

Muistia niin monenmoista: lyhytkestoinen ja pitkäkestoinen työmuisti

Sinikka Hiltunen

Homunculus 2006, Kognitiotieteen ainejärjestö Intelligenzian lehti

Ihmiselle on tyypillistä luokitella asioita ja jakaa monimutkaisia asioita pienempiin osiin. Niinpä muistiakin ruvettiin jaottelemaan 1960-luvulla, ja siitä löydettiin kolme osaa: sensoriset rekisterit sekä lyhyt- ja pitkäkestoiset muistivarastot. Lyhytkestoista muistia pidettiin etupäässä työmuistina. Tässä artikkelissa tarkastellaan työmuistia lähinnä kahden mallin näkökulmasta. Ne ovat Baddeleyn työmuistimalli ja Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin malli. Jälkimmäinen esitellään tarkemmin muun muassa luetunymmärtämiseen sovellettuna. Lopuksi käsitellään joitakin kummankin mallin heikkouksia.

1. Työmuisti

Työmuisti käsitteenä ilmestyi muistintutkimukseen jo 1960-1970-luvuilla. Yksi alan merkittävimmistä tutkijoista ja kehittäjistä on ollut Alan Baddeley, jonka tärkeimmät aihetta käsittelevät alan klassikkoteokset ovat *Working memory* (1986) ja *Human memory* (1990). Muistin jakamista kolmeen erilaiseen toimintoon olivat esittäneet alunperin jo Atkinson ja Shiffrin 1960-luvun lopulla (A&S, 1971). Kyse on ns. Modal Model -mallista, jonka mukaan muistin toiminta koostuu erilaisista sensorisista rekistereistä (visuaalinen, auditorinen ja haptinen). Ne ovat ns. 'puskureita' ja niiden kesto on alle sekunnin. Niistä tietoa syötetään lyhytkestoiseen eli primaariin muistivarastoon, joka toimii väliaikaisena työmuistina erilaisissa kognitiivisissa toiminnoissa, kuten päättelyssä. Lyhytkestoisesta varastosta tietoa syötetään pitkäkestoiseen varastoon, ja siihen noudetaan tietoa tästä varastosta. Shiffrin ja Atkinson pitivät lyhytkestoista muistia varaston ja kontrolliprosessien yhdistelmänä.

Baddeley kritisoi Modal Model -mallia. Hän pyysi koehenkilöitään tekemään kahta erilaista tehtävää yhtä aikaa, esimerkiksi päättelytehtävän aikana toistamaan 8 numeron sarjaa ääneen. Tällaisten kokeiden tuloksena Baddeley totesi, että lyhytkestoinen varasto ei voi olla yksi yhtenäinen yksikkö, koska numeroiden toistaminen kyllä heikensi ja hidasti päättelyä, mutta ei ehkäissyt sitä kokonaan. Kokeidensa perusteella Baddeley päätyi siihen, että työmuisti on yleinen järjestelmä, joka voidaan jakaa alakomponentteihin. Niitä ovat fonologinen (alun perin artikulatorinen) kehä, visuaalis-spatiaalinen varasto (VSSP) sekä näitä ohjaava keskusyksikkö (vrt. kuva 2). Fonologinen kehä käsittelee ja varastoi kielellistä ainesta väliaikaisesti. Siihen kuuluu fonologinen varasto, joka on rajallinen sekä kapasiteetiltaan että kestoltaan, ja äänettömään toistoon tarkoitettu silmukka. Baddeleyn mukaan muistiaines säilyy varastossa vain noin 2 sekuntia, ellei sitä hokemalla toisteta. VSSP puolestaan käsittelee ja väliaikaisesti ylläpitää visuaalista ja spatiaalista informaatiota. Siihen voidaan syöttää tietoa joko suoraan (visuaalisesta) havainnosta tai välillisesti luomalla visuaalisia mielikuvia. Keskusyksikkö taas on tarkkaavaisuusprosessori, joka toimii alayksiköiden ja pitkäkestoisen muistin rajapintana ja ohjaa alayksiköiden toimintaa. (Baddeley, 1986 ja 1990)

Baddeley määritteli työmuistin järjestelmäksi, joka väliaikaisesti varastoi ja käsittelee informaatiota kognitiivisten tehtävien aikana. Tässä työmuistimallissa ei alun perin eritelty työmuistin suhdetta pitkäkestoiseen eli säilömuistiin, mutta yleisesti on oletettu, että tietoa syötetään kuhunkin

työmuistin osaan joko aistien syötteestä tai pitkäkestoisesta muistista. Työmuistia on pidetty tärkeänä myös tiedon siirtämisessä aistisyötteestä säilömuistiin sekä ennen kaikkea uuden tiedon oppimisessa. Ajan myötä työmuistin varastomalli on kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi, ja sittemmin työmuistin tutkijat ovat jakaantuneet kahteen ”koulukuntaan”. Niistä toinen pitää työmuistia sekä funktionaalisesti että rakenteellisesti erillisenä muistin osana, kun taas toinen uskoo, että työmuisti on vain pitkäkestoisen muistin tilapäisesti aktivoitunut osa, johon tarkkaavaisuus kullakin hetkellä kohdistuu. Edellistä koulukuntaa edustaa ennen kaikkea Baddeley, joka katsoo, että aktivaatiomalli ei selitä sellaisia potilastapauksia, joissa lyhytkestoinen muisti on vaurioitunut, mutta pitkäkestoinen muisti täysin kunnossa. Jos lyhytkestoinen muisti olisi vain pitkäkestoisen muistin aktivoitunut osa, ei näiden potilaiden pitäisi pystyä palauttamaan mieleensä esimerkiksi muistoja omasta elämästään.

Merkittävä ero näiden kahden ”koulukunnan” välillä ilmenee myös siinä, miten rajoitettu työmuistin kapasiteetti oikein on. Jo vuonna 1956 Miller oli huomannut, että lyhytkestoisen muistin kapasiteetti on hyvin rajallinen. Millerin mukaan lyhytkestoiseen muistiin mahtuu kerrallaan vain 7 ± 2 toisiinsa liittymätöntä mieltämysyksikköä. Lyhytkestoisessa muistissa oleva aines katoaa muutamien sekuntien kuluttua, kun huomio kiinnitetään uuteen asiaan. Kuluneina vuosina tälle Millerin ”maagiselle luvulle” (1956) on saatu paljon empiiristä näyttöä, mutta myös poikkeavia tuloksia on tullut useita. Niin sanotun aktivaatiomallin kannattajista merkittävin tutkija on Nelson Cowan. Hänen mukaansa (Cowan, 2001) tarkkaavaisuuden kohteena voi olla yhtäaikaan vain noin neljä toisistaan riippumatonta yksikköä (vaihteluväli 3-5).

2. Pitkäkestoinen työmuisti

Anders Ericsson ja Walter Kintsch alkoivat kritisoida Baddeleyn työmuistimallia 1990-luvun alkupuolella. He katsoivat, että mallin mukainen lyhytkestoinen työmuisti on riittämätön selittämään kaikkia muistitoimintoja, etenkin asiantuntijoiden muistia. He ihmettelivät ennen kaikkea kahta asiaa. Ensinnäkin: onko laboratorio-olosuhteissa ilmenevä, kapasiteetiltaan rajallinen ja lyhytkestoinen työmuisti todella riittävä selitysmalli myös asiantuntijoiden ja taitureiden poikkeuksellisen hyvien muistisuorituksen selittämiseen? Ja toiseksi: miten työmuistin väliaikaisuus voi selittää sen, että taitavaa ajattelua vaativa suoritus voidaan keskeyttää ja sitä voidaan jatkaa myöhemmin siitä, mihin jäätiin ilman, että suoritus juurikaan heikkenee? Näiden kysymysten pohjalta syntyi pitkäkestoisen työmuistin teoria (long-term working memory, LT-WM) (Ericsson ja Kintsch, 1995). Pitkäkestoinen työmuisti on Ericssonin ja Kintschin mukaan lyhytkestoisen työmuistin jatke. LT-WM voi rakentua vain sellaiselle aihealueelle, josta henkilöllä on kokemusta tai jota hän on harjoitellut (siis jolla henkilö on asiantuntija). Tieto siirretään tällöin lyhytkestoisesta työmuistista säilömuistin puolelle, jossa sitä säilytetään pysyvässä muodossa. Pitkäkestoisessa työmuistissa olevaan tietoon päästään käsiksi luotettavasti ja nopeasti hakuvihjeiden (retrieval cue) avulla, joita säilytetään lyhytkestoisessa työmuistissa. Hakuvihje voi olla yksittäinen symboli tai sana tai kokonainen monimutkainen hakurakenne (retrieval structure).

Ericsson ja Kintsch kuvaavat pitkäkestoisen työmuistin toimintaa seuraavasti. Tässä esitellään yksi vaihe, jolloin jokin tietty tietoinen käsitellään muistissa (vrt. kuva 1):

1. Uusi muistettava informaatio (esimerkiksi yksi luettu lause) tulee lyhytkestoiseen työmuistiin.
2. Samalla kun henkilö prosessoi tätä informaatiota, hän myös arvioi tulevia tarpeita, missä ja miten hän mahdollisesti tulee tarvitsemaan kyseistä tietoa.

3. Mieleenpainaminen on siis selektiivistä, valikoivaa, ja myös hakuavaimet tai hakurakenteet valitaan tulevien tarpeiden mukaan. Hakuvihje assosioidaan mielessä käsiteltyyn tietoainekseen.

4. Valikoitu tieto siirtyy pitkäkestoiseen työmuistiin samalla, kun seuraavaa informaatiosegmenttiä(seuraavaa lausetta) jo syötetään lyhytkestoiseen työmuistiin. Hakuvihje tai -rakenne jää lyhytkestoiseen muistiin ja saattaa sen lisäksi toimia apuna seuraavan informaatiosegmentin ymmärtämisessä.

5. Pitkäkestoiseen työmuistiin tallentunut aines voidaan myöhemmin palauttaa mieleen nopeasti ja tarkasti hakuavaimen tai hakurakenteen avulla.

Työmuistin laajentaminen tällä tavalla säilömuistin puolelle on mahdollista vain, jos henkilöllä on ennestään paljon kokemusta tai tietoa kyseiseltä aihealueelta sekä malleja siitä, miten tietoa sillä alueella tyypillisesti käsitellään tai luokitellaan. Kokemus on tarpeen, jotta voisi ennakoida tulevia tarpeita, painaa tietoa mieleen valikoivasti ja muodostaa sopivia hakuavaimia ja -rakenteita. Ericssonin ja Kintschin mukaan tällainen muistamistaito on olemassa vain muistiekspertereillä ja eri alojen asiantuntijoilla. Muistamistaito on siis lähinnä koodaustaidon kehittämistä. Tällöin henkilö voi kontrolloidusti päästä käsiksi koodausolosuhteiden merkittäviin piirteisiin ja siten haluttuun tietoon. Näin taito on aihepiirikohtaista ja eroaa rakenteeltaan muiden aihepiirien muistamistaidosta. Asiantuntijakin voi suoriutua yhtä heikosti kuin noviisi, jos tehtävä ei ole hänen omalta asiantuntijuusalueeltaan. Tästä esimerkkinä Ericssonin ja Kintschin artikkelissa mainitaan sakkikokeet, joissa pelaajille esitettiin neljä oikeaa asemaa ja neljä asemaa, joiden nappulat oli aseteltu paikoilleen satunnaisessa järjestyksessä. Taitavat pelaajat muistivat oikeat asemat 60-prosenttisesti mutta satunnaiset asemat vain 10-prosenttisesti, jolloin heidän taitonsa ei juuri poikennut aloittelijoiden taidoista. Ericsson ja Kintsch toteavat myös, että lyhytkestoinen muisti pelkästään riittää selittämään työmuistin rakennetta silloin, kun on kyse ennestään täysin tuntemattomasta informaatiosta, mutta lyhytkestoinen muisti ei ole kapasiteetiltaan riittävä monimutkaisissa tehtävissä. Teoreetikot ovat selittäneet tätä eroa siten, että työmuistin kapasiteetti on suurempi erikoistaidoille kuin oudoille tehtäville. Ericsson ja Kintsch tarjoavat kuitenkin toisen selityksen: erikoistaidoissa työmuistia laajennetaan säilömuistin puolelle.

3. Pitkäkestoinen työmuisti luetun ymmärtämisessä

Yksi keskeisimmistä toiminnoista, jossa me kaikki olemme asiantuntijoita, on lukeminen ja kirjoitetun tekstin ymmärtäminen. Tästä johtuen Ericsson ja Kintsch ovat käsitelleet eniten nimenomaan luetun ymmärtämiseen liittyvää tutkimusta. Muita toimintoja, joissa LT-WM:ää on tutkittu, ovat muun muassa: yhteen- ja kertolasku, lääketieteelliset diagnoosit, sakinpeluu ja muunlainen ongelmanratkaisu. Argumentoinnissaan Ericsson ja Kintsch vetoavat siihen, että koska lukija muistaa tekstistä lukemisen päätyttyä niin paljon, on ilmeistä, että tieto tallennetaan nimenomaan pitkäkestoiseen muistiin. Heidän mukaansa tekstin muistirepresentaatio rakennetaan lukemisen aikana ja tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin. Representaation eli tietoodustuksen tärkeimmät osat ovat tavoitettavissa lyhytkestoisessa muistissa olevien hakuvihjeiden avulla ja muodostavat siten pitkäkestoisen työmuistin perustan luetun ymmärtämisen aikana.

3.1 Luetun tekstin representaatiotasot

Ericssonin ja Kintschin mukaan luetun ymmärtämiskokeissa ei ole pystytty erottamaan toisistaan tekstin syntaktista, semanttista ja pragmaattista tasoa, joten he ovat valinneet mallikseen mm. van Dijkin ja Kintschin keskustelun ymmärtämistutkimuksissa ilmitulleen jaottelun. Mallin mukaan representaatiotasot luetun ymmärtämisessä ovat:

1. Kielellinen pintarakenne (linguistic surface structure): sanojen jäljet syntaktisesti, semanttisesti ja pragmaattisesti tulkittuina
2. Propositionaalinen rakenne (propositional textbase): tekstin ja sen rakenteen koherentti käsitteellinen representaatio; mikro- ja makrorakenne
3. Mikropropositiot johdetaan suoraan tekstistä (vastaavat virkkeitä tai lauseita) tai ovat päättelyprosessin tulosta (tekstin koherenssin synnyttämiseksi).
4. Makrorakenteet taas ovat mikropropositioiden pohjalta tehtyjä valintoja ja yleistyksiä, jotka on osittain johdettu suoraan tekstistä, osittain päätelty.
5. Tilannemalli (situation model) yhdistää tekstissä olevan informaation ja taustatiedot toisiinsa. Tämä representaatio ei ole välttämättä propositionaalinen, se voi olla myös spatiaalinen, esimerkiksi kartta.

Luetun tekstin pintarakenne häviää luettaessa muistista nopeasti (useimmiten lauseen lopussa). Propositionaalinen rakenne saadaan esiin pitkäkestoisesta muistista hakuavaimilla. Tilannemalli taas säilyy muistissa kaikkein kauimmin. Ei ole kuitenkaan kovinkaan harvinaista, että myös pintarakenne säilyy muistissa, etenkin, jos se, miten asia on ilmaistu, on pragmaattisesti tärkeää ja auttaa tilannemallin muodostamisessa. Sanan käsittely työmuistissa kestää noin 350 ms, jolloin se on akustisesti koodattu ja semanttisesti tunnistettu. Tämä on päätelty kokeista, joissa homonyminen kohdesana (esimerkiksi kuusi lukusanana tai puun nimenä) voitiin assioida joko lauseen kontekstiin tai homonyymin toiseen merkitykseen. Ensimmäisten 350 ms:n aikana koehenkilöiden reaktioajat priming- eli alustusmuistitestissä kontekstin kannalta oikeisiin ja vääriin sanoihin eivät eronneet toisistaan, mutta sen jälkeen reaktio kontekstin mukaisiin sanoihin oli nopeampi. Selityksenä pidettiin sitä, että merkityksen rakentaminen vie aikaa ja vaatii kohdesanan ja sen semanttisen sisällön integrointia.

Tilannemallin luominen vie vielä enemmän aikaa: päättely lopetetaan vasta 1 s lauseen päättymisen jälkeen. Kokeissa koehenkilöt saivat luettavakseen esimerkiksi lauseen: 'The townspeople were surprised that all buildings had collapsed except the mint.' Tämänjälkeisessä priming-testissä koehenkilöt eivät reagoineet mitenkään maanjäristys-sanaan, jos se esitettiin 200-500 ms lauseen päättymisen jälkeen. Jos se esitettiin tätä myöhemmin, reaktioaika oli huomattavasti nopeampi kuin muihin priming-sanoihin. Selitykseksi kokeen tekijät tarjosivat sitä, että tarvitaan vähintään yksi sekunti aikaa, ennen kuin irralliset lauseet voidaan liittää toisiinsa. Toisin sanoen sen ymmärtäminen, että rakennusten luhistuminen liittyy maanjäristykseen, vei tietyn ajan. Ericsson ja Kintsch mainitsevat tässä yhteydessä myös kokeet, joiden mukaan lauseen pääaihetta eli topiikkaa käsittelevän tiedon syntyminen kestää 1-2 s. Jos kokeissa mainittiin samassa lauseessa kaksi henkilöä, aluksi jälkimmäinen muistettiin nopeammin, kunnes 1-2 s myöhemmin kävi päin vastoin. Silloin ensin mainittu eli englannissa subjektia edustava henkilö tuotettiin helpommin. Lukijat rakentavat representaation lukemisen edistyessä. Tästä todisteena on se, että teksti ja vastaava tekstiön sarjakuva ymmärretään yhtä hyvin, samoin teksti ja vastaava mykkä filmi. Myös luetun ja kuullun ymmärtäminen on hyvin samanlaista. Näin tilannemalli näyttäisi olevan varsin olennaista luetun ymmärtämiselle.

3.2 Lukemisen keskeyttämisen seuraukset

Pääasiallisena todisteena siitä, että luetun ymmärtämisessä käytetään myös säilömuistia, Ericsson ja Kintsch pitävät lukemisen keskeyttämiskokeita. Kokeissa on havaittu, että keskeytykset eivät

vaikuta tekstin ymmärtämistä testaavien kysymysten vastaamisnopeuteen eikä vastausten tarkkuuteen. Ainut seikka, missä keskeytys tulee ilmi, on keskeytyksen jälkeisen lauseen pidempi lukemisaika. Miten paljon hitaammin kyseinen lause luetaan, riippuu siitä, mitä keskeytyksen aikana tehdään ja kuinka pitkä keskeytys on. Keskeytystä seuraavan lauseen lukemisaika ei kuitenkaan ole yhtään pitempi, jos koehenkilö saa lukea keskeytystä edeltävät kaksi lausetta toistamiseen, ennen kuin jatkaa lukemista. Usein yhdenkin lauseen ja jopa minkä tahansa edeltävän lauseen lukeminen riittää. Tämä johtunee siitä, että minkä tahansa aikaisemman lauseen lukeminen tuo mieleen tekstin yleisen rakenteen pitkäkestoisesta muistista. Mitä sitten säilömuistiin tallennetaan lukemisen aikana? Kokeissa koehenkilöiden tehtävänä oli tunnistaa propositioita, joiden sisältö käsitteli joko luettujen lauseiden tai kappaleiden aiheita (topiikkia) tai niiden yksityiskohtia. Kokeista kävi ilmi, että aiheisiin päästiin hyvin nopeasti käsiksi, kun taas yksityiskohtien tunnistaminen vei yleensä 300-500 ms kauemmin. Näyttää siis siltä, että lukemisen aikana säilömuistiin tallennetaan ensisijaisesti niitä asioita, joita teksti käsittelee, ja lukemisen jatkaminen on vaivatonta sen jälkeen, kun nämä asiat on tavalla tai toisella palautettu mieleen.

3.3 Aiheen tuntemus yksilöllisten erojen selittäjänä

Ericssonin ja Kintschin mukaan lukijoiden välisiä suuria yksilöllisiä eroja on aikaisemmin selitetty sillä, että lyhytkestoisesta muistin kapasiteetti on eri henkilöillä erilainen. Tästä johtuen heikot lukijat eivät pysty pitämään mielessään jo luettujen kappaleiden informaatiota. Kokeellisesti ei kuitenkaan ole pystytty osoittamaan, että muistikapasiteetti olisi erilainen sujuvilla ja heikoilla lukijoilla. Niinpä Ericsson ja Kintsch päätyvät siihen, syynä yksilöllisiin eroihin on henkilöiden erilainen kyky koodata tietoa pitkäkestoiseen muistiin. Myös se, miten hyvä aiheentuntemus henkilöillä on lukemastaan aiheesta, vaikuttaa luetun ymmärtämiseen. Ericsson ja Kintsch mainitsevat muun muassa kokeet, joissa koehenkilöt oli jaettu neljään ryhmään: hyvät ja huonot lukijat sekä hyvät ja huonot baseballin tuntijat. Kokeissa kävi ilmi, että luetun ymmärtämisessä ratkaiseva merkitys on vain sillä, miten hyvin erikoisala tunnetaan: jopa huonot lukijat, jotka kuitenkin tunsivat kyseisen alan hyvin, olivat selvästi parempia ymmärtämään tekstiä kuin hyvät lukijat, joilla oli huono alan tuntemus. Asiantuntemuksen merkitystä on testattu myös luettavia tekstejä vaihtelemalla. Kokeiden mukaan hyvät asiantuntijat ymmärtävät paremmin alan erikoistekstejä kuin lukemiskokeissa käytettyjä standarditekstejä, kun taas huonoilla asiantuntijoilla ei ollut eroa eri tekstien ymmärtämisessä. Suurin ero luetun ymmärtämisessä korreloi hyvin korkeimman integraatiotason ja temaattisten päättelyjen kanssa. Ericsson ja Kintsch päätyvätkin siihen, että luetun ymmärtäminen on hankittu ominaisuus. Tällöin pitkäkestoiseen muistiin muodostetaan integroitu representaatio tekstistä. Ominaisuus vaatii tarkkaa ja nopeaa koodausta ja tehokasta hakujärjestelmää.

3.4 CI-malli (Construction-Integration Model)

Ericsson ja Kintsch ehdottavat lukemisessa käytetyksi representaatiomalliksi Kintschin 1990-luvun alkupuolella kehittelemää rakenneintegraatiomallia (CI-malli). CI-malli on diskurssin ymmärtämisen tietokonemalli. Se rakentaa vastaanottamastaan tekstistä mentaalisia representaatioita, jotka toimivat vapaan mieleenpalautuksen, vastausten, priming-efektien yms. perustana. Representaatioita voidaan pitää hypoteeseina lukijoiden muistirepresentaatioiden luonteesta. Mallissa syötteenä ei toimi itse teksti, vaan tekstin koodattu semanttinen (propositionaalinen) representaatio. Lauseita ei mallissa siis jäsennetä, vaan sen sijaan selvitetään, miten yksittäiset merkitsevät elementit (propositiot) yhdistetään koherentin tekstirepresentaation aikaansaamiseksi. Perusoletuksena on, että yhdistämistä koskevat säännöt ovat yleisiä ja heikkoja eivätkä kovin herkkiä kontekstille. Ne ovat myös epätarkkoja siten, että representaatiot ovat täynnä redundanssia, tarpeetonta informaatiota ja ristiriitaisuuksia. Sen vuoksi tarvitaan integraatioprosessia: vahvistamaan yhteensopivia representaation osia ja heikentämään toisia.

Tekstin ymmärtäminen on peräkkäinen prosessi. Kun kukin merkityselementti on tuotettu, se integroidaan edellisten elementtien kanssa, jotka yhä ovat huomion kohteena. Lauseiden rajalla tällainen propositionaalinen verkko siirtyy syrjään huomion keskipisteestä, vaikkakin se yhä säilyy säilömuistissa. Säilömuistiin siis tallennetaan täysin tulkittu, kontekstin mukaan integroitu tekstirepresentaatio. Lukijan lukiessa seuraavaa lausetta, jotkut sen elementeistä yhdistetään säilömuistissa jo olevien tekstin osien kanssa ja ne toimivat näiden osien hakurakenteina ja muodostavat pitkäkestoisen työmuistin. Hakurakenteena siis toimii lukijan tuottama tekstin representaatio tekstin rakenteen mukaisesti.

3.5 Hakurakenteet

Ericssonin ja Kintschin mukaan pelkkä lyhytkestoiseen työmuistiin tallennettu haku-vihje ei aina ole riittävä tiedon mieleenpalauttamiseksi. Heidän mielestään useimmiten tarvitaan kokonaisia hakurakenteita, jotka ovat monimutkaisia ja koostuvat osittain suoraan tekstistä saaduista propositioverkoista, osittain niihin assosioidusta tiedosta. Tällaiset tilannemallit eivät kuitenkaan aina ole propositioita. Myös mielikuvat voivat yhdistää tekstiä ja lukijan kyseisen alueen tietoutta sekä täydentää tekstin antamaa informaatiota yleisellä tai lukijan henkilökohtaisella tietämyksellä. Näin yksi hakurakenne voi aktivoida hyvin suuren tietomäärän säilömuistissa. Hakurakenteita voivat olla erilaiset tekstissä ilmenevät kieliopilliset rakenteet sekä viittaukset aikaisempiin tekstin osiin. Joskus, kun teksti on huonosti kirjoitettu tai vaikeasti ymmärrettävää, lukijan on ensin tehtävä hakurakenne, mikä puolestaan voi sisältää ongelmanratkaisua. Myös päättelyä käytetään runsaasti tekstin koherenssin saavuttamiseksi. Aivan yksinkertaisella tasolla ymmärtäminen on itse asiassa hakurakenteiden rakentamista.

4. Pitkäkestoisen työmuistin teoriaa vastaan esitettyä kritiikkiä

Pitkäkestoisen työmuistin malli näyttää siis soveltuvan hyvin luetun ymmärtämiseen. Erityisesti se pystyy selittämään sen, miten tekstiä luettaessa segmentoidaan ja käsitellään, ja mitä tapahtuu, kun lukeminen keskeytetään. Se näyttää pystyvän selittämään myös yksilöllisiä eroja tyydyttävästi. Pitkäkestoisen työmuistin teoriaa vastaan on kuitenkin esitetty myös jonkin verran kritiikkiä. Osan kritiikistä Ericsson ja Kintsch ovat osanneet jo ennakoita, ja he ovat vastanneet siihen alkuperäisartikkelissaan (Ericsson ja Kintsch, 1995). Yksi tällaisista vastalauseista on, että pitkäkestoisen muistin on ylipäätään liian epäluotettava työmuistin perustaksi. Tähän kirjoittajat vastaavat, että se on epäluotettava vain noviiseilla, ei asiantuntijoilla.

Myös Gobet (2000a) on esittänyt kritiikkiä. Hänen mielestään hakurakenne sopii selittämään muistista hakua vain silloin, kun haetun aineksen järjestyksen muistaminen on olennaista. Se ei sovi selittämään hakutoimintoja esimerkiksi shakissa tai lääketieteellisessä asiantuntijuudessa, sillä niistä tehtyjen vähien tutkimusten mukaan niissä käytetään semanttisia rakenteita, jotka ovat jo ennestään pitkäkestoisissa muistissa. Lisäksi LT-WM-malli olisi Gobet'n mielestä pitänyt esittää matemaattisena tai tietokonemallina, jota voidaan testata. Kolmanneksi LT-WM-teoria on Gobet'n mukaan käsitteellisenä kehyksenä hyvä mutta teoriana heikko ja vaatii täsmentämistä ja tarkentamista.

Ericsson ja Kintsch vastaavat Gobet'n kritiikkiin samassa julkaisussa. Heidän mukaansa hakurakenne on LT-WM-teoriassa eri asia kuin Gobet'n oma template theory -käsite (TT), johon Gobet sitä kritiikissään vertasi. Template-rakenteet ovat monimutkaisempia kuin hakurakenne-malli ja liittyvät läheisemmin nimenomaan sakinpeluuseen. Ericssonin ja Kintschin mielestä mikään simulaatiomalli tai laskentateoria ei voi ottaa huomioon kaikkia yksilöllisiä variaatioita. Se, mikä sopii sakkitaituruuden mallittamiseen, ei sovi esimerkiksi muistieksperttien taidon käsittämiseen:

sekä aikaisempi alan tuntemus/kokemus että palautusrakenteiden valinta ja assosiaatioiden tyypit eroavat toisistaan. LT-WM-malli pyrkii yhdistämään poikkeuksellisen muistin omaavien yksilöiden muistimekanismit taitavan muistin yleisiksi ja yleistettäviksi mekanismeiksi. Mallin kehittäjien mukaan tällainen yleinen teoria myös mahdollistaa sen soveltamisen eri tavoin: LT-WM:n mekanismeja on sovellettu esimerkiksi SOAR-arkkitehtuuriin.

5. Pohdintaa

Baddeleyn alkuperäisessä työmuistimallissa on monenlaisia puutteita, joista tärkein on sen suhde muihin muistimekanismeihin, kuten sensorisiin puskureihin ja säilömuistiin. Baddeley on havainnutkin mallinsa saaman kritiikin ja lisännyt malliinsa episodisen puskurin (2000, vrt. kuva 2).

Episodinen puskuri on väliaikaisen varaston järjestelmä, jolla on rajallinen kapasiteetti ja joka kykenee integroimaan eri lähteistä peräisin olevaa informaatiota. Toimintaa ohjaa keskusyksikkö, joka pystyy noutamaan tietoa varastosta tietoisin kokemuksen (conscious awareness) muodossa. Keskusyksikkö ohjailee ja muokkaa episodisessa puskurissa olevaa tietoa, koska sillä on pääsy tiedon lähteeseen, olipa se sitten kotoisin havaintojärjestelmästä, muista työmuistin komponenteista tai säilömuistista. Puskuri on episodinen siinä mielessä, että se sisältää tilan ja mahdollisesti myös ajan mukaan integroitua informaatiota ja yhdistelee eri kanavilta tulevaa tietoa yhtenäiseksi koodiksi. Se myös pitää yllä tietoisin tajunnan kapasiteettia. Lisäksi episodinen puskuri syöttää tietoa pitkäkestoiseen episodiseen muistiin ja noutaa tietoa sieltä.

Mallissa puhutaan puskurista, koska se toimii useiden järjestelmien rajapintana, joilla kullakin on erilainen koodausjärjestelmä (eri aistikanavat). Baddeleyn mukaan itse puskuri käyttää oletettavasti moniulotteista yleistä koodia. Puskurin rajallinen kapasiteetti johtuu tarpeesta turvata pääsy hyvin moniin erilaisiin koodeihin samanaikaisesti. Baddeley olettaa puskurin liittyvän biologiseen sitomismekanismiin (binding) synkronisen aktivaatioprosessin kautta, mutta hän ei usko sen sijaitsevan missään tiettyssä anatomisessa paikassa. Frontaaliset alueet lienevät kuitenkin tärkeitä sekä keskusyksikölle että episodiselle puskurille.

Episodisen puskurin lisäämisestä huolimatta Baddeleyn työmuistimalli on yhäkin ongelmallinen useastakin syystä. Ensiksikin, havaintotiedon käsittelyn ja työmuistin välistä suhdetta ei siinä ole mitenkään otettu huomioon. Mielekkäältä tuntuu tässä yhteydessä erityisesti Logien (1995) huomio. Logie kuuluu aktivaatiomallin kannattajiin eli hänen mielestään työmuisti on pitkäkestoisen muistin aktivoitunut osa, mutta tieto kulkee työmuistiin aisteista pitkäkestoisen muistin kautta. Logie (1996) ihmettelee sitä, voiko työmuisti säilyttää ja prosessoida informaatiota olematta sitä ennen yhteydessä säilömuistissa olevaan aikaisempaan tietoon. Hänen mukaansa yksinomaan jo havaintotiedon tulkintaan tarvitaan säilömuistia. Toiseksi, tarkkaavaisuuden merkitystä ei Baddeleyn mallissa ole myöskään selitetty riittävän monipuolisesti. Tässä suhteessa Cowanin (2001) aktivaatiomalli on merkittävästi parempi - joskaan se taas ei pysty selittämään tiettyjä potilastapauksia, kuten Baddeley on todennut (vrt. kohta 1). Kolmanneksi, yksi mallin ongelmista on sen episodisen puskurin rajallinen kapasiteetti. Puskurin rajoituksista johtuen mallilla ei mitenkään pystytä selittämään asiantuntijoiden monipuolisia muistisaavutuksia. Tässä suhteessa taas pitkäkestoisen työmuistin malli on elinvoimaisempi.

Näin ollen, saamastaan kritiikistä huolimatta, Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin malli vaikuttaa jokseenkin käyttökelpoiselta asiantuntijoiden muistitaitojen selittämisessä. Se liittyy lyhytkestoisen ja pitkäkestoisen muistin prosessit saumattomaksi kokonaisuudeksi ja onnistuu siten välttämään joitakin Baddeleyn työmuistimallin puutteita. Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin mallia on sen esittämisen jälkeen myös sovellettu ja tutkittu. Esimerkiksi on tutkittu

kaksikielisten henkilöiden pitkäkestoista työmuistia, LT-WM:n roolia tekstin tuottamisessa ja tekstin ymmärtämisessä sekä luonnontieteiden kouluopetuksessa. Edelleen mallia on sovellettu kirjoittamisen teoriaan ja go:n pelaamiseen. Myös kirjoittajat itse ovat kehittäneet malliaan edelleen (esimerkiksi Ericsson ja Patel 2000).

Mutta myös pitkäkestoisen työmuistin mallissa on puutteita. Ericsson ja Kintsch esittävät, että hakuvihje tai hakurakenne tallennetaan lyhytkestoiseen työmuistiin. Luetun ymmärtämisessä tämä voi hyvinkin pitää paikkansa. Edellisen tekstisegmentin hakurakenne saattaa säilyä lyhytkestoisessa muistissa sen aikaa, kun seuraavaa tekstijaksoa luetaan. Olipa työmuistin kapasiteetti sitten mikä tahansa (Millerin 5-9 tai Cowanin 3-5 toisistaan riippumatonta yksikköä), niin tekstiä luettaessa peräkkäiset tekstijaksot varmaankin liitetään toisiinsa yhdeksi tai muutamaksi mielekkääksi yksiköksi, jolloin työmuistin kapasiteetti riittää hyvin. Sen sijaan pitkäkestoisen työmuistin malli ei selitä sitä, miten hakuvihje tai hakurakenne voi säilyä lyhytkestoisessa muistissa silloin, kun lukeminen (tai muu tehtävä) keskeytetään vaikkapa pitemmäksi ajaksi, tai miten kunkin aihealueen tuntemus palautetaan mieleen. Näissä tilanteissa mieleenpainamis-tilanteen (oppimistilanteen) ja mieleenpalautustilanteen välillä saattaa olla useita päiviä tai viikkoja, jopa kuukausia tai vuosia. Hakurakenne tai -vihje ei näin ollen voi olla tallentunut lyhytkestoiseen (työ)muistiin, jonka kestoksi ajatellaan perinteisesti vain 20-30 sekuntia, vaan sen on oltava osa pitkäkestoisessa muistissa olevaa assosiativista muistirakennetta. Selittämättä on myös se, miten hakurakenne tai -vihje aktivoituu ulkoisen tai sisäisen ärsykkeen seurauksena tai miten aihealueen aikaisempi tuntemus palautetaan mieleen.

Näiden muistimallien valossa näyttää siltä, että paljon on vielä tutkimusta tekemättä. Varasto- tai säiliöajattelusta on kyllä Ericssonin ja Kintschin myötä on onneksi siirrytty enemmän prosessien ja systeemijattelun suuntaan. Silti kaikki mallit tuntuvat sisältävän puutteita ja se yksinkertainen, kaiken selittävä kokonaismalli antaa vielä odottaa itseään. Vaikka pitkäkestoisen työmuistin mallilla pystytäänkin selittämään paremmin tiedon siirtymistä lyhytkestoisesta muistista säilömuistiin, se ei selitä riittävästi neurologisia seikkoja, kuten esimerkiksi muistijäljen kiinnittymistä aivokuorelle. Neurotieteiden tutkimustulosten mukaan (esimerkiksi McGaugh, 2000) muistijäljen konsolidaatio aivokuorelle tapahtuu hyvin pitkän ajan, jopa useiden vuorokausien kuluessa. Yksikään edellämämainituista malleista ei selitä sitä, miten laboratorionkokeiden noin 30 sekunnin (tai Baddeleyn mukaan ilman toistoa vain muutaman sekunnin) lyhytkestoisesta työmuistista päädytään pysyvään muistijälkeen. Missä tietoa säilytetään koko tuon ajan? Tuntuu kuin tarvittaisiin vielä yksi muistiprosessi: keskipitkän ajan muisti...

Kiitokset

Kiitokset Miika Pihlajalle arvokkaista kommentteista.

Lähteitä:

Atkinson, R.C, Shiffrin R.M., 1971: The Control of Short-Term Memory, *Scientific American*, 225, 82-90

Baddeley A., 1986: *Working memory*, New York: Oxford University Press

Baddeley, A., 1990: *Human memory. Theory and practice*, Boston: Allyn and Bacon

- Cowan N., 2001: The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity, *Behavioral and brain sciences*, 24:1, 87-114
- Baddeley, 2000: Development of Working Memory: Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch Models Be Merged? *Trends in Cognitive Sciences*, 4:11, 417-423
- Ericsson K. A., Kintsch, W., 1995: Long-term working memory, *Psychological Review*, 211-245
- Ericsson K. A., Kintsch W., 2000: Shortcomings Of Generic Retrieval Structures With Slots Of The Type That Gobet (1993) Proposed And Modelled, *British Journal of Psychology*, 91, 4, 571-591
- Gobet F., 2000a: Some Shortcomings Of Long-Term Working Memory, *British Journal of Psychology*, 91, 4, 551-571
- Logie R.H., 1995: *Visuo-Spatial Working Memory*, Hove: Lawrence Erlbaum Ass.
- McGaugh, J.L., 2000: Memory - a Century of Consolidation, *Science*, 287:248-250
- Miller G.A., 1956: The Magical number seven, plus or minus two: som limits on our capacity for processing information, *Pscychological Review*, 63:2, 81-97