

## **PITKÄKESTOISEN TYÖMUISTIN TEORIA** **(Ericsson ja Kintsch 1995)**

### **Sisällysluettelo:**

1. Johdanto
2. Työmuisti käsitteenä
3. Pitkäkestoisen työmuistin teoria
4. Pitkäkestoisen työmuistin luetun ymmärtämisessä
  - 4.1 Luetun tekstin representaatiotasot
  - 4.2 Muistipuskurit
  - 4.3 Lukemisen keskeyttämisen seuraukset
  - 4.4 Aiheen tuntemus yksilöllisten erojen selittäjänä
  - 4.5 CI-malli (Construction-Integration Model)
  - 4.6 Hakurakenteet (retrieval structures)
5. Pitkäkestoisen työmuistin teoriaa vastaan esitettyä kritiikkiä
6. Pohdinta

## 1. Johdanto

Anders Ericsson ja Walter Kintsch kehittivät pitkäkestoisen työmuistin teorian vuonna 1995 (long-term working memory, LT-WM). Teoria on Chasen ja Ericssonin alun perin vuonna 1982 kehittämän teorian 'Skilled Memory Theory' laajennus.

Tässä seminaarityössä käsitellään ensin lyhyesti muistintutkimuksen historiaa ja terminologiaa. Sitten esitellään varsinainen pitkäkestoisen työmuistin teoria ja Ericssonin ja Kintschin käsityksiä siitä, miten teoria sopii luetun ymmärtämistutkimuksissa tehtyihin havaintoihin. Lopuksi tarkastellaan pitkäkestoisen työmuistin teoriaa kohtaan esitettyä kritiikkiä sekä omia henkilökohtaisia ajatuksiani siitä, miten hyvin teoria voisi selittää omaan erikoisalaani, tulkkaukseen, liittyviä seikkoja.

## 2. Työmuisti käsitteenä

Artikkelinsa aluksi Ericsson ja Kintsch luovat katsauksen muistintutkimuksen historiaan. He viittaavat mm. sellaisiin muistintutkijoihin kuin Atkinson ja Shiffrin, jotka vuonna 1968 kehittivät nyt jo perinteiseksi muodostuneen käsityksen muistin jakamisesta **pitkäkestoiseen** (long-term memory, LTM) ja **lyhytkestoiseen muistiin** (short-term memory, STM), sekä Milleriin, joka vuonna 1956 julkaisi tutkimuksensa lyhytkestoisen muistin kapasiteetista. Sanojen vapaa mieleenpalautus (free recall) muistitestissä käyttää väliaikaista lyhytkestoista muistia, kun taas hakuvihjeiden (retrieval cue) avulla tehty mieleenpalautus hyödyntää pitkäkestoista muistia. Millerin tutkimusten mukaan lyhytkestoiseen muistiin mahtuu kerrallaan  $7 \pm 2$  toisiinsa liittymätöntä mieltämysyksikköä ja lyhytkestoisessa muistissa oleva aines katoaa muutamien sekuntien kuluttua, kun huomio kiinnitetään uuteen asiaan. Myöhemmissä tutkimuksissa on saatu myös Millerin tutkimuksista jonkin verran poikkeavia tuloksia, mutta lukuisten kokeiden lopputuloksena voidaan todeta, että lyhytkestoisen muistin kapasiteetti on normaaleilla henkilöillä 4-9 toisistaan riippumatonta mieltämysyksikköä.

Työmuisti-käsitteen toi muistintutkimukseen ensi kerran Alan Baddeley vuonna 1986. Hänen mukaansa työmuisti hoitaa informaation **väliaikaista varastointia ja käsitteilyä** ja jakaantuu kolmeen osaan: artikulatorinen eli fonologinen kehä (articulatory loop), visuaalis-spatiaalinen varasto (visuo-spatial scratch patch) sekä näiden molempien toimintaa ohjaava keskusyksikkö (central executive) (Baddeley 1986). Sittemmin monet muistintutkijat ovat ruvenneet käyttämään työmuisti-käsitettä lyhytkestoisen muistin asemesta. Ericsson ja Kintsch haluavat kuitenkin pitää nämä käsitteet erillään ja käyttävät siten mieluummin Baddeleyn työmuistista nimitystä **lyhytkestoisen työmuisti** (short-term working memory, ST-WM) erotuksena omasta pitkäkestoisen työmuistin käsitteestään.

Ericsson ja Kintsch pitivät lyhytkestoista työmuistia riittämättömänä selittämään kaikkia muistitoimintoja, etenkin asiantuntijoiden muistia. He ihmettelivät ennen kaikkea kahta asiaa:

1. Voiko laboratorio-olosuhteissa ilmenevä, kapasiteetiltaan rajallinen ja lyhytkestoisen työmuisti olla vastuussa myös asiantuntijoiden ja taitureiden muistisuorituksista?
2. Miten työmuistin väliaikaisuus voi selittää sen, että taitavaa ajattelua vaativa suoritus voidaan keskeyttää ja sitä voidaan jatkaa myöhemmin siitä, mihin jätiin ilman, että suoritus juurikaan heikkenee?

### 3. Pitkäkestoisen työmuistin teoria

Pitkäkestoisen työmuisti, LT-WM, on Ericssonin ja Kintschin mukaan lyhytkestoisen työmuistin jatke ja se voi rakentua vain sellaisella aihealueella, jolla henkilöllä on kokemusta tai jota hän on harjoitellut (siis jolla henkilö on asiantuntija). Tieto siirretään tällöin lyhytkestoisesta työmuistista pitkäkestoisen muistin puolelle, jossa sitä säilytetään pysyvässä muodossa. Pitkäkestoisessa työmuistissa olevaan tietoon päästään käsiiksi hyvin luotettavasti ja nopeasti hakuavainten (hakuviheiden<sup>\*</sup>) avulla, joita säilytetään lyhytkestoisessa työmuistissa. Hakuavain voi olla yksittäinen symboli tai sana tai kokonainen monimutkainen hakurakenne (retrieval structure), josta kerrotaan tarkemmin luvussa 4.6.

Ericsson ja Kintsch kuvaavat pitkäkestoisen työmuistin toimintaa seuraavasti. Malli esittelee yhden vaiheen, jolloin jokin tietty tietoaines käsitellään muistissa:

1. Uusi muistettava informaatio (esimerkiksi yksi luettu lause) tulee lyhytkestoiseen työmuistiin.
2. Samalla kun henkilö prosessoi 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. Hakuavain assosioidaan mielessä käsiteltyyn tietoainekseen.
4. Valikoitu tieto siirtyy pitkäkestoiseen muistiin samalla, kun seuraavaa informaatiosegmenttiä (seuraavaa lausetta) jo syötetään lyhytkestoiseen työmuistiin. Hakuavain tai -rakenne jää lyhytkestoiseen muistiin ja saattaa sen lisäksi toimia apuna seuraavan informaatiosegmentin ymmärtämisessä.
5. Pitkäkestoiseen työmuistiin tallennettu aines voidaan myöhemmin palauttaa mieleen nopeasti ja tarkasti hakuavaimen tai hakurakenteen avulla.

Työmuistin laajentaminen tällä tavalla pitkäkestoisen muistin 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 ennakoita 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 koodausaidon kehittämistä, jolloin henkilö voi kontrolloidusti päästä käsiksi koodausolosuhteiden merkittäviin piirteisiin ja siten haluttuun tietoon. Ericssonin ja Kintschin mukaan tämä vastaa Tulvingin vuonna 1983 ehdottamaa encoding-specificity principle -periaatetta. Muistamistaito on siten aihepiirikohtaista ja eroaa rakenteeltaan muiden aihepiirien muistamistaidosta. Asiantuntijakin voi suoriutua yhtä heikosti kuin noviisi, jos tehtävä ei ole hänen omalta asiantuntijuusalueeltaan. Tästä esimerkkinä 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-

---

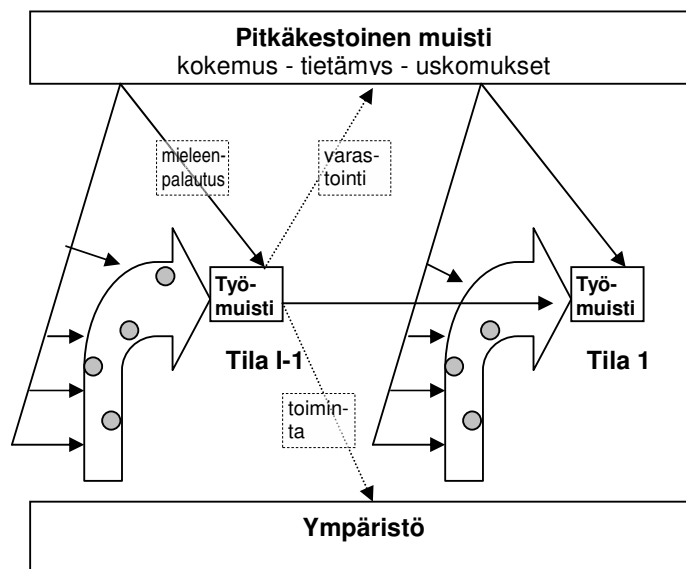
\* Englanninkielisessä terminologiassa käytetään sanaa 'retrieval cue' sekä ulkopuolelta annetusta (esimerkiksi kokeenjohtajan antamasta) hakuviheestä että henkilön itsensä käyttämästä symbolista tai avainsanasta, jolla pitkäkestoisessa muistissa olevaan tietoon päästään käsiksi. Tässä työssä olen pitänyt nämä käsitteet erillään ja käyttänyt jälkimmäisestä nimitystä 'hakuavain'.

prosenttisesti mutta satunnaiset asemat vain 10-prosenttisesti, jolloin heidän taitonsa ei juuri poikennut aloittelijoiden taidoista.

Ericssonin ja Kintschin mukaan muistilla on kaksi tehtävää. Heidän mukaansa kognitiivisia prosesseja voidaan kuvata tilojen tai ajatusten peräkkäisinä jaksoina. Muisti toimii ensinnäkin välittäjänä yhden tällaisen jakson eri tilojen välillä. Tilat ovat toisistaan riippuvaisia, ja muisti sekä ympäristössä vallitsevat suhteet luovat (generoivat) tämän riippuvuuden.

Toisaalta ajatukset, siis kognitiiviset tilat, ovat myös itse monimutkaisten generoimisprosessien lopputuotteita. Ne syntyvät yleensä aistihavaintojen ja käsitteellisten operaatioiden seurauksena, mikä vaatii eri tasoilla tapahtuvaa tiedon aktivointia ja elaboraatioprosesseja (käsittelyprosesseja). Jotta ylemmän tason prosessi voisi käyttää alemman tason prosessin tulostetta hyväkseen, tulosteen on oltava käytettävissä ainakin tietyn aikaa. Tästä pitävät huolen erityiset, kullekin prosessille tyypilliset muistipuskurit, joissa väliprosessien lopputuotteet säilytetään rajoitetun ajan. Muistipuskureista tarkemmin luvussa 4.2.

Ericsson ja Kintsch pitävät siis erillään tiedon käsittelyssä tarvittavat, väliaikaisten tulosten säilyttämiseen tarkoitettuja muistipuskureita ja muistin tehtävän peräkkäisten kognitiivisten tilojen välittäjänä. Kuvassa 1 on esitetty Ericssonin ja Kintschin kuvaama malli muistin kahtalaisesta roolista.



Kuva 1 Peräkkäisten kognitiivisten tilojen (I-1 ja 1), pitkäkestoisen muistin ja ympäristön keskinäiset suhteet. Paksut nuolet kuvaavat prosessia, jonka tuloksena syntyy lopullinen, tietoinen työmuistirepresentaatio. Tummat täplät nuolten sisällä kuvaavat tiedon käsittelyn eri tasoilla tarvittavia muistipuskureita. Pienemmät nuolet taas esittävät käsittelyprosessin välivaiheita, joiden tuloksena muistipuskureihin tallennetaan näiden välivaiheiden lopputulosteita. Katkonuolet kuvaavat työmuistin sisällön käyttömahdollisuuksia. (Kuva on mukailtu Ericssonin ja Kintschin alkuperäisen artikkelin sivulla 222 olevasta kuvasta 5.)

Mallin mukaan jokainen kognitiivinen tila on eritasoisten monimutkaisten analyysiprosessien tulos. Kognitiiviset tilat seuraavat toisiaan ajassa: lyhytkestoisen muistin vaihtelevat representaatiot tai sisällöt, tarkkaavaisuuden jatkuva kohdistuminen eri asioihin, tietoisesta kokemuksesta virta. Kuvassa 1 paksut nuolet osoittavat näihin lopputiloihin ja sisältävät tarpeelliset muistipuskurit väliprosessien tulosten säilyttämiseen.

Nämä prosessit riippuvat ympäristön ja pitkäkestoisen muistin tekijöistä, siis kyseisen henkilön kokemuksesta ja tietämyksestä. Kulloisenkin kognitiivisen tilan muistijäljet voivat jäädä pitkäkestoiseen muistiin. Tai työmuistissa oleva lopputulos voi johtaa toimintaan.

Sitä, miten relevanttia tietoa ja tilojen välianalyseja pidetään saatavilla, ovat eri tutkijat selittäneet eri tavoin. Yksi mahdollinen selitys on, että kaikkea tietoa pidetään työmuistissa väliaikaisesti aktivoituneena. Toinen tapa selittää asia on LT-WM-teoria. Sen mukaan taitavassa toiminnassa suuri osa tiedosta tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin ja tietoon päästään käsiksi lyhytkestoisessa työmuistissa olevien hakuavainten avulla. Ero näiden kahden selityksen välillä tulee ilmi, kun toiminto keskeytetään. Vain LT-WM-teoria kykenee selittämään sen, että tehtävää voidaan jatkaa nopeasti keskeytyksen jälkeen. Jos ennen keskeytystä prosessoitu tieto olisi vain aktivoitunut työmuistissa tai tallennettu lyhytkestoiseen muistiin, se olisi keskeytyksen aikana kadonnut muistista kokonaan, ja tehtävä pitäisi aloittaa joka kerta alusta.

Ericsson ja Kintsch toteavat myös, että lyhytkestoinen muisti yksin riittää selittämään työmuistin rakennetta hyvin 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 pitkäkestoisen muistin puolelle.

#### 4. Pitkäkestoinen työmuisti luetun ymmärtämisessä

Yksi keskeisimmistä toiminnoista, jossa me kaikki olemme asiantuntijoita, on lukeminen ja kirjoitetun tekstin ymmärtäminen. Niinpä Ericsson ja Kintsch soveltavat artikkelissaan pitkäkestoisen työmuistin teoriaa nimenomaan luetun ymmärtämiseen. Sen lisäksi he käsittelevät laajalti myös muita asiantuntijatoimintoja ja niistä tehtyjä kokeita, joilla he puoltavat teoriaansa. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa: yhteen ja kertolasku, lääketieteelliset diagnoosit, sakinpeluu ja muunlainen ongelmanratkaisu. Keskityn kuitenkin seuraavassa kuvaamaan LT-WM-teoriaa luetun ymmärtämisessä.

Luetun ymmärtäminen sisältää suunnilleen samanlaiset kognitiivisten tilojen sarjat kaikilla sujuvilla lukijoilla. Sen vuoksi se sopii hyvin LT-WM-teorian soveltamiseen. Koska yksilö muistaa tekstistä lukemisen jälkeen niin paljon, on ilmeistä, että tieto tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin ja tallentaminen on siten luonnollinen osa ymmärtämisprosessia. Ericssonin ja Kintschin hypoteesin mukaan tekstin muistirepresentaatio rakennetaan lukemisen aikana ja tallennetaan pitkäkestoiseen muistiin. Representaation eli tietoodustuksen tärkeimmät osat ovat tavoitettavissa lyhytkestoisessa muistissa olevien hakuavainten avulla ja muodostavat siten pitkäkestoisen työmuistin perustan luetun ymmärtämisen aikana.

##### 4.1 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 (1983) keskustelun ymmärtämistutkimuksissa ilmitulleen jaottelun:

Tämän 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
  - Mikropropositiot johdetaan suoraan tekstistä (vastaavat virkkeitä tai lauseita) tai ovat päättelyprosessin tulosta (tekstin koherenssin synnyttämiseksi).
  - Makrorakenteet taas ovat mikropropositioiden pohjalta tehtyjä valintoja ja yleistyksiä, jotka on osittain johdettu suoraan tekstistä, osittain päätelty.
3. Tilannemalli (situation model) yhdistää tekstissä olevan informaation ja taustatiedot toisiinsa. Tämä representaatio ei ole välttämättä propositionaalinen, se voi olla myös vaikkapa spatiaalinen, esimerkiksi kartta.

Malli antaa pohjan lukijan päättelylle, elaboraatiolle ja toiminnalle. Joskus malli toimii muistijäljen tärkeimpänä rakenteena (kun luodaan uusi tilannemalli tai muokataan entistä).

Ericsson ja Kintsch käyvät artikkelissaan läpi laajalti eri tutkimuksia ja kokeita, joita eri tutkijat ovat luetun ymmärtämisestä tehneet. Näiden tutkimusten perusteella he toteavat muun muassa seuraavaa.

Luetun tekstin pintarakenne häviää luettaessa muistista nopeasti (useimmiten lauseen lopussa). Propositionaalinen rakenne saadaan esiin pitkäkestoisesta muistista hakuavaimilla, ja tilannemalli 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 Tillin, Mrossin ja Kintschin raportoimista kokeista (1988), joissa homonyyminen kohdesana voitiin assioida joko lauseen kontekstiin tai homonyymin toiseen merkitykseen. Ensimmäisten 350 ms:n aikana koehenkilöiden reaktioajat priming- eli alustusmuistitestissä kontekstin kannalta oikeisiin ja väärin 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. Edellä mainituissa Tillin ym. kokeissa koehenkilöt saivat luettavakseen lauseen: 'The townspeople were surprised that all buildings had collapsed except the mint.' Koehenkilöt eivät reagoineet priming-testissä 'maanjäristys'-sanaan, jos se esitettiin 200-500 ms lauseen päättymisen jälkeen. Selitykseksi kokeen tekijät tarjosivat sitä, että tarvitaan vähintään 1 sekunti aikaa, ennen kuin irralliset lauseet voidaan liittää toisiinsa, eli syntyy käsitys siitä, mistä tekstissä on kyse. Ericsson ja Kintsch mainitsevat tässä yhteydessä myös Gernsbacherin tekemät kokeet (yhteenveto vuodelta 1990), joiden mukaan tällaisen lauseen aihetta eli topiikkia käsittelevän tiedon syntyminen kestää 1-2 s. Jos kokeessa mainittiin samassa lauseessa kaksi henkilöä, aluksi jälkimmäinen tuotettiin nopeammin, kunnes 1-2 s myöhemmin kävi päin vastoin. Silloin ensin mainittu eli todennäköisimmin subjekti (topiikkia) edustava henkilö tuotettiin helpommin.

Muissakin lukemiskokeissa on todettu, että sujuvilla lukijoilla on integroitu representaatio pitkäkestoisessa muistissa. Lukijat yhdistelevät tietoa tekstin eri osista, tekevät yhteenvetoja ja muistavat yleensä parhaiten tekstin keskeisimmän ajatuksen tai idean.

Lukijat rakentavat representaation lukemisen edistyessä. Tästä todisteena on se, että teksti ja vastaava tekstitön sarjakuva ymmärretään yhtä hyvin, samoin teksti ja vastaava mykkä filmi. Myös luetun ja kuullun ymmärtäminen on samanlaista, josta todisteena Ericsson ja Kintsch mainitsevat Gernsbacherin vuonna 1990 kokoamassa yhteenvedossa mainitut kokeet. Näin tilannemalli näyttäisi olevan varsin olennaista luetun ymmärtämiselle.

## 4.2 Muistipuskurit

Ericsson ja Kintsch haluavat erottaa lukemis- ja muistamisprosessissa toisistaan:

- tietyn tekstisegmentin lukemisen lopputuloksen ja
- siirtymävaiheen, jolloin segmenttiä luetaan ja prosessoidaan.

LT-WM-teorian kehittäjät ovat sitä mieltä, että assosiatiiviset muistipuskurit sijaitsevat aivojen assosiaatioalueilla. Puskurit toimivat tiedon väliaikaisena varastona siirtäessä prosessoinnin alemmilta tasoilta ylemmälle. Muistin roolina on tällöin kognitiivisten tilojen generointi. Muistipuskureissa olevat väliaikaiset representaatiot ovat muiden kognitiivisten prosessien saavutettavissa vain rajoitetusti: puskureiden sisältöä ei voi tietää tietoisesti ja se voidaan saada esiin vain tietynlaisilla koejärjestelyillä. Joidenkin puskureiden sisältö voi tosin muuntua ja siirtyä sellaiselle tasolle, jolla se koetaan tietoisesti.

Jotkut väliaikaishuskureista ottavat vastaan tietoa sekä aisti-, havainto- ja käsitejärjestelmistä että suoraan työmuistista, ts. ne toimivat työmuistin keskusyksikön alajärjestelminä.

Ericsson ja Kintsch ovat omassa teoriassaan yhdistäneet Potterin (1983) ja Baddeleyn (1986) käsitykset muistin rakenteesta. Heidän mielestään tärkeimmät muistipuskurit ovat seuraavat:

1. **Retinotopic icon** (retinotooppinen ikoni): yhden sanan jatkuva havainto valoreseptoreista ja muista neuraalisista mekanismeista. Tällä puskurilla ei ole roolia normaalissa lukemisessa ja se tulee esiin vain laboratorio-olosuhteissa.
2. **Spatiotopic visual memory** (spatiotooppinen visuaalinen muisti): Verkko-kalvolta tuleva peräkkäisten silmien fiksaatioiden yhdistäminen. Tekstillä on pysyvä rakenne tilassa.
3. **Reatopic visual memory** (reatooppinen visuaalinen muisti): visuaalisten piirteiden yhdistelmä ja malli, joka säilyttää alkuperäisen tekstin useita sekunteja, vaikka teksti korvataan ns. visuaalisella maskilla.
4. **Conceptual buffer** (käsitepuskuri): sanojen ja esineiden havainnointi ja ymmärtäminen. Sanat ymmärretään hetkessä mutta katoavat sitten muiden kognitiivisten prosessien tieltä. Käsitteellisistä representaatioista tulee tietoisia ja niistä tulee pysyviä vain, kun ne siirretään työmuistiin.
5. **The articulatory loop** (artikulatorinen eli fonologinen kehä): myös sujuvat lukijat muuttavat visuaalisen aineiston akustiseksi (tai artikulatoris-motoriseksi). Fonologisista representaatioista voi tulla myös työmuistin sisältö, ja aineistoa voidaan kierrättää fonologisessa kehässä.

6. **The visuo-spatial scratch pad** (visuaalis-spatiaalinen varasto): samanlainen puskuri kuin edellinenkin mutta toimii visuaalis-spatiaalisella alueella.

7. **Working memory** (työmuisti): verrattavissa Baddeleyn (1986) keskusyksikköön (central executive). Muodostaa kokonaisen kognitiivisen työtilan, jossa tieto tekstisegmentistä varastoidaan nopeasti mieleenpalautettavaan muotoon. Tieto on kaikkien edellä olevien prosessien kognitiivinen lopputuote, itsessään monimutkainen ja jäsentynyt ja käsittää eri representaatiotasoja.

#### 4.3 Lukemisen keskeyttämisen seuraukset

Pääasiallisena todisteena siitä, että luetun ymmärtämisessä käytetään myös pitkäkestoisia muistia, Ericsson ja Kintsch pitivät lukemisen keskeyttämiskokeita, joita ovat tehneet muun muassa Fischer ja Glanzer (1986), Glanzer ym. (1981) sekä Glanzer, Fischer ja Dorfman (1984). Kokeissa havaittiin, 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.

Keskeytyestä 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 lukemisen aikana pitkäkestoiseen muistiin tallennetaan, käy ilmi Glanzerin ja Nolanin vuonna 1986 raportoimista kokeista. He tunnistuttivat koehenkilöillään propositioita, joiden sisältö käsitteli joko luettujen lauseiden tai kappaleiden aiheita (topic) 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 pitkäkestoiseen muistiin tallennetaan ensisijaisesti niitä asioita, joita teksti käsittelee, ja lukemisen jatkaminen on vaivatonta sen jälkeen, kun nämä asiat on tavalla tai toisella palautettu mieleen.

#### 4.4 Aiheen tuntemus yksilöllisten erojen selittäjänä

Ericssonin ja Kintschin mukaan lukijoiden välisiä suuria yksilöllisiä eroja on aikaisemmin selitetty sillä, että lyhytkestoisen 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 henkilöllä on lukemastaan aiheesta, vaikuttaa luetun ymmärtämiseen. Ericsson ja Kintsch mainitsevat muun muassa Rehtin ja Leslien kokeet (raportti vuodelta 1988), joissa nämä jakoivat koehenkilöt neljään ryhmään: hyvät ja huonot lukijat sekä hyvät ja huonot baseballin tuntijat. Näissä, kuten muissakin vastaavissa kokeissa, kävi ilmi, että luetun ymmärtämisessä ratkaiseva merkitys on vain sillä, miten hyvin erikoisala tunnetaan: huonot lukijat mutta kyseisen



alan hyvät (asian)tuntijat olivat selvästi parempia kuin hyvät lukijat, joilla oli huono alan tuntemus.

Asiantuntemuksen merkitystä on testattu myös luettavia tekstejä vaihtelemalla. Koikeiden 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.

#### 4.5 CI-malli (Construction-Integration Model)

Ericsson ja Kintsch ehdottavat lukemisessa käytetyksi representaatiomalliksi Kintschin kehittelemää (1988, 1992b, Kintsch ja Welsch 1991) rakenneintegraatiomallia (CI-malli) laajennettuna Kintschin ja van Dijkin (1978) ja van Dijkin ja Kintschin (1983) diskurssiteoriaa koskevilla hypoteeseilla tiedon aktivaatiosta ja käytöstä tiedon ymmärtämisessä.

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 tätä koskevat säännöt ovat yleisiä ja heikkoja eivätkä kovin herkkiä kontekstille sekä 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 pitkäkestoisessa muistissa (LTM:ssä). LTM:ään siis tallennetaan täysin tulkittu, kontekstin mukaan integroitu tekstirepresentaatio. Lukijan lukiessa seuraavaa lausetta, jotkut sen elementeistä yhdistetään LTM:ssä 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.

#### 4.6 Hakurakenteet (retrieval structures)

Ericssonin ja Kintschin mukaan pelkkä lyhytkestoiseen työmuistiin tallennettu haku-avain ei aina ole riittävä tiedon mieleenpalauttamiseksi. Heidän mielestään useimmiten tarvitaan kokonaisia hakurakenteita (retrieval structures), jotka ovat monimutkaisia ja koostuvat osittain suoraan tekstistä saaduista propositioverkoista, osittain niihin assosioidusta tiedosta.

Tällaiset tilannemallit (vrt. luku 4.1) eivät kuitenkaan aina ole propositioita. Myös mielikuvat voivat integroida tekstiä ja lukijan tietoutta kyseisellä alueella sekä täydentää tekstin antamaa informaatiota yleisellä tai lukijan henkilökohtaisella tietämyksellä. Näin yksi hakurakenne voi aktivoida hyvin suuren tietomäärän pitkäkestoisessa työmuistissa.

Hakurakenteita voivat olla erilaiset tekstissä ilmenevät syntaktiset 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 konstruoinnista. Ericssonin ja Kintschin mielestä hakurakenteina voivat toimia monet muiden tutkijoiden esittämät mallit, esimerkiksi:

- READER-malli (Just & Carpenter 1987, Luku 9)
- rakenteen lähestymismalli (Gernsbacher 1990)
- joidenkin lingvististen tietokonemallien rakenteet (esim. Grosz & Sidner 1986).

#### 5. Pitkäkestoisen työmuistin teoriaa vastaan esitettyä kritiikkiä

Pitkäkestoisen työmuistin teoriaa vastaan on esitetty myös jonkin verran kritiikkiä. Osan kritiikistä Ericsson ja Kintsch ovat osanneet jo ennakoita ja he ovat vastanneet siihen itse artikkelissa. Yksi tällaisista vastalauseista on, että pitkäkestoisen muisti on ylipäätään liian epäluotettava työmuistin perustaksi. Tähän kirjoittajat vastaavat, että se on epäluotettava vain noviiseilla, ei asiantuntijoilla.

Myös Gobet (2000a) on esittänyt kritiikkiä. Hän esittää pitkässä artikkelissaan kolme keskeisintä vastaväitettään. Ensiksi hakurakenne (retrieval structure) sopii hänen mielestään selittämään muistista hakua vain silloin, kun haetun aineksen järjestyksen muistaminen on olennaista. Se ei sovi selittämään hakutoimintoja esimerkiksi sakissa tai lääketieteellisessä asiantuntijuudessa, sillä niistä tehtyjen vähien tutkimusten mukaan niissä käytetään semanttisia rakenteita, jotka ovat jo ennestään pitkäkestoisessa muistissa.

Toiseksi Gobet'n mielestä LT-WM-malli olisi pitänyt esittää matemaattisena tai tietokonemallina, jota voidaan testata. Mallin monimutkaisuuden vuoksi tietokonemalli olisi parempi, etenkin kun luetun ymmärtämisessä testausmahdollisuus olisi jo nyt olemassa, koska sopivia tietokoneohjelmia on jo käytössä.

Kolmanneksi LT-WM-teoria on Gobet'n mukaan käsitteellisenä kehiksenä 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 (Gobet 1997, 1998; Gobet & Simon 1996, 1998) template theory -käsite, johon Gobet sitä artikkelissaan vertasi. Template-rakenteet ovat monimutkaisempia kuin hakurakenne-malli ja liittyvät läheisemmin nimenomaan sakinpeluuseen.

Edelleen 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 tyytit eroavat toisistaan. LT-WM-malli pyrkii yhdistämään poikkeuksellisen muistin omaavien yksilöiden muistimekanismit taitavan muistin yleiseksi ja yleistettäväksi mekanismeiksi.

LT-WM-mallin kehittäjien mukaan tällainen yleinen teoria myös mahdollistaa sen soveltamisen eri tavoin: esimerkiksi Altmann ja John (1999) sekä Young ja Lewis (1999) ovat soveltaneet LT-WM:n mekanismeja SOAR-arkkitehtuuriin, kun Gobet ym. ovat rakentaneet sakkitaituruuden teoriaansa EPAM-arkkitehtuuriin varaan.

Tähän vastineeseen Gobet (2000) tekee vielä joitakin tarkennuksia. Hän toteaa, että LT-WM- ja TT-teorioissa paljon myös yhtäläisyyksiä: nopea koodaus pitkäkestoiseen muistiin, ympäristön merkityksen korostaminen, vähittäinen oppiminen ja tietämyksen täsmentyminen, yksilöllisten erojen tärkeys ja edustavien tehtävien merkitys eksperttien ymmärtämisessä. Mutta teorioissa on myös monia eroja. Ericsson ja Kintsch ovat korostaneet yleisen teorian luomisen tarvetta. Gobet'n mielestä myös heidän EPAM/CHREST -malliaan voidaan käyttää alempien tasojen lisäksi yleisillä abstraktiotasoilla, kuten skeemojen tasolla, joskin tarkkuus tällöin kärsii.

Lisäksi Gobet huomauttaa kahdesta eksperttiyteen liittyvästä seikasta. Ensinnäkin ekspertit oppivat suurempia rakenteita kuin mieltämysyksiköt (chunks). Gobet'n mielestä template-sana kuvaa tällaista oppimista paremmin. Asiantuntijat oppivat myös tällaisten rakenteiden ja niistä lähtevien mahdollisten toimintojen välisiä kytkentöjä.

Gobet toteaa edelleen, että Ericssonin ja Kintschin alkuperäisessä artikkelissa (Ericsson ja Harris, 1990) mainittu noviisi oppi vain pienen osan ekspertin tiedosta mutta käytti assosiaatioita todelliseen maailmaan, ja niiden oppiminen vie vuosia. Sama koskee myös alkuperäisartikkelissa mainittuja muistieksperettejä DD ja SF, jotka luku- ja muistamisessa käyttivät hyväkseen useiden vuosien kokemustaan juoksuajoista, päivämääristä jne. Juuri tällaiset seikat ovat Gobet'n mielestä todisteita muistista hakumenetelmien monimutkaisuudesta.

## 6. Pohdinta

Kaikesta kritiikistä huolimatta Ericssonin ja Kintschin pitkäkestoisen työmuistin malli vaikuttaa varsin käyttökelpoiselta asiantuntijoiden muistitaitojen selittämisessä. Mallia on sen esittämisen jälkeen myös sovellettu ja tutkittu. Esimerkiksi on tutkittu kaksikielisten henkilöiden pitkäkestoista työmuistia (Ransdell ym., 2001), LT-WM:n roolia tekstin tuottamisessa (Kellogg, 2001) ja tekstin ymmärtämisessä (Kintsch ym., 1999) sekä luonnontieteiden kouluopetuksessa (Nuthall, 2000). Edelleen mallia on sovellettu kirjoittamisen teoriaan (McCutchen, 2000) ja go:n pelaamiseen (Masunaga & Horn 2000). Myös kirjoittajat itse ovat kehittäneet malliaan edelleen (esimerkiksi Ericsson ja Patel 2000).

Henkilökohtainen vaikutelmani on, että Baddeleyn (lyhytkestoisen) työmuistin teoria on tosiaan aivan liian suppea monien muistitoimintojen ymmärtämisessä. Esimerkiksi konsekutiivisessa eli peräkkäisessä tulkauksessa, ei Baddeleyn kapasiteetiltaan ja kestoltaan hyvin rajoitettu työmuisti-malli pysty millään selittämään sitä, miten taitava tulkki pystyy tulkkamaan kymmenminuuttisen puhejakson vain muutaman symbolisen muistiinpanon avulla ja usein jopa kokonaan ilman muistiinpanoja.

Sen sijaan pitkäkestoisen työmuistin malli pystyy selittämään konsekutiivitulkin toimintaa varsin hyvin. Lähtökielen sanat aktivoivat tulkin pitkäkestoisessa muistissa vastaavat tulokieliset sanat sekä kieliopilliset ja tiedolliset rakenteet, ja saavat tarkan tulkinnan ja merkityksen kontekstin eli aiheen tuntemuksen kautta. Jos tulkki ei tunne aihetta kovin hyvin, kuten minulle kävi kerran tulkatessani kahta jännitteensäätöasian-tuntijaa, hän kääntää pelkästään sanoja ja tuntee koko ajan liikkuvansa heikolla jäällä. Kun tulkki ei kuullessaan ymmärrä, mistä toinen puhuu ja kääntää vain pelkkiä sanoja peräkkäin, hän pelkää koko ajan, että tulkkeen kuulija ei liioin ymmärrä, mitä tulkki sanoo. Tuollaisessa tapauksessa tulkilla ei ole olemassakaan pitkäkestoisessa muistissaan hakurakenteita kyseiseltä aihealueelta (esimerkiksi jännitteensäädöstä), joten hänen pitkäkestoisen työmuistinsa toimii vain vaillinaisesti: hän pystyy palauttamaan mieleensä vain yksittäisiä sanoja ja kieliopillisia rakenteita, ei varsinaisia hakurakenteita (retrieval structures), jotka turvaisivat varsinaisen asian ymmärtämisen.

Pitkäkestoisen työmuistin mallissa minua jäi kuitenkin ihmetyttämään eräs seikka, johon en ole ainakaan vielä löytänyt vastausta Ericssonin ja Kintschin artikkelista enkä sen jälkeen julkaistuista artikkeleista. Ericsson ja Kintsch esittävät, että hakuavain tai hakurakenne tallennetaan lyhytkestoiseen työmuistiin. Luetun ymmärtämisessä tämä voi pitääkin paikkansa: edellisen tekstisegmentin hakurakenne säilyy lyhytkestoisessa muistissa hyvin sen aikaa, kun seuraavaa tekstijaksoa luetaan. Sen sijaan malli ei selitä esimerkiksi sitä, miten yleinen aiheen tuntemus palautetaan mieleen. Tällöinhän mieleenpainamistilanteen (oppimistilanteen) ja mieleenpalautustilanteen välillä saattaa olla useita päiviä tai viikkoja, jopa kuukausia tai vuosia. Hakurakenne tai -avain ei tällaisessa tapauksessa voi olla tallentunut lyhytkestoiseen työmuistiin, vaan sen on oltava osa pitkäkestoisessa muistissa olevaa assosiativista muistirakennetta.

Kaiken kaikkiaan Ericssonin ja Kintschin malli on kuitenkin hyvä, ja jatkotutkimusten ja kehittelyn jälkeen se voi aikanaan hyvinkin johtaa asiantuntijoiden muistitoimintojen ymmärtämiseen entistä paremmin ja hyvin toimivan yleisen muistimallin luomiseen.

**Lähteet:**

- Baddeley A., 1986: Working memory, New York: Oxford University Press
- Baddeley, A., 1990: Human memory. Theory and practice, Boston: Allyn and Bacon
- 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
- Ericsson K. A., Patel V., 2000: How Experts' Adaptations to Representative Task Demands Account for the Expertise Effect in..., *Psychological Review*, 107, 3, 578-593
- Gobet F., 2000a: Some Shortcomings Of Long-Term Working Memory, *British Journal of Psychology*, 91, 4, 551-571
- Gobet F., 2000b: Retrieval Structures And Schemata: A Brief Reply To Ericsson And Kintsch, *British Journal of Psychology*, 91, 4, 591-595
- Kellogg R., 2001: Long-Term Working Memory in Text Production, *Memory and Cognition*, 29, 1, 43-52
- Kintsch W., Patel V.L., Ericsson, K. A., 1999: The Role of Long-Term Working Memory in Text Comprehension, *Psychologia*, 42, 4, 186-198
- Masunaga H., Horn J., 2000: Characterizing mature human intelligence, *Learning & Individual Differences*, 12, 1, 1-29
- McCutchen D., 2000: Knowledge, Processing, and Working Memory: Implications for a Theory of Writing, *Educational Psychologist*, 35, 1, 13-24
- Nuthall G., 2000: The Role of Memory in the Acquisition and Retention of Knowledge in Science and Social Studies Units, *Cognition and Instruction*; 18, 1, 83-139
- Ransdell S., Arecco M. R., Levy C. M., 2001: Bilingual Long-Term Working Memory: The Effects of Working Memory Loads on Writing Quality and Fluency, *Applied Psycholinguistics*, 22, 1, 113-128
- Till R. E., Mross E. R. ja Kintsch W., 1988: Time course of priming for associate and inference words in a discourse context, *Memory & Cognition*, 16, 283-298.