

HUOMION KIINNITTYMINEN KOKO LUOKAN SIMULAATIO-OPETUKSESSA - TAPAUSTUTKIMUS KATSEENSEURANTAA KÄYTTÄEN

Teemu Säynäjäkangas, Antti Lehtinen & Jouni Viiri

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Opiskelijoiden huomion kiinnittymistä opetuksen aikana voidaan nykyteknologian avulla tutkia esimerkiksi katseenseurantalaseja käyttäen. Tätä kautta saadaan tietoa opiskelijoiden kognitiivisista prosesseista ja opettajan toiminnan vaikutuksesta niihin. Tässä tutkimuksessa seurattiin erään lukiolaisen katsetta koko luokan simulaatio-opetuksen aikana. Analyysi keskittyi opettajan toiminnallaan antamien vihjeiden merkitykseen huomion kiinnittymiselle. Opiskelija seurasi opettajan antamia vihjeitä noin 60 % ajasta; opettajan vuorovaikutus simulaation kanssa sekä selvät kysymykset saivat opiskelijan huomion kiinnittymään vihjeiden mukaisesti. Tulevaisuudessa tulisi kerätä lisää aineistoa eri konteksteissa tulosten vahvistamiseksi.

JOHDANTO

Oppimisprosesseja on perinteisesti tutkittu joko videotutkimuksen tai haastattelujen avulla. Videoiden analysointi sopii erityisesti oppilaiden välisen tai opettajan ja oppilaiden välisen vuorovaikutuksen tutkimiseen (Tiberghien & Sensevy, 2012). Haastattelut taas tarjoavat oppijan subjektiivisen näkemyksen prosessista (Miller & Glassner, 2011). Katseenseurantatutkimus (eng. eye-tracking tai gaze tracking) tarjoaa uuden tavan tutkia oppimisen kognitiivisia prosesseja (Lai et al., 2013).

Tässä tapaustutkimuksessa tarkastellaan yhden oppilaan huomion kiinnittymistä. Kontekstina toimii koko luokan opetus simulaatiota hyväksi käyttäen. Tutkimustehtävänä on löytää tekijöitä, jotka vaikuttivat oppilaan huomion keskittymiseen opettajan puheellaan tai eleillään vihjaamiin kohteisiin. Katseenseuranta-aineistosta tehtyjä päätelmiä tuetaan oppilaan ja opettajan haastattelujen avulla.

KIRJALLISUUSKATSAUS

Ihmisen katse koostuu sakkadeista (nopeista liikkeistä näkökentän halki) ja fiksaatioista (katseen kiinnittymisestä kohteeseen) (Rayner, 2009). Sakkadien aikana ihminen ei saa informaatiota silmän liikkeen nopeudesta johtuen. Täten informaatio omaksutaan fiksaatioiden aikana. Katseenseurannan käyttö oppimisen kognitiivisten prosessien tutkimiseen pohjautuu niin kutsuttuun silmä-mieli-olettamukseen, jossa katseenkohdetta pidetään merkinä henkilön huomion kohteesta (Just & Carpenter, 1980). Katseenseurantaa käytettiin oppimisen ja oppijan huomion tutkimiseen jo 1900-luvun alussa (Huey, 1908), mutta teknologian kehittyessä on voitu siirtyä silmänliikkeiden mekaanisesta seurannasta esimerkiksi tietokoneen näyttöihin kiinnitettäviin katseenseurantasensoreihin tai, kuten tässä tutkimuksessa, päässä pidettäviin, silmälasien kaltaisiin katseenseurantalaseihin.

Aiemmat luonnontieteiden opettamiseen liittyvät katseenseurantatutkimukset on toteutettu lähinnä tietokoneen näyttöön kiinnitettävillä katseenseurantasensoreilla. Tutkimukset ovat liittyneet mm. eritasoisten tieteellisen tekstin lukijoiden sisältöosaamiseen (Mason, Tornatora, & Pluchino, 2013) tai opiskelijoiden huomion kiinnittymiseen monivalintatehtäviä ratkaistaessa (Tsai, Hou, Lai, Liu, & Yang, 2012). Katseenseurantalaseja käyttäen on huomattu opiskelijoiden huomion kiinnittyneen enimmäkseen koko luokalle esitettävään Powerpoint-esitykseen opettajan tai luennoitsijan sijaan (Rosengrant et al., 2012).

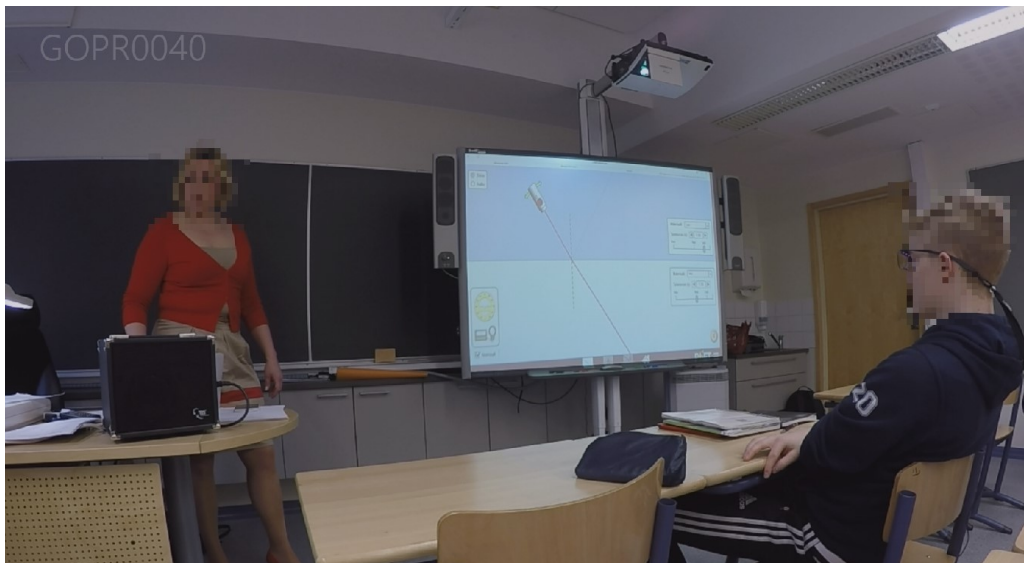
Matematiikan yläkouluopetuksen kontekstissa on selvitetty oppilaan huomion kiinnittymistä käytettäessä dynaamista geometriasovellusta (GeoGebra) koko luokan opetuksessa sekä huomion yhteyttä opettajan toiminnallaan antamiin vihjeisiin (Moreno-Esteva & Hannula, 2015). Näitä opettajan antamia vihjeitä ovat muun muassa erilaiset eleet, vilkaisut ja kehonliikkeet. Luonnontieteen opetuksessa käytetyt erilaiset simulaatiot ovat samankaltaisia kuin GeoGebra matematiikan opetuksessa; molemmissa on usein runsaasti elementtejä, joiden tulkinta ja olennaisten elementtien valinta vaativat oppijoilta metakognitiivisiä taitoja (Lowe, 2004). Erilaiset vihjeet tukevat oppimista tällaisissa informaatorikkaissa ympäristöissä (van Gog & Scheiter, 2010). Aiemmin mainitut opettajan antamat vihjeet tukevat oppimista auttamalla oppilaita huomaamaan näitä ominaisuuksia. Simulaatioihin käyttöön koko luokan opetukseen liittyen Stephens ja Clement (2015) toteavat, että jotkut opettajat voivat tarvita tukea tunnistaakseen, mitkä simulaatioiden ominaisuudet jäävät oppilailta huomaamatta.

Näiden aiempien tutkimuksien pohjalta tässä tapaustutkimuksessa paneudutaan erään opiskelijan huomion kohdistumiseen ja opettajan rooliin huomion ohjaamisessa. Tutkimuskysymykset ovat: 1) Mihin tutkimuksen kohteena oleva opiskelija kohdistaa huomionsa koko luokan simulaatio-opetuksen aikana? ja 2)

Mitkä tapahtumat siirtävät opiskelijan huomion opettajan vihjaamaan kohteeseen ja sieltä pois?

TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin eräässä suomalaisessa lukiossa osana kolmatta lukiokursssia "Aallot". Aineistoa kerättiin kaikkiaan kolmelta oppitunnilta, joilla kaikilla käytettiin simulaatioita opettajajohtoisesti. Tarkempaan analyysiin valittiin 10 minuutin osa eräästä tunnista, jossa aiheena oli valon taittuminen aineiden rajapinnassa ja materiaalien taitekertoimien vaikutus siihen. Aineiston rajaus tehtiin analysoinnin työläyden takia ja muilla tunneilla tapahtuneiden esitystekniikkaongelmien takia. Koehenkilöksi valittiin vapaaehtoinen opiskelija, joka oli tutkimuksessa mukana olleen opettajan mukaan keskitason opiskelija lukiossa, jossa tutkimus toteutettiin. Tutkimuslupa pyydettiin sekä opettajalta että opiskelijalta. Koska opiskelija oli alaikäinen, hänen vanhempansa allekirjoittivat tutkimusluvan. Oppitunti kuvattiin myös videokameralla, joka oli sijoitettu koehenkilön taakse. Kuva 1 esittää tutkimusasetelman tästä kamerasta nähtynä.



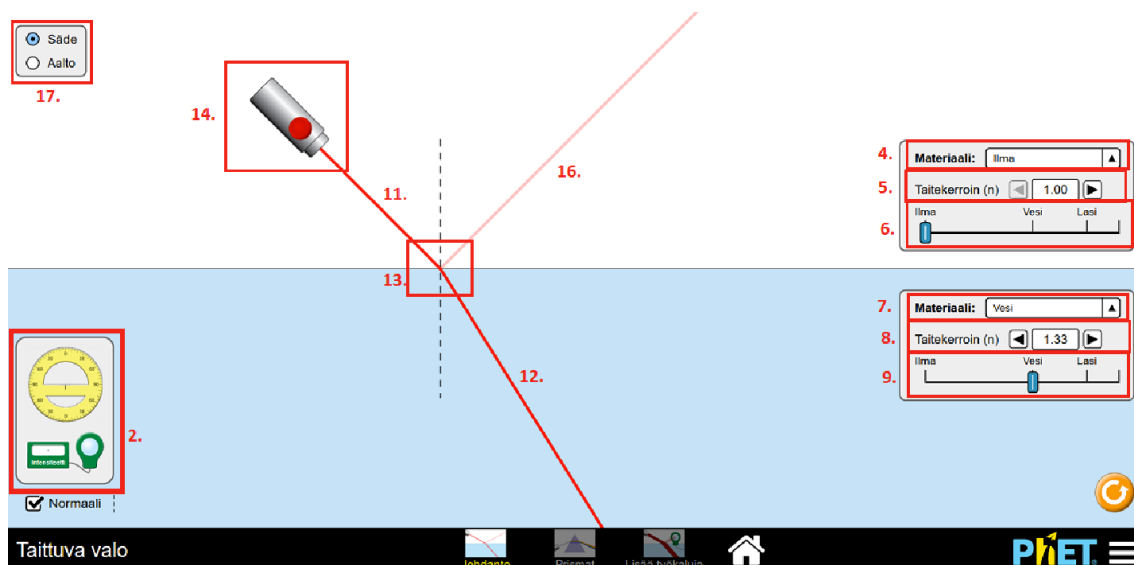
Kuva 1. Tutkimusasetelma.

Kuten kuvasta 1 käy ilmi, opettaja käytti simulaatiota luokan edessä olevan älytaulun avulla. Älytaulua kuitenkin käytettiin kuten mitä tahansa valkokangasta. Käytetty simulaatio oli "Taittuva valo" (University of Colorado Boulder, 2017), jonka avulla voidaan tutkia valon taittumista ja heijastumista erilaisten materiaalien rajapinnoissa.

Katseenseurantaan käytettiin Tobii Pro Glasses 2 -katseenseurantalaseja. Lasit mittaavat katseen paikan 50 hertsin taajuudella, ja piirtävät katseen paikan lasien etuosassa olevan videokameran 24 hertsin taajuudella kuvaamaan Full HD -laatuiseen videoon. Katseen analyysi tapahtui tästä videosta määrittämällä si-

mulaatiosta erilaisia mielenkiinnon alueita (eng. areas of interest, AOI), joihin katse saattoi kohdistua. Kuva 2 esittää määritetyt AOIt.

Tässä tutkimuksessa katseen kohde määritettiin 0,125 sekunnin välein. Fiksaation kestonä on käytetty eri tutkimuksissa arvoja 0,1 s - 0,5 s (Lai et al., 2013), joskus jopa arvoa 0,06 s (Kekule, 2014). Automaattiset analyysiohjelmat eivät vielä pysty analysoimaan luokkahuonedatan kaltaista aineistoa luotettavasti, joten katseen kohteen sisältävästä videosta analysoitiin katseen kohde käsin taulukoimalla. Opiskelijan katseen kohteista muodostettiin taulukko, johon koottiin katset eri AOIhin ja opettajaan sekä simulaation ulkopuolelle kohdistuneet katset. Katseen kohteiden analyysissä jokaiselle ajanhetkelle määrättiin vain yksi katseen kohde.



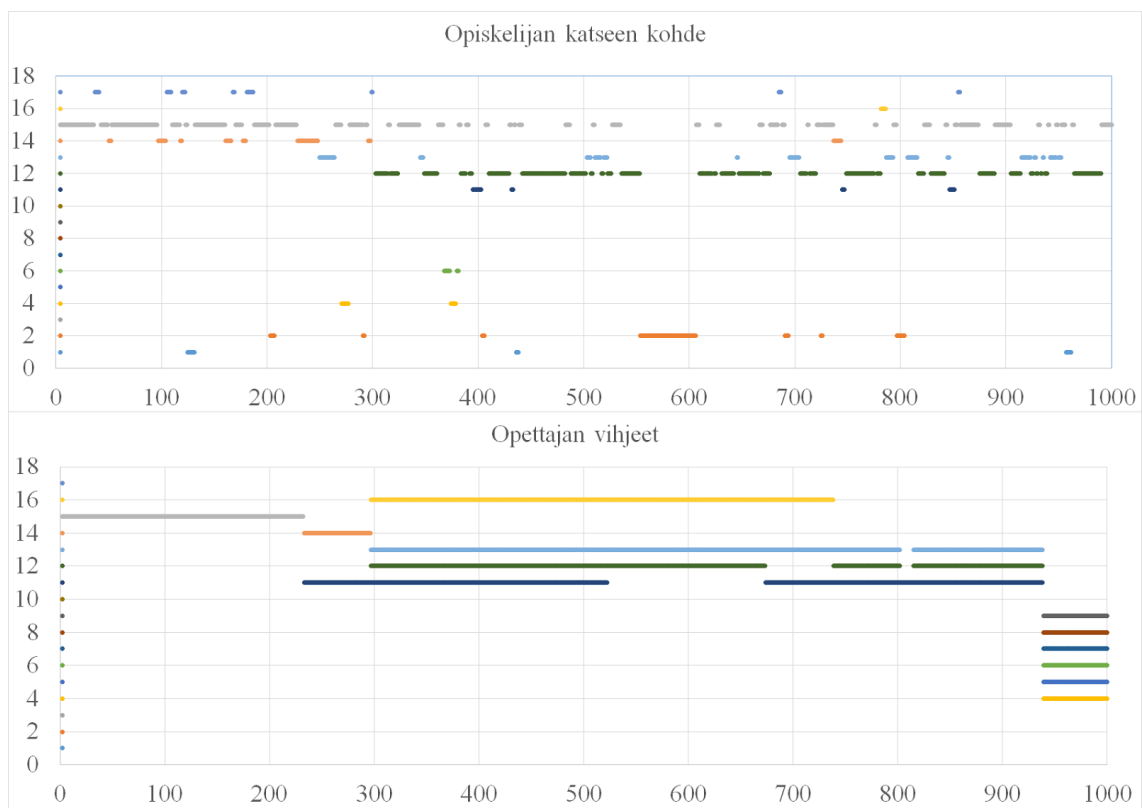
Kuva 2. Simulaatiosta määritetyt mielenkiinnon alueet (AOIt).

Opettajan antamia vihjeitä huomion kiinnittymiselle analysoitiin opettajan puheesta, eleistä ja katseesta. Näistä pääteltiin, mihin opettaja haluaa opiskelijoiden katsovan. Opettajan vihjeet analysoitiin katseenseurantavideosta sekä koehenkilön takaa kuvatusta videosta. Eniten painoarvoa annettiin opettajan puheelle, sillä suorista kysymyksistä voitiin päätellä, mistä kohdista simulaatiota vastaus kysymykseen voidaan päätellä. Opettajan antamien vihjeiden analyysi ei kuitenkaan ollut yksiselitteistä, vaan joillekin ajan hetkille määriteltiin useampi AOI, joihin opettaja saattaa vihjata. Aineiston kesto oli 10 minuuttia 51 sekuntia, ja se sisältää 5209 aineistopistettä.

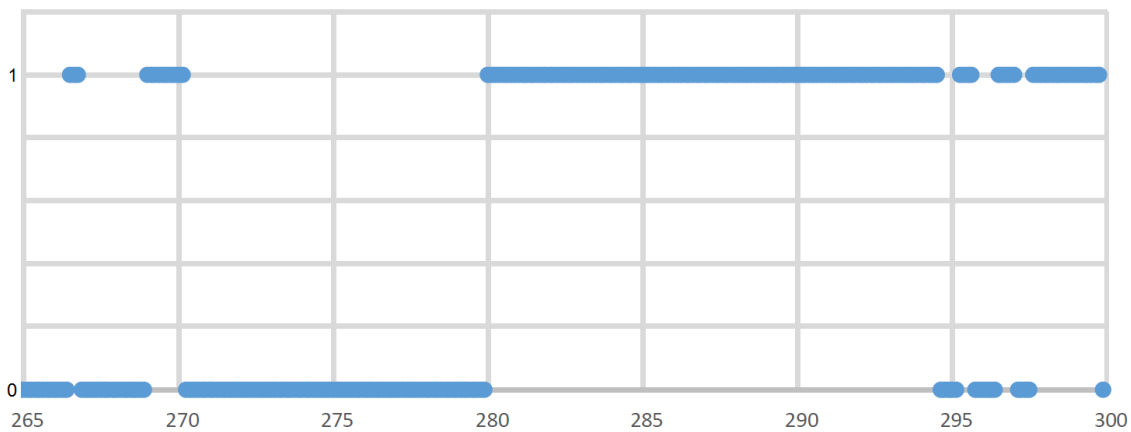
Sekä opiskelijan katseen kohteet että opettajan antamat vihjeet taulukoitiin ajankohtien mukaan. Näistä taulukoista piirrettiin kuvaajat, joista voidaan tulkitä opiskelijan katseen ja opettajien vihjeiden välinen yhteys. Kuva 3 esittää ensimmäisen 1000 aineistopisteen (n. 2 min) aikana opiskelijan katseen ja opettajan vihjeet. Vihjeet koodattiin siten, että ne alkoivat opettajan kysymyksen tai lausahduksen päätyttyä, hänen osoittaessaan simulaatiota tai zoomatessaan

simulaation kuvaa. Koodin kesto oli aina seuraavan opettajan toimen (kuten kysymyksen) päättymiseen. Esimerkkinä opettajan vihjeiden koodaamisesta voidaan tarkastella aineistopisteiden 295 ja 520 välistä jaksoa Kuvassa 3. Aineistopisteiden 295 kohdalla opettaja lopettaa kysymyksensä: "Mitä lasersäteelle tapahtuu?" ja liikuttaa sädettä. Tällöin opettajan antamien vihjeiden AOI:ksi koodattiin 11 (tuleva säde), 12 (taittunut säde), 13 (taitepiste) ja 16 (heijastunut säde). Nämä koodit kestivät aineistopisteeseen 520 saakka, jolloin opettaja lopettaa seuraavan kysymyksensä: "Mihin se heijastuu, ja mihin se taittuu?".

Kuvan 3 kuvaajat yhdistämällä saatiin aikaan yksi kuvaaja, jossa opiskelijan katseen yhteys opettajan vihjeisiin on kuvattu dikotomisesti (0 = katse ei vastaa mitään mahdollista vihjettä, 1 = katse vastaa jotain mahdollista vihjettä). Esimerkkinä Kuva 4 esittää tämän kuvaajan aikavälillä 265 s - 300 s. Tämän kuvaajan avulla analysoitiin tilanteet, joissa opiskelijan huomio siirtyi opettajan antamiin vihjeisiin (siirtymä 0 → 1) ja tilanteet, joissa huomio siirtyi opettajan antamista vihjeistä pois (siirtymä 1 → 0). Nämä tilanteet luokiteltiin aineistopohjaisesti ja nimettiin pyrkimyksenä kuvata tilanteessa tapahtuvaa toimintaa.



Kuva 3. Ensimmäisen noin 2 minuutin aikana analysoitu opiskelijan katseen kohde ja opettajan vihjeet. Pystyakselilla AOIt, joiden merkitys ilmenee kuvasta 2. Vaaka-akselilla aineistopisteet (vastaavat 1/8 sekuntia).



Kuva 4. Opiskelijan katseen kohteen ja opettajan vihjeiden yhteys aikavälillä 265 s - 300 s.

Katseenseuranta-aineistosta tehtyjä tulkintoja tuettiin haastattelemalla opettaja ja oppilas erikseen virikkeitä antavalla haastattelumenetelmällä (eng. Stimulated Recall Interview, SRI-haastattelu). Haastatteluilla pyrittiin selvittämään opiskelijan itsensä ja opettajan ajatuksia huomion kiinnittymisestä yleisesti kaikilla kolmella oppitunnilla. Haastattelut toteutettiin mahdollisimman nopeasti (neljän vuorokauden sisällä) oppituntien jälkeen. Ensin opettajalta kysyttiin sarja kysymyksiä, jotka liittyivät yleisesti tuntiin samalla katseenseurantavideota katsoen. Tämän jälkeen opettajalta kysyttiin muutama tarkennettu kysymys tietyistä hetkistä, jotka liittyivät oppilaan katseen ja opettajan vihjeiden välisiin yhteyksiin (katse siirtyi vihjeeseen tai siitä pois).

Analyysin luottavuuden varmistamiseksi noin 10 % katseenseurantadatasta vertaisluokiteltiin. Kahden arvioijan välinen Cohenin kappaa oli 0,631 ja kun pienimmät AOIt 4,5 ja 6 sekä 7,8 ja 9 (katso kuva 2) yhdistettiin kummatkin omaksi suuremmaksi AOIksi, nousi kappa arvoon 0,678. Nämä ovat hyviä arvoja tämänkaltaiselle analyysille (Fischer & Neumann, 2012). Myös opettajien vihjeiden analyysi vertaisluokiteltiin, mutta vihjeiden monitulkinnaisuudesta johtuen Cohenin kappaa ei voitu laskea, sillä samalla ajanhetkellä opettajan antamat vihjeet voitiin koodata useampaan kuin yhteen AOIhin. Luotettavuudesta voidaan kuitenkin sanoa, että vähintään yksi opettajan vihjeiden kohteista (AOIsta) oli aina yhtenevä kahden eri koodaajan välillä.

TULOKSET

Taulukossa 1 on kuvattu eri simulaation osa-alueiden ja muiden kohteiden saama huomio tutkitun vajaan 11 minuutin aikana. AOI 10 oli varalla, mutta jäi tarpeettomaksi.

Taulukko 1. Simulaation eri alueisiin kohdistetun huomion prosenttiosuus.

AOI	Prosenttiosuus
1 Opettaja	4,0
2 Työkalulaatikko	3,6
3 Työkalu käytössä	16,6
4, 5 ja 6 Materiaalin 1 ominaisuudet	3,1
7, 8 ja 9 Materiaalin 2 ominaisuudet	7,6
11 Tuleva laser / tulokulma	6,2
12 Taittuva laser / taitekulma	27,5
13 Taitepiste	5,2
14 Laserosoitin	1,4
15 Simulaation ulkopuolella - ei opettaja	21,7
16 Heijastuva laser / heijastuskulma	2,0
17 Säde- tai aaltovalikko	1,1

Taulukosta 1 käy ilmi, että opiskelija kohdisti huomionsa simulaatioon 74,3 % ajasta (kaikki muut AOIt paitsi 1 ja 15). Kun taulukon 1 tulokset yhdistettiin opettajan antamien vihjeiden analyysiin (kuten Kuvassa 4), saatiin koko aineistossa opettajan antamien vihjeiden ja opiskelijan huomion kohteen yhteyden (1 kuvassa 4) prosenttiosuudeksi 59,6.

Taulukossa 2 on kuvattu tapahtumat, joissa opiskelijan huomio siirtyi opettajan vihjeiden mukaiseksi. Taulukossa 3 taasen on kuvattu tapahtumat, joissa opiskelijan huomio siirtyi pois opettajan vihjeiden mukaisesta. Taulukoista 2 ja 3 nähdään, että simulaation osien liikuttaminen siirsi opiskelijan huomion useimmiten haluttuun katseen kohteeseen ja toisen opiskelijan puhe siirsi huomion useimmiten pois halutusta kohteesta.

Taulukko 2. Frekvenssit eri tapahtumille, joilla opiskelijan huomio siirtyi opettajan vihjeiden mukaiseksi.

Tapahtuma	Frekvenssi
Simulaation osien liikuttaminen (esim. työkalun käyttö)	6
Opettajan selkeä kysymys	5
Kädellä osoittaminen	3
Toisen opiskelijan vastaus	1
Opettaja itse siirtää huomionsa simulaatioon	1

Taulukko 3. Frekvenssit eri tapahtumille, joilla opiskelijan huomio siirtyi pois opettajan vihjeiden mukaisesta.

Tapahtuma	Frekvenssi
Toinen opiskelija puhuu/vastaa	4
Ei selkeää tehtävää opettajan puolesta	3
Jokin muu simulaation ominaisuus vetää huomion	3
Opettaja on kysynyt jotain ja oppilas ei tiedä, mistä löytäisi vastauksen	3
Oppilas tekee simulaation ulkopuolisia asioita	2
Opettaja siirtää huomion pois simulaatiosta	1
Vierailija luokassa	1

Haastattelujen tulokset tukivat katseenseuranta-aineiston analyysin tuloksia. Esimerkiksi kun opettaja kysyi luokalta "Mihin se (lasersäde) heijastuu ja mihin se taittuu?", opettajan antamiksi vihjeiden sijainniksi tulkittiin AOIt 12 ja 13 (taittuva laser/taitekulma ja taitepiste, katso kuva 2). Haastattelussa opettaja kommentoi samasta hetkestä "Voisi vastata vesi tai ilma, mutta hain mikä se on se suunta". Opettajan tulkinta tilanteesta siis vastasi tutkijoiden tulkintaa.

Yleisesti opettaja kommentoi simulaation avulla opettamista ja huomion kiinnittymistä kuvailemalla simulaation zoomaamista (simulaatiota käytettiin tabletilla, joka mahdollisti kuvan suurentamisen) ja sen vaikutusta huomion kiinnittäjänä. Myös simulaatiossa olevien työkalujen liikuttamista opettaja piti huomiota kohdistavana tekona. Oppilas taasen kuvaili osoittamisen merkitystä sanoin "(katse seuraa opettajan osoittamaa kohdetta) vähän tolleen itestään, että jos joku näyttää jotain nii tietysti kattoo mitä se näyttää". Nämäkin opettajan ja oppilaan huomioid vahvistavat omalta osaltaan katseenseuranta-aineiston analyysin tuloksia, sillä sekä simulaation zoomaaminen, työkalujen käyttö ja opettajan kädellä osoittaminen ovat analyysin mukaan huomiota vihjeiden mukaiseksi kiinnittäviä tapahtumia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäinen tutkimuskysymyksemme kuului: "Mihin tutkimuksen kohteena oleva opiskelija kohdistaa huomionsa koko luokan simulaatio-opetuksen aikana?". Opiskelija kohdisti huomionsa simulaatioon noin 75 % ajasta (Taulukko 1) ja opettajan vihjeiden mukaisesti noin 60 % ajasta. Simulaation yksittäisistä elementeistä huomio kohdistui eniten taittuneeseen lasersäteeseen ja käytössä olleeseen työkaluun. Tulosten perusteella oppilas pystyi hyödyntämään opettajan antamia vihjeitä suuressa määrin. Tulokset ovat samansuuntaisia mitä Moreno-Esteva ja Hannula (2015) raportoivat teknologia-avusteisesta matematiikan koko luokan opetuksesta.

Toinen tutkimuskysymyksemme kuului: ”Mitkä tapahtumat siirtävät opiskelijan huomion opettajan vihjaamaan kohteeseen ja sieltä pois?”. Huomiota keskitti erityisesti simulaation kanssa vuorovaikuttaminen (esim. työkalun liikuttaminen tai zoomaaminen), kysymyksen tekeminen opiskelijoille tai kädellä osoittaminen. Huomion vihjeistä vei pois toisten opiskelijoiden puheenvuorot, liian pitkä aika ilman selkeää tehtävää, simulaation eri osien tutkiminen tai vastauksen etsiminen opettajan antamaan kysymykseen simulaation eri osista kuin mitä opettaja tarkoitti. Tulokset korostavat opettajan eleiden ja simulaation kanssa vuorovaikuttamisen merkitystä opiskelijan huomion ohjaamisessa. Myöskin opettajan kysymysten rooli on mielenkiintoinen: kysymyksillä voidaan saada opiskelija kiinnittämään huomiota tiettyihin osiin simulaatiosta mutta toisaalta kysymysten puute saa huomion poistumaan opettajan tarkoittamista kohteista.

Yleisesti tutkimuksen tulokset tarjoavat silmäyksen yhden opiskelijan huomion kiinnittämisen prosesseihin. Tulosten tulkinnessa pitää noudattaa varovaisuutta: tulokset perustuvat yksittäiseen opiskelijaan ja yksittäiseen oppituntiin. Myöskään ainainen opettajan antamien vihjeiden seuranta ei sinällään ole toivottavaa; opiskelijalla tulee olla myös mahdollisuus tutkia simulaation eri osia ja niiden toimintoja katseellaan oman kiinnostuksensa mukaan ilman opettajan vihjeitä. Kuten Rosengrant ja muut (2012) toteavat, vaikka opiskelija ei katso opettajaa tai opetusta, ei se tarkoita sitä, ettei hän kuuntelisi. Kuitenkin opettajan toimien merkitys huomion kohdistamiseen koko luokan simulaatio-opetuksessa on tämän oppitunnin kontekstissa mielenkiintoinen huomio. Jos opettajilla olisi käsitys siitä, mitä simulaation tärkeitä piirteitä opiskelijat jättävät huomiotta, voisivat he korostaa niitä opetuksessaan (Stephens & Clement, 2015). Tulevaisuudessa katseenseurantatutkimus simulaatioiden avulla voisikin perehtyä esimerkiksi tällaisiin kysymyksiin. Tällainen suuremman mittakaavan katseenseurantatutkimus luokkahuoneessa vaatisi kuitenkin analyysimetodien kehittämistä tai automatisoimista.

LÄHTEET

- Fischer, H. E., & Neumann, K. (2012). Video analysis as a tool for understanding science instruction. Teoksessa D. Jorde, & J. Dillon (toim.), *Science education research and practice in Europe* (s. 115-139) Rotterdam, Alankomaat: Sense Publishers.
- Huey, E. B. (1908). *The psychology and pedagogy of reading* Lontoo, Yhdistyneet Kuningaskunnat: The Macmillan Company.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329.
- Kekule, M. (2014). Students' approaches when dealing with kinematics graphs explored by eye-tracking research method. *Proceedings of the Frontiers in*

- Säynäjäkangas et al. Proceedings of the annual FMSERA symposium 2016
Mathematics and Science Education Research Conference, Famagusta, Paphos-Kypros.
- Lai, M., Tsai, M., Yang, F., Hsu, C., Liu, T., Lee, S. W., . . . Tsai, C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review, 10*, 90-115.
- Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction, 14*(3), 257-274.
- Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education, 60*(1), 95-109.
- Miller, J., & Glassner, B. (2011). The "inside" and the "outside": Finding realities in interviews. In D. Silverman (toim.), *Qualitative research* (3rd ed., pp. 131-148). Lontoo, Yhdistyneet kuningaskunnat: SAGE Publications.
- Moreno-Esteva, E. G., & Hannula, M. (2015). Using gaze tracking technology to study student visual attention during teacher's presentation on board. Teoksessa K. Krainer & N. Vondrová (toim.), *CERME 9-Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*, (s. 1393-1399). Praha, Tšekin tasavalta: CERME
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457-1506.
- Rosengrant, D., Herrington, D., Alvarado, K., Keeble, D., Rebello, N. S., Engelhardt, P. V., & Singh, C. (2012). Following student gaze patterns in physical science lectures. Teoksessa N. Sanjay Rebello, P. V. Engelhardt & C. Singh (toim.), *AIP Conference Proceedings, 1413*(1) (s. 323-326). Omaha, Nebraska
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2015). Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. *Computers & Education, 86*, 137-156.
- Tiberghien, A., & Sensevy, G. (2012). The nature of video studies in science education. Teoksessa D. Jorde, & J. Dillon (toim.), *Science education research and practice in Europe* (s. 141-179) Rotterdam, Alankomaat: Sense Publishers.
- Tsai, M., Hou, H., Lai, M., Liu, W., & Yang, F. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computers & Education, 58*(1), 375-385.
- University of Colorado Boulder. (2017). PhET simulations. Haettu osoitteesta <http://phet.colorado.edu/en/simulations/>
- van Gog, T., & Scheiter, K. (2010). Eye tracking as a tool to study and enhance multimedia learning. *Learning and Instruction, 20*(2), 95-99.