma interaktiivinen palvelu.

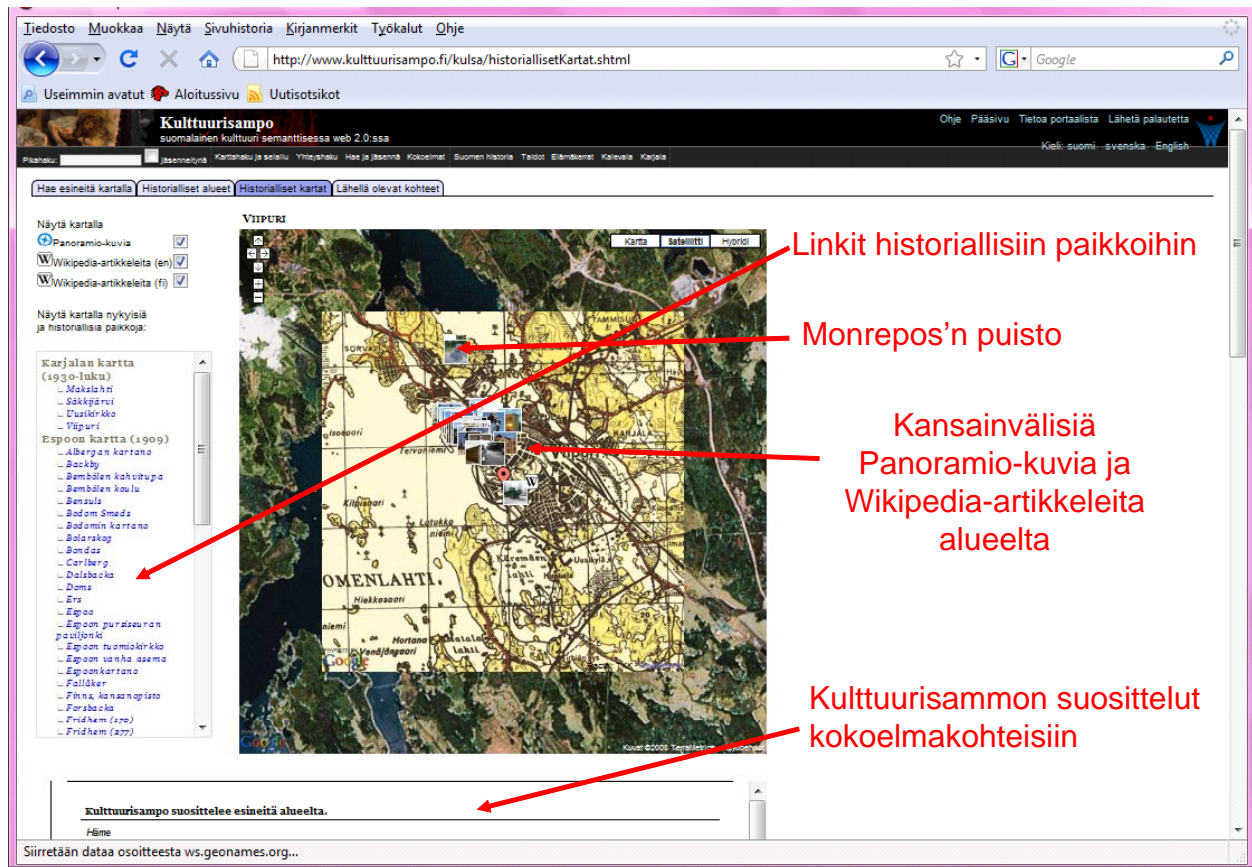
6 SOVELTAMINEN KULTTUURISAMPO-PORTAALISSA

Esimerkin paikkaontologioiden hyödyntämisestä käytännössä tarjoaa kansallinen portaali ”Kulttuurisampo – Suomalainen kulttuuri semanttisessa webissä 2.0”. Kulttuurisampo on prototyyppi kansallisesta, museoiden, kirjastojen, arkistojen ja muiden kulttuurisisältöjen tuottajien semanttisesta julkaisukanavasta ja älykkäästä portaalista (Hyvönen et al., 2007b). Järjestelmän sisältölajeja ovat mm. museoesineet, valokuvat, kulttuuripaikat, kansanrunot, musiikki, kartat, biografiat, Kalevala, kaunokirjallisuus, maalaukset, videot ja Wikipedia-sivut. Aineisto on peräisin 22 eri kotimaisesta organisaatiosta ja kuudesta ulkomaisesta lähteestä. Systeemin RDF-muotoinen tietämuskanta perustuu FinnONTO:n sisältöinfrastruktuurin ontologioihin ja 17 eri metadataskeemaan erilaisille aineistotyypeille¹³.

Kulttuurisammon temaattisessa paikkatietonäkymässä ”karttahaku ja selailu” sisältöihin voi tutustua neljällä eri tavalla. 1) Eri kokoelmista tulevat kohteet voidaan näyttää kartalla kahdellatoista eri suhteella koordinaattitietoon kytkettynä (valmistuspaikka, aiheen paikka jne.). 2) Kartoilta voi hakea historiallisia paikkoja SAPO-ontologian avulla. 3) Lähellä olevia kohteita voidaan etsiä karttaa hiirellä osoittamalla, ja löytää esimerkiksi oman kesämökin ympäristössä olevia kiinnostavia vierailukohteita. 4) Historiallisiin alueisiin voidaan tutustua vanhojen karttojen sekä ilmakuvien kautta. Kuvassa 2 on esimerkiksi tarkastelun kohteena Viipuri. Keskellä oleva neliö on näyttää päällekkäin sekä nykyistä Googlen satelliittikuvaa että sotia edeltänyttä Maanmittauslaitoksen vanhaa karttaa (Kauppinen et al., 2008). Neliössä näkyvää Monrepos’n puistoa ei nykyisistä venäläisistä Googlen kartoista löydy. Kartalla peilattuina näkyvät Wikipedian ja kansainvälisen Panoramio-kuvapalvelun aineistot, mm. uusia valokuvia

¹³ Ks. tarkemmin projektin kotisivu <http://www.seco.tkk.fi/applications/kulttuurisampo/> ja itse portaali <http://www.kulttuurisampo.fi/>

Monrepos'ta. Näytön alaosasta löytyy semanttisia suositellulinkkejä Viipuriin eri tavoin liittyviin kokoelmakohteisiin.



Kuva 2. Karjalan kulttuuria vanhojen karttojen ja satelliittikuvien kautta.

Kulttuurisammossa eri organisaatioissa tuotettu paikkatieto harmonisoidaan ontologioiden avulla. Lisäksi aineistoja rikastetaan päättelyn avulla ja ne voidaan projisoida kartoille ja erilaisiin valikoihin. Järjestelmässä hyödynnetään historiallisten ja nykyisten paikkojen muodostamaa semanttista verkostoa niin haussa, visualisoinnissa kuin mielenkiintoisten semanttisten suositellulinkkien muodostamisessa.

Kiitokset

Suomalaisten paikkaontologioiden kehitys ja sovellustyötä ovat tukeneet Tekes ja 38 muun organisaation konsortio FinnONTO-hankkeissa. Kiitokset myös Suomen Kulttuurirahastolle ja EU:n SmartMuseum-hankkeelle tutkimustyön tukemisesta.

Lähdeluettelo

O. Alm (2007): Tekstidokumenttien automaattinen ontologiaperustainen annotointi. Pro Gradu, Helsingin yliopisto, 2007. <http://www.seco.tkk.fi/publications/2007/alm-gradu-2007.pdf>

D. Fensel (2003): *Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*, Springer-Verlag, Berlin. 2nd Edition, Springer-Verlag.

Riikka Henriksson, Tomi Kauppinen, Eero Hyvönen (2008): Core Geographical Concepts: Case Finnish Geo-Ontology. Location and the Web (LocWeb) 2008 workshop, 17th International World Wide Web Conference WWW 2008, ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 300.

E. Hyvönen (2005): Miksi asiasanastot eivät riitä vaan tarvitaan ontologioita. Signum, nro 5. <http://www.seco.tkk.fi/publications/2005/hyvonen-miksi-asiasanastot-eivat-riita-2005.pdf>

Eero Hyvönen (2008): Semantic Interoperability of Content and Services. A National Cross-domain Content Infrastructure for the Semantic Web. In: P. Sheu, H. Yu, C. V. Ramamoorthy, A. K. Joshi, and L. A. Zadeh (Eds.). *Semantic Computing*. IEEE Press / Wiley, New York, (painossa).

E. Hyvönen, E. Mäkelä, M. Salminen, A. Valo, K. Viljanen, S. Saarela, M. Junnila, and S. Kettula (2005): MuseumFinland - Finnish Museums on the Semantic Web. *Journal of Web Semantics*, Vol. 3, No. 2.

Eero Hyvönen, Eetu Mäkelä (2006): Semantic Autocompletion. *Proceedings of the first Asia Semantic Web Conference (ASWC 2006)*, Springer-Verlag.

Eero Hyvönen, Tuukka Ruotsalo, Thomas Häggström, Mirva Salminen, Miikka Junnila, Mikko Virkkilä, Mikko Haaramo, Eetu Mäkelä, Tomi Kauppinen and Kim Viljanen (2007b): CultureSampo - Finnish Culture on the Semantic Web: The Vision and First Results. In: K. Robering (ed.): *Information Technology for the Virtual Museum*. LIT Verlag, Berlin.

Eero Hyvönen, Kim Viljanen, Jouni Tuominen and Katri Seppälä (2008): Building a National Semantic Web Ontology and Ontology Service Infrastructure - The FinnONTO Approach. *Proceedings of the European Semantic Web Conference ESWC 2008*, Springer-Verlag.

Tomi Kauppinen, Eero Hyvönen (2007): Modeling and Reasoning about Changes in Ontology Time Series. *Ontologies*. In Rajiv Kishore, Ram Ramesh, Raj Sharman (eds.): *A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems*, Springer-Verlag.

Tomi Kauppinen, Jari Väättäinen, Eero Hyvönen (2008): Creating and Using Geospatial Ontology Time Series in a Semantic Cultural Heritage Portal. S. Bechhofer et al.(Eds.): *Proceedings of the 5th European Semantic Web Conference 2008 ESWC 2008*, Springer-Verlag.

Robin Lindroos (2008): Paikkatiedon ontologiapalvelu. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. <http://www.seco.tkk.fi/publications/>

S. Staab, R. Studer (toim.) (2003, 2008 (2nd edition)): *Handbook on Ontologies*. Springer-Verlag.

J. Tuominen. (2008): Helppokytkäiset ontologiapalvelut semanttisessa webissä. Pro Gradu, Helsingin yliopisto, ilmestyyvä.

O.Valkeapää, O. Alm and E. Hyvönen (2007): A Framework for Ontology-based Adaptable Content Creation on the Semantic Web. *Journal of Universal Computer Science*, Vol. 13, No. 12.

Kim Viljanen, Jouni Tuominen, Teppo Käsälä, Eero Hyvönen (2008a): Distributed Semantic Content Creation and Publication for Cultural Heritage Legacy Systems. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Distributed Human-Machine Systems*, IEEE Press.

Kim Viljanen, Jouni Tuominen, Eero Hyvönen (2008b): Publishing and Using Ontologies as Mash-Up Services. *Proceedings of the 4th Workshop on Scripting for the Semantic Web (SFSW2008)*, 5th European Semantic Web Conference 2008 (ESWC 2008), Tenerife, Spain.

Jari Väätäinen: Ajallisesti muuttuvan paikkatiedon hallinta. *Insinööriyö, Mediatekniikka, EVTEK*, 2007.