

TIIVISTELMÄRAPORTTI

TUGEVA: Tuntemattoman paikkatietoaineiston ymmärtäminen tekoälyavusteisella geovisuaalisella analytiikalla

Pyry Kettunen (Paikkatietokeskus FGI, MML; pyry.kettunen@maanmittauslaitos.fi)

Merve Keskin (FGI)

Mikko Rönneberg (FGI)

Tiivistelmä

Moniin paikkatietoaineistoihin ja karttakuviin liittyy vaikeatulkintaisuutta niiden jalostamattomuuden tai monimutkaisuuden vuoksi, jolloin ihmisen on vaikea ymmärtää mitä aineisto tai kuva esittää. Tässä tutkimushankkeessa tutkittiin teknisiä mahdollisuuksia tällaisten aineistojen ja karttakuvien ymmärtämisen helpottamiseksi. Toteutusmenetelminä olivat silmänliikemittaus ja paikkatekoäly, joista hankkeessa kirjoitettiin laaja nykytilakatsausartikkeli. Katsaus osoittaa, että menetelmät ja niihin liittyvät työkalut ovat jo sovellettavissa, mutta vaativat vielä myös lisätutkimusta ja -kehitystä. Hankkeessa suoritettiin 36 koehenkilön käyttäjäkoe, jolla tutkittiin karttakohteiden korostamisen vaikutusta rakenteeltaan tuntemattoman karttakuvan katsomiseen. Kokeen tulokset näyttävät, että kohteiden korostaminen muuttaa kuvan katsomista siirtäen ihmisen keskittymistä korostetuilta kohteilta korostamattomille alueille. Korostaminen myös helpottaa karttakuvien katsomista. Lisäksi hanke loi arkkitehtuurisuunnitelman ja havainnollistavia käyttötapausvideoita visioidusta vuorovaikutteisesta silmänliike- ja tekoälyjärjestelmästä. Jatkotutkimusaiheet suuntautuvat suunnitelman demonstroimiseen, silmänliikekokeisiin todellisessa käytössä olevilla monimutkaisilla kartoilla ja monitieteiseen yhteistyöhön kognitiotieteen kanssa.

1. Johdanto

Paikkatiedon keruu- ja analyysimenetelmien sekä niiden tuottamien aineistojen kiihtyvä lisääntyminen ja monimuotoistuminen johtaa paikkatietoaineistoja kattavasti kokoavan toimijan yhä useammin tilanteeseen, jossa aineisto on sisällöltään ja ominaisuuksiltaan ennalta tuntematon¹. Tällaiseen aineistoon liittyy tyypillisesti rakenteellinen epäyhtenäisyys, joka vaikeuttaa tun-

1 Jeansoulin, R. (2016). Review of forty years of technological changes in geomatics toward the big data paradigm. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5(9).

Postiosoite**Postadress****Postal Address**

MATINE/Puolustusministeriö

PL 31

FI-00131 Helsinki

Finland

Käyntiosoite**Besöksadress****Office**

Eteläinen Makasiinikatu 8 A

00130 Helsinki

Finland

Puhelin**Telefon****Telephone**

Vaihde 295 160 01

s-posti, internet**e-post, internet****e-mail, internet**

matine@defmin.fi

www.defmin.fi/matine

temattomaan aineistoon sisältyvän tiedon ja ilmiöiden tunnistamista. Oivat keinot tällaisten aineistojen ymmärtämiseen ja niistä oppimiseen tarjoavat visuaalinen analytiikka^{2,3} ja eksploraatiivinen geovisualisointi^{4,5}, jotka parantavat ihmistulkitsijan kykyä tunnistaa aineiston hahmoja ja aiheita ja siten ymmärtää aineiston taustalla olevia syitä, ilmiöitä ja toimijoita.

Eksploraatiivisen geovisualisoinnin tehokkuuden esteeksi muodostuu herkästi epäonnistunut visualisointiparametrien käyttö ja heikko graafinen laatu, joiden nopeaan parantamiseen voi ihmistulkitsijalta puuttua mahdollisuudet ja kyvyt kulloinkin käsillä olevassa tilanteessa. Oikeat parametrit ja korkea graafinen laatu ovat kuitenkin tulkinnan onnistumisen keskeiset tekijät, jotta ihminen kykenee erottamaan aineiston olennaisia sisältöjä⁶. Saman aineiston graafisen esityksen valistunut sujuva muuntaminen saa tulkitsijan näkemään aineistosta eri ominaisuuksia ja piiloutuvia merkityksiä. Näiden löytyminen voi vaikuttaa merkittävästi paikkatiedon kautta muodostuvaan spatiaaliseen tilannekuvaan ja siitä seuraavaan toimintaan.

Esimerkeiksi paikkatietoaineistossa ilmenevien ennalta tuntemattomien ilmiöiden havaitsemisesta käyvät laserkeilausaineistojen jatkuvasti lisääntyneet käyttökohteet. Laserkeilauksen keskeisimmät sovellusalueet ja -kehittämiskohteet ovat keskittyneet maan tunnettujen pinnanmuotojen sekä maata peittävän kasvillisuuden ja rakennettujen kohteiden tarkkojen fyysikaalisten mittojen määrittämiseen, mutta ihmistulkitsijat ovat aineiston erikoisia hahmoja tutkiessaan löytäneet aiemmin maan pinnalla tuntemattomiakin kohteita esimerkiksi kulttuurihistoriasta⁷ (Kuva 1). Onpa laserkeilausta keksitty kokeilla suurten eläinten paikantamiseenkin⁸. Näiden kohteiden alkuperäisessä hahmottamisessa olennaista on ollut, että käytössä on ollut aineiston eksploraatiiviseen käyttöön tarkoitettuja, ilmiöille olennaisia piirteitä ikään kuin sattumalta osoittavia visualisointeja kuten rinnevalovarjostuksia ja korkeusvärjättyjä pistepilviä.

2 Andrienko, G. L. ja Andrienko, N. V. (1999). Interactive maps for visual data exploration. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(4):355–374.

3 Andrienko, N., Andrienko, G., ja Gatala, P. (2003). Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review. *Journal of Visual Languages & Computing*, 14(6):503–541.

4 Koua, E. L., Maceachren, A., ja Kraak, M. (2006). Evaluating the usability of visualization methods in an exploratory geovisualization environment. *Int Journal of Geographical Information Science*, 20(4):425–448.

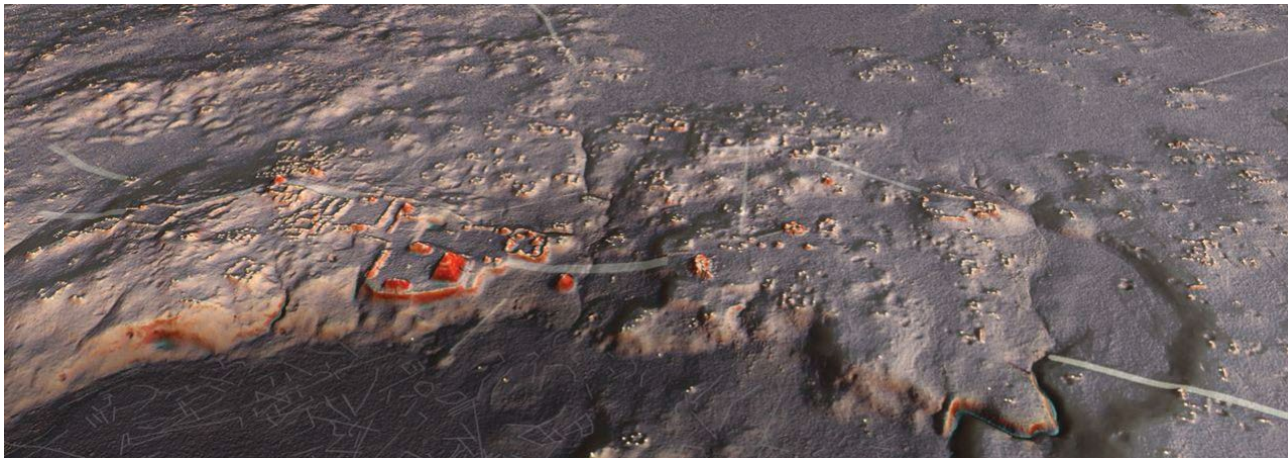
5 Ferreira, N., Poco, J., Vo, H. T., Freire, J., ja Silva, C. T. (2013). Visual exploration of big spatio-temporal urban data: A study of New York City taxi trips. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12):2149–2158.

6 Bertin, J. (1983). *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*. U of Wisconsin Press, Madison, WI, USA.

7 Canuto, M. A., Estrada-Belli, F., Garrison, T. G., Houston, S. D., Acuña, M. J., Kovács, M., Marken, D., Nondédéo, P., Auld-Thomas, L., Castanet, C., Chatelain, D., Chiriboga, C. R., Drápela, T., Lieskovský, T., Tokovinine, A., Velasquez, A., Fernández-Díaz, J. C., and Shrestha, R. (2018). Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*, 361(6409).

8 Silvennoinen, H. ja Kinnunen, N. (2010). Eläinten havaitseminen laserkeilausaineistosta.

<http://nkinnunen.users.paivola.fi/Viksu.pdf>



Kuva1. Laserkeilausaineiston perusteella löydettiin historiallisen Maya-yhteisön rakennelmia (Canuto 2018).

Tekoälyjärjestelmien kehitys ihmiskäyttöön tarkoitetuissa vuorovaikutteisissa käyttöliittymissä on ollut viime vuosina kiihtyvää. Yhdeksi keskeiseksi kehityskuluksi on muodostumassa ihmiskonevuorovaikutuksen mittaaminen ja mittauksen perusteella koneen opettaminen ennakoimaan ja tukemaan ihmisen käytöstä ja tehtävien suorittamista. Onnistuneessa tekoälykäyttöliittymässä ihmisen ja koneen vuorovaikutus muodostuu sellaiseksi, että molempien parhaat kyvyt saadaan käyttöön: ihmisen inhimillinen hahmotus ja päätöksentekokyky sekä koneen väsymätön kyvykkyys informaatiotyöskentelyyn ja tiedonhakuun^{9,10}. Paikkatiedon käsittelyn tapauksessa on paikkatietotekoälyyn aivan viime vuosina vakiintunut termi *GeoAI*, jonka tutkimuksessa pyritään opettamaan koneelle ihmisen kaltaista visuo-spatiaalisia hahmotuskykyä¹¹. Paikkatiedon tapauksessa tekoälyavusteista kone-ihmisvuorovaikutusta on lähdetty kehittämään esimerkiksi silmänliikemittauksen kautta¹², kuten tässäkin hankkeessa ensisijaisesti tehtiin.

2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma

Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli luoda uutta tietämystä ja uudenlaisia keinoja tuntemattomien aineistojen eksploratiivisen geovisualisoinnin tehostamiseksi ja osittaiseksi automatisoimiseksi tekoälymenetelmiä hyödyntäen. Eritellyt tavoitteet olivat:

1. Kattava tietämys tekoälyratkaisujen nykykäytöstä ja -kyvykkyyydestä aineistojen visualisoinnissa sekä näiden ratkaisujen soveltamisesta ja soveltamismahdollisuuksista geovisualisoinnissa,
2. Tekoälymenetelmiä hyödyntäviä työkaluja tuntemattomien paikkatietoaineistojen ymmärtämiseksi analyyttisen tarkastelun kautta, esim. vektoriaineiston rasteroinnit tai eksploratiiviset animaatiot,
3. Kokeellinen karttakäyttöliittymä tuntemattomien paikkatietoaineistojen tehokkaaseen

9 Fuchs, R., Waser, J., and Groller, M. E. (2009). Visual human+machine learning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(6), 1327–1334. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.199>

10 Raubal, M. (2009). Cognitive engineering for geographic information science: Cognitive engineering for geographic information science. *Geography Compass*, 3(3), 1087–1104. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2009.00224.x>

11 Gao, S. (2021). *Geospatial artificial intelligence (GeoAI)*. Oxford University Press.

12 Göbel, F., Kiefer, P., and Raubal, M. (2019). Featureyetrack: Automatic matching of eye tracking data with map features on interactive maps. *Geoinformatica*, 23(4), 663–687. <https://doi.org/10.1007/s10707-019-00344-3>

ohjattuun visuaaliseen tarkasteluun edellisen työkaluja hyödyntäen,

4. Käyttökoe kehitettyjen tekoälytyökalujen ja karttakäyttöliittymän toimivuudesta aidossa tai aidonkaltaisissa käyttötilanteissa ja
5. Julkaisuja tekoälyjärjestelmien ja karttakäyttöliittymien rakentamisen keskeisiä periaatteista tuntemattomien paikkatietoaineistojen tarkasteluun ja ymmärtämiseen.

Hankkeen alkuvaiheessa tutkimustavoitteita tarkennettiin siten, että päätavoitteeksi muodostui tutkimus kartanlukijan tukemiseksi tuntemattoman tai käsittämättömän paikkatietoaineiston tulkinnaissa ja ymmärtämisessä. Edistyneeksi tavoitteeksi määriteltiin tutkimus kartan muuttamisesta silmänliikemittauksen perusteella ja vuorovaikutteisen järjestelmän esittely kartan visuaalisten muuttujien säätämiseen.

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Kirjallisuuskatsaus

Hankkeen aluksi tehtiin laaja kirjallisuusselvitys vuorovaikutteisia geovisualisointi- ja karttajärjestelmiä mahdollistavista silmänliike- ja tekoälyteknologioista. Selvityksestä kirjoitettiin tieteellinen nykytilakatsausartikkeli (Keskin et al 2022). Kirjallisuusselvitys tehtiin seuraaviin päätutkimuskysymyksiin perustuen:

1. Kuinka kartan käyttäjiä voidaan avustaa tuntemattoman paikkatietoaineiston tarkastelussa?
2. Mitä menetelmiä voidaan käyttää sellaisten geovisualisointien suunnittelemiseksi, jotka räätälöidään käyttäjän käytöksen mukaan heidän spatiaalisen ymmärtämyksensä parantamiseksi?
3. Kuinka paikkatiedon sisältämiä rakenteita voidaan hahmottaa koneellisesti ilman esitietoja käyttäen kartoilla esitettyjä geometrioita?

3.2. Tekoälytyökalut

Hankkeessa etsittiin soveltuvia teknisiä työkaluja silmänliikkeisiin ja tekoälytunnistukseen perustuvan vuorovaikutuksen kehittämiseksi. Työkaluja haettiin hankkeen kirjallisuusselvityksen perusteella, tieteellisillä foorumeilla kuten konferensseissa keskustellen sekä erillisinä perusteellisin verkkohakuina. Lupaaviksi tunnistettujen työkalujen osalta otettiin yhteyttä niiden tekijöihin ja järjestettiin heidän kanssaan videopuhelutapaamiset ohjelmistojen toiminnan ymmärtämiseksi ja käyttöönnoton mahdollistamiseksi.

3.3. Käyttäjäkoe

Hankkeen ensisijainen kokeellinen tutkimus oli käyttäjäkoe silmänliikemittausta käyttäen. Silmänliikemittaus on menetelmä, jossa infapunalähtetystä sekä videokameroista koostuvalla silmienseuraimella tallennetaan silmien asennon perusteella kohdistettuja katsepisteitä ruudulla. Näistä katsepisteistä lasketaan fiksaatioita (kesto noin 200–300 ms) eli katseen pysähtymisen sijainteja sekä sakkadeja eli pysähtymispisteiden (kesto noin 30–80 ms) välisiä siirtymiä. Fiksaatioiden aikana tiedetään siirtyvän visuaalista sisältöä ihmisen tiedostettuun tiedonkäsitteeseen ja sakkadeista voidaan päätellä katsomisen ja tarkkaavaisuuden yleistä tasoa. Tämä tutkimus perustui fiksaatiomittoihin, koska oltiin ensisijaisesti kiinnostuneita ihmisen aktiiviseen tiedonkäsitteeseen siirtyvästä sisällöstä. Käyttäjäkokeen koesuunnittelu käy ilmi Taulukosta 1.

Taulukko 1: Käyttäjäkokeen koesuunnittelu

Tutkimuskysymys	Voiko helposti tunnistettavien karttakohteiden graafinen korostaminen parantaa epäselvän, monimutkaisen tai huomaamattoman karttasisällön ymmärtämistä?
Hypoteesi	Huomion kohdentuminen siirtyy korostettujen karttakohteiden alueille, mutta myös niiden ulkopuolelle.
Tavoite	Ymmärtää paremmin silmänliikkeiden huomio-ominaisuuksia. Havaita kohteiden korostamisen vaikutuksia katseen kohdentumiseen.
Tehtävä	Katsella karttoja rajatun ajan ja muistaa karttakohteiden muotoja. Ymmärtää, mitä tietoa kartta sisältää.
Silmänliikemitat	Fiksaatioiden kesto, fiksaatioiden määrä, jakaumakartat (en. heatmap).

Käyttäjäkokeen koesuorituksen kulku oli seuraava:

1. Koehenkilön tietoisuuden suostumuksen allekirjoitus kokeeseen osallistumisesta
2. Tervetuloilmoitus
3. Kokeen tehtävänanto ja suoritushjeet (ks. Taulukko 1).
4. Harjoitustehtävä: 1 karttakuva 3 kertaa 10 s:
 - korostamaton kartta -> viivoja korostettu -> lisäksi polygoneja korostettu
5. Koetehtävä: 20 karttakuvaa 3 kertaa 10 s kuten harjoitustehtävässä
6. Taustatietokysely

Näytettävät karttakuvat olivat noin 1:10 000 -mittakaavaisia karttakuvia osin aitojen ja osin keinotekkoisten maastoaineistopolygonien reunaviivoista. Tehtävässä muistettavat kuvat olivat hiukan alle puolikkaita otoksia näistä. Koehenkilöt tiesivät kokeen yleisen, mutteivät tarkkaa tutkimuskohdetta. (Kuva 2)

Koe ohjelmoitiin lähes täysin käyttäen vapaita ja avoimia ohjelmia. Koejärjestely ohjelmoitiin ja koeaika synkronoitiin käyttäen PsychoPy-ohjelmistoa, silmänliikkeet kerättiin silmänliikekameran valmistajan Tobii Pro SDK -laiterajapinnalla ja analyysit tehtiin käyttäen Python-kieltä sekä LandRate -ohjelmistoa, jonka ohjelmoijan kanssa tehtiin yhteistyötä hankkeen aikana.

Käyttäjäkokeeseen osallistui 36 koehenkilöä (kh), joista 17 naista ja 19 miestä keski-ikällä 34,7 vuotta (keskihajonta 13,6 vuotta). 30% heistä oli paikkatietoalan ammattilaisia, 30% alan opiskelijoita ja 40% muilta aloilta. 53% ilmoitti käyttävänsä karttoja päivittäin, 22% viikoittain, 19% kuukausittain ja 6% satunnaisesti. Koehenkilöiden itse kertoman kartanlukutaidon keskiarvo oli 8 asteikolla 1–10. Koehenkilöryhmää voidaan pitää melko heterogeenisenä ja heidän kartanlukutaitojaan keskimäärin hyvänä. Ryhmä on näin ollen sopiva tulosten luotettavuuden näkökulmasta.



Kuva 2. Esimerkit käyttäjäkokeen karttakuvista (3 vas.) ja muistitehtävästä (oik.)

3.4. Vuorovaikutteinen karttakäyttöliittymä

Hankkeen loppuvaiheessa koottiin hankkeessa kerääntynyt tietämys silmänliike- ja tekoälyohjelmistoista sekä suunniteltiin sellaisen vuorovaikutteisen karttakäyttöliittymän arkkitehtuuri, jolla voidaan toteuttaa hankkeen tavoite tuntemattoman tai käsittämättömän paikkatiedon ymmärtämisen tukemisesta. Käyttöliittymästä piirrettiin tarkka konseptikuva ja järjestelmää demonstroitiin käyttötapauselokuvilla, joihin liitettiin myös videota silmänliikenauhoitteista.

4. Tulokset ja pohdinta

4.1. Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksesta syntyi laaja silmänliike- ja tekoälyteknologioiden kehityksen vaihetta kuvaava nykytilan katsausartikkeli, joka hyväksyttiin kartta- ja paikkatietoalan tunnettuun, kansainväliseen, tieteelliseen ja vertaisarvioituun aikakauslehteen (Keskin et al 2022). Katsauksen johtopäätös oli, että silmänliike- ja tekoälyteknologiat ovat lupaavia käytettäväksi paikkatiedon tarkastelun tukemisessa. Lisätutkimusta kuitenkin todettiin tarvittavan karttakäyttöliittymien tehokkaan vuorovaikutuksen ja personoinnin rakentamisessa näillä menetelmillä. Paikkatietoteknologioissa vektorigeometrioiden tekoälykäsittelyn todettiin olevan vasta alkuvaiheissaan.

4.2. Tekoälytyökalut

Tekoälytyökalujen haussa löydettiin kaksi viimeaikaista ohjelmaa, joiden kaltaiset ovat keskeisessä asemassa tavoitteen kaltaisen vuorovaikutteisen silmänliike- ja tekoälyjärjestelmän luomisessa.

FeaturEyeTracker on tietokoneohjelma, jolla kohdennetaan silmänliikkeiden fiksaatioita katseltujen paikkatietoaineistojen kohteisiin¹². Tällainen ohjelma on välttämätön, jotta voidaan tunnistaa järjestelmän käyttäjän havainnoimia kohteita. Ohjelman kehittäjään saatiin yhteys ja hän antoi luvan ohjelman käyttöön. Ohjelmaa ei kuitenkaan ollut kehitetty useampaan vuoteen ja sen asennusta ei ehditty saada toimimaan käytössä olevalla työajalla ohjelmistojen riippu-

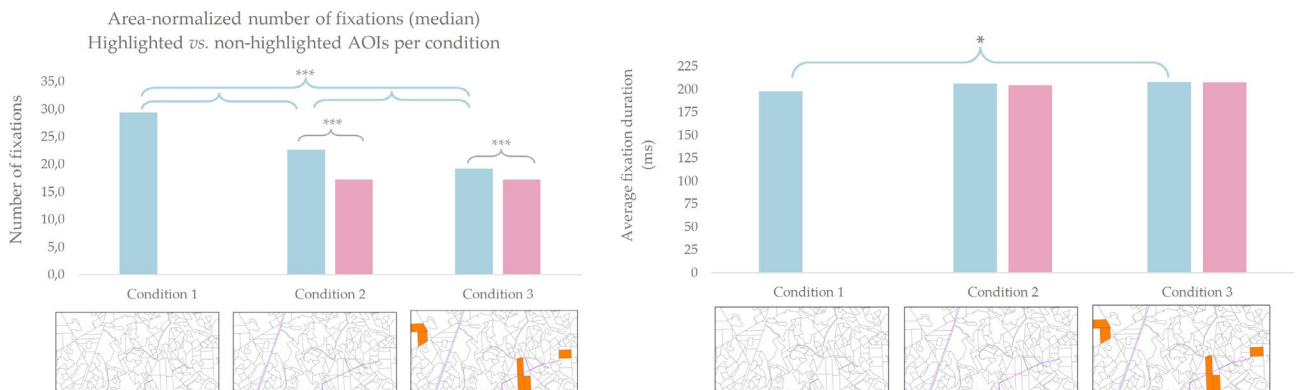
vuusongelmien vuoksi.

Geometry learning on tietokoneohjelma, jolla luokitellaan vektorimuotoisia paikkatietopolygonia niiden muodon mukaan syväoppimista käyttäen¹³ (Veer et al 2019). Tyypillisesti tämänkaltaisia konenäkötehtäviä on tehty rasteroimalla vektoriaineistoa, mutta rasteroinnissa menetetään aineiston tarkkuutta ja metatietoja. Ohjelmisto noudettiin avoimesta GitHub-verkkokirjastosta ja saatiin yhteys yhteen sen aktiivikäyttäjään. Häneltä saatiin ohjeita jokseenkin vaikeaselkoisen ohjelman asennukseen ja käyttöön. Käyttöön olisi kuitenkin tarvittu vanhentuneita ohjelmistoriippuvuuksia niin monimutkaisesti ja järjestelmäkohtaisesti, että asennusta ei saatu suoritettua loppuun kohtuullisessa ajassa.

Molempien työkalujen osalta saatiin kuitenkin tärkeä havainto aihealueen kiinnostavuudesta ohjelmistokehityksessä, joten voidaan olettaa näiden tai vastaavien ohjelmistojen kehittämisen jatkuvan tavoitellun kaltaisissa tehtäväkokonaisuuksissa.

4.3. Käyttäjäkoe

Käyttäjäkokeen silmänliikemittauksen tilastollinen analyysi osoitti fiksaatioiden lukumäärän keskimäärin laskevan ja fiksaatioiden kestoajan nousevan kuvasarjan edetessä (Kuva 3). Näiden muuttujien käänteinen riippuvuus on tyypillinen ja vahvistaa koetulosten oikeellisuuden. Muutokset olivat merkitseviä lähtien tyhjältä karttakuvasta kolmannelle kuvalle, jolla sekä viivoja että alueita oli korostettu. Tämä kertoo käyttäjien vahvemman keskittyneisyydestä karttakuvaan sekä paneutumisesta tehtävään kuvasarjan edetessä, kun kohteita korostetaan. Pinta-alanormalisoitu fiksaatioiden määrä erosi myös merkittävästi korostamattomien alueiden ja korostettujen kohteiden välillä osoittaen suurempaa keskittymistä korostamattomille alueille.



Kuva 3. Pinta-alanormalisoidut fiksaatioiden lukumäärä (vas.) ja normalisoimattomat kestoajat (oik.) korostamattomilla alueilla (sin.) ja korostetuilla kohteilla (pun.) ja näiden väliset tilastolliset merkitsevyydet.

Käyttäjäkokeen tuloksia analysoitiin myös hankkeessa kehitetyllä jakaumakartta-animaatiolla, jolla esitettiin silmänliikkeiden kuvalla jakautumisen muuttumista ajan kuluessa. Korostettujen karttakuvien kohdalla animaatioilta nähtiin katseen kulkua ensin korostetuille kohteille, mutta varsin pian ja aiempaa keskittyneemmin myös niiden ulkopuolelle.

Nämä tulokset vahvistavat kokeen hypoteesin, jonka mukaan kohteiden korostaminen saa ihmiset katsomaan paitsi korostettuja kohteita, myös korostamattomia alueita – katseet ohjautuivat tulosten mukaan enemmän korostamattomille alueille. Karttakuvan katsomisen voidaan myös sanoa muuttuneen helpommaksi kohteiden korostamisen myötä. Tämä johtuu todennä-

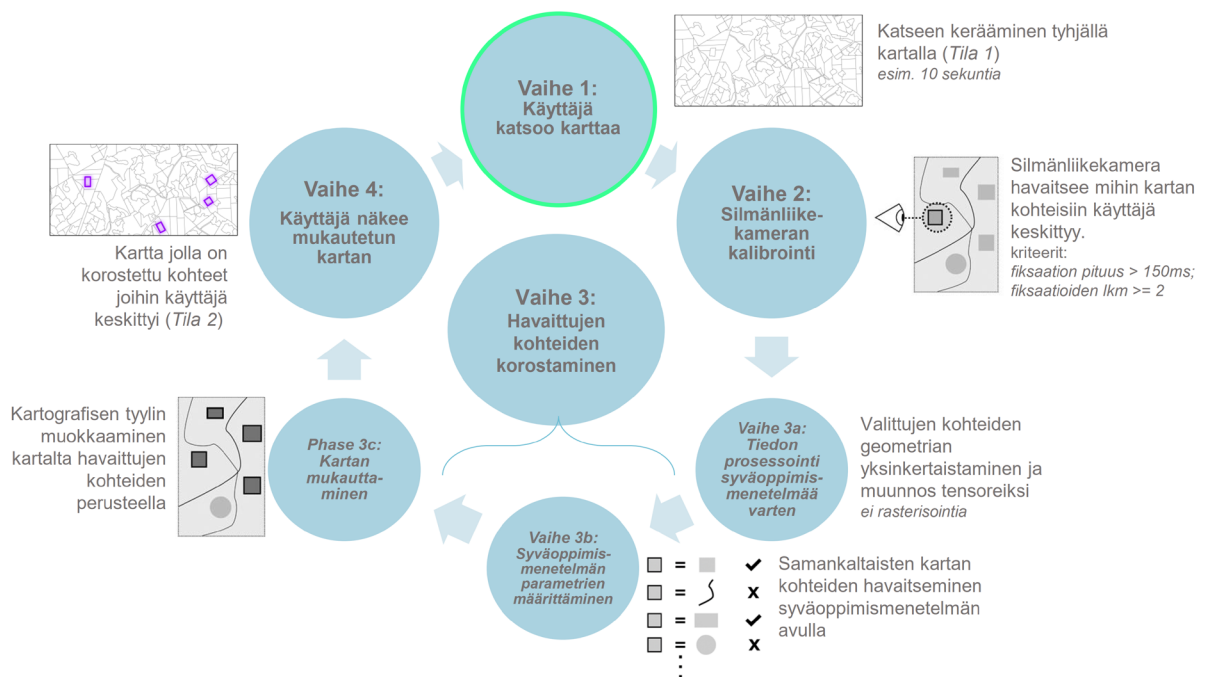
¹³ Veer, R., van 't Bloem, P., and Folmer, E. (2019). Deep learning for classification tasks on geospatial vector polygons. ArXiv:1806.03857 [Cs, Stat]. <http://arxiv.org/abs/1806.03857>

köisesti kuvan kevyemmästä kognitiivisesta prosessoinnista, kun korostetut kohteet tuovat karttakuvaa järjestäytyneisyyttä.

4.4. Vuorovaikutteinen karttakäyttöliittymä

Vuorovaikutteisen silmänliike- ja tekoälyjärjestelmän arkkitehtuurin suunnittelu johti nelivaiheiseen kiertoon, jossa silmänliikkeistä tunnistetaan karttakuvalla katsotut kohteet, syväoppimisella tunnistetaan kuvalta katsottujen kohteiden kanssa samankaltaiset kohteet ja lopulta korostetaan karttakuvan samankaltaiset kohteet sekä näytetään ne käyttäjälle (Kuva 4).

Järjestelmän sovellusmahdollisuuksista tehtiin kolme tapauselokuva: 1) käyttäjä saa tuntemattoman aineiston ja katsoo sillä kohteita, joiden kaltaiset järjestelmä korostaa hänelle, 2) käyttäjä katsoo maastokarttakuvaa ja järjestelmä näyttää hänelle hänen eniten katsomiensa kohteiden laadun, jota hän ei oletettavasti ymmärtänyt ja 3) käyttäjä katsoo maastokarttaa ja järjestelmä nimeää hänelle kaikkien hänen katsomiensa karttakohteiden tyypit. Järjestelmän avulla ihmisiä voidaan paitsi tukea tuntemattomien ja käsittämättömien paikkatietoaineistojen lukemisessa, myös esimerkiksi auttaa ja opettaa lukemaan heille vaikeaselkoisia karttoja.



Kuva 4. Vuorovaikutteinen silmänliike- ja tekoälyjärjestelmä karttakuvan ymmärtämisen tukeen.

5. Loppupäätelmät

Hanke kävi tavoitteen mukaisesti läpi silmänliike- ja tekoälytutkimuksen ja -kehityksen nykytilan ja työkaluja vuorovaikutteisten käyttöliittymien näkökulmasta. Hanke tuotti kirjallisuuskatsausartikkelin, joka tarjoaa avoimesti julkaistun näkymän näihin aiheisiin tiedeyhteisölle ja tutkimuksen soveltajille. Tutkimuksen ja kehityksen nykytila sekä jo olemassa olevat työkalut mahdollistavat hankkeen visioiman kaltaisten, kartan katsomistapaan mukautuvien karttakäyttöliittymien rakentamisen, mutta teknologia ja varsinkin avoimet ohjelmistot kaipaavat vielä li-

sätutkimusta ja kehitystä käytettävien järjestelmien toimintakäyttöön rakentamiseksi.

Hankkeessa silmänliikemittauksella toteutettu käyttäjäkoe tuotti tavoitteiden mukaisesti uutta tietoa karttakohteiden korostamisen merkityksestä karttakuvien katsomisessa. Tulokset soveltuvat tulkittavaksi erityisesti tuntemattomien tai käsittämättömien karttakuvien tapauksessa, joka oli hankkeelle asetettu tutkimuskohde. Korostettujen karttakohteiden todettiin helpottavan karttakuvan katsomista. Tämä johtuu todennäköisesti korostusten kuville tarjoamasta selkeämmästä visuaalisesta rakenteesta. Lisäksi karttakohteiden korostuksen todettiin ohjaavan ihmisen katsetta korostusten ulkopuolelle eli saavan ihmisen tutkimaan karttakuvalla alueita, joilla erikseen visualisoituja kohteita ei vielä ole. Tulokset yleistyvät kokeen tehtävänannon johdosta ennen kaikkea tuntemattoman tai käsittämättömän karttakuvan eksploraatiivisen tarkastelun tapaukseen.

Hanke tuotti tavoitteiden mukaisesti arkkitehtuuritason suunnitelman vuorovaikutteisen silmänliike- ja tekoälyjärjestelmän rakentamiseksi sekä järjestelmän arkkitehtuurikuvan ja havainnollistavia käyttötapauselokuvia järjestelmän toiminnasta. Järjestelmän käytännön tason demonstrointiin tai toteuttamiseen hanke ei ehtinyt, mutta löysi vaadittavat työkalut ja ratkaisut järjestelmän toteuttamiseksi.

Hanke synnytti aihioita jatkotutkimukseksi vaikeasti tulkittavien paikkatietoaineistojen ja karttakuvien tarkastelun tukemiseen ja ymmärrettävyyden lisäämiseen. Eräs merkittävä hankkeen aikana syntynyt yhteys oli kognitiotutkijoihin, joiden kanssa aloitettiin yhteydenpito tulevaisuuden yhteistöitä varten.

6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit

Keskin, M., Rönneberg, M. and P. Kettunen. Does highlighting assist visual exploration of geospatial data? An exploratory eye-tracking study. Peer-reviewed journal article to be submitted in Dec 2022.

Artikkeli esittää käyttäjäkokeen koeasettelun ja yksityiskohtaiset tulokset sekä analyysin niiden merkityksestä.

Keskin, M., Rönneberg, M. and P. Kettunen, 2022. Eye tracking study for the usability of new topographic and background maps of National Land Survey of Finland. ICC2023. Peer-reviewed abstract to be submitted in Dec 2022.

Abstrakti esittää koesuunnitelman maastokarttojen uusien esitystyylien toimivuuden arvioimiseksi silmänliikemittauksella.

Jaeger, N., Keskin, M. and P. Kettunen. Representing eye-tracking data with animated heatmaps. ICC2023. Peer-reviewed abstract to be submitted in Dec 2022.

Abstrakti kertoo silmänliikekokeen suunnitteluun kehitetyn fiksaatioiden jakaumakartan toiminta-ajatuksen ja kehittämiskulun.

Keskin, M., and P. Kettunen, 2022. Potential of Eye Tracking for Interactive Geovisual Exploration aided by Machine Learning, International Journal of Cartography, accepted.

Nykytilan katsausartikkeli kuvaa silmänliike- ja tekoälyteknologioiden kehityksen vaihetta, joiden se toteaa olevan lupaavat paikkatietojen vuorovaikutteiseen tarkasteluun, mutta lisätutkimuksen olevan tarpeen, erityisesti vektorigeometrioiden tekoälyn tapauksessa.

Keskin, M., Rönneberg, M., and P. Kettunen, 2022. Cartographic adaptation through eye tracking and deep learning: Gaze-Aware Interactive Map System (GAIMS). EuroCarto2022. Abstracts of the International Cartographic Association, 5, 107. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-5-107-2022>

Abstrakti kuvaa vuorovaikutteisen tekoälyjärjestelmän toiminta-arkkitehtuurin.

Rönneberg, M., Keskin, M., and P. Kettunen, 2022. *Eye tracking and deep learning for user-adaptive map content. The 25th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Vilnius, Lithuania.*

Esitelty posterijuliste kuvasi silmänliikkeiden ja tekoälyteknologioiden käyttömahdollisuuksia käyttäjiin mukautuvilla kartoilla.

Keskin, M., and P. Kettunen, 2021. *Designing AI-assisted interactive map displays to explore spatial information. Abstracts of the ICA, Volume 3, 148. 30th International Cartographic Conference (ICC 2021), 14–18th December 2021. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-3-148-2021>*

Abstrakti kuvaa tekoälyavusteisten vuorovaikutteisten karttojen suunnitteluprosessin.

Keskin, M., and P. Kettunen, 2021. *Possibilities of Combining AI and Eye Tracking to Guide Geoexploration. Social Sensing Workshop, GIScience 2021, 27th September 2021, Poznań, Poland. http://socialsensing.sbg.ac.at/workshop_docs/SoSen20_paper_3.pdf*

Abstrakti kuvaa tekoälyn ja silmänliikkeiden sovellusmahdollisuuksia geoeksploraation tukena.

Keskin, M., 2021. *The lack of empirically-derived guidelines about designing cartographic user experiments. Workshop on Adaptable Research Methods for Empirical Research with Map Users, 6th May 2021. https://coqvis.icaci.org/21_adaptable/Keskin.pdf*

Abstrakti esittää kartografian silmänliiketutkimuksessa vallitsevan koejärjestelyjä ohjaavien sääntöjen puutteen.

7. Hankkeen seuraajan lausunto raportista

Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtaja, insinöörikommentajakapteeni Petteri Sipilä on toimittanut hankkeen vastuulliselle johtajalle Pyry Kettuselle pe 25.11.2022 sähköpostitse seuraavan kirjallisen lausunnon:

Puolustusvoimien lausunto raportista

Hanke tukee Puolustusvoimien paikkatietoalan kehittämistoimintaa tekoälyratkaisujen osalta. Hankkeessa tuotettu katsaus tekoälyn sovellettavuudesta ja olemassa olevien ratkaisujen käytökelpoisuudesta paikkatietoaineistojen visualisointiin antaa hyvän lähtökohdan konkreettisille kehittämistoimille. Käyttökokeesta saatu ymmärrys kartanlukijan toiminnasta tietoaaineiston tulkinnessa ja ymmärtämisessä on hyödynnettävissä karttatuotteiden kehittämisessä. Lisäksi silmänliikemittaukseen rakennettua järjestelyä voidaan hyödyntää kartan tietosisällön optimoinnissa sotilaskäyttöä varten.