

MÕTLEMISE OLEMUS

ja arendamine ülikoolis ¹

Grete Arro, teadur ja hariduspsühholoog, TLÜ
Anneli Veispak, kaasprofessor, EBS

Kas see on mõtlemine, kui tuletad meelde, mida Sa eelmisel teispäeval tegid? Aga see, kui palun Sul vaadata kellegi fotot ja otsustada, kas inimene fotol on pahase näoga või mitte? Või kui peaksid selgitama, kuidas õppijate autonoomia toetamine toetab ühtlasi nende motivatsiooni? Aga see, kui arvutad kaheprotsendilise maksutõusu mõju oma neto sissetulekule? Kas see on ka mõtlemine? Selgelt on tegemist mõtlemisega kõikide ülaltoodud näidete puhul.

Mõtlemist võib laiemalt defineerida kui mis tahes vaimset operatsiooni, mis hõlmab informatsiooni töötlemist, olgu see teadlik või alateadlik. Kognitiivsed protsessid nagu mälusisude ammutamine, probleemide lahendamine, otsuste langetamine ja loovmõtlemine on kõik teadliku mõtlemise vormid. Kuid ka alateadlikud või automaatsed protsessid, nagu muustrite äratundmine või emotsionaalsed reaktsioonid, hõlmavad mõtlemist, kuigi need leiavad aset ilma teadliku otsuse, pingutuse ja tähelepanuta.

MIDA MÕTLEMINE TÄHENDAB?

Bioloogiliselt tähendab mõtlemine närvivõrgustike aktiveerumist kindlate seaduspärasuste alusel. Kognitiivselt tähendab teadlik mõtlemine seda, et meie tähelepanu fookuses on infokillud, millega viime läbi mingeid operatsioone. Mõned operatsioonid juhtuvad automaatselt ega vaja teadlikku pingutust,

samas kui mõned teised operatsioonid vajavad tõsisest keskendumist ja tahtejõu rakendamist. Näiteks, kui meenutame, mida eelmisel teispäeval tegime või peame otsustama, kas keegi näeb pahane välja või mitte, on enamasti tegemist automaatse või vähest pingutust nõudva protsessiga. Kui aga peame selgitama, kuidas kaks keerulist ideed üksteisega seostuvad või arvutama peast kaheprotsendilise maksutõusu mõju oma netosissetulekule, on tegemist oluliselt keerukamate operatsioonidega. Nimelt tuleb pikaajalisest mälust abstraktsed infokillud üles leida. Meenutades või loogiliselt arutledes tuleb jõuda seosteni, rakendada protsentarvutuste protseduuri, vaheväärtusi töömälus saadaval hoida, samal ajal pidurdada nii väliseid kui sisemisi segajaid ning muretseda seepärast, kui ebaadekvaatsed me küsijale tundume, kui me selle arvutuse või seletusega toime ei tule.

¹ Materjali koostamisel on tuginetud Keskkonnahariduse juhendaja käsiraamatule (2025)



Grete Arro

Õppimise ja arengu seisukohast võime nendest kognitiivsetest operatsioonidest mõelda kui mõttemuskli treeningprogrammist. Samuti nagu füüsilise treeninguga, on mõned harjutused suuremat koormust pakuvad kui teised. Et õppimine toimuks ja mõtlemine areneks, on vaja mõttemuskleid treenida nõnda, et koormus oleks treenijale piisav, et treening oleks õppijale tajutav kui kognitiivne pingutus.

Kognitiivne pingutus tähendab seda, et mõistmiseks või meelde jätmiseks peab aju vaeva nägema, sattuma segadusse ja tupikusse, pusima, proovima, katsetama, uuesti alustama jne. Enamasti ei ole see eriti meeldiv tunne. Võiks mõelda nii, et iga päriselt uus teadmine-oskus tähendab uut (ideaalis püsivat) seoste ehk sünapside mustrit meie neuronite vahel. Uus teadmine, uuel viisil mõtlemine tähendab seega aju muut(u)mist. Aju muut(u)mine pole samuti kerge. kui see oleks kerge ja kogu info aju seoste mustreid kohe muudaks, ületaks see infohulk meie aju seoste loomise potentsiaali. Samuti poleks selge, millised seosed on olulised ja millised



Anneli Veispak

mitte. Aju muut(u)mine on kulukas - see kulutab energiat, toiduga omandatud kallist ressursi, mida on evolutsiooni käigus alati nappinud. Seepärast töötab aju muut(u) misele vastu. Aju **ei taha** tingimata muutuda, aga aju **on võimeline** muutuma - looma pidevalt uusi seoseid, korraldama end ümber - ehk olema neuroplastiline. Ent uute seoste ehitamine neuronite vahel on energiat nõudev tegevus. See on üks põhjus, miks meil on vaja millegi uue ajju ehitamiseks energiat kulutada - see, mis väliselt on tajutav pingutusena, on pingutus ja ressursikulu ka aju jaoks.

Selleks, et esineks kognitiivne pingutus, peab õppimise protsessis esinema **kognitiivne kaasatus**. Kognitiivse kaasatuse arhitekt on õppejõud, kes õpisisu disainib ning mõttemuskli treeningprogramme koostab. Enne, kui asume arutama, kuidas kognitiivselt kaasvaid õpikogemusi disainida, pöörame korra tähelepanu ka nendele infokildudele, millega meie aju operatsioonid läbi viib. Sest mõtlemises saame kasutada ainult seda infot, mis on leidnud tee meie närvivõrgustikesse.

MILLINE ON SEE INFO, MIDA ME TÖÖTLEME JA KUIDAS SEE MEIE PIKAAJALISES MÄLUS ORGANISEERUB?

Võib öelda, et kõik teadmised, mis aitavad meil maailma mõista ning oma eluga hakkama saada, on meie pikaajalises mälus leidnud koha kontseptuaalsetes võrgustikes, kus info on tähenduslikult seotud. Kontseptsioonid või mõisted ongi mentaalsed ühikud, mis võimaldavad meil maailma ja selles leiduvaid olendeid, objekte, nähtusi kategoriseerida, organiseerida, eristada ning mõista (Laurence & Margolis, 2024). Gregory Murphy on kirjutanud, et kontseptsioonidest saab mõelda kui liimist, mis meie mentaalset maailma koos hoiab (2002). Ja mõtlemine võib olla mõistetav kui mentaalsete kontseptsioonide manipuleerimine ning nendega opereerimine (Wiley & Jee, 2010).

Tänu kontseptuaalsetele teadmistele omistame tähendusi meelelistele kogemustele (nt tavamõisted: metsas on puud, talvel on külm). Samuti oleme võimelised mõistma keerulisi ideid, põhimõtteid ja süsteeme, mida otseselt kogeda ei saagi (nt. teadusmõisted, mis on ökosüsteem või demokraatia).

Tavamõisteteks nimetatakse igapäevaseid, intuiitiivseid teadmisi, mis kujunevad varajase elukogemuse põhjal ning mängivad olulist rolli kiire ja intuiitiivse mõtlemise võimaldamises. Need põhinevad otsestel kogemustel ja vahetutel muljetel. Tavamõisted võivad olla lihtsustatud ja ebatäpsed, sest nad peegeldavad maailma vahetult tajutavas vormis, ilma sügavama analüüsita. Näiteks võib laps tavamõistena mõista tähti kui säravaid täppe taevas, teadmata, et need on tegelikult suured hõõguvad gaasikerad (Vosniadou, 2008).

Teadusmõisted on aga täpsemalt määratletud ja formaalsete õpiprotsesside kaudu omandatud. Need põhinevad teoreetilisel

tel raamistikul ja sügavamal analüüsil ning on tihti seotud keerukamate, mittevahetult kogetavate nähtustega, nagu gravitatsioon või evolutsioon (Carey, 2009).

Mõtlemise või mõistete arengu uurimisteema kognitiivses psühholoogias tegelebki küsimusega, kuidas nendes teadmistes, mida kogemuspõhiselt aduda ei saa, tekivad kas korrektsed või valed teadmised ehk väärmõisted. **Väärmõisted** (ingl *misconceptions*) on teadusliku teadmisega vastuolus olevad arusaamad selliste nähtuste või protsesside kohta, mida vaid taju või isikliku kogemuse põhjal mõista ei saagi (Verkade et al., 2017). Kuigi õige ja väär arusaam või lähenemine võivad sõltuda kontekstist või taustsüsteemist ja ka teaduslikult aktsepteeritud faktid muutuvad ajas, lähtutakse väärmõiste määratlemisel sellest, mis on **parasjagu parim teaduslik teadmine** teemast. Näiteks on praegu parim teaduslik teadmine, et käte pesemine seebiga aitab vähendada viiruste ja bakterite levikut ja seega paljude haiguste teket inimestel. See on teadmine, mida inimesed ei ole võinud saada oma meelekogemuse abil, sest viirused ja bakterid on meile palja silmaga nähtamatud.

MIKS JA KUIDAS VÄÄRMÕISTED TEKIVAD?

Väärmõistete tekkimine on paratamatu osa mõtlemise loomulikust toimimisest. Meil kõigil on mingites valdkondades, kus me eksperdid ei ole, väärmõisteid. Väärmõisted tekivad, kuna meie teadvus tegeleb lakkamatult endale maailma selgitamisega ning loob selle kohta nn naiivseid teooriaid, kasutades selleks hetkel olemasolevaid teadmisi või mõttemudeleid. Võiks öelda, et meie teadvuse evolutsiooniline põhifunktsioon on pidevalt maailma mõista ja mõtestada (sest siis jääme tõenäoliselt ellu). Seda protsessi ei saa välja lülitada ega kinni keerata.

On olemas infot ja olukordi, mida ongi võimalik kogemuspõhiselt mõista - me kõik ilmselt õpime kogemuse pinnalt ära, et hommikuti läheb valgeks, et naerata inimene on enamasti sõbralik, et kuuma pliidi katsumine on ebameeldiv - ehkki kõigi nende *nähtuste* taga on keerukad protsessid, on nimetatud *seoste* mõistmine kogemuspõhiselt täiesti võimalik.

On aga ka teadmisi, mida taju- või kogemuspõhiselt mõista ei saa - näiteks, mida temperatuur endast füüsiliselt kujutab või miks Päike hommikuti ei tõuse (kuigi meile taju- või kogemuspõhiselt nii tundub), vaid Maa ennast hoopis pöörab. Tundumise-pinnalt loodud selgitused ja järeldused (tavamõisted) on füüsiliste, keemiliste, bioloogiliste, sotsiaalsete ja psühholoogiliste protsesside ja nähtuste kohta enamasti valed.

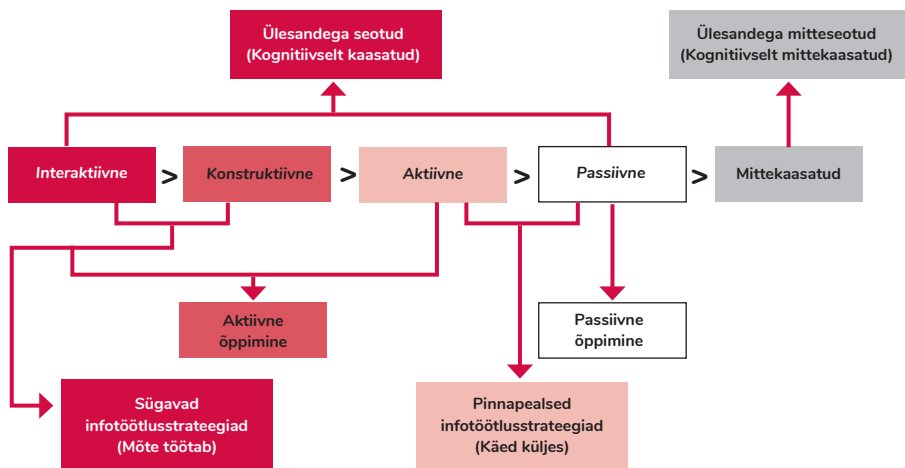
Paraku ei omanda kõik inimesed teaduslikku, s.t. mitte isikliku kogemuse põhist mõtlemist ka koolis. Seepärast näeme raskusi vahetult mittekogetavate teadmiste omaksvõtmisega ka täiskasvanutel - näiteks neil, kes järjekindlalt kliimat ja ilma segu- mini ajavad või arvavad, et vaktsineerimine on tervisele kahjulik. Oluline on aga mõista, et väärmõisted on normaalne osa mõtlemise arengust. Väärmõistete muutumine on pikk protsess, mille puhul tekib tavaliselt esialgu mõni uus väärmõiste ja seegi on loomulik. Korrektse mõiste või arusaama kujunemine on aeglane. Väärmõistete muutumine pole

kerge ka seepärast, et sageli on olemasolevad nn naiivsed teooriad inimesele endale väga usutavad, sest lähevad kokku tema argikogemusega - need on õppija maailmapildis "õiged". On öeldud, et väärmõisted on püsivad nagu "näts talla all".

Väärmõistete muutumist nimetatakse **mõistete arenguks** (ingl k *conceptual change*), mis tähendab, et õppija peas asendub eba- korrektne (või puuduv) kontseptsioon järkjärgult korrektsema arusaamaga (Chi, 2005; Vosniadou, 2008). Sama oluline kui aktsepteerida, et väärmõisted on loomulikud, on ka mõista, et need ei ole paratamatus. Mõiste arengut arvestava õpetamise korral suudame mõistma õppida ka infot, millele kogemuslikku või tajulist vastet polegi.

Mida saab õppejõud teha, et aidata kaasa mõistete arengule ning mõtlemise arengule tervikuna?

Nagu ülalpool juba kirja sai - selleks et õppimine ja mõistete areng saaks juhtuda, tuleb pingutada. Aga mõistlikul moel, mitte ükskõik kuidas. Et esineks kognitiivne pingutus, peab õppimise protsessis esinema **kognitiivne kaasatus**. Üks sobilik mudel, mis pakub meile süsteemse raamistiku, millele toetuvalt kognitiivsele kaasatusele mõelda, on **ICAPi mudel** (Chi et al. 2014). See on raamistik, mis kategoriseerib õpitegevusi nende poolt esilekutsutud kognitiivse kaasatuse tüübi ja taseme alusel.



ICAPi mudel (Chi et al., 2018).

ICAP tähistab nelja kaasatuse viisi: **interaktiivset, konstruktiivset, aktiivset ja passiivset**.

1. **Passiivne (P)** – õppija on suunatud info saamisele materjalidest/õppejõult, väliselt selle infoga midagi tegemata – nt *tähelepanelik lugemine, juhendaja juhiste kuulamine*.
2. **Aktiivne (A)** – materjalide vaatamise/kuulamisega kaasneb mingit sorti motoorne/füüsiline aktiivsus – nt *mil-lelegi osutamine, pauside tegemine, mingi eseme käes pööramine-vaatamine, alla-joonimine, sõnasõnaliste märkmete tegemine, mingi osa väljakirjutamine, õppija jaoks selge lahenduskäiguga ülesande suhteliselt automaatne lahendamine*.
3. **Konstruktiivne (C)** – õppija tekitab materjali töödeldes mingit sorti uusi väljundeid/ideid, mis lähevad kaugemale sellest, mis materjalis esitatud on. Ehk siis see kaasatuse vorm on generatiivne – nt *endale ja teistele selgitamine, materjalide seostamine, küsimuste esitamine, loetu põhjal joonise tegemine, uue lahenduse otsimine probleemile, mida veel ei osata lahendada*.
4. **Interaktiivne (I)** – mitme õpipartneri interaktsioonis on kõik osapooled *konstruktiivselt kaasatud*, s.t. kõik genereerivad uusi ideid ning kõik saavad enam-vähem sama palju sõna; tulemusena lähevad tekkivad väljundid/ideed kaugemale sellest, mida õppijad üksi suudaks luua – nt *oma seisukoha kaitsmine/põhjendamine, teiselt selgituse või näite küsimine, üksteise ideede laiendamine* jne.

Empiiriliste uuringute kohaselt toovad sügavamalt kognitiivselt kaasavad tegevused kaasa põhjalikuma arusaamise ja parema teadmiste kinnistumise. Mida kognitiivselt kaasavam on õppijale pakutav õpitegevus, seda tõenäolisem on, et õppija mõistab õpitut paremini ja pikaajalisemalt.

Uuringud näitavad, et õppimise tulemuslikkus suureneb oluliselt trajektoiril P -> A -> C -> I (8-10% iga vormi puhul) (Menekse et al., 2013). Erinevus ei ilmne tingimata lihtsate, küll aga keerukate ja teadmiste ülekannet eeldavate ülesannete puhul. Mõned

õppimisviisid on tõhusamad kui teised, aga mõned tegevused võivad õppimisele lausa kahjulikult mõjuda. Näiteks, kui õppejõu sorav selgitus loengus tekitab õppijas tunde, et tal ongi kõik juba selge ja midagi enam teha polegi vaja. Reaalsuses juhtub pärast sellist õppimist sageli, et kui õpitut peab kasutama, siis tegelikult seda siiski ei osata.

Mõnikord mõistetakse ICAP mudelit valesti - eeldades, et kui teema on uus, peab õppima passiivsel ja aktiivsel viisil, ja kui juba natuke osatakse, õppima konstruktiivsel ja interaktiivsel viisil. **Tegelikult pole mingit põhjust ühelgi ajahetkel õppida P või A viisil** - alati on mõtet ka lugeda, videot vaadata või õpetajat kuulata konstruktiivselt või interaktiivselt. Aktiivne ja passiivne õppimisviis saavad alati sisalduda kahe järgmise vormi sees. Lugemise või video vaatamise ajal tuleb teha pause, et mõelda, järeldada, küsida, kokku võtta, ümber sõnastada, näitlikustada vms. See oleks küll lugemine, aga mitte passiivne, vaid konstruktiivne lugemine. Oluline on loetu üle mõelda nii, et *samal ajal ei loe*. Me nimelt ei saa samal ajal lugeda ning loetu üle mõelda. Seega, teadmisi päriselt muutva õppimisega on tegemist siis, kui kognitiivne kaasatus on vähemalt konstruktiivne, milles tõenäoliselt sisalduvad ka passiivsemad õppimisviisid, aga viimastega ei piirduta.

Võiks ju küsida, miks interaktiivsus parem on kui konstruktiivsus? Uuringute vastus on, et interaktiivse (ehk siis koos-konstrueeriva) õppimise puhul kehtivad kõik konstruktiivse õppimise head küljed, aga kasutada on ka need infokillud, mis on teiste õppijate peades – eeldusel, et kõik saavad rääkida ja oma teadmisi ning märkamisi jagada! Nii saab uus, konstrueeritud teadmine õppija peas tõenäoliselt terviklikum ja mitmekesisem kui üksi õppides.

ICAPi mudeli võtab hästi kokku allolev skeem, kus on näha, mis viisidel toimub

kõige optimaalsem õppimine ehk kus on kõige suurem kognitiivne kaasatus.

MIKS ON ÕPPEPROTSESSIS KASULIK EKSIMINE?

Kuna õppimise eesmärk on kutsuda esile olukord, kus õppija peas asendub ebakorrektn (või puuduv) kontseptsioon järkjärgult korrektsema arusaamaga, peavad ka õpetamisviisid teadlikult seda protsessi toetama. Mõtlemist uurivad teadlased on aastakümneid pingutanud, et leida selliseid õpetamisviise, mille tulemusel ei teki keerukates teemades mitte uued väärmõisted, vaid korrektsed arusaamad, mis jäävad ka meelde. Ka väärmõistete puhul liigub õppimine ja õpetamine maailmas (ICAPi järgi) konstruktiivsete ja interaktiivsete õppimisviiside suunas. Selliste õppimisviiside üks põnev ja kasulik näide on nn **tõhusa vea disain** (ingl k *Productive Failure Design*) (Kapur, 2008).

See on õppemeetod, mis loob õppijatele võimaluse mõtestada keerulisi probleeme ning proovida neid lahendada enne, kui neile pakutakse struktureeritud juhendamist. Lastes õppijatel esmalt ise probleemi olemust ja lahendamise võimalusi uurida, pusida ning ebaõnnestuda, luuakse eeldus sügavama arusaamise kujunemiseks, sest lahenduse otsimise käigus põrkavad õppijad vastu oma väärmõisteid ning puudulikke teadmisi ning saavad aru, mida nad veel ei tea. Põhimõtteliselt pakub selline õppimisviis suurema tõenäosusega võimalust, et õppijates enestes tekivad teemakohased küsimused; et muutus ja õppimine saaksid juhtuda, peab esmalt õppijas tekkima **rahulolematuse olemasoleva teadmisega**. Õppijad peavad mõistma, et nende praegune arusaam on ebapiisav või vastuolus uue teabega, millega nad kokku puutuvad (Sawyer, 2005). Ja alles siis saab pakkuda neile tuge õigete lahenduskäikude ni jõudmiseks läbi arutlemise ja vastuste

otsimise. Kuigi intuiitiivselt tundub meetod, kus õppijatele antakse kogu vajalik info esimeses järjekorras, õigem, näitavad uuringud, et tõhusa vea disain on mõtlemise arengu ja õppimise seisukohast efektiivsem lahendus (Kapur & Bielsch, 2011; Kapur, 2015; Sinha & Kapur, 2019; Sinha & Kapur, 2021).

MIKS ON TÕHUSA VEA DISAIN TÕHUS?

Esiteks, proovides lahendada probleemi, mida veel lahendada ei osata, peavad õppijad meenutama teemaga seotud varasemaid teadmisi, mis neil on, ehk siis aktiveerima oma eelteadmised. Eelteadmiste aktiveerimise juures on oluline silmas pidada, et kõik õppijad leiaksid oma peast üles need infokillud, mida mingilgi viisil saab antud probleemi lahendamise vankri ette rakendada. Selleks tuleb anda aega, et ka aeglasemad õppijad õiged mõttelõngad kätte leiaksid.

Teiseks, kuna selline õpe on ühtaegu nii ülejõukaiva probleemi kallal pusiv kui ka arutluspõhine, on tegu ICAPi järgi nii konstruktiivse kui interaktiivse õppeviisiga - veelgi enam, kuna õppijad arutlevad, siis muutub õppijate mõtlemine juhendajale nähtavaks, aidates tal paremini mõista õppijate võimalikke väärmõisteid ja teadmistelünk.

Kolmandaks vastab selline õppimine ühele tõhusa õppimise põhikriteeriumile - see on **kognitiivselt pingutus**.

Neljandaks võimaldab selline õppeviis **teha vigu ja neid analüüsida** - õppijad asuvad nuputama, aga nad ei lahenda probleemi ära, mis ongi eesmärk. Selline teadlikult tupikusse jooksutamise meetod võimaldab õppijal hakata märkama ja mõistma probleemi või nähtuse otsustavaid, defineerivaid, olemuslikke, struktuurseid, ent sageli varjatud tunnuseid.

Viies - tänu eelnevale võib õppija hakata edaspidi õppima sama tüüpi problee-

mide juures teadlikult alla suruma intuiitiivseid väärmõisteid või -lahendusi, mis talle ka tulevikus pähe turgatavad (sest need ei kustu tema mälestusest ära). Nähtust defineerivate, aga sageli varjatud tunnuste mittemärkamise tähendabki väärmõistelist arusaama.

Lühidalt võib öelda, et kui õppejõud disainib õpiolukordi, kus õppijad on konstruktiivsete ja interaktiivsete ülesannetega kognitiivselt kaasatud ehk mõttega asja juures, esineb piisav kognitiivne pingutus; õppijatel on võimalik teha vigu ja seeläbi märgata iseenda väärmõisteid ning saada aru, miks need ei võimalda neil probleeme rahuldaval viisil ei mõtestada ega lahendada; ning leida piisavalt tuge, et konstrueerida uued ning õigemad mentaalsed mudelid, areneb õppijate mõtlemisvõime mähinal. Lihtne.

VÕTTES EELNEVA LOO KOKKU:

- Mõtlemist võib defineerida kui mistahes vaimset operatsiooni, mis hõlmab informatsiooni töötlemist, olgu see teadlik või alateadlik.
- Informatsioon, mida me oma mõttestruktuurides töötleme, on meie pikaajalises mälestuses organiseerunud kontseptuaalsetesse võrgustikesse. Mentaalsed kontseptsioonid ehk mõisted kannavadki meie arusaamist maailma asjadest. **Tavamõisted** esindavad tajupõhiseid kogemusi ning **teadusmõisted** pigem teoreetilistel raamistikul ja sügavamal analüüsil põhinevaid mittevahetult kogetavaid nähtusi. Mõtlemise areng seisnebki selles, et õppija peab asendub ebakorrektne (või puuduv) kontseptsioon järk-järgult korrektsema arusaamaga.
- Et õppimine toimuks ja mõtlemine areneks, on vaja mõttemuskleid treenida nõnda, et koormus oleks treenijale piisav, et treening oleks õppijale tajutav kui **kognitiivne pingutus**. Seejuures ei tähenda kognitiivne pingutus mitte mingil juhul

emotsionaalset pinget või stressi – vastupidi – viimased halvendavad igal juhul meie mõtlemis- ja õppimisvõimet.

- Selleks, et esineks kognitiivne pingutus, peab õppimise protsessis esinema **kognitiivne kaasatus**.
- **ICAPi mudel** on raamistik, mis katagoriseerib õpitegevusi nende poolt esilekutsutud kognitiivse kaasatuse tüübi ja taseme alusel. Uuringud näitavad, et interaktiivsete ja konstruktiivsete õpitegevuste käigus on õppijad kognitiivselt sügavamalt kaastatud, kui lihtsalt aktiivsetes või passiivsetes tegevustes.
- **Tõhusa vea disain** on õppemeetod, mis loob õppijatele võimaluse mõtestada keerulisi probleeme ning proovida neid lahendada enne, kui neile pakutakse struktureeritud juhendamist. See meetod on ICAPi kohaselt konstruktiivne/interaktiivne, pakub õppijale piisavat kognitiivset koormust, lubab teha vigu ning neile toetuvalt märgata oma väärmõisteid ning nähtuste varjatud, tajupõhiselt mittevastataavaid aspekte.

KASUTATUD ALLIKAD:

Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195367638.001.0001>

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1

Chi, M. T., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>

Chi, M. T., Adams, J., Bogusch, E. B., Bruchok, C., Kang, S., Lancaster, M., ... & Yaghmourian, D. L. (2018). Translating the ICAP theory of cognitive engagement into practice. *Cognitive Science*, 42(6), 1777–1832. <https://doi.org/10.1111/cogs.12626>

Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424. <https://doi.org/10.1080/07370000802212669>

Kapur, M. (2015). Learning from productive failure. *Learning: Research and Practice*, 1(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/23735082.2015.1002195>

Kapur, M. (2016). Examining productive failure, productive success, unproductive failure, and unproductive success in learning. *Educational Psychologist*, 51(2), 289–299. <https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1155457>

Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2011). Classroom-based experiments in productive failure. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (Vol. 33, No. 33, pp. 2816–2821). Cognitive Science Society.

Laurence, S., & Margolis, E. (2024). *The building blocks of thought: A rationalist account of the origins of concepts*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780191925375.001.0001>

Menekse, M., Stump, G., Krause, S., & Chi, M. T. H. (2013). Differentiated overt learning activities for effective instruction in engineering classrooms. *Journal of Engineering Education*, 102(3), 346–374. <https://doi.org/10.1002/jee.20021>

Murphy, G. L. (2002). *The big book of concepts*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/4173.001.0001>

Sawyer, R. K. (Ed.). (2005). *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833>

Sinha, T., & Kapur, M. (2019). When productive failure fails. *EMBO Reports*, 30(31–36). <https://doi.org/10.15252/embr.201947552>

Sinha, T., & Kapur, M. (2021). When problem solving followed by instruction works: Evidence for productive failure. *Review of Educational Research*, 91(5), 761–798. <https://doi.org/10.3102/00346543211019105>

Verkade, H., Mulhern, T. D., Lodge, J. M., Elliott, K., Cropper, S., Rubinstein, B., Horton, A., Elliott, C., Espinosa, A., Dooley, L., Frankland, S., Mulder, R., & Livett, M. (2017). *Misconceptions as a trigger for enhancing student learning in higher education: A handbook for educators*.

Wiley, J., & Jee, B. D. (2010). Cognition: Overview and recent trends. In *International encyclopedia of education* (Vol. 2, pp. 245–250). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-044894-7.00476-0>

Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: An introduction. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 1–16). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472>