

KATASTROOFITEOORIA: KAS ALASTI KUNINGAS VÕI UUS KVALITEET OBJEKTIIVSE REAALSUSE KIRJELDAMISES?

Peeter Mürsepp

Käesolevas artiklis puutume kokku ühe uusaja teaduse ja filosoofia peaprobleemiga. Mõeldud on küsimust matemaatiliste mõistete ning nende kombineerimise tulemusena moodustunud struktuuride seostatavusest objektiivse reaalsusega. Sekundaarse probleemina tuleneb samast matemaatika rakendatavus. Eriti akuutseks muutub nimetatud probleemistik nüüdisajal nn. järelnitteklassikalise teaduse tekkest peale.

Alates Galilei-Descartes'i-Newtoni algatatud klassikalisest teadusest kaotas matemaatika oma positsiooni teaduslikus maailmapildis, muutudes pelgalt teaduskeeleks-abivahendiks, mis on põhimõtteliselt rakendatav mis tahes teadmishaldkonnas. Teadusliku teadmise klassikalisel arenguetapil polnud kirjeldatud muutus pidurdavaks teguriks. Pigem vastupidi. Muutuse suuruse kasutuselevõtt ja koordinaatide meetod andsid matemaatika sisemisele arengule suure kiirenduse. Olukord hakkas muutuma möödunud sajandi lõpul, kui uued teadusteooriad löid esimesed arvestatavad mõrad Laplace'i determinismil rajanenud maailmapilti. Kvantmehaanika võidukäik näitas, et mitte kõik looduslikud süsteemid pole deterministlikud. Nn. deterministliku kaose alased uuringud lubavad väita, et süsteemi deterministlikkus ei taga süsteemi prognoositavust.¹ Viimatimainitu on – tõsi küll – juba viimase poolsajandi tulemus, kuigi esimesed sammud deterministliku kaose kujunemise stsenaariumi loomisel astus H. Poincaré aastal 1889, tegeldes nn. kolme keha probleemiga.

Deterministliku maailmapildi lagunemisel kujunenud mitteklassikaliste ja hilisemate järelnitteklassikaliste teadusteooriate formaliseerimine osutus diferentsiaalvutusel põhinevate matemaatiliste meetodite abil võimatuks. Viimastega saab küll modelleerida muutlikke protsesse, kuid muutumine peab seejuures kulgema katkestusteta. See nõue välistab kvalitatiivse hüppe formaliseerimise võimaluse.

Mõiste *kvalitatiivne hüpe* mainimine suunab meid ühe olulise matemaatikaga seotud metodoloogilise probleemi juurde. Teatavasti

tegeleb matemaatika peaaegselt kvantitatiivsete suhetega. Filosoofid seevastu näitasid juba antiikajal, et arenemisprotsessi osadena vaadeldavad nähtused pole pelgalt kvantitatiivset külge arvestades tunnetatavad. Meid huvitab küsimus, ons põhimõtteliselt võimalik objektiivses reaalsuses kulgevate protsesside kvalitatiivse külje kirjeldamine matemaatika vahenditega. Arvestades matemaatika valdkonnas viimasel aastasajal kordasaadetut, on vastus eelnevale küsimusele selgelt jaatav, kuigi erinevast interpretatsioonist johtuvalt õnnestub põhjendada vastupidistki seisukohta.

Kirjeldatud antinomia süvalahkamist käesoleva artikli raamid ei võimalda. Seetõttu sõlmime teatud mõttes kompromisskokkuleppe: eeldame, et nüüdisteaduse kasutuses on paratamatult matemaatilisi meetodeid, mida võib nimetada kvalitatiivseks, kuna nende rakendamisel pööratakse põhitähelepanu saadavatele üldhinnangutele, mitte konkreetsetele arvuliselt väljendatavatele tulemustele.

Nüüdis põhjustasid uued täppisteaduste (eelkõige füüsika) saavutused deterministliku maailmapildi järkjärgulise asendumise stohhastilisega, mis omakorda ei saanud jätta puudutamata matemaatika arengut. Nimetatud globaalsest paradigmvahetusest alguse saanud arenguliini ühel harul paikneb ka meie artikli põhiobjekt – katastroofiteooria. Enne kui asuda käsitlema seda vastuolulisi hinnanguid pärvinud distsipliini, näitame siiski ära järgnevate arutluste üldmetodoloogilise baasi.

Eelkirjeldatud teaduslik-maailmavaatelised paradigmad (deterministlik ja stohhastiline) tuginevad kahele vastandlikule metodoloogilisele orientatsioonile – Parmenidese ning Herakleitose omale.² Neist esimene esindab eelkõige püsivate, stabiilsete, invariantsete struktuuride otsingut. See lähenemine leiab väljenduse tasakaaluliste mudelite konstrueerimises. Sellised on mehaanilised, homöostaatilised, kvantmehaanika mudelid. Parmenidesliku orientatsiooni puhul on muutlikkus teisejärguline, tuletuslik nähtus. Sama joon jäi valdavaks veel mittedeterministliku paradigma domineerimise algperioodilgi. Olulise nihke põhjustasid alles Ilya Prigogine'i ja H. Hakeni algatatud sünergeetilised meetodid. Nende puhul on kesksel kohal ebastabiilsus kui metodoloogiline lähtekoht. Stabiilsus omakorda taandub harvaks erijuhuks. Sellist teadusmetodoloogiat joont võib nimetada herakleitoslikuks, sest just Herakleitose varadialektilisest õpetusest saab alguse arusaam maailmast kui pidevas voolamises osalevate protsesside kogumist. "Samasse jõkke astujatele voolavad ükskord ühed, teine kord teised veed".³ Teisal on Herakleitos arutlenud: "See kosmos on kõigi jaoks üks ja sama, teda pole loonud ükski jumalatest ega ükski inimestest, vaid ta on alati olnud igavesti elava tulena, kord süttiva, kord kustuvana."⁴ Nüüd tekib kindlasti küsimus, kas kahe ja poole aastatuhande vältel pole tõesti midagi paremat välja mõeldud, kui et maailm on tuli. Loomulikult

on inimkonna käsutuses oleva süstematiseeritud informatsiooni hulk tohutult kasvanud. Kas see tähendab ühtlasi, et tänapäeva inimene on Vana-Kreeka polise kodanikust targem? Herakleitost järgides nii väita ei saa. Sama olukord valitseb ka teaduse metodoloogias. Tänapäeva teadus paikneb antiiksega võrreldes totaalselt erineval tasandil. Sellele vaatamata sobib herakleitoslik mõtteviis kõige uemate täppisteaduslike teooriate metodoloogiliseks aluseks.

Täppisteaduslike uuringute viimine uuele metodoloogilisele alusele oli vajalik mitmest aspektist. Ainult muutlikkust ja juhuse osatähtsust tunnustav mõtteviis võimaldab vähegi adekvaatselt peegeldada arenguprotsessiga seotud nähtusi. On võimalik arvestada historismi printsiipi, millele klassikaline täppisteadus tähelepanu ei pööranud. Samuti avaneb võimalus lülitada uuritavasse protsessi vaatleja.

Sellise ajaloolis-metodoloogilise tagapõhjaga uurimistöö käigus loodi meie arutluse huviobjekt – katastroofiteooria. Järgnevalt püüame määrata katastroofiteooria koha tänapäeva täppisteaduses ning anda sellele vastuolulisi hinnanguid põhjustanud matemaikalõigule maailmavaateline hinnang. Nentigem alustuseks sarnasust katastroofiteooria tekke ja meie arutluse vahel Parmenidese ja Herakleitose joone üle teaduse metodoloogias. Viimase puhul viitasime bioloogia probleemidele pühendatud artiklile. Katastroofiteooria omakorda kujundati algselt välja matemaatilise aparaadina teoreetilise bioloogia mõningate valdkondade (eelkõige raku morfogeneesi uurimine) formaliseerimiseks.

Võtame vaatluse alla järgmise probleemiringi. Selgitame katastroofiteooria suhet varasematesse matemaatilistesse teooriatesse ja püüame määrata selle teooria paradigmalise kuuluvuse. Alustame lühiülevaatega teooria kujunemise põhilistest eeltähistest. Katastroofiteooria ajaloo esitavad kompaktsel viisil Alexander Woodcock ja Monte Davis.⁵ Nimetatud autorite käsitus põimub samuti tihedalt bioloogiaga. Katastroofiteooria kaugete lähteideedena mainivad nad D'Arcy Thompsoni ja Waddingtoni uurimusi, samuti Bernhard Bavinki uurimusi gestaltpsühholoogiast. Suhteliselt põgusalt libisevad autorid üle ameerika matemaatiku H. Whitney töödest. Nende osatähtsus katastroofiteooria tekkeloos aga väärib rõhutamist. Aastal 1955 näitas H. Whitney, et kõigil juhtudel peale üksikute erandite on sileda pinna projekteerimisel tasandile parajasti kaht tüüpi iseärasusi.⁶ Nimetatud tüüpi projektsioone kohtame objektiivses reaalsuses igal sammul. Enamik meid ümbritsevaid kehi on piiratud siledade pindadega. Kehade nähtavad kontuurid kujunevad kehi piiravate pindade projekteerimisel silma võrkkestale. Nagu öeldud, on H. Whitney teooria järgi põhiliselt kaht tüüpi iseärasusi, mis põhjustavad vaatlusvigu. Neid iseärasusi on hakatud nimetama vastavalt *voldiks* ja *kurruks*. Esimene tekib sfääriliste pindadega piiratud

kehade vaatlemisel, teine eelkõige läbipaistvate rõngaste (tooride) visuaalsel uurimisel.⁷ Samasugused iseärasused said hiljem kaheks lihtsaimaks elementaarkatastroofiks R. Thomi teoorias, kusjuures kurdu on mudelite konstrueerimisel laialdasemalt rakendatud.

Eelnevast nähtub, et katastroofiteoorial on küllalt tihe seos objektiivse reaalsusega. Seda küll paraku ideelisel tasandil, nagu mitme teisegi matemaatilise teooria puhul. Konkreetne formaliseerimine muundab siingi teadusteooria matemaatilise keele osaks. Teoreemi katseline kontroll, nagu H. Whitney puhul, pole kaugeltki mitte alati võimalik. Siiski ei saa täheldada H. Whitney uurimuse põhimõttelist erinevust varasematest matemaatilistest kompilatsioonidest.

Katastroofiteooria väljatöötamise alguse fikseerivad A. Woodcock ja M. Davis ajaga, mil R. Thomil tekkis huvi H. Whitney topoloogiliste iseärasuste käsituse ja variatsiooniarvutuse seose vastu. Ajaliselt olid katastroofiteooria loomiseks vajalikud eeltööd tehtud 1964. aastaks. Järgmisel aastal esitas R. Thom hüpoteesi, mida pole küll lõplikult tõestatud, et väga laia nähtuste ringi jaoks on võimalikud ainult seitse püsivat iseärasust.

Milles seisnes vastloodud teooria? Alustame nimetusest. Mõiste *katastroofiteooria* võttis kasutusele E.C. Zeeman. Matemaatikas kutsutakse katastroofideks süsteemi oleku hüppelisi muutusi, mis tekivad süsteemi olekutele iseloomulike parameetrite ühtlasel muutmisel. Sääraste hüppeliste üleminekute kirjeldamisega tegeleb ka bifurkatsiooniteooria. Katastroofiteooria eesmärgid on laiemad. E.C. Zeeman tõi nimetuse *katastroofiteooria* matemaatikasse tähistamiseks ühe mõistega iseärasuste teooriast, bifurkatsiooniteooriast ja nende rakendustest teada olevat.⁸ Rangelt võttes on katastroofiteooria tekkimine niisiis pelgalt sõnamängu tulemus. Teisest küljest leidub teaduse ajaloos piisavalt näiteid sellise sõnaloomu viljastavast mõjust teadusteooriate arengule, sealjuures on sellist meetodit vahetevahel kasutatud täiesti teadlikult (näiteks H. Poincaré). Seega pole katastroofiteooria esimene matemaatiline meetod, mis võimaldab kirjeldada katkevusi sisaldavaid protsesse. Küll aga väideti katastroofiteooriale jõukohane olevat iga liiki hüppeliste üleminekute kirjeldamine, järelikult ka kvalitatiivsete muutuste liigitus. R. Thomi taotluste taga on tunduvalt laiemate üldistuste võimalikkus. Katastroofiteooria teaduslikkus tuginevat teooria sisemisele, matemaatilisele konsistentsile, mis lubab teha järeldusi, genereerides uusi vorme teisest vormihulgast, nõnda võimaldades meelisolukordades kvalitatiivseid prognoose. R. Thomi arvates on katastroofiteooria esimene järjekindel katse (pärast Aristotelese loogikat) ehitada teooria üles analoogiale. Katastroofiteooria tegelik eesmärk olevat klassifitseerida kõikvõimalikke analoogilisi situatsioone. Katastroofiteooria huvitub kõigi teaduste puhastamisest vanadest bioloogiliselt juurdunud kontseptsioonidest, et asendada nende vigane selgitusvõime morfo-

geneetiliste väljade täpse geomeetrilise käsitlesega.⁹ "Dünaamilised skeemid annavad koos ideedega atraktoritest, bifurkatsioonidest, katastroofidest, mis meenutavad Herakleitose kontseptsiooni võitlusest ja vastasseisust, meie käsutusse võimsa relva suvalise morfoloogilise protsessi dünaamilise päritolu rekonstrueerimiseks."¹⁰

Jõudsime oma arutluses punkti, kus filosoofilise kallaku puhul kerkib paratamatult küsimus: mis seos on katastroofiteoorial dialektikaga? Võimalus matemaatiliselt kvalitatiivseid hüppeid kirjeldada viitab meetodi hüpoteetilisele *dialektilisele* olemusele. Kas matemaatika puhul on mõtet dialektilisusest rääkida? Mõttetu see ilmselt pole, ehkki sageli püütakse väita vastupidist. Polnud ju matemaatikas liikumine ning isegi sõltuvus ajast katastroofiteooria tekkimisel enam ammu mingi uudis. Seega ei tohiks dialektika esitamiseks matemaatika keeles põhimõttelisi takistusi olla niikaua, kui asi püürdub tõlkimisega. On ju dialektika seadusi ja kategooriaid õnnestunud edukalt talletada teistsuguseidki kirjasüsteeme kasutades, kui on ladinä tähestik.

Kohe ilmub uus küsimärk. Kas on üldse vaja tõlkida dialektikat veel ühte keelde, pealegi veel sellisesse, mille elitaarsema osa peensusi valdab vaid kitsas spetsialistide ring. Teisest küljest aga ei tunne nimetatud spetsialistid oma keele kasutamisel meie maailma sees piire. Ning mis veel olulisem – tõlgitavus matemaatika keelde võimaldab konkretiseerida nähtuse teiste vahenditega kättesaamatuid aspekte.

Niisiis pole esialgne tees katastroofiteooria dialektilisest olemusest sisult mõttetu. Kahe vaatluse all oleva mõtteviisi samalaadilise kontrolli alustame kummagi põhimõistete võrdlusest. Dialektika puhul tuleb loomulikult olla täpne. Dialektika tüüpide hulgast valime klassikalise Hegeli dialektika. Põhikategooriatest tulevad vaatluse alla eelkõige *kvantiteet, kvaliteet, mõõt, hüpe, pidevus, katkevus, eesmärk*.

Arutlusele kindlama aluse loomiseks peaks eritlust alustama ajalooliselt esimesest põhjalikust kategooriate süsteemist – Aristotelese omast. Kuid enne Aristotelese kategooriate juurde asumist vaatleme veel Aristotelese õpetust nelja laadi põhjustest. Need olid teatavasti järgmised: 1) materiaalne põhjus; 2) formaalne põhjus; 3) liikumispõhjus ja 4) lõpp-põhjus. Meie käsitluse jaoks on oluline tähendus kahel viimasel, eelkõige kolmandal. Huvitab ju katastroofiteoreetikuidki liikuvate objektide või süsteemide kirjeldamine. Sama intentsioon jääb kehtima mõistete puhul. Sedamoodi mõistab kolmandat laadi põhjuse tähendust Aristoteles ise: "... see, millest saab alguse muutumine või üleminek rahuseisundis."¹¹ Tänapäeval on raske otsustada, mida täpselt pidas Aristoteles silmas rahuseisundi all. Vaevalt, et sellise intellektuaalse potentsiaaliga mõtleja pidas võimalikuks maapealsete objektide absoluutset liikumatust. Ilmselt on rahuseisundi mõiste tähenduselt lähedane tänapäevasele tasakaa-

luseisundi mõistele. Sel juhul järgib nn. järeldamisklassikaline täp-
pistealus otseselt Aristotelese skeemi. Keskseks uurimisobjektiks on
siin tasakaaluseisunditevahelised üleminekud (üleminekuseisundid).
Just siin asetseb põhjuslikkuse ahela see lüli, millele rakendatakse
katastroofiteooria formalismi.

Konkreetsete mudelite konstrueerimisel satub vaatluse alla muu-
tumise lähtemoment. Katastroofiteooria puhul sõltub kirjeldatava
süsteemi lõppseisund oluliselt vaadeldavate parameetrite algväärt-
tuste esialgse muutumise suunast. Kindlasti ei saa aga matemaat-
tilise meetodi puhul rääkida lõppeesmärgist teleoloogilises mõttes.
Seetõttu jääb edasine arutus siiski kolmanda põhjuselaadi sfääri
Aristotelese skeemis. Kategooriaga *eesmärk* seonduvad raskused tu-
lenevad sageli selle kategooria omapärasest dualismist.¹² Eesmärk
on üheltpoolt vaatluse all kui tunnetustegevuse seaduspärasus, kui
põhjusliku määratuse ja inimese eesmärkide suhe ning praktika ees-
märgistatud struktuur. Teiselt poolt on tegemist eesmärgi ning selle
alamkategooriate (otstarbekus, eesmärgipärasus) probleemiga tead-
vusest sõltumatus psüühikavälises tegevuses. Eesmärgi mõiste kasu-
tamine mõlemas tähenduses on põhjendatud bioloogilise eesmärgi-
pärasuse ja selle alusel kujuneva eesmärgi kui käitumise psüühilise
regulaatori geneetilise ühtsusega. Kategooria *eesmärk* teise varian-
di illustratsiooniks sobib peaaegu kogu bioloogiateaduse materjal.
Mõiste *eesmärk* ontoloogilise ja gnoseoloogilise mõtte küsimus päl-
vis tähelepanu eelkõige küberneetika võidukäigu ajal. Küberneetika
kui juhtimisteooria põhihuvi on teatavasti süsteemi üleminek ühest
olekust teise mingi eesmärgi kohaselt.

Küberneetikas fikseeritakse süsteemi soovitatav lõppseisund ta-
gasisidemehhanismiga. Katastroofiteooria mudelite puhul nii konk-
reetset fikseeringut ei ole. Küll aga võimaldab süsteemi käitumist
iseloomustavate parameetrite varasema muutumise suuna teadmine
prognoosida katastroofilise hüppe olemust. Seega mahub katast-
roofiteooria määratluse *mehaaniline* alla kategooria *eesmärk* teises
tähenduses. Siin mõistetakse eesmärki süsteemi tulevase, suhteliselt
lõpliku ja stabiilse seisundina, mis on tingitud objektiivsete seaduste
toimest.¹³ Nägime, et kategooria *eesmärk* suhtes ei saa katastroofi-
teooriat liigitada järeldamisklassikalise teaduse meetodite hulka. Vas-
tupidi, ilmneb pigem kalle põhjusliku determinismi kui teleoloogia
poole.

Enne katastroofiteooria ja Hegeli dialektika võrdlevat eritlemist
peatume, nagu eespool lubatud, veel Aristotelese kategooriate süs-
teemil. Esialgu oli Aristotelesel kümme kategooriat: 1) olemus,
2) kvantiteet, 3) kvaliteet, 4) suhe, 5) koht, 6) aeg, 7) asend,
8) omamine, 9) tegutsemine, 10) talumine. Hilisemates teostes
piirdub Aristoteles kaheksa, kuue või isegi nelja esimese kategoo-
ria vaatlemisega. Viimase juhuga ühinetakse käesolevaski arutluses.

Lisama peame aga liikumise, mida Aristoteles käsitleb kategooriana ainult "Metafüüsika" 7. raamatu IV peatükis: "... leidub ju mingi substraat nende kõigi jaoks (oleva liikidest - *P.M.*), näiteks: kvaliteedi, kvantiteedi, *millal* ja *kus* jaoks ning liikumise jaoks..."¹⁴

Koondame tähelepanu Aristoteelse süsteemi alamsüsteemile *kvantiteet*, *kvaliteet*, *suhe*. Aristotelesel on olemas tänapäevani hästi tuntud loogiline korrastatus. Ta mõistis suurepäraselt, et *kvantiteet* on *kvaliteedi* tarvilikuks tingimuseks. Mõlema alusel kujuneb aga *suhe*. Aristoteelse *suhtel* on ühiseid jooni Hegeli *mõõduga*, kuid identsed need kategooriad ei ole.

Kõrvutame kirjeldatud skeemi katastroofiteooriaga. Viimase kvalitatiivse iseloomuga mudelid võimaldavad ühtlasi kvantitatiivsetki eritlust. Aristoteelse käsitluses kutsub kvalitatiivne muutus esile suhte muutumise. Sama võib juhtuda ka kvantitatiivse kuhjumise tulemusena. Kategooria *suhe* sobib katastroofiteooria mudelite üldteoreetiliseks käsitlemiseks paremini kui *mõõt*. Nimetatud mudelid esitavadki parameetrite suhte. Katastroofiline hüpe saab võimalikuks parameetrite normaalse suhte rikkumise tulemusena.

Katastroof (kvalitatiivne hüpe) põhjustab pidevuse katkemise. Heidame pilgu kategooriapaari *pidevus*-*katkevus* generatsioonile Aristotelesel. "Füüsikast" ilmneb, et mõiste *pidevus* määratletakse ühtse, lõpmatult jagatava kaudu, *katkevus* omakorda jagamatutest osadest koosneva mitmuse või rohkuse kaudu.¹⁵ Pideva liikumise määratleb Aristoteles kui lõpmatult jagatava muutumise. Katkev liikumine seevastu on ühekorraga muutuv. Aristoteelse huvi keskmes on mõistete *pidevus*-*katkevus* vastuolu, mis pole aga ületamatu. Vastuolu ületatavus seisneb pideva objekti kujunemises mitme objekti ühinemise tulemusena. Mitmene kujuneb ühtseks, katkev pidevaks. Pidevus on katkevuste ühtsus. Vaatamata mõistelisele ühtsusele ei rõhuta Aristoteles kvalitatiivse hüppe momenti.

Seostame eelneva arutelu matemaatika arenguga. Aristoteelse käsitluse matemaatilise analoogiana võib vaadelda lõpmata väikeste suuruste analüüsil põhinevat diferentsiaal- ja integraalarvutust. Siingi täheldame pidevuse ning katkevuse ühtsust. Infinitesimaalarvutus on vaadeldav nii pideva kui ka diskreetse matemaatikana. Ometi jääb kvalitatiivse hüppe formaliseeritud kirjeldamine nimetatud matemaatikaharu meetoditega kättesaamatuks.

Katastroofi (hüppe) momenti rõhutav katastroofiteooria pole Aristotelesel kategooriaõpetusele ilmselt eriti lähedane. Mõningase erandi moodustab siiski liikumise mõiste. Siingi esitab Aristoteles neli liiki: 1) suurenemine (või vähenemine); 2) kvalitatiivne muutumine; 3) tekkimine ja hävimine; 4) liikumine kui ruumiline ümberpaiknemine. Viimane olevat kolme eelneva tingimus. Esimese ning kolmanda liigi puhul selles ilmselt kahtlust ei teki. Kvalitatiivse muutumise juht vajab aga eri analüüsi. Aristoteelse seisukohalt

kutsub objektis kvalitatiivsed muutused esile vaadeldava objektiga ühine uus objekt. Esimesel pilgul tundub niisugune seletus liialt mehhanistslik. Teisest küljest on võimatu tõestada vastupidist. Põhimõtteliselt on Aristotelesel tõenäoliselt õigus. Küsimus seisneb eelkõige selles, et kvalitatiivse hüpoteesi põhjustavad mittemõõdetavad kvantitatiivsed muutused. Üheltpoolt pole nad mõõdetavad väiksuse tõttu, teiselt poolt aga sisaldab objektiivne reaalsus ka põhimõtteliselt mittemõõdetavaid nähtusi. Viimased on maailmas ilmselt suures ülekaalus. Üleüldise mõõdetavuse korral ei saaks rääkida pidevatest protsessidest, kuna mõõtmiseks peame eeldama diskreetsust.

Ühendame järgnevalt Aristotelesel üldised arutlused seisukohavõttudega matemaatika olemuse suhtes. Matemaatilised objektid on filosoofi jaoks kindlasti olemas. Matemaatika pole seejuures teadus meeleliselt tunnetatavast, ka mitte sellest, mis eksisteerib viimasest sõltumatult.¹⁶ Aristoteles esitab geomeetria ja meditsiini analoogia. Meditsiin tegeleb objektiivses reaalsuses asetleidvaga. Geomeetriilisi kujundeid tegelikkuses küll ei leidu, kuid nende uurimise käigus avastatud seosed on argipäevas suurepäraselt rakendatavad. Haigus on samuti abstraktne mõiste. Igal konkreetsel juhul kulgeb ta erimoodi. Siinjuures ei tohi segi ajada meditsiini ja ravimist. Ravitakse konkreetse patsiendi konkreetset haigusjuhtu. Aristoteles arutleb meditsiini, mitte ravimise üle.

Abstraheeritud objekte uurib iga teoreetiline teadus. Abstraheerimise abil saadud tulemused leiavad süiski sageli rakenduse (ka matemaatika puhul) tegelikus elus. Ilmselt on mingis lähenduses põhimõtteliselt võimalik välja töötada üldistele kvalitatiivsetele muutustele vastav matemaatiline aparaat. Aristoteles esitas esimesena põhjaliku, mittemehhanistsliku kvalitatiivsete muutuste käsitluse. Kvalitatiivne muutumine Aristotelesel tõlgenduses pani aluse tunnetusteoreetilisele suunale, mis on tänapäevaks viinud käesoleva artikli ühe probleemini, kvalitatiivsete hüpoteesi formaliseeritavuseni.

Aristotelesel kategooriaõpetuse ja kvalitatiivsete muutuste käsitluse ning katastroofiteooria põhimõistete vahel pole otsesest sarnasust. Võib täheldada vaid üldskeemide analoogiat. Mõlema kontseptsiooni puhul on huvikeskmes samad kategooriad: *kvantiteet, kvaliteet, liikumine*.

Aristotelesest arvates ajalooliselt järgmisena võib meie ülesannet katastroofiteooria olemuse kindlaksmääramisel aidata edukalt lahendada Hegeli dialektika. Kanti staatiline kategooriaesüsteem arvestatavat perspektiivi ei paku.

Asume asja juurde. Olemine sisaldab Hegeli käsitluses kolm astet: kvaliteedi, kvantiteedi ja mõõdu. Miski lakkab olemast miski ise, kui ta kaotab oma kvaliteedi. Kvantiteet on olemise-sisene. Mõõt on kvaliteedi ja kvantiteedi ühtsus.¹⁷ Hegeli kvantiteedikategooria ühisjooned matemaatiliste terminitega on ilmsed. Kvantiteet

on Hegeli käsitusel samaaegselt nii diskreetne kui ka pidev.¹⁸ Seda sama võisime teatavasti väita lõpmata väikeste suuruste tõlgenduse puhul. Hegeli arutluskäik kvantiteedi küsimustes on ülekantav katastroofiteooria mudelitele. Täpsustuseks vaatleme veel kategooriaid *katkevus* ja *pidevus*. Mõlemad sisaldavad Hegeli sõnul nii pidevust kui ka katkevust (diskreetsust). Nende erinevus väljendub vaid selles, kumb määratlus on esikohal ning kumb avaldub iseneses.¹⁹ Hegel defineerib *pidevust* ja *katkevust* objektide kvalitatiivsust arvestamata, sarnanedes ses suhtes Aristotelesega. *Pidev* on Hegeli jaoks järkjärguline muutumine, *katkev* aga hüpe. *Pidev* on lõpmatult jagatav, *katkev* koosneb absoluutsetest esmaalgetest.

Kvaliteet on Hegelil abstraktne ja mahukas mõiste. Erinevad kvaliteedid võivad vastastikku muutuda. Iga kvaliteedi jaoks on piir, mille ületamisel see kvaliteet kaob. Miski on tänu oma kvaliteedile esiteks lõplik ja teiseks muutlik, nii et lõplikkus ning muutlikkus kuuluvad selle millegi olemisse.²⁰ Kvaliteedi piiri ei tohi Hegeli järgi segi ajada kvantitatiivse piiriga, mis on lihtsalt mingi suuruse tõkkeks.

Tänapäeva täppisteadus pole kvaliteedikäsitusel Hegeliga võrreldes üldteoreetilises plaanis midagi põhimõtteliselt uut saavutanud. Kvalitatiivsete matemaatiliste mudelite puhul märgatakse olemusliku muutust samuti alles pärast kvalitatiivse hüppe toimumist. Otustavat rolli etendab siingi kvaliteedi piir. Kvaliteedi piiri olemuse eritlusel võtame appi mõõdukategooria. "Mõõt on kvalitatiivselt eelkõige vahetuna määratud kvantiteet: ta on määratud kvantiteet, millega on seotud kindel tegelik olemine või kindel kvaliteet."²¹ Mõõt on seega kvaliteedi ja kvantiteedi ühtsust väljendav täiuslik olemine. Mõõdu osa nii inimapsühikas kui ka materiaalsete objektide puhul tunnustasid juba muistsed kreeklased.

Olemine võib kasvada või kahaneda mõõtu rikkumata. Seejuures ei jäta kvantitatiivne muutumine kvaliteeti täiesti puutumata. Mõõdus peituv kvaliteedi ja kvantiteedi ühtsus väljendub nii iseneses kui ka enese jaoks, sest kvaliteeti mittepuutuval kvantitatiivsel kasvul või kahanemisel on kindlad piirid, mille ületamine muudab kvaliteeti. Piirsituatsioonide terviklikuks käsitluseks on mõõdukategooria rakendamine paratamatult tarvilik. Kvantitatiivse muutumise kui tahes täpne kirjeldamine ei lahenda kvalitatiivse hüppe tingimuste probleemi. Viimast väidet kinnitavad kasvõi juba eleaat Zenoni apooriad. Erilist edu ei too ka kvalitatiivse muutuse enese ühekülgne analüüs.

Mis ikkagi juhtub mõõdusuhte rikkumisel? "Mõõdutuse (*das Maßlose*) on eelkõige mõõdu väljumine oma kvalitatiivse määratluse piirest oma kvantitatiivse loomuse jõul."²² Mõõdutuses kujuneb kohe uus mõõt. Tekib lõputu progress, mõõdu ületamine mõõdutuses. Viimasega seoses toob Hegel sisse sõlmjoone mõiste. Mõõdu tõttu põhjustab kvantiteedi piiridest väljumine ühtaegu muutuse ka

konkreetses kvaliteedis. Endise kvaliteedi asendab otsekohe uus. Sellist mõõduprotsessi tähistabki sõlmjoone mõiste.

Katastroofiteooria ja dialektika mõistestruktuuri kõrvutuseks funktsionaalsel tasandil võtame appi dialektika seadused. Esmalt vaatleme kvantiteedi üleminekut kvaliteediks. Kvantitatiivne muutumine ei saa teatavasti olla lõputu. Teatud hetkel peab ilmuma uus kvaliteet. Dialektika terminoloogia järgi peab toimuma hüpe. Katastroofiteoorias vastab viimasele katastroofi mõiste. Põhimõttelist erinevust nende kahe mõiste vahel pole. Vastavate terminite ebakorrektnesse kasutamise võib siiski olulist segadust tekitada. Vaatleme lähemalt, millised tüüpiprobleemid seejuures tekivad.

Hüppeks tavatähenduses oleme harjunud nimetama kiiret suuremastaabilist muutust teatud protsessi kulgemises. Seejuures ei pöörata tähelepanu katkevuse olemasolule. Viimase puudumisel pole alust rääkida ei dialektilisest hüpest ega matemaatilisest katastroofist. Teiselt poolt ei peeta suvalist pidevuse katkemist argielus kaugeltki hüppeliseks nähtuseks. Kas aga katastroofi eelduseks ikka on pidevuse katkemine? Katastroofi all mõistame üldiselt mingi objekti hävingut või mingit tüüpi seose purunemist. Ilmselt pole sel puhul kvaliteedi vahetuses kahtlust. Kuidas on siiski lood katastroofiga matemaatilises mõttes? Matemaatilisel tähendab katastroof hüppelist muutust, mis tekib süsteemi järsul reageerimisel välistingimuste sujuvale muutumisele.²³ Kas süsteemi säärase reageeringu korral on tingimata tegemist kvalitatiivse hüppega? Vastus küsimusele sõltub vaatenurgast. Teaduskeelena ei saagi matemaatika iseenesest sisaldada dialektika elemente. Ta võib neid rohkem või vähem adekvaatselt kirjeldada. Praegu ei tunne teadus dialektilise hüppe kirjeldamiseks paremat formalismi, kui pakub katastroofiteooria. Dialektilised hüpped pole teatavasti kaugeltki ühetüübilised. Sama kehtib matemaatiliste katastroofide puhul. Süsteemi käitumist kirjeldavate parameetrite arvu suurendamisel saab ilmselt lõpmatult tuletada järjest uusi katastroofitüüpe. Pole takistusi ka suure hulga eritüübiliste kvalitatiivsete hüpete fikseerimiseks. Sellise arenduse mõistlik vajadus küll puudub. Otstarbeka ülesandena tundub kvalitatiivsete hüpete klassifitseerimine. Just sellest aspektist võib katastroofiteooria olla dialektikale kasulik. Laias laastus jaotatakse kvalitatiivsed üleminekud sageli kahte rühma: järsud ja järkjärgulised hüpped. Asjatundmatule võib tunduda, et matemaatilistel katastroofidel võib olla midagi ühist vaid esimese kvalitatiivse muutuse tüübiga. Tegelikult ilmneb, et katastroofiteoorial põhinev mudel võib edukalt esitada ka järkjärgulisi hüppeid. Seda võimaldab näiteks üks R. Thomi tuletatud elementaarkatastroofidest – *liblikas*.

Lähemat kõrvutamist väärivad mõistepaar mõõt-bifurkatsiooni-hulk. Hüpoteesi viimaste vastavuse kohta on esitanud M. Zwick.²⁴ Mõõt määratleb end teiste suhtes vaid kvantitatiivselt erinevate su-

hetega. Need moodustavad omakorda mõõdud, mis segunevad sel-
listega, millel on vaid kvantitatiivne erinevus. Nii moodustub mõõdu
sõlmjoon suurema ja väiksema skaalal.²⁵ Hüpe toimub juhul, kui
uus kvaliteet on eelneva suhtes midagi täiesti teist. Eelmine ning uus
kvaliteet välistavad sel juhul teineteist.

Nagu öeldud, on kaht laadi kvalitatiivseid muutusi. Ühe laadi
puhul saab jälgida ühekordset muutust, teise korral võime tähelda-
da vaheastmeid. Vaheastme fikseeritavus sõltub muidugi oluliselt
konkreetselt interpretatsioonist.

Täpsustame järgnevat analüüsi keemiast laenatud näite varal.
Hegeli väitel ilmnevad ainete proportsioonide progresseeruva muut-
misel kvalitatiivsed sõlmed ja hüpped, nii et kaks ainet moodustavad
kvalitatiivselt erilisi ühendeid.²⁶ Midagi säärast leiab loomulikult
aset ka ainete suurema hulga korral. Sel juhul kasvab sõlmpunktide
arv pidevalt. Nimetatud sõlmpunktide tähendus ning roll kujun-
davad hüpoteesi sõlmpunktide vastavusest bifurkatsioonipunktidele
nüüdisaja täppisteaduses. Näiteks katastroofiteoorias moodustub
bifurkatsioonipunktidest bifurkatsioonihulk. Hegeli sõlmpunktidest
kujuneb mõõdu sõlmjoon. Katastroofiteooria puhul loob parameetri
väärtuse sisenemine bifurkatsioonihulka vaid kvalitatiivse hüppe
tarviliku tingimuse. Hüppe toimumine pole sellega veel tagatud.
Bifurkatsioonihulka kuuluvate parameetritega süsteemi kvalitatiivse
muutumise tingimusi kindlaks määrata pole katastroofiteooria raa-
mes võimalik. Teooria suudab kirjeldada küll pidevuse katkemist,
kuid mittetasakaalulist seisundit sageli tugevasti mõjutavad fluk-
tuatsioonid jäävad arvesse võtmata. Viimast asjaolu tuleb pidada
katastroofiteoreetiliste mudelite üheks põhipuuduseks, mistõttu ni-
metatud mudelid jäävad oma kvalitatiivsusele vaatamata suhteliselt
staatiliseks. Seetõttu kuulub katastroofiteooria metodoloogiliselt pigem
Parmenidese kui Herakleitose joonele. Kvalitatiivseks hüppeks
Parmenidese joonelt Herakleitose joonele pole matemaatiline mee-
tod suuteline. Sellega võib hakkama saada loodusteaduslik teooria,
näiteks sünergeetika.

Järeldamisklassikalises loodusteaduses olulist osa etendavad
fluktuatsioonid ei jäänud märkamatuks Hegelilegi. Täpsemalt väl-
jendudes on jutt asjaolust, et mõningatel tingimustel piisab kvalita-
tiivse hüppe vallandumiseks kaduvväiksest kvantitatiivsest nihkest.
Tekkimise järkjärgulisuse eelduse aluseks on ettekujutus, et tekkiv
eksisteerib juba eelnevalt kas tunnetes või tegelikkuses.²⁷ Sama keh-
tib muidugi ka kadumise kohta. Tekkimine ja lakkamine muutuvad
sisemise olemise väiksuseks.

Hegeli üldteoreetilisel käsitlusel kvantiteedi üleminekust kva-
liteedikaks ja vastupidi ning mõõdusuhetest on sarnasust tänapäeva
loodusteaduses ja nn. kvalitatiivsetes matemaatilistes meetodites esi-
nevaga. Nii võimaldab väita nimetatud distsipliinide põhimõistete

sisuline ühtsus. Mingeid lõplikke tõestusi vaatluse all olevas probleemiringis loomulikult esitada ei saa. Üldfilosoofilised kategooriad ning eriteaduslikud terminid on selleks põhimõtteliselt liialt erinevad. Paratamatult tuleb jääda analoogia tasandile.

Süüani vaadeldud kvalitatiivsed muutused on vaid üks dialektika aspekte. Katastroofiteooria seostub ilmselt paremini vastandite võitluse ja ühtsusega. Mudelites enim kasutatust leidnud elementaarkatastroof *kurd* põhineb otseselt vastanditena toimivate parameetrite vastastikuse seose interpreteerimisel. Dominantsuhte üleminekul ühelt vastandilt teisele toimub kvalitatiivne muutus. Seega saab *kurru* abil esitada mudeli, mis ühendab kaht dialektika seadust. Tõsi küll, esitus kannab suhteliselt elementaarse determinismi pitsert. *Kurru* rakendamine lisab dialektikakäsitlusele vaid skemaatilisust.

Huvitavamaid interpretatsioone võimaldab elementaarkatastroof *liblikas*. Viimasel põhinevates mudelites esineb lisaks kahele alternatiivseisundile veel kolmas, kompromiss-seisund. Selle põhjal kujuneb idee vastandite võimalikust leppimisest. Ilmselt ei pruugi süüsi ka kvalitatiivne hüpe toimuda tingimata ühest stabiilsest kvaliteedist teise, vaid viia hoopis kompromiss-seisundisse.

Käsitlemata on meil dialektilise arengukontseptsiooni tuum – eituse eituse seadus. Viimane ühendab eneses eespool käsitletud dialektika seadused, lisades arengu suuna. Seadus on arenguprotsessist abstraheeritud historismi printsiipi järgides. Ometi seostab Hegel eituse eituse selgelt kvalitatiivsete muutustega: “Lõpmatu väide kui eituse eituse evib nüüd oma pooltena kvaliteeti ja kvantiteeti varasemate abstraktsemate külgede, olemise ning eimillegi, millegi ja muu jne. asemel, s.t. α) kõigepealt läks kvaliteet üle kvantiteediks ning kvantiteet kvaliteediks ja see üleminek näitas, et olemuselt on nad mõlemad eitused; β) kuid oma ühtsuses (möödus) on nad algul teineteisest erinevad ning üks vahendab teist; γ) pärast seda, kui selle ühtsuse vahetus osutus ennastkõrvaldavaks, on ühtsus nüüd määratud sellega, et ta on iseeneses, lihtsa suhtega iseenesega, mis sisaldab iseeneses olemist üldse ja selle vorme kui kõrvaldatuid.”²⁸ Nüüsguse interpretatsiooni matemaatiline kirjeldamine pole võimaltu. Katastroofiteooria vahenditega on kõige loomulikum viis selleks mitme *kurru* järjestikune ühendamine. Formaliseeritud saavad seeläbi siiski eelkõige üksteisele järgnevad katkevused, mis pole eituse eituse põhituumaks.

Hegeli puhul on tegemist kvalitatiivsete hüpote spetsiifiliselt filosoofilise käsitlusega. Hegeli kategooriad on eriteadustes vaid tinglikult kasutatavad, omamata filosoofi poolt pakutuga adekvaatset tähendust. Sellised järeldused ei välista arenguprotsessis esinevate pöördeliste momentide modelleerimise võimalikkust ja otstarbekust.

Järeldusjärgne klassikaline, Herakleitose joonel püsiv loodusteadus on oma olemuselt paratamatult dialektiline. Viimasega koosarenevad

kvalitatiivsed matemaatilised meetodid võivad konkreetsete mudelite koostamisel olla abistavas funktsioonis, omamata otsest seost objektiivse reaalsusega. Tegemist on siiski erinevate tunnetusmeetoditega.

Käesoleva artikli pealkirjas esitatud küsimus jääb paraku kindla vastuseta. Väljapakutud alternatiividest pole kumbki sobiv. Katastroofiteooria pole saavutanud kuningaseisust. Tänu sellele ei ähvarda teda aga ka avalik alastus. Samuti ei saa väita, et katastroofiteooria oleks loonud uut tüüpi tunnetusmeetodi. Nii tundub vist küll ainult R. Thomile enesele. Vaatamata sellesuunalistele väidetele pole R. Thom suutnud oma teooriat kuigi edukalt herakleitoslikule metodoloogilisele jonele lähendada. Tundub, et katastroofiteooria puhul on parimal juhul tegemist vaheastmega matemaatika transformeerimisel teaduskeelest tunnetusmeetodiks. Jääb vaid loota järgmiste astmete peatset ilmumist. Võimalik, et näiteks fraktalite teooria on juba üheks neist.

KIRJANDUS

- ¹ M.A. Stone. Chaos, Prediction and Laplacean Determinism // *American Philosophical Quarterly*. Apr. 1989. Vol. 26, No 2. P. 123.
- ² А.П. Огурцов. Антропность биологии и образы человека // *Биология в познании человека*. Москва: Наука, 1989. С. 20–21.
- ³ Фрагменты ранних греческих философов. Ч. 1. Москва: Наука, 1989. С. 209.
- ⁴ Sealsamas. С. 217.
- ⁵ Vt.: A.E.R. Woodcock, M. Davis. *Catastrophe Theory*. Dutton, New York, 1978.
- ⁶ Vt.: H. Whitney. Mappings of the Plane into the Plane // *Ann. Math.* 1955. Vol. 62. P. 374–470.
- ⁷ В.И. Арнольд. Теория катастроф. Москва: Наука, 1990. С. 9–11.
- ⁸ Vt.: E.C. Zeeman. *Catastrophe Theory: Selected Papers 1972–1977*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1977.
- ⁹ Sealsamas.
- ¹⁰ R. Thom. *Topological Models in Biology* // *Towards a Theoretical Biology*. Chicago: Aldine Publishing Company, 1970. P. 115.
- ¹¹ Аристотель. Сочинения в четырех томах. Т. 1. Москва: Мысль, 1975. С. 146.
- ¹² М.Г. Макаров. Сложность и вариативность категорий диалектики. Ленинград: Наука, 1988. С. 144–149.
- ¹³ Sealsamas. С. 147.
- ¹⁴ Аристотель. Сочинения в четырех томах. Т. 1. С. 146.
- ¹⁵ В.С. Готт, Ф.В. Недзельский. Диалектика прерывности и непрерывности в физической науке. Москва: Мысль, 1975. С. 11.
- ¹⁶ Аристотель. Сочинения в четырех томах. Т. 1. С. 325.

- 17 Г.В.Ф. Гегель. Энциклопедия философских наук. Т. 1.: Наука логики. Москва, 1975. С. 216.
- 18 Sealsamas. С. 246.
- 19 Г.В.Ф. Гегель. Сочинения. Т. 5. Москва, 1937. С. 217.
- 20 Г.В.Ф. Гегель. Энциклопедия философских наук. Т. 1.: Наука логики. С. 228, 229.
- 21 Sealsamas. С. 257.
- 22 Sealsamas. С. 261.
- 23 В.И. Арнольд. Теория катастроф. С. 2.
- 24 Vt.: M. Zwick. Dialectics and Catastrophe // Sociocybernetics. Vol. 1. Leiden etc., 1978. P. 129-154.
- 25 Г.В.Ф. Гегель. Сочинения. Т. 5. С. 431.
- 26 Sealsamas. С. 433.
- 27 Sealsamas. С. 434-435.
- 28 Г.В.Ф. Гегель. Энциклопедия философских наук: Т. 1.: Наука логики. С. 262.