

## Loodusteaduste õpetamist käsitlevad teooriad

Jack Holbrook<sup>1</sup>

*Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut*

**Loodusteaduslik haridus teoorias ja praktikas: sissejuhatus õpiteooriasse (Science Education in Theory and Practice: An Introductory Guide to Learning Theory), teine trükk (2025); toimetajad Ben Akpan ja Teresa J. Kennedy. Springer.**

Raamatu 2. väljaanne (2025) pakub laiendatud ja ajakohastatud põimingut 30st loodusteaduste õpetamisel olulisest õpiteooriast. Teooriad on koondatud peamiste psühholoogiliste ja haridusteaduslike traditsioonide kaupa – humanistlikud, biheivioristlikud, kognitivistlikud, konstruktivistlikud – ning lisatud on ka vaimsetel ja oskuspõhistel lähenemistel põhinevad teooriad.

Teos pakub terviklikku käsitlust, mis koondab erinevaid teoreetilisi vaate-  
nurki ja näitab, kuidas iga teooria võib pakkuda tõhusaid teadmisi loodus-  
teaduste õpetamise strateegiate ja õppekavade koostamiseks ning õppetöös  
kasutamiseks.

Väljaandes on säilitatud varasema versiooni struktuur, kuid selle haaret on  
laiendatud, lisades ajakohastatud käsitlusi 14 riigi autoritelt ja tugevdades seost  
teooria, pedagoogika ja loodusteaduslikule haridusele esitatavate uute nõud-  
miste vahel. Iga peatükk sisaldab selgitavat teksti, näiteid edulugudest, reflektiiv-  
tiivseid küsimusi ja õppetundidega seostatavaid tõlgendusi, mille eesmärk on  
aidata õpetajatel mõista, kuidas õpiteooriat praktikas rakendada. Raamat on  
jätkuvalt abiks õpetajatele, õpetajakoolitajatele ja teadlastele, kes vajavad pide-  
valt sidusat ja kättesaadavat käsiraamatut, mis ühendaks õppimise alusuuringud  
kaasaegse loodusteaduste õpetamise tegelikkusega koolides.

Teine väljaanne sisaldab virtuaaltehnoloogiat käsitlevat peatükki, mis lisati  
seoses COVID-19 pandeemia tõttu toimunud muutustega loodusteaduslikus  
hariduses. Selles peatükis käsitletakse virtuaallaborite, simulatsioonide ja tehnoloogiliselt toetatud õpikeskkondade kasutamist, mis näitab, et raamat vastab loodusteadusliku hariduse tänapäevastele ootustele ja digiõppe arengule.

---

<sup>1</sup> Ökoloogia ja maateaduse instituut, Tartu Ülikool, Vanemuise 46, 51003 Tartu; jack.holbrook@ut.ee.

Raamatul on kolm eesmärki:

- 1) ühendada teooria ja praktika, võimaldades loodusteaduste õpetajatel tugineda õppetöös teadlikult väljakujunenud õppimisteooriatele, mitte pelgalt intuitsioonile;
- 2) toetada tõhusa ja võrdõigusliku loodusteaduste õpetamise arengut, rõhutades, kuidas iga teooria võib parandada õpitulemusi, suurendada huvi ja kaasatust;
- 3) valmistada järgmise põlvkonna STEM-õppijaid ja õpetajaid ette kiiresti muutuva maailmaga hakkama saamiseks, rõhutades kriitilise mõtlemise, teadusuuringute, tehnoloogia lõimimise ja mitmekesiste teadmiste omandamise vajalikkust.

Teose eesmärk on olla põhjalik juhend ja praktiline töövahend, mis varustab loodusteaduste õpetajaid teoreetiliste teadmiste, pedagoogiliste strategiate ja reflektiivsete raamistikega, mis on vajalikud kvaliteetseks, teooriatest lähtuvaks loodusteaduste õpetamiseks tänapäeva koolis.

Raamat on jagatud järgmiseks viieks osaks.

## I osa sisaldab nelja humanistlikku teooriat

### Maslow' inimliku motivatsiooni teooria (baastarvete hierarhia)

Maslow leiab, et õppimine saab toimuda alles siis, kui inimese vajadus turvalisuse, kuuluvuse ja austuse järele on rahuldatud, ja alles pärast seda saab eeldada kõrgema taseme mõtlemist. Need tingimused on tõhusate uurimuslike loodusteaduste tundide läbiviimise eelduseks. Laboratoorse töö tundides võivad õpetajad enne keeruliste ülesannete lahendamist töö tõhusust suurendada, alustades tundi kiire heaolu ja ohutuse kontrolliga, ühiselt kokkulepitud tööreeglite koostamise ja „vahehinnete” pakkumisega (nt laboriohutuse tagamise eest). Selle tulemusena on klass rahulikum ja alim osalema ning õpilased julgevad uurimistöö käigus intellektuaalseid riske võtta. Samas tuleb meeles pidada, et hoolivus ei tähenda järeleandmist nõudlikkuses – psühhosotsiaalse toetuse kõrval on oluline säilitada kõrged kognitiivsed nõudmised.

### Glasseri valikuteooria

Glasser väidab, et inimese vajadus kuuluvuse, võimu, vabaduse ja lõbu järele tuleb hästi esile tundides, kus õpilased saavad täiel määral väljendada oma agentsust. Selle teooria kohaselt leitakse, et praktiline motivatsiooniallikas teaduslikuks uurimistööks on valik. Õpetajad võivad pakkuda valikut uurimismeetoditest (nt andurid, süstlad või loodusseaduste simulatsioon) ja kasutada

ühtseid hindamiskriteeriume, mis tagavad tõenditel põhinevate standardite järjepidevuse. Õpilased on tavaliselt püsivamad ja esitavad sisukamaid selgitusi, kui nad saavad ise meetodi ja lõpptulemuse vormi valida. Siinkohal tekib risk teha „valik ilma rangete reegliteta”, seega peavad piirid ja ühised kriteeriumid täpselt paigas olema.

### **Malone'i sisemist motivatsiooni pakkuv õpetamine**

Malone'i neli motivaatorit – väljakutse, uudishimu, fantaasia ja kontroll – haakuvad hästi nähtusi tutvustavate esimeste loodusõpetuse teemadega, mida esitatakse mõistatuse vormis ning mille puhul seavad õpilased endale ise eesmärgid. Praktilise näitena võib tuua „tundmatu pulbri” analüüsi, mille puhul on kasutada piiratud arv katseid, ja kuluarvestus, mis sunnib strateegiliselt planeerima. Tulemuseks on tavaliselt suurem pühendumus ülesandele ja vabatahtlik harjutamine, kuna õpilased kogevad meisterlikkuse tunnet. Liigne mängulisus võib muuta sisu pealiskaudseks. Narratiiv peab toetama teaduslikku arutelu, mitte seda asendama.

### ***Bildung*: von Humboldtist Klafkini**

*Bildung* (tervikliku isiksuse kujundamine) käsitleb loodusteadust kui enese-kujunduse protsessi demokraatlikuks eluks, julgustades käsitlema sotsiaalteaduslikke küsimusi, mis seovad tõendusmaterjali eetika ja kultuuriga. Tunnis võivad õpilased jälgida kohaliku õhu kvaliteeti, kaaluda erinevaid kompromisse ning avaldada huvirühmadele suunatud avaliku seisukoha või ülevaate. Õpilased kogevad suuremat tähenduslikkust, omandavad kodanikuhääle ja arusaama, et teadusel on väärtus ka väljaspool hindeid. Probleem võib tekkida ainestandardite hoidmisel, et arutelu eetika teemadel ei varjutaks tõendusmaterjali ja mehhanismide mõistmist.

## **II osa sisaldab kolme biheivioristlikku teooriat**

### **Pavlov/Skinner: klassikaline ja operantne tingitus**

Käsitlus tutvustab biheivioristlikke võtteid turvalise ja usaldusväärse laborikäitumise kujundamiseks modelleerimise, kordamise ja kinnistamise kaudu. Praktikast struktureerivad õpetajad mikrosammudeks jagatud oskusi (nt põleti süütamine), harjutavad neid koos vahetu tagasisidega ning kinnistavad veatuid sooritusi. See loob turvalisema laborikeskkonna ja vabastab kognitiivset ressursi tähendusloomeks. Piirang seisneb aga selles, et üksnes käitumise kujundamine ei too kaasa kontseptuaalset muutust; see peaks toetama mõistmise kujunemist, mitte seda asendama.

### **Bandura: sotsiaalse õppimise teooria**

Bandura modelleerimine, tähelepanu, säilitamine ja reproduktsioon selgitavad, miks nähtavad demonstratsioonid ja eakaaslaste eeskuju teaduslike praktikate omaksvõttu kiirendavad. Õpetaja võib oma mõttekäiku kuuldavalt tutvustada ning seejärel minna üle juhendatud paariskatsetele, mida toetab protsessi kontroll-leht. Õpilased omandavad kiiremini nii menetluskäigu kui ka teadusliku arutelu võtted. Liigse kasutamise korral võib demonstratsioon soodustada passiivsust, seetõttu peab sellele vahetult järgnema praktiline harjutamine.

### **Thorndike: konneksionism**

Konneksionism toetab lühikest ja sagedast harjutamist koos vahetu tulemuste tagasisidega, et kinnistada sümbolite sujuv kasutus (ühikute teisendamine, moolisuhted, skaala näitude lugemine). Igapäevased kolmeminutilised „teaduspseudid“ enne uurimuslikku tegevust aitavad põhioskusi automaatsena hoida. Nii saavad õppijad pühenduda oma töömälu modelleerimisele, argumenteerimisele ja mitmeetapilisele kavandamisele. Puuduseks on passiivsed teadmised, kui ladusust ei seostata kontseptuaalsete probleemidega; seetõttu tuleks harjutusi põimida selgitavate ülesannetega.

## **III osa sisaldab seitset kognitivistlikku teooriat**

### **Miller jt: infotöötlemise teooria**

Käsitus rõhutab kognitiivse koormusega arvestavat õpikorraldust – esile tõstmist (ingl *signalling*), topeltkodeerimist, tükeldamist (ingl *chunking*) ja ajastatud meenutamist (ingl *spaced retrieval*) –, mis aitab õpilastel keerukate teaduslike esitusviisidega toime tulla. Fotosünteesi teemas võib lihtsustatud skeem koos lühikese selgitava jutustuse ja meenutamisesannetega („Selgita seda joonist“) toetada mälu kinnistumist. Tulemuseks on selgemad mentaalsed mudelid ja vähem ülekoormatud õpilased. Riskiks on liigne lihtsustamine: selgus ei tohi tulla ainega seotud täpsuse arvelt.

### **Piaget: kognitiivse arengu teooria**

Piaget' käsitluse järgi tuleks liikuda konkreetsetl tasandilt formaalsele, alustades manipuleeritavatest ja mõõdetavatest nähtustest, enne kui minnakse üle abstraktsete seaduste käsitlemisele. Jõudude teema käsitlemisel võivad õpilased esmalt lükata väikese hõõrdumisega kärusid ja koguda andmeid ning alles seejärel formuleerida seose  $F = ma$ . Selline järjestus vähendab pealiskaudset päheõppimist ja toetab püsiva intuitiivse arusaama kujunemist. Vanus ei ole valmisoleku täiuslik näitaja, seega tuleks kasutada kujundavaid tööendeid, et otsustada, millal üldistada.

### **Bloom: õppematerjali täielik omandamine**

Bloomi lähtekoht, et enamik õppijaid suudab omandada põhiteadmised ja -oskused, kui neil on piisavalt aega ja nad saavad tagasisidet ja korrigeerivat juhendamist, väljendub väikestes eesmärkides, kiirkontrollides ja kordushindamise võimalustes. Näiteks võib elektriahelate teemas enne avatud disainiülesannete juurde asumist nõuda ohutuse ja protseduuride valdamise kontrolli. Õpilased kogevad edu, õpilüngad ja laboririskid vähenevad. Probleem võib tekkida ajajuhtimisega: prioriteediks tuleb seada „hädavajalikud“ õpitulemused, et õppematerjali täieliku omandamise tsüklid ei takistaks ainekava läbimist.

### **Ausubel: tähenduslik õppimine**

Kuna varasemad teadmised suunavad uue õppimise kulgu, soovitab Ausubel kasutada eeldusorganiseerijaid (ingl *advance organisers*), mõistekaarte ja hoolikalt piiritletud analoogiaid. Elektriõpetuses võib liiklusvoo analoogia aidata luua esmase arusaama voolust ja takistusest, mida seejärel täpsustatakse, et vältida väärarusaamu. Õppijad seostavad uued ideed püsivate kontseptuaalsete süsteemidega. Kui varasemad arusaamad on ekslikud, tuleb need varakult diagnoosida, vastasel juhul võib eeldusorganiseerija hoopis väärteadmisi kinnistada.

### **Bruner: avastusõpe**

Bruner suunab õppijad mõistma õppeaine struktuuri andmete ja nähtuste põhjal; näiteks koostavad õpilased gaasiseaduste teemas graafiku rõhu (P) ja ruumala (V) vahel ning pakuvad välja pöördvõrdelise seose enne selle sõnasdamist. Avastusõpe võib suurendada vastutustunnet ja teadmiste ülekantavust. Puhas avastusõpe võib aga algajaid frustrerida, seetõttu tuleks see siduda läbi mõeldud vihjete ja kontrollidega. Et säilitada õppe kättesaadavus, kõrvutab tekst seda lähenemist kogumikus käsitletud juhendatud variantidega.

### **Gagné: juhendatud avastusõpe (üheksa õpisündmust)**

Gagné järjestus, millesse kuuluvad tähelepanu, eelneva meenutamine, stiimul, juhendamine, sooritus, tagasiside, hindamine ja ülekandmine, on uurimusliku õppe struktureerimise mudel. Elektriskeemide õppimise tunnis käivitab uurimise vastuolu või probleemolukord, millele järgneb toetatud lahenduse otsimine; tagasiside on vahetu ning tunni lõpetab loov ülekandeülesanne. Õpilased teavad, mida järgmisena teha ja miks see on oluline. Samas võib liigne ettekirjutatus õppijate agentsust piirata. Tuleb kavandada, kuidas toetavaid struktuure kiirelt ja järkjärguliselt eemaldada.

## **Perry & Kuhn: intellektuaalne areng ja teaduslik mõtlemine**

See on areng dualismist hindava mõtlemiseni, mis rõhutab väidete hindamist tõendite alusel ning teadlikku tegelemist ebakindlusega. Struktureeritud akadeemiline arutelu kliimaprobleemide lahenduste üle koos põhjenduste ja vastuväidetega arendab episteemilist mõtlemist. Õppijad õpivad oma seisukohti tõenditest lähtudes muutma. See on teadusliku mõtlemise tugevus. Selgete kriteeriumiteta võib arutelu taanduda retoorikaks, mistõttu peab diskussioon tuginema andmetele ja mehhanismide mõistmisele.

## **IV osa sisaldab 11 konstruktivistlikku ja õpiteaduste teooriat**

### **Dewey: pragmatism**

Dewey seob õppimise eesmärgipärase ja kogukondliku tegevusega. Näiteks asetavad kooli energiakasutuse audit või veekvaliteedi seire loodusteaduse eluliste probleemide konteksti. Õpilased koguvad kohalikke andmeid, täiustavad korduvalt lahendusi ning esitlevad neid autentsele sihtrühmale. Tulemuseks võib olla motivatsiooni suurenemine, teadmiste ülekantavus ja kodanikuidentiteedi kujunemine. Ohuks on kaldumine „teenusesse ilma teaduseta“. Loodusteaduslikud ideed peavad jääma keskele kohale.

### **Kolb: kogemusõppe tsükkel**

Kolbi tsükkel (kogemus, refleksioon, kontseptualiseerimine, katsetamine) kirjeldab hästi heade laboritundide rütmi. Ensüümide uurimisel analüüsivad õppijad kõrvalekaldeid, kohandavad oma mudeleid ja testivad neid uuesti. Tulemuseks on metakognitsiooni areng ja järkjärguline täiustamine. Refleksioon peab olema struktureeritud näiteks küsimuste või tõendusmaterjali abil, vastasel juhul võib see taanduda ebamääraseks päevikupidamiseks.

### **Bruner: sotsiaalne konstruktivism**

See käsitlus rõhutab keele ja kultuuriliste vahendite rolli teadmiste kujunemisel. Dialogil põhinevad aruteluvõtted ning representatsioonide tõlkimine (graafik ↔ tabel ↔ tekst ↔ mudel) on peamised tunnis kasutatavad meetodid. Õpilased harjutavad teaduslikku diskursust ja loovad ühiselt tähendusi. Pelgalt osalemisest ei piisa – õpetaja peab neid suunama täpsuse ja põhjenduste esitamise poole. See lähenemisviis tugevdab nii kontseptuaalset arusaamist kui ka suhtlemisuskust.

### Võgotski: sotsiaalse arengu teooria / lähima arengu tsoon (ZPD)

Võgotski vahendatud õppimise teooria kohaselt võimaldavad tugistruktuurid saavutada tulemusi, mis ületavad iseseisva õppimise taseme. Lausete algsosad („Trend näitab, et ..., sest ...”) ning ekspertide ja algajate paardesse panemine võivad pädevuse kasvades järk-järgult kaduda. Õpilased kogevad edu ka keeruliste ülesannete lahendamisel ja omandavad selleks vajalikke strateegiad. Liigne tugiraamistik tekitab sõltuvust, seega tuleb kavandada selge toetusest loobumise ajakava.

### Situatsioonitunnetus ja kognitiivne õpipoisiõpe

Õppimine on osalemine autentses praktikas, kus tegevust toetatakse kindlas järjestustes liikudes: näiteks liigub õpetaja modelleerimiselt → juhendamisele → toe järkjärgulisele vähendamisele. Õpetaja võib esmalt mudeldada probleemide lahendamist, seejärel juhendada väikeseid rühmi ning lõpuks lasta õpilastel katset iseseisvalt korrata. Õpilased omandavad eksperdile omaseid töövõtteid, mitte ei jõua üksnes õigete vastusteni. Autentsed piirangud (piiratud aeg, mürarikad andmed) hoiavad ülesanded realistlikena. Tuleks vältida kunstlikke „õpipoisiõppe“ olukordi, mis matkivad vormi, kuid mitte teadusliku praktika sisulist olemust.

### Võgotsky–Leontjev–Engeström: tegevusteooria

Tegevusteooria analüüsib terviklikku süsteemi (subjekt, vahendid, reeglid, kogukond ja tööjaotus), mistõttu õpetajad kujundavad labori „ökoloogia“, määravad roteeruvad rollid ning arutavad tagasivaates tööprotsessi kitsaskohti. Koostöö paraneb ja osalus muutub õiglasemaks. Õpilased näevad teadust kui sotsiaalset ja abivahendite toel teostatavat tegevust. Tuleks vältida jäiku rollipiire; rollideülene väljaõpe aitab säilitada paindlikkust.

### New London Group: mitmikkirjaoskus

Raamatus rõhutatakse teaduse multimodaalsust ja mitmekeelsust. Õpilased võivad selgitada oma arusaamu videote ja subtiitritega, kakskeelsete infograafikute või andmete visualiseerimise kaudu, mida hinnatakse ühtsete teaduslike kriteeriumite alusel. Mitmikkirjaoskus loob ligipääsu mitmekeelsetele õppijatele ja tugevdab esitusoskust. Silmapaistvad vormilised lahendused võivad varjata nõrka arutluskäiku, seetõttu peavad hindamisjuhendid eelistama täpsust ja tõendusmaterjali kasutamist. Tasakaalustatud lähenemise korral paraneb õpilaste väljendusoskus ilma teaduslikku sisu lahjendamata.

## Projekt- ja probleemõpe

Projekt- ja probleemõpe näevad ette põhjalikku uurimistööd, mis keskendub peamisele uurimisküsimusele, tagasiside–parandamise tsüklitele ja avalikule lõpptulemusele, näiteks ülikoolilinnaku soojussaarte vähendamine termilise kaardistamise ja prototüüpimise abil. Õpilased lõimivad eesmärgistatult modelleerimise, uurimise ja argumenteerimise. Ajakulu on märkimisväärne, seetõttu aitavad vahe-eesmärgid ja sihitud minitunnid hoida ainesisu kindlates raamidest. Õigesti juhendatuna annavad projekt- ja probleemõpe püsiva arusaamise ja koostööoskused.

## Ernst von Glasersfeld: radikaalne konstruktivism

Siin hinnatakse teadmisi nende toimivuse (selgitus- ja ennustusvõime) järgi, mitte pelgalt õige meeldejätmise alusel. Gaaside õppimisel pakuvad õppijad välja konkureerivaid osakeste mudelid ja testivad, milline neist paremini uusi tingimusi ennustab. Loovus ja sügav tähendusloome saavad areneda. Oht seisneb relativismi kaldumises; toimivuse kriteeriumid (sidusus, lihtsus/ökonoomsus, ennustatavus) peavad olema selgelt sõnastatud.

## George Kelly: isiksuslike konstruktide teooria

Õpilastel on isiksuslikud „konstruktid“, mis filtreerivad nende kogemust. Õpetamine toob need esile, testib ja muudab. Kontrollküsimuste esitamine (näiteks „Mida loetakse jõuks?“) erinevates kontekstides muudab mõtlemise nähtavaks ja seab sihid muutusteks. Oodata on teravamat metakognitsiooni ja sihipärasemaid kontseptuaalseid muutusi. Ilma empiirilise vastandamiseta võib reflektiivne praktika aga eemalduda tunnis jagatud tõendusmaterjalist.

## Andrea diSessa & David Hammer: „Tükikaupa saadud teadmised“ (*Knowledge in Pieces*)

„Tükikaupa saadud teadmiste“ puhul käsitletakse väärarusaamu kontekstist sõltuvate tunnetuslike ressurssidena („p-prims“), mida tuleks õpetamisel ära kasutada ja edasi arendada, mitte lihtsalt kõrvaldada. Vastandlikud juhtumid (nt hõõrdumiseta vs. hõõrdumisega liikumine) ning ressurssidele keskenduv tagasiside aitavad suunata mõtteviisi „liikumine vajab jõudu“ arusaama poole, mis põhineb netojõu põhjendamisel. Õpilased tunnevad, et nende ideid väärtustatakse, ning muudavad oma arusaamu enesekindlamalt. Hea diagnostika väljatöötamine nõuab aega, kuid tulemuseks on püsiv ja põhjalikum kontseptuaalne areng.

## V osa sisaldab viit muud intellektuaalsusel ja oskustel põhinevat teooriat

### Howard Gardner: mitmikintelligentsus

Mitmikintelligentsuse teooria laiendab ligipääsu õppimisele, tunnustades erinevaid võimeid (ruumiline, kehalis-kinesteetiline, naturalistlik, muusikaline jne), mida käsitletakse kogumikus „muude“ lähenemisviisidena kaasavas loodusteadusteaduslikus hariduses. Õpetajad võivad vahetada väljendus- ja tööviise – näiteks ökosüsteemide joonistamine välitingimustes, osakeste mudelite loomine, helimaastike komponeerimine lainehelidest –, hinnates õpilasi samal ajal ühte teadusliku hindamissüsteemi alusel. Õpilased, kellel on raskusi tekstimahukate ülesannetega, paistavad siin sageli silma, mis suurendab üldist kaasatust. Tuleks vältida õpilaste sildistamist ja roteerida töömeetodeid, et igaüks saaks areneda ja end proovile panna.

### Süsteemimõtlemine

Süsteemimõtlemine annab õppijatele oskused analüüsida tagasisidet, viivitusi ja vastastikust sõltuvust selliste keeruliste nähtuste puhul nagu kliima või haiguste levik. Tunnis joonistavad õpilased põhjuse-tagajärje ahelaid ja varude-voogude mudeleid ning katsetavad võimalikke sekkumisi. Tulemuseks on soovimatute tagajärgede ja mõjupunktide parem mõistmine. Ohuks on ebamäärasus („kõik on kõigea seotud“), seega tuleb piirid ja muutujad rangelt paika panna.

### Sugu/sekuaalsus (võrdõiguslikkuse vaatenurk)

Selget võrdõiguslikkust silmas pidav lähenemisviis uurib esindatust ja osalust, suunates õpetajaid vahetama kõrge staatusega laboratoorsete ülesannete täitjaid, jälgima kõneaja pikkust ja valima kaasavaid kontekste. Marginaliseeritud rühmadest pärit õpilased kogevad suuremat kuuluvustunnet ja saavutavad paremaid õpitulemusi, kui osalemine on teadlikult kavandatud, mitte eeldatud. Võrdõiguslikkuse edendamine peab põhinema andmetel ja olema järjepidev protsess, mitte ühekordne õppetund. Teema paigutus raamatus rõhutab selle lähenemise läbivat olulisust kõigis teemavaldkondades.

28. peatükk keskendub ka **virtuaaltehnoloogia rollile loodusteaduslikus hariduses**, mis lisati 2. väljaandes otsese vastusena COVID-19 pandeemia põhjustatud muutustele. Peatükis uuritakse, kuidas virtuaallaborid, simulatsioonid, liit- ja virtuaalreaalsuse vahendid ning muud digikeskkonnad saavad toetada loodusteaduste õppimist olukordades, kus füüsiline ligipääs seadmetele, materjalidele või kooliruumidele on piiratud. Peatükis tuuakse esile nende tehnoloogiate võime süvendada kontseptuaalset arusaamist, võimaldades

õpilastel visualiseerida abstraktseid protsesse, korrata katseid ohutult ning manipuleerida muutujatega, mille kasutamine pärislaboris oleks liiga kulukas, ohtlik või ebapraktiline.

Peatükis rõhutatakse võrdsuse ja ligipäasetavuse tähtsust, märkides, et läbimõeldult kasutatavad virtuaalsed vahendid võivad laiendada osalust loodusteadustes, pakkudes ühtseid õpikogemusi sõltumata kooli ressursidest. Samas kritiseeritakse liigset tuginemist virtuaalkeskcondadele ja hoiatatakse õpetajaid, et nad peaksid võimaluse korral tasakaalustama digitaalseid vahendeid praktiliste, uurimuslike õpikogemustega. Kokkuvõttes ei käsitleta 28. peatükis virtuaaltehnoloogiat traditsioonilise loodusteaduste õpetamise asendajana, vaid **pedagoogiliste võimaluste** avarajana, mis võib tugevdada tänapäevase loodusteadusliku hariduse paindlikkust, vastupidavust ja kvaliteeti.

### Põlisrahvaste teadussüsteemid

Väljaandes tunnustatakse põlisrahvaste teadmisi lääne teaduse väärtusliku partnerina, julgustades rakendama kohalikul tasandil ühiselt kavandatud uurimistööd ja kahepoolseid tõenduspõhiseid selgitusi. Ilmastiku- või ökoloogiaõppe raames võib kohalikud vaatlused ühendada mõõteriistade näitudega ja kaasata kogukonna nende ühiseks tõlgendamiseks. Õpilased omandavad kultuurilise asjakohasuse, eetilise teadlikkuse ja sügavama ökoloogilise mõistmise. Pealiskaudne või sümboolne kaasamine on riskantne, seega on vajalik tegelik partnerlus, selged kokkulepped ja vastastikune austus.

### STEAM ja 21. sajandi oskused

STEAM lõimib kunsti ja disaini STEM-valdkondadega, samas kui 21. sajandi trendid rõhutavad koostööd, suhtlemist, loovust ja eetikat. Raamatus käsitletakse neid kui põhiteooriate kaasaegseid laiendusi praktikas. Näiteks illustreerib sellist lõimimist madala kuluga veefiltri kavandamine koos andmete kunstilise visualiseerimise ning kaheosalise (sisu + oskused) hindamisjuhendiga. Õpilased arendavad innovaatsilisust, kinnistades samal ajal aineteadmisi. Samas võivad visuaalselt kaunid lõpptooted varjata pealiskaudset teaduslikku sisu, seega peavad hindamiskriteeriumid tuginema täpsusele ja tõendusmaterjalile.

## Võimalikud täiendused

Siiski võiks kaaluda ka muid kaasaegseid teooriaid.

*Humanistlike teooriate hulgast võiks tutvuda järgmistega.*

- a) Kultuuriliselt asjakohane pedagoogika (Ladson Billings) – tugineb otseselt humanistlikele ideedele, mille keskmes on õppijad ja nende kultuurilise taustaga arvestamine.
- b) Kultuuriliselt jätkusuutlik pedagoogika (Paris & Alim) – laiendab humanistlikku fookust kultuuriliste ja keeleliste tavade säilitamisele.
- c) Teadmiste fondid (Funds of Knowledge) (Moll jt) – haakub tugevalt humanistliku huviga õppijate elukogemuste ja kogukondlike seoste vastu.

Need teooriad süvendavad raamatu humanistlikku raamistikku, tagades kultuuriliste ja kogemuslike mõõtmete selge teoreetilise käsitluse.

*Biheivioristlike ja kognitivistlike teooriate hulgast võiks tutvuda järgmistega.*

- a) Teadusidentiteedi teooriad (Carlone & Johnson, Brickhouse jt) – seovad tunnetusprotsessid ja motivatsiooni sellega, kuidas õppijad näevad iseenast seoses teadusega.
- b) Kogukondlik kultuuriline kapital (Yosso) – käsitleb õppijate varasemaid kogemusi intellektuaalse ressursina, mis kujundab kognitiivset kaasatust.
- c) Universaalne õppimise disain – pakub kaasavat kognitiivset raamistikku, mis toetab erinevate õppijate ligipääsu õpisisule.

Need teooriad tagavad, et kognitiivse arengu käsitlused hõlmavad ka võrdõiguslikkusele suunatud seisukohti selle kohta, kuidas õppijad sõltuvalt kultuurilistest, struktuursetest või identiteediga seotud teguritest erineval viisil osalevad.

*Konstruktivistlike teooriate hulgast võiks tutvuda järgmistega.*

- a) Sotsiokultuurilised diskursusteooriad (Gee, O'Connor & Michaels) – täiendavad suurepäraselt Vygotsky, tegevusteooria ja mitmikkirjaoskuse käsitlusi.
- b) Kriitiline pedagoogika (Freire) – lisab poliitilise mõõtme konstruktivistlikele aruteludele võimu, osaluse ja õpilaste hääle kohta.
- c) Loodusteadusliku hariduse dekoloniseerimise raamistikud – arendavad edasi raamatu kirjelduses mainitud põlisrahvaste teadmiste peatükki (tugevdab kontseptuaalset alust, mitte ei käsitle põlisrahvaste teadmisi pelgalt täiendusena).

- d) Sotsiaalteaduslike küsimuste (SSI) teooria – haakub projektipõhiste ja konstruktivistlike lähenemisviisidega ning kaasab õppijaid autentsesse, kultuuriliselt ja poliitiliselt tähenduslikku probleemide käsitusse.

*Konstruktivistlikke teooriaid* käsitlevad peatükid keskenduvad praegu peamiselt õppeprotsessidele, kuid vähem sellele, kes osaleb ja kelle teadmisi peetakse legitiimseks. Võrdõiguslikkuse teooriad muudavad need protsessid kaasavaks ja õiglusest lähtuvaks.

*Oskuspõhiste ja intellektuaalselt suunatud teooriate hulgast võiks tutvuda järgmistega.*

- a) Feministlik loodusteaduste pedagoogika – toetab sooliselt kujunenud osalusmuustrite analüüsi keerukas teaduslikus arutelus.
- b) Kriitiline rassiteooria loodusteaduslikus hariduses – pakub struktuurset analüüsi sellest, miks intellektuaalsed võimalused loodusteadustes ei ole võrdselt jaotunud.

Need täiendused laiendavad arusaama sellest, kuidas struktuurne, rassiline ja sooline dünaamika mõjutavad õpilaste võimalusi arendada teaduslikku mõtlemist.