

TARTU ÜLIKOOL
Füüsika-keemiateaduskond
Keskkonnanfüüsika instituut

MATI TEE

INFORMATSIOONI LÕIMIMINE

Magistritöö
keskkonnanfüüsika erialal

Juhendaja: dotsent, füüsika-matemaatikakandidaat HANNO OHVRIL

Tartu 2006

SISUKORD

| | |
|---|----------|
| EESSÕNA | 4 |
| SISSEJUHATUS..... | 5 |
| 1. KESKKONNAINFOSÜSTEEMID..... | 6 |
| 1.1. INFOSÜSTEEMI KONTSEPTUAALMUDEL | 6 |
| 1.1.1. Reaalsus – mateeria peegeldus teadvuses | 7 |
| 1.1.2. Informatsioon – mateeria universaalne omadus..... | 9 |
| 1.1.3. Tunnetusmudelid..... | 12 |
| 1.1.4. Infosüsteemi põhiomadused. Infovahetus | 15 |
| 1.1.5. Uuenemine..... | 22 |
| 1.1.6. Informatsioon ja andmed..... | 23 |
| 1.1.7. Virtuaalsus – keskkond infoga opereerimiseks | 28 |
| 1.1.8. Infoobjekt | 32 |
| 1.1.9. Inimfaktor. Paradigma..... | 33 |
| 1.1.10. Infosüsteem | 35 |
| 1.2. INFORMATSIOONI JA INFOSÜSTEEMI KVALITEET | 39 |
| 1.2.1. Kvaliteedi hindamine | 39 |
| 1.2.2. Mõõtmine | 43 |
| 1.2.3. Määramatus ja täpsus | 49 |
| 1.2.4. Konverteeritavus | 55 |
| 1.2.5. Õigsus, täielikkus ja kvaliteet..... | 57 |
| 1.2.6. Infosüsteemi kvaliteedi hindamine..... | 58 |
| 1.3. KESKKONNAINFO | 60 |
| 1.3.1. Keskkonnaprotsesside aeg ja ruum | 60 |
| 1.3.1. Keskkonnainfo allikad..... | 62 |
| 1.3.2. Keskkonnainfo töötlemine | 63 |
| 1.3.3. Keskkonnainfo vahetuse ja hõive probleemid..... | 63 |
| 1.3.4. Keskkonnainfo kasutamine | 63 |
| 1.4. KOKKUVÕTEKS..... | 64 |

| | |
|---|------------|
| 2. KESKKONNAINFO LÕIMIMINE..... | 66 |
| 2.1. INFOLÕIMIMISE PÕHIPROBLEEMID..... | 66 |
| 2.2. PARADIGMA..... | 67 |
| 2.3. ORGANISATSIOON..... | 68 |
| 2.4. MUDELITE PÕKKAMINE, INFOOBJEKTIDE TEISENDUSED..... | 69 |
| 2.4.1. Reaalsusmudelid..... | 70 |
| 2.4.2. Infomudelid..... | 72 |
| 2.4.3. Andmemudelid..... | 72 |
| 2.4.4. Esitusmudelid..... | 77 |
| 2.5. PIIRANGUD VIRTUAALSUSES..... | 78 |
| 2.6. RUUMIANDMETE MATEMAATILINE ALUS..... | 81 |
| 2.6.1. Matemaatilise aluse elemendid..... | 82 |
| 2.6.2. Ühikud..... | 82 |
| 2.6.2. Mõõtkava (infosüsteemi täpsus)..... | 84 |
| 2.6.3. Kaardiraam ja kaardivõrgud..... | 84 |
| 2.6.4. Daatum..... | 85 |
| 2.6.5. Koordinaatsüsteemid..... | 87 |
| 2.6.6. Geotsentrilised koordinaadid..... | 91 |
| 2.6.7. Kaardiprojektsioonid..... | 91 |
| 2.6.8. Kaart ja plaan..... | 92 |
| 2.7. ANDMETE KONVERTEERIMINE..... | 93 |
| 2.7.1. Matemaatilise aluse teisendused..... | 93 |
| 2.7.2. Vormingu muutmine..... | 105 |
| 2.8. KOKKUVÕTEKS..... | 106 |
| 3. TULEMUSED JA ARUTELU..... | 108 |
| 4. KOKKUVÕTE..... | 111 |
| SUMMARY..... | 113 |
| ALLIKAD..... | 115 |

EESSÕNA

Keskkond on see, mis meid ümbritseb. „Elukeskkond on biosüsteemi mõjutavate tegurite kogum,“ ütleb Eesti Entsüklopeedia. Keskkonda saab kirjeldada õige mitut moodi, näiteks bio- ja ökosfäärina, kuid kindel on, et iga organism vajab ruumi. Käesolevas töös ongi keskkonda mõistetud eluruumina.

Iga elusorganism vajab eluks eriomast tingimuste kompleksi. Kehvad tingimused keskkonnas tähendavad viletsat elu. Elutingimuste halvenemine puudutab meist igauht eraldi ja kogu inimkonda tervikuna. Keskkonnaprobleemaatika on saanud poliitiliste, majanduslike ja ühiskondlike otsuste lahutamatuks komponendiks. Asjalikud otsused eeldavad kompetentsust, viimast ei saavuta ilma ülevaate olukorrast. Ülevaade eeldab informeeritust. Elukeskkonna probleemid ei ole mõistetavad ja lahendatavad kitsalt loodusteaduslikult. Elame üheaegselt nii sotsiaalses kui looduskeskkonnas. Loodus mõjutab sotsiaalmajanduslikku olemist, majandustegevus omakorda muudab looduskeskkonda.

Keskkonnaprobleemide olemasolu teadvustamine, millele pandi suurt rõhku veidi vähem kui pool sajandit tagasi¹, ei ole enam kõige aktuaalsem. Väitlused, kas elukeskkond üleüldse muutub, on läinud tagaplaanile, keskkond on radikaalselt muutunud. Keskkonnauuringutelt oodatakse muutuste iseloomu ja ulatuse kindlakstegemist, usaldusväärsete prognooside andmist. See ei ole lihtne. Keskkonnanähtused on keerulised ja vastastikku seotud, neid on raske taandada mõnele lihtsale protsessile. Ammendava ülevaate saamiseks tuleb koguda erisugust infot. Omavahel tuleb siduda eri vormingus andmeid, mis kajastavad erinevaid suurusid. Keskkonnaprotsesside ruumiline mastaap on tavaliselt suur, ulatudes planetaarseni. Muutuste ajaliseks jälgimiseks tuleb koostada pikki vaatlusridu. Ühesõnaga, on vaja heterogeensete algandmete omavahelist sobitamist, on vaja *info lõimimist*².

Kitsaskohaks pole andmete vähesus. Andmeid on palju ning neid toodetakse pidevalt juurde. Kuid olemasolev infohulk on hajutatud ja sidumata – halvasti ühilduv. Soovitud teabe otsimine ja võrreldavale kujule viimine on töömahukaks. Infovahetus erinevate andmekogude vahel on vaevaline ja põhjustab täiendavaid vigu. Hädavajalik on analüüsida info kogumise ja teisendamise protsessi, leida sobivad algoritmid ja need automatiseerida.

Informatsiooni lõimimise uurimisele pööratakse maailmas suurt tähelepanu. See on oluline osa informatsiooni-kommunikatsiooniteooria, küberneetika ja mikroelektronika rakenduste problemaatikast. Informaatika võtted nende lahendamisel on ühesuguse tuumikuga, kuid valdkonnast sõltuvalt eriilmelised.

Keskkonnainfo tõhusam kasutamine on aktuaalne ka Eestis. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskuse initsiatiiv *Eesti (keskkonna) ruumiandmete strateegia loomiseks aastateks 2007-2013* rõhutab tulenemist „üldisest vajadusest aidata parandada keskkonnainfo kättesaadavust ja määratleda, kuidas keskkonnainfo peaks olema organiseeritud poliitiliselt, administratiivselt ja tehniliselt.“ (ITK, 2006).

Huvi infolõimimise vastu tekkis autoril tänu atmosfääri ja mere uurimisele TÜ Füüsika-keemiateaduskonna Keskkonnafüüsika instituudis ja tööle aktsiaseltsis Regio. Mõlemal juhul tuli tegeleda eripalgelistest infohulkadest ühtse terviku loomisega. Õppides ise ja õpetades teisi, veendus autor, et on vajalik terviklik käsitlus andmevahetusest infosüsteemis. Kujunes mõte kirjutada praktiku vaatenurgast lähtuv uurimus informatsiooni lõimimisest, mida keskkonnauurijad, geoinformaatikud ja tarkvaraarendajad saaksid kasutada õppevahendina.

Autor tänab kõiki, kes töö valmimisele kaasa aitasid, eriti suured tänud on juhendajale, Hanno Ohvrilile. Töö tegemisel oli abiks ETF grant nr. 5857.

¹ *Rachel Carsoni* (1907-1964) 1962. aastal ilmunud raamatut „*Silent Spring*“ (e.k. „Hääletu kevad“, 1968) loetakse üheks oluliseks teetähiseks keskkonnaprobleemide teadvustamisel.

² Informatsiooni *integreerimine*, inglise keeles *information integration*.

SISSEJUHATUS

Loodusnähtuste uurimine ja modelleerimine on teaduse üks põhifunktsioon. Uuringute tulemuseks on palju väga erinevat infot. Infotootmise mahu kiire kasv viimastel sajanditel on andnud põhjust rääkida *infoplahvatusest*, ka keskkonnateadused ei ole siinkohas mingiks erandiks. Paraku on infokülluse varjuküljeks vajaliku teabe leidmise vaevavalisus.

Arvutid ja infosüsteemid on tõstnud päevakorda infohõive parandamise, süsteemide läbilaskvuse suurendamise ja infotöötuse kasuteguri tõstmise. Isegi kui piirata keskkonna mõistet ainult “loodusliku ja ümbritsevaga”, nagu see on tavapärane ühiskonna institutsioonides, jääb asjakohane info väga eripalgeliseks. Selle kooskasutamine ja ühitamine muutub järjest aktuaalsemaks. Lisaks sellele tõstab globaliseerumine ehk üleilmastumine keskkonnainfo haldamise ja ühilduvuse esiplaanile.

Erisuguse asjade liidendamist nimetatakse *integreerimiseks*. Eestis on integreerimise tähenduses kasutusel *lõimimine*. Möödunud sajandi lõpu keeleuunduse käigus sai koos koduse kangakudumisega hääbunud unarsõnast uudis- ja moesõna. *Informatsiooni lõimimine* on möödapääsmatu osa igasugusest ühiskonnas, elusolendis ja inimeses toimuvast õppe-, juhtimis- või regulatsioonprotsessist. Sageli seda ei teadvustata. Informatsiooni integreerimine nendel toimingutel sünnib just nagu iseenesest – kuidas parajasti välja kukub.

Käesolev töö keskendub informatsiooni lõimimisele ja selle toimumistingimustele, sõnastatakse põhiohused infokvaliteedile. Autor nimetab oma lähenemismeetodit *praktiku andmefilosoofiaks*. Teemakäsitus on info- ja süsteemikeskne, rõhuasetusega informatsiooni *tähenduslikkuse aspektile*.

Alljärgnevalt süstematiseeritakse integreerimise tulemust määravaid tegureid. Tähelepanu keskmes on *infosüsteem* – infotootmise ja infohõive töökeskkond, mitte kitsalt riistvara ja tarkvara. Infolõimimise üldistatud käsitus pole autori teada eesti keeles seni avaldatud. Seepärast peeti vajalikuks luua infolõimimise *kontseptuaalmudel*, mis oleks mõistetav suurele osaliste ringile. Samal põhjusel on käesolevas töös tegeldud *terminoloogiaga*.

Teiseks tööülesandeks on analüüsida praktikas sageli ettetulevaid lõimimisoperatsioone lähtuvalt loodud kontseptuaalmudelist. Lõimimise kulg on suures osas dikteeritud andmehõive ja andmehalduse üldistest reeglitest. Ometigi on igal konkreetsel juhtumil oma spetsiifika. Selle vormivad vastav kasutusvaldkond ja -situatsioon, sh. poliitilised ja majanduslikud faktorid. Lõimimise käigus ilmnevad probleemid tulenevad peamiselt *infoallikate omadustest, lõimimistehnikast ja erinevast tõlgendamisest*. Informatsiooni- ja kommunikatsiooniteooriast tulenevad üldnõuded infosüsteemidele pole pahatihti tegelikult lähtealuseks tööde organiseerimisel. Need kujunevad nõ. „isevoolu teel”, mis ei vii alati soovitud sihile. Puhttehnilised probleemid ei ole enam määravad, psühholoogiline, kultuuriline ja sotsiaal-majanduslik kontekst võib olla palju tõsisemaks takistuseks.

Kolmandaks on omavahel kokku viidud autori enam kui kümneaastane praktika infolõimimise vallas ja integreerimise kontseptuaalmudeli teooria. Eesmärk on koolitusmaterjaliks sobiv tervikkäsitus koos praktiliste näpunäidetega lõimimise organiseerimiseks infosüsteemis ja selle tõhusaks läbiviimiseks. Soov esitada informatsiooni täielik elutsüklil süsteemis, seda alates vaatleja elavast kaemusest ja lõpetades keskkonna mõjutamisega lõpptarbija poolt, tingib kirjatöö üsna suure mahukuse.

Käesolevas töös on keskkonnainformaatika käsitletud peamiselt lõimimise vaatevinklist. Tähelepanu keskmes on infoskeemide elementide lahtiseletamine ja digitaalinfo teisendustega seotud probleemide üldistamine, teadlikult on välditud igasugust IT-platvormi kesksust. Arvutiprogrammid ja arvutipark vahetuvad kiiresti, seepärast pole autor keskendunud sellele, mis aegub juba kirjutamise ajal.

1. KESKKONNAINFOSÜSTEEMID

Käesolevas töös on keskkonna¹ all mõistetud inimest ümbritsevat ruumi ja selles esinevaid nähtusi. Keskkonnainfo on seega *ruumiinfo*, mis kirjeldab nähtuste asukohta ja omadusi ruumis. Keskkonnanahtuste omadused ja asukoht võivad aja jooksul muutuda. Keskkonnainfo peegeldab nähtuste arengut ruumis ja ajas, nende evolutsiooni.

Keskkonnasüsteemid on hierarhilised ja mitmemõõtmelised. Nendes esinevad nähtused on üksteisest läbipõimitud, keerulised ja mitmetahulised. Keskkonnasüsteemide avatus ja keskkonnaprobleemide globaalsus on faktoriteks, mis annavad keskkonnainfole spetsiifilise värvingu.

Inimeste heaolu ja julgeolek, nende tulevik oleneb ümbritseva keskkonna seisundist. Huvi keskkonnanahtuste vastu pole ainult puhttunnetuslik, seega on keskkonnainfol *sotsiaalmajanduslik foon*. Keskkonnauuringuid rahastatakse sotsiaalse tellimuse alusel ja keskkonnainformaatika lahendab eelkõige ühiskondlik-poliitiliste struktuuride püstitatud ülesandeid. Keskkonnanahtustest arusaamisel ja keskkonnainfoga ümberkäimisel on määrava tähtsusega *ühiskondlik mentaliteet*.

Igasugune infotöötlus on määratud *objektiivsete*, materiaalse maailma omaduste ja seadustega ning reaalsust tajuva inimese psüühika *subjektiivsete* eripäradega (Callaos, B., Callaos, N., 2002). Oluline pole mitte ainult asjade olemus, oluline on ka asjade olemuse tunnetamine. Erinevate infohulkade liidendamisel sõltub lõimimise kvaliteet integreerija võimest mõista infokogujate loogikat. Tehnika, kultuur, psühholoogia ja antud ajajärgu maailmavaatelised tõekspidamised annavad omalt poolt tooni keskkonda puudutavate infosüsteemide organiseerimisel. Keskkonnainfosüsteem (KKIS) on keskkonnainfo töötlemiseks kohandatud infosüsteem. Keskkonnainfo ja operatsioonid sellega on käsitletavad samade põhimõtete kohaselt nagu informatsioon ja infotöötlus üldeldse.

1.1. INFOSÜSTEEMI KONTSEPTUAALMUDEL

Käesolevas töös on infosüsteemi mõistet laiendatud ja toodud sisse üks uus termin. *Infosüsteemi kontseptuaalmudel* hõlmab nii infosüsteemi siseorganisatsiooni kui infovahetuse väliskeskkonnaga. See on järgmine üldistustasand informatsiooni ja infosüsteemi mõistete järel – abstraktsioon, mida võib nimetada *ideaalseks infosüsteemiks*. Ideaalne infosüsteem ja infosüsteemi kontseptuaalmudel on sünonüümid.

Informatsioon on põhimõiste, mida ei defineerita. Fundamentaalmõisteid saab selgitada nende omaduste kaudu. Kirjeldades nähtusi, milles vastav omadus end ilmutab, kujundatakse saadud kogemusele tuginev intuiitiivne ettekujutus asja olemusest.

Infosüsteemi all mõistetakse tänapäeval tavaliselt informatsiooni andvat ja jaotavat arvutisüsteemi koos juurdekuuluvate organisatsiooniliste ressurssidega, sh. inim-, tehniliste ja rahaliste ressurssidega (Jagomägi, 1999b).

Ideaalne infosüsteem on materiaalne objekt, mille sisestruktuuri määrab ainult vastuvõetav, töödeldav, säilitatav ja väljastatav informatsioon. Konkreetne ülesehitus: inimesed, organisatsioonid, riist- ja tarkvara oma eriomadustega jäävad sellest käsitlest täielikult välja.

¹ On ka teistsuguseid keskkonnakäsitlusi: eristatakse tehis- ja looduskeskkonda, sotsiaalset, füüsilist, tegevus- ja kultuurilist, kontseptuaalset jm. keskkonda. Elukeskkond kitsamas tähenduses on sama, mis aineiline keskkond ehk meedium (õhk, vesi, muld jmt.) milles organism elab. Igal organismil on liigiomane keskkonnatingimustik, milles ta saab elada. (ENE4, 1989). Keskkond koosneb paljudest komponentidest, nende vahel toimivad arvukad mitmesuguse iseloomuga seosed, millede kaudu keskkond säilitab oma tasakaalulise oleku. See tasakaal ei ole igavene vaid pidevalt muutuv, sõltuvalt välistingimuste muutumisest ja sisemisest evolutsioonist (Erme, 1996).

1.1.1. Reaalsus – materia peegeldus teadvuses

Loodusteadused lähtuvad Maailma¹ materiaalsusest. Materia on meelelisi aistinguid tekitav *objektiivne reaalsus*. See tähendab eeldust, et materiaalsed objektid eksisteerivad sõltumatult meist ja meie teadmistest nende kohta. Materia ei olene kirjeldamise viisist ja kirjeldajast². Teise eelduse kohaselt materiaalsed objektid tekitavad tajutavaid aistinguid meeleorganites. Inimmeelte piiratus tõttu ei ole kõik saabuval signaalid vahetult tajutavad. Siis on aistingud tekitatavad võimendava või muundava tehnika abil, töödeldes vastavaid signaale (Wikipedia, 2006).

Informatsioon on lahutamatu seotud materiaga. Informatsiooni eksistentsi ilma materiaalse kandjata pole õnnestunud tuvastada. Siin ja edaspidi on lähtutud *infosüsteemide materiaalsusest* – eeldusest, et igale infoga opereerivale objektile ehk *infoobjektile* vastab mingi materiaalne struktuur.

1.1.1.1. Taju ja tunnetus

Inimene tajub materiat oma *aistingutes*. Aistingupõhine, *intuiitiivne* ettekujutus on kõlbmatu materiaalsete objektide täpseks kirjeldamiseks teistele inimestele, kuna psüühika pole identne. Materiaalsete objektide poolt esilekutsutavad tunded pole absoluutsed³. *Nähtusteks* nimetame tajutavaid aistinguid tekitavaid objekte.

Inimene tunnetab Maailma *võrreldes*. Võrdlemiseks on vaja vähemalt kahte erinevat objekti. Üheainsa objekti olemasolul pole mitte mingisugune võrdlemine võimalik. Korraga saab võrrelda ainult kaht objekti omavahel. Kui objekte on rohkem, võrreldakse neid paarikaupa (Tammet 1971). Võrrelda saame ainult materiaalse maailma objekte: kehasid, protsesse jms., psüühiliste protsesside hulka kuuluvad tunded nende hulka ei kuulu.

Võrdlusprotsessi puhul peab silmas pidama, et kuigi materia on objektiivne, on meeltetaju subjektiivne (Callaos, B., Callaos, N., 2002). Inimene saab omavahel võrrelda vaid omaenda subjektiivseid aistinguid ja edastada teistele selle võrdluse tulemusi.

Inimolend ei suuda hoomata maailma kogu selle mitmekesisuses. Oma piiratus tõttu tunnetab inimene materiat lihtsustatult. Materiaalsete objektide omavahelisel võrdlemisel omandatud kogemused osutavad seostele erinevate omaduste ja nähtuste vahel. Neid seoseid nimetakse *loodusseadusteks*.

1.1.1.2. Materia ja reaalsus

Keskkonnainfot käsitledes käib jutt *reaalse maailma* nähtuste esitustest. Nähtused on reaalse maailma osad. Igapäevases tähenduses mõistetakse *reaalsuse* all „seda kuidas asjad tegelikult on” – mis pole just päris korrektne. Küllaltki sageli on kombeks vastandada reaalsust näivusele, see tähendab sellele, kuidas asjad meile paistavad. Selline definitsioon eeldab vaikimisi asjade tegelik seisundit absoluutse tõe tasemel. Absoluutide kasutamine aga tekitab paradokse ja viib objektiivse reaalsuse (materie) vaatlemise juurest subjektiivse reaalsuse (ideaalide) uurimise juurde.

Reaalsus rakenduslikus tähenduses on kokkulepe, materiaalse maailma subjektiivne peegeldus inimteadvuses. Igaühel meist on oma reaalsus. Ühisel kultuuritaustal olles⁴ ja koos mõningate seletustega on saavutatav teineteisemõistmine teatud lõtku piires.

¹ Universumi.

² Küll aga olenevad kirjeldajast kirjeldused.

³ Albert Einstein olevat *relatiivsuse* olemust seletanud nii: „Kui veedate paar tundi kena tütarlapsel, tunduvad need minutina; kui peate istuma mõned minutid kuumal pliidiraual, tunduvad need tundidena.”

⁴ Ühise kollektiivse kogemusega.

1.1.1.3. Aeg ja ruum

Mateeriat tunneme tänapäeval *aine* ja *välja* kujul. Kõik materiaalsete objektidega aset leidvad nähtused toimuvad *ajas* ja *ruumis*. Mõnikord nimetatakse ainet ja välja mateeria *liikideks* ning ruumi ja aega mateeria *vormideks*. Aega ja ruumi kokku kutsutakse *aegruumiks*.

Ruum ja aeg mõjuvad inimesele olenevalt psüühilisest seisundist erinevalt. Empiiriline kogemus aja möödumisest ja oma olemisest ruumis ongi kõik, mida neist teame. Võttes kokku oma kogemuse aja ja ruumi tajumisega, saab öelda:

- *aja* põhiomaduseks on *kestvus*;
- *ruumi* põhiomaduseks on *ulatuvus*.

Tajutud kestvus ei ütle mitte kõige vähematki selle kohta, kui kaua sõidab auto Tartust Tallinnasse ja kas seda on palju või vähe. Tajutud ulatuvus ei anna mingit ettekujutust ümbritsevast ruumist seotud silmadega inimesele, kes ei puuduta esemeid enda ümber. Ruumi ja aega ei saa mitte millegagi võrrelda, võrdlusobjekti kui niisuguse täieliku puudumise tõttu - pole *teist* aega ja *teist* ruumi. Ruumi ja aega omavahel võrrelda ei saa. Need on kaks täiesti eri asja.

Materiaalseid objekte iseloomustab teatud ulatus ruumis ja kestvus ajas. Seda „teatud ulatust ja kestvust” nimetatakse *vahemikuks ehk intervalliks*¹. Erinevalt ajast ja ruumist on vahemikud omavahel võrreldavad. Nähtuste paiknemine ja järjestus üksteise suhtes on kirjeldatavad. Kuigi siinkohas räägitakse sageli nähtustest ruumis ja ajas, esitatakse objektide omavahelised suhted meelevaldselt valitud taustsüsteemis määratud ja meelevaldselt võetud suhetes väljendatud intervallide kaudu. Ei tohi samastada mõõtevahendit mõõdetava objektiga².

Arutlustes eeldatakse ruumi homogeensust ja isotroopsust, st. loetakse, et kõik kohad ja suunad ruumis on võrdväärased. Samuti käsitletakse aega homogeensena. Ühetaolisuse ja võrdvääruse nõuded postuleeritakse nõ. „maailmakorra paikaajamiseks”. Füüsika on näidanud, et aine ja väljaga täidetud ruumis on homogeensuse ja isotroopsuse rikkumine pigem reegliski kui erandiks. Ent homogeensus ja isotroopsus eeldusena muudavad mudelite ehitamise mugavamaks.

Reaalsuses on tühi, sile ja ühetaoline ruum, kus kõik kohad ning suunad on võrdväärased, abstraktsioon, mida ei esine. Samuti on ruumist lahutatud aeg abstraktsioon. Reaalsuses aega ilma ruumita ei esine. Ruumi olek mõjutab aega, aja olek – ruumi. Ruum, mida täidab meie elukeskkond, ei ole homogeenne ja isotroopne. Aeg keskkonnasüsteemides ei ole ühetaoline ja võrdväärne. Eriti kehtib see looduslike koosluste, inimühenduste ja tehissüsteemide kohta.

Ruumi mõiste teaduses ja filosoofias on väga lai. Võib öelda, et igal distsipliinil on oma arusaam ruumist. Põhimõtteliselt saab ruumist rääkida kõikjal, kus objektide vahel on defineeritud ruumisuhte laadsed seosed. Need seosed ei ole alati meetrilised, st. määratud kaugusega. Lisaks ülalkäsitletud füüsikalisele ruumile opereerib matemaatika kümnete erinevat liiki abstraktsete ruumidega. Loodus- ja keskkonnateadustes on omad ruumikäsitlused, näiteks *geograafiline ruum*. Mitmesuguste ruumidega tegelevad arhitektuur ja disain, samuti ka sotsiaal- ja humanitaarteadused.

Nähtuste³ ajaline järjestus ehk „ajanoole” suund loetakse antuks kas *psühholoogiliste* protsessidega – *mälestustega*; *suletud termodünaamilise* süsteemi *entroopia kasvuga* või *kosmoloogiliselt* – *Universumi paisumisega*. Loodusfilosoofias ja füüsikas need kolm suunda ühtivad. Ajavahemikud ei ole absoluutsed, vaid olenevad vaatleja poolt kasutatavast taustsüsteemist ja liikumisest selle suhtes.

¹ Ajavahemik ei ole aeg, ruumivahemik – ruum. Need on täiesti erinevad asjad.

² Piltlikult väljendudes: aeg ei ole kell ja ruum ei ole joonlaud (Koppel, 1988).

³ Nähtus on reaalsuse osa, st. suvaline tajutav objekt, sündmus või protsess aegruumis.

Süsteemi evolutsiooniprotsessi esitamisel on väga tähtis *süsteemi omaaeg*. Heterogeensete süsteemide osad võivad olla üksteise suhtes omaajas nihutatud. Erinevalt füüsikalisest ajakäsitlusest vaadeldakse süsteemi omaaega mõnedel juhtudel *tsüklilisena*.

Kõik reaalsuse nähtused vajavad aega ja ruumi. Aeg ja ruum on piiratud ressursid.

1.1.2. Informatsioon – materia universaalne omadus

Informatsiooni olemus avaldub läbi mõnede materia omaduste. Suurem osa reaalsuses kohatavaid materiaalseid objekte on lahutatavad väiksemateks osadeks. Antiikfilosoofid, arendades seda kogemust loogilise lõpuni, jõudsid välja ideeni algelementidest ja jagamatustest alusosakestest, millest koosneb kõik olemasolev (Löhmus, 2003). Vaidlust elementarosakeste ja nende jagamatuse üle jätkus aastatuhandeteks, intuiitvne ettekujutus süsteemist „kui niisugusest” võeti aga ilma suurema tülinata omaks.

Element on nii lihtne objekt, et koosneb vaid iseendast. Mingil viisil *seotud* objektid moodustavad *struktuuri*. Põhimõtteliselt omab struktuuri iga objekt, kuid teatud juhtudel võib elemente vaadelda struktuuritute algosistena (Kelin, 2001). *Struktuursus* tähendab nii kindla struktuuri olemasolu, kui struktuurist tingitust (EE 8, 1995).

Süsteem on määratletav tervikliku kogumina vastasmõjulistest elementidest, mille omavahelised *seosed* ajas ja ruumis moodustavad *süsteemi struktuuri*, elementidevaheliste seoste muutused ajas aga *süsteemi organisatsiooni* (elementide vaheliste seoste seisundi antud ajahetkel) (Kelin, 2001).

Materiaalseid objekte iseloomustab nende struktuur. Võib öelda, et igal konkreetsel objektil on ainuomane struktuur. Võrreldes erinevaid objekte omavahel ilmnevad sarnasused ja erinevused nende struktuuris. Elementidest ja nendevahelistest seostest koosnev struktuur on samuti materiaalne objekt.

1.1.2.1. Informatsiooni kvantitatiivne aspekt

Materiaalsetel objektidel on mitmesuguseid omadusi, nendega toimuvad mitmesugused *protsessid*, esineb kõige erinevamaid *nähtusi*.¹ Nähtused, igasugused materialega aset leidvad protsessid saab samuti lugeda objektideks. Vaatlustel põhinev kogemus ütleb, et materiaalne maailm on liikumises ja muutumises, selles toimuvad erinevate objektide levimise ja arenemise protsessid.

Osutub, et materiaalsele objektile iseloomulik struktuursus võib edasi kanduda. See toobki meid informatsiooni² mõiste juurde. Arusaam informatsioonist on seotud materia struktuursuse edasikandumisega³, nõ. suhtluse ehk *kommunikatsiooniga* objektide vahel. Kommunikatsiooni all mõistetakse protsessi, mille käigus üks süsteem⁴ mõjutab teist⁵. Seega

¹ Nähtust kirjeldatakse selle omadustega.

² Sõna “informatsioon” võeti kasutusele 1930. aastate paiku täpsustamaks andmetöötluse ja kommunikatsiooni terminoloogiat ja käibib tänase päevani eelkõige selles tähenduses.

³ Näiteks „ENE” 3. köide (1988) ütleb (lk. 622), et *informatsioon* on „peegeldus- ja regulatsiooniprotsesside ruumis ning ajas edasikanduv struktuursus või mitmekesisus”.

⁴ Süsteem – elementaarobjektidest moodustatud struktuur.

⁵ *Kommunikatsioon* on:

- omavaheline suhtlemine;
- vastastikuse mõjutamine infovahetuse käigus; tähenduse loomine ja vahetus;
- sümbolite edastamise protsess, mis loob ja peab üleval ning muudab süsteemi tervikuna ja selle elementide ühtsust.

Kommunikatsioonis võib eristada kolme põhilüli:

- kommunikaator ehk teate saatja;
- teade ehk tähendust omav märk;
- retsipient ehk teate saaja.

võib öelda, et *informatsioon avaldub süsteemi võimes indutseerida endasarnast struktuuri teistes süsteemides*.

Mõnevõrra ette rutates märgime, et informatsiooni kvantitatiivsele hindamisele panid aluse Ameerika matemaatiku *Claude E. Shannoni* (1916-2001) ideed, mis avaldati esmalt 1948. aastal kahes artiklis ja seejärel *Warren Weaveriga* kahasse kirjutatud raamatus „*A Mathematical Theory of Communication*” (1949).

Shannon lähtus *Rudolf Clausiuse* poolt 1865. aastal kasutusele võetud entroopia mõistest, millele *Ludwig Boltzmann* 1877. aastal andis matemaatilise kuju:

$$S = k \cdot \ln W, \quad (1.1.2.1)$$

kus Boltzmanni konstant $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K määrab entroopia termodünaamilise ühiku ja W on süsteemi oleku termodünaamiline tõenäosus (kõikvõimalike olekute arv, mida süsteem võib omada, tavaliselt $W \gg 1$). Boltzmanni teooria kohaselt entroopia on mõistetav kui korrapäratuse määr süsteemis. Termodünaamilist entroopiat saab piltlikult iseloomustada kui *energia kalmistut*¹ (Wilson, 1949).

Entroopia infoteoreetiline (tõenäosuslik) tõlgendus: *süsteemi entroopia* on sündmuste kogumi määramatuse ja üksiksündmuse varieeruvuse mõõt, avaldub Shannoni valemiga:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (1.1.2.2)$$

kus p_i – i -nda teate esiletuleku tõenäosus, $i = 1, \dots, n$, $p_i \in [0; 1]$ ja $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Valemis (1.1.2.2) on entroopia dimensioonita suurus.

Informatsiooniteooria seisukohast saab informatsiooni hulga ühes teates leida sündmuste kogumi määramatuste vahena enne ja pärast teate saamist (Metzler, 1996):

$$I = H_1 - H_2. \quad (1.1.2.3)$$

Valemid (1.1.2.2) ja (1.1.2.3) on informatsiooniteoorias laialdaselt kasutusel *informatsiooni kvantitatiivse aspekti* hindamiseks, informatsiooni mõõtmiseks.

Valem (1.1.2.3) ütleb, et informatsiooni saamisel entroopia kahaneb, st. informatsioon on vastandiks entroopiale. Termodünaamikas nimetatakse *negatiivset entroopiat negentroopiaks*. Analoogia põhjal võeti see mõiste ka infoteoorias kasutusele, mõistes negentroopia all informatsiooni.

Shannoni teooria näitab, et entroopia matemaatilised avaldised on esitatavad kujul: $K \cdot \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i$, kus K on mingi mõõtühikute süsteemi valikust olenev konstant. Siit järeldub, et vaatamata entroopia mõiste sarnasele tõlgendusele nii termodünaamikas kui informatsiooniteoorias „korrapäratuse, segaduse määrana süsteemis”, on termodünaamilised süsteemid ja infosüsteemid erineva olemusega ning võrdusmärki termodünaamilise entroopia S ja informatsiooniteoreetilise entroopia H vahele panna ei saa:

$$S \neq H, \quad (1.1.2.4)$$

juba puhtformaalsetel põhjustel, kuna suuruste S ja H dimensioonid ei ühti.

¹ Ilukirjanduslikult väljendudes: *entroopia on võimetuse mõõt*.

1.1.2.2. Informatsiooni kvalitatiivsed omadused

Seose (1.1.2.3) kohaselt kirjeldab informatsioon entroopia muutumist süsteemis. Informatsiooni *saamisel* kahaneb alternatiive pakkuva situatsiooni määramatus, teisisõnu entroopia.

Problemaatilisem on olukord *informatsiooni andmisega* – *ära* antud informatsioon jääb süsteemi alles. Küsimus informatsiooni tekkimise ja hävimise võimalikkusest on vastakaid arvamusi tekitav filosoofiline probleem, mis puudutab sügavalt fundamentaalteaduse aluseid. Käesoleva töö vajadusi rahuldab täielikult tõdemus informatsiooni lahutamatuses materiaalsete objektide struktuurist. Informatsioon saab hävida, kui hukkub seda kandev materiaalne struktuur. Uue struktuuri loomisel muutub see paratamatult infokandjaks.

Ülekandeprotsessides levib struktuursus materiaalse kandja vahendusel, sama kehtib informatsiooni kohta. Infovahetusega ei kaasne alati ja vältimatult entroopia kahanemine. Vastupidi, on informatsiooni¹, mille saamine võib situatsiooni määramatust suurendada.

Milles on infovahetuse ja aine-energiavahetuse erinevus?

Informatsioon on ühe objekti struktuursuse kujutus teise objekti struktuursusesse, st. infoallikas mõjutab materiaalse agendi kaudu vastuvõtjat, kutsudes selles esile muutusi. Infovahetus ainult indutseerib ja juhhib muutusprotsesse vastuvõtjas, need muutused aga toimuvad vastuvõtja siseste või väliste ressursside arvel, mis ei kandu üle infovahetuse käigus. Võib öelda, et infovahetuse käigus ülekantud materia hulk $\Delta m_{\text{infovahetus}}$ on tunduvalt väiksem, kui vastuvõtja oleku muutmiseks vajalik materia hulk ΔM_{objekt} :

$$\Delta m_{\text{infovahetus}} \ll \Delta M_{\text{objekt}}. \quad (1.1.2.5)$$

Mingit konkreetset kvantitatiivset piiri infovahetuse ja muu aine-energia ülekande vahele tõmmata ei saa. Tavaliselt on ülekanduva materia kogus $\Delta m_{\text{infovahetus}}$ nii väike, et selle võib jätta arvestamata: $\Delta m_{\text{infovahetus}} \approx 0$.

Informatsiooni kvalitatiivsed aspektid:

- informatsioon iseloomustab korda ja süsteemi;
- informatsioon näitab allika ja tarbija vastastikust suhet, sidet suunatud süsteemis;
- informatsioon ei ole objekti absoluutne omadus, vaid omadus mingi teise objekti suhtes.

1.1.2.3. Tunnetusmudel, abstraktsioonid

Materiaalne objekt koosneb teatud kindla struktuuri moodustavate elementide hulgast.

Formalism koosneb teatud struktuuriga abstraktsete elementide hulgast. Abstraktsed objektid eksisteerivad ainult inimteadvuses ja väljaspool psüühikat neid pole (Alberts *et al.*, 2001).

Seades omavahel vastavusse objekti ja formalismi, saame *mudeli* (Tammet, H., 1996). Loodusteadused konstrueerivad materiaalsete objektide kanoonilisi kujutusi² abstraktseteks struktuurideks, st. teisendavad materiaalsed objektid inimpsüühika objektideks. *Eksperimendi* käigus uuritakse materia ja formalismi vahekorda (Tammet, H., 1996). Siinkohas tuleb silmas pidada, et teadvuse ja materia vahel on veel üks objekt – *märkide ja sümbolite süsteem*, mille kaudu materia tõlgitakse mõistusele arusaadavasse keelde.

Edaspidises on lähtunud järgmistest üldreeglitest:

¹ Näiteks *arvutiviirused*, üldisemalt rääkides aga desinformatsioon.

² *Kanooniline kujutus* ehk faktorkujutus, loomulik kujutus (*kanooniline* – kõnekeeles: tavapärane, lihtsaim) – hulga niisugune kujutus tema faktorhulka, et mistahes elemendi kujutiseks on seda elementi sisaldav ekvivalentsiklass (Kaasik, 1992).

- materiaalsed objektid ei olene formalismist;
- iga teooria vajab vähemalt ühte definitsiooni, mida antud mõistetesüsteemis lahti seletada ei saa.

Viimane väide tugineb matemaatikas Kurt Gödeli (1906-1978) poolt 1931. aastal tõestatud nn. *mittetäielikkuse teoreemile* (Wikipedia, 2006), mis tavaliselt formuleeritakse nii: pole olemas suletud aksiomaatikat, st. ei saa konstrueerida süsteemi, kus kõik tõestused ja definitsioonid tuleneksid ainult üksteisest ja toetuksid ainult üksteisele¹. Põhimõisteid selgitakse reaalsusest võetud näidete varal, kujundades aistingutele tugineva intuiitiivse ettekujutuse², mille alusel luuakse loogiline struktuur - *abstraktsioon*.

Osutub, et informatsioon ja materiaalsed struktuurid on omavahel seotud (Callaos, B., Callaos, N., 2002) ja samas on materiaalsete struktuuride ja formalismide vahel olemas seosed. Jääb üle *postuleerida materiaa edasikanduva struktuursuse ja inimteadvuses moodustuvate formalismide vaheline seos*. Reaalsuse struktuursust kandev informatsioon võib inimteadvuses indutseerida formalismi. Nõnda see tunnetusprotsessis juhtubki. Samas võib ka formalism informatsiooni vahendusel muundada reaalsust vastavalt oma struktuurile.

Vastuolu eeldusega, et *materiaalsed objektid ei olene formalismist*, siin ei ole. Elutu materiaa laseb ennast mõjutada vaid materiaa, täies vastavuses jäävusseadustega. Informatsiooniline vastasmõju (vt. 1.1.1.2) vähendab määramatust süsteemi käitumises, käivitades mingid protsessid. Informatsioon modifitseerib käitumist, ja ainult.

Inimteadvuses eksisteerivad kujundid ei saa muutuda materiaa seteks objektideks. Need infostruktuurid, omandades sideme täitevmehhanismiga, loovad enda kehtestamiseks organisatsioonilised, administratiivsed, tehnilised, energeetilised jne. struktuurid (Alberts, *et al.* 1999). Infosüsteem toimib *mõttevõimendina*.

1.1.3. Tunnetusmudelid

Mudeleid kasutatakse reaalse maailma kirjeldamiseks. Alapunktis 1.1.2.3. esitatud mudel saadakse formalismi ja materiaa objekti vastavuse sätestamisel. Infosüsteemide loomisel kasutatakse mitmeid üksteisest väljaarenevad ja vastastikku sõltuvad mudeleid.

Informaatikas on kasutusel järgmised tunnetusmudelid (Roosaare, 2000):

- *reaalsusmudel* - interpreteerib reaalselt maailma, st. „asju, mis on”;
- *infomudel* ehk *kontseptuaalmudel* – seostab olevat omavahel ja kirjeldab omadusi;
- *andmemudel* – seab info infosüsteemile sobivale kujule;
- *esitusmudel* – esitab andmed kasutajale mõistetavalt.

Omaette mudelina kasutamisel määrab *kontseptuaalmudel* ära standardi struktuuri ja selle erinevate osiste omavahelised suhted (Oja *et al.*, 1998). Üldise tunnetusmudelina on kontseptuaalmudeli positsioon vaieldav. Määrab ju kontseptuaalmudel reaalsusmudeli valiku. Samas aga mingi standardi olemasolu eeldab juba reaalsusekäsitlust. Inimese veendumused on mõjutatud maailmanägemisest, kuid reaalsuse kontseptsioon tuleneb siiski isiklikust kogemusest. Seepärast paigutubki kontseptuaalmudel sobitamisel inimtunnetuse skeemi kord paralleelselt reaalsusmudeliga, siis aga dubleerib infomudelit. Olukord muutub infosüsteemi projekteerimisel. Nüüd toimib kontseptuaalmudel kui käsitlusvalla omaduste esitus

¹ „Mida mittetäielikkus ehk aksiomatiseerimise võimatus meile ütleb? Ilmselt seda, et enamikku tõdesid (me mõtleme siinjuures ka absoluutseid, paratamatuid, matemaatilisi tõdesid) ei saa tuletada ühestki väikesest konkreetsest baasväidete hulgast. Mõtlemise jaoks ei ole olemas kindlat lõplikku alust, millest kõik muu loogiliselt tuleneb. Mida keerulisemaid väiteid me tõestada tahame, seda suurema hulga ja seda keerulisemate baasväidete tõesust peame uskuma. Maailm on tõepoolest väga ebakindel: mõtlemise baas on tõestusteta uskumine” (Tamme, *et al.*, 1997).

² Nagu näiteks eespool kasutatud intuiitiivne ettekujutus kestvusest ja ulatuvusest.

(ISO/IEC 2382-17, 2001) ja määrab kasutatava reaalsusmodeli, infomudeli ja andmemudeli. Kontseptuaalmudeli väärtus on rakenduslik.

Reaalsuse määratlemine kokkuleppena ei tähenda seda, et kokku saab leppida „ükskõik milles”. Mudeli sobivus materiaalse maailma kirjeldamisel, selle vastavus praktilise kogemuse läbi tunnetatud looduseadustele, on tunnetusmodelite kvaliteedi kriteerium. Keskkonnateadustes kasutatav teaduslik uurimismeetod tugineb füüsikalise–matemaatilisele tunnetusmodelile. Selles mudelis on määraval kohal täpne mõõtmine ja faktide kogumine, mõõtmistulemuste seletamine range loogilise ja vajadusel ka matemaatilise analüüsi alusel, abstraktse mudeli loomine uuritavast nähtusest ning selle põhjal uute faktide ja sündmuste ennustamine (Õiglane, 1979).

1.1.3.1. Reaalsusmudel

Reaalsusmudel on maailma lihtsustatud kujutis. Reaalsusmodeli loomisel ühendatakse unikaalsed üksiknähtused¹ sarnasuse alusel *klassidesse*, *nähtusklassid*² omakorda võivad moodustada uue nähtuste kogumi jne. Klasside valik on suvaline ja sõltub konkreetsest eesmärgist³.

Reaalsusmudelis defineeritakse nähtuste klassid ja nende omadused. Määratakse ka ruumi osa, milles nähtused esinevad (Krusberg, 1997) ja ajavahemik, millal need toimuvad. Reaalsusmudel määratleb nähtuste sisu ja tagab andmete *loogilise* ühilduvuse (Jagomägi 1999b). Loogiline ühilduvus ja ühesugune arusaamine nähtustest on väga oluline infosüsteemides, informatsiooni vahetamisel ning lõimimisel.

1.1.3.2. Infomudel

Infomudel on nähtusteklasside ja nendevaheliste seoste käsitlemine kontseptuaalsel tasandil – kontseptuaalmudel. Infomudelis esitatakse reaalsusmudel *formaliseeritud kujul*. Infomudeli keskseks mõisteks on *olem*⁴.

Olem on Eesti informaatikastandardi (EIK, 1998) kohaselt: “Suvaline konkreetne või abstraktne asi, mis eksisteerib, eksisteeris või võiks eksisteerida, kaasa arvatud nende asjade ühendused. Näide: isik, objekt, sündmus, idee, protsess jne. Märkus: olem eksisteerib sõltumatult sellest, kas tema kohta on andmeid või mitte.”. Olemeid, mille identifitseerimiseks kasutatakse teisi olemeid (põhiolemeid), millega ta on otseselt seotud, nimetatakse *alamolemiteks*.⁵ Alamolemid on põhiolemist sõltuvad, põhiolemi kõrvaldamisel mudelist kaob ka alamolem. Alamolemit ei saa infosüsteemis määratleda ilma põhiolemiga sidumata.

Infomudelis pole rõhuasetus mitte üksiknähtuste konkreetsetel omadustel, vaid sellel, milliseid omadusi ja suhteid peetakse ühe või teise nähtustekogumi kirjeldamise jaoks olulisteks. Seepärast võivad ühe ja sama nähtusteklassi objektide üksiknähtuste puhul olla olulised hoopis erinevad omadused ning seosed, sel puhul räägime *olemi tüüpidest*. Olemit omadusi nimetatakse *olemi atribuutideks* ehk *omadusteks*.

Infomudel peab olema reaalsusmodeli eesmärgipärane lihtsustus ja kajastama olulisi seoseid – *olemiseosmudelit*. Teisendamisel kasutatakse *üldistamist* (generaliseerimist) ja *ühendamist*⁶.

Reaalsusmodeli teisendamine infomudeliks tähendab järgmiste vastavuste defineerimist:

- nähtus → olem;

¹ *Nähtus* – mudelis kirjeldatav looduses eksisteeriv objekt või sündmus.

² *Nähtusklass* – modelleeritav looduses eksisteerivate ühesuguseid omadusi jagavate nähtuste grupp.

³ Reaalsus on kokkulepped.

⁴ Inglise keeles *entity*, *entity instance*, *feature*.

⁵ Inglise keeles *weak entity*.

⁶ Inglise keeles *aggregation*.

- nähtuste klass → olemiklass¹;
- nähtuse mitteruumilised omadused → olemi atribuudid;
- nähtuste ruumilised omadused → olemi geomeetrilised primitiivid².

Võtmeatribuut – igale olemile unikaalne omadus, mille alusel toimub olemi identifitseerimine. Võtmeatribuute võib olla rohkem kui üks, kuid need ei tohi puududa või olla määramata. Kõige tähtsamat neist nimetakse *primaarvõtmeks*, ülejäänuid *sekundaarvõtmeteks*³. Viimaseid kasutatakse olemiklassi sidumiseks teise olemi primaarvõtmega.

*Domeeniks*⁴ nimetakse infomodelis defineeritud atribuutide lubatud väärtusi.

Geomeetrilised primitiivid - saadakse olemeid üldistades. Olemi ruumilisi omadused kirjeldatakse kas ühe geomeetrilise primitiiviga või nende kombinatsiooniga. Geomeetrilised primitiivid kirjeldavad olemi asukohta, ruumseoseid ja samuti mitteruumilisi omadusi.

Infomodelis defineeritakse veel olemite vahelised suhted. Selleks kirjeldatakse olemite klasside vaheliste seoste tüübid. Seose tüübi aste näitab, mitu olemi klassi on ühendatud. Esimese astme seosed on ühe ja sama olemiklassi sisesed. Teise astme seos on kahe olemiklassi vahel, *n*-astme seos ühendab *n* olemiklassi.

Seose tüübi kirjeldamiseks tuleb kindlaks määrata (Adam, Gangopadhyay, 1998):

- mitu korda olem antud suhtes minimaalselt ja maksimaalselt osaleda võib;
- kas olem peab antud suhtes osalema või mitte.

1.1.3.3. Andmemudel

Andmemudel on infomodeli konkretiseerimine kasutatavate andmete tarbeks vastavalt reeglitele, mida seab kasutatav IT. Andmemudeli keskne mõiste on *objekt*, millel esinevad *tunnused*.

Andmemudel määrab olemiklasside ruumiliste ja mitteruumiliste atribuutide hoidmise ja kasutamise infosüsteemis. Fikseeritakse objektide, objektiklasside, tunnuste jms. kodifitseerimise ja nimetamise süsteem (Tiits, 1999).

Iga olemiklass teisendatakse objektiklassideks. Andmemudelisse tuuakse olemite atribuudid ja olemite vahelised suhted vastavalt alljärgnevale põhimõttele:

- olem → objekt;
- olemiklass → objektiklass;
- omadus → tunnus;
- omaduste klass → tunnuste klass;
- infomodeli suhteklass → andmemudeli suhteklass.

Objektiklassid tuleb omavahel võtmeatribuutidega siduda vastavalt olemiklasside vaheliste seoste tüüpidele.

Geomeetriliste primitiivide vahelised suhted defineeritakse *topoloogiliste*⁵ suhete kaudu. Andmemudel kirjeldab ka objektide graafilist kujutamist. Samuti määratakse andmemudeliga täpsusnõuded.

¹ Inglise keeles *entity type, entity class, feature class*.

² Tavaliselt mõni lihtne geomeetiline objekt: punkt, joon, pind või keha (näiteks kera, ellipsoid, risttahukas) vms. Neid lihtsaid objekte nimetakse esmasteks geomeetrilisteks primitiivideks.

³ Inglise keeles *foreign key*.

⁴ Inglise keeles *domain of attributes*.

⁵ Topoloogia tugineb graafiteooriale, kus objekt esitatakse punktide ja joonte loogiliste suhetena.

1.1.3.4. Esitusmudel

*Esitusmudel*¹ määrab reeglid andmete esitamiseks kasutajale sobival kujul. Esitusmudelis valitakse andmemudeli alamhulk ning moodustatakse sellest meeleeelunditega tajutav objekt – *virtuaalobjekt* (vt. 1.1.7. *Virtuaalsus*). Kuna inimene saab absoluutse enamuse informatsiooni ümbritseva maailma kohta nägemise kaudu, siis räägitakse esitusmudeli loomisel tavaliselt *visualiseerimisest*. Esitusmudel on andmeüksuste vormistuse eeskiri, mis tõlgib nähtused ja nende tunnused virtuaalsuses kasutatavate sümbolite keelde. Esitusmudel määrab ära virtuaalsuse välisilme, st. milliseid objektiklasse milliste struktuurielementidega ja missuguste sümbolitega näidata. Esitusmudel on *leppemärkide kogu* koos nende kasutamishendiga.

Keskne mõiste esitusmudelis on *esitusmall*², mille alusel esitatakse olemi atribuudid vastavalt kasutaja vaatele ja sümbolid kui tähestik sündmuste kodeerimiseks kasutajale sobivale kujule.

1.1.4. Infosüsteemi põhiomadused. Infovahetus

Alljärgnevalt vaatleme ideaalse infosüsteemi funktsioneerimise kvalitatiivseid aspekte.

Eelnevas nägime, et materiaalsete objektide struktuurile saab teatud sümbolite vahendusel seada vastavusse abstraktse struktuuri. Vaatlustel põhinev kogemus näitab samuti, et materiaalsedel objektidel on võime indutseerida teistes objektides endasarnast struktuuri. Struktuursuse ülekande toimub materiaalse vahendaja osalusel, mida edaspidi nimetatakse *infokandjaks*.

Informatsioon käesoleva osa käsitluses³:

- teadmus, mis puudutab objekte, näiteks fakte, sündmusi, asju, protsesse või ideid, sealhulgas mõisteid ja millel on teatavas kontekstis eritähendus;
- peegeldus- ja regulatsiooniprotsesside ruumis ning ajas edasikanduv struktuursus või mitmekesisus; ei ole süsteemi absoluutne omadus, vaid omadus mingi teise süsteemi suhtes.

Infokandja struktuursusele saab seada vastavusse teatud abstraktsete märkide ja sümbolite süsteemi⁴, mida antud osas nimetame *tähestikuks*. Märkide ja sümbolite *täendus* on *õpitav* ja nende äratundmine tugineb intuitsioonile.

Informatsiooni saamisel toimuvad infosüsteemis muutused, sellest järgmises alapunktis.

1.1.4.1. Ideaalse infosüsteemi komponendid

Ideaalne infosüsteem koosneb *materiaalsest komponendist*, mille olemusse me praegu ei tungi ja *infokomponendist*. Informatsiooniline komponent on materiaalse komponendi struktuurile vastav *infostruktuur*, mis kommunikeerub välismaailmaga ja on suuteline organiseerima materiaalse komponendi ülesehitust vastavalt infoprotsessides omandatud struktuursusele. Tegu on *tagasisidestatud* protsessiga.

Informatsioon on omane kõigile materiaalsele objektidele. Keskse tähendusega informatsioonist arusaamisel on teade, sõnum⁵ s. Edasipidi käsitlemegi informatsiooni kvalitatiivses aspektis mingi *tähemärkide*⁶ kombinatsiooniga esitatud sõnumina.

¹ Inglise keeles *presentation model*.

² Inglise keeles *template*.

³ ENE 3, 1988.

⁴ Märkide ja sümbolite kandjate füüsiline olemus ning kodeerimiseeskiri antud käsitluses vaatluse alla ei tule.

⁵ Väidetavasti võeti sõna “informatsioon” kasutusele 1930. aastate paiku, kui tekkis vajadus vahetegemiseks “andmete” ja “teabe” vahele. “Eesti Entsüklopeedia” aastast 1934 ütleb informatsiooni kohta lakooniliselt: “(lad) teated, teadistus, teadete andmine”.

⁶ Tähemärk, märk (sümbol) on tähestiku element.

Infokomponent koosneb mingist sõnumite hulgast¹. Vastavalt tehtud eeldustele moodustavad need sõnumid teatud struktuuriga süsteemi S mida edaspidi nimetame lihtsuse huvides infosüsteemiks ehk *infoobjektiks* (Pereslegin, 1986-2006).

Olgu infosüsteem *lõplik* ajas ja ruumis. Kuna sõnumeid esitavaid märke kannavad lõplike mõõtmetega materiaalsed struktuurid, siis sisaldab lõplik infosüsteem lõpliku arvu sõnumeid. Teisalt, lõpliku aja kestel toimuv kommunikatsioon tähendab, et ka sõnumid on lõplikud.

1.1.4.2. Sõnumite tähendus

Sõnumitel on antud abstraktses infosüsteemis S *tähendus*, mille määrab sobivus sõnumite süsteemi, *konteksti* K . Konteksti struktuuriga sobimatuid sõnumeid nimetame *nõrgalt seotuteks*; sobivaid sõnumeid – *tugevasti seotuteks*. Sideme tugevus on suhteline, ainult antud kontekstis mõjuv suurus. Lõpliku sõnumi sidemete hulk antud kontekstis on lõplik. Alljärgnevalt kasutame ideaalse infosüsteemi talituse seletamiseks hulgaalgebra ja tõenäosusteooria esituste formalismi. Kõigepealt defineerime sõnumite sõltuvuse ja sõltumatuse.

Def. 1. *Sõnumite sõltuvus ja sõltumatus.*

Kuulugu sõnumid s_1 ja s_2 mingisse infosüsteemi S : $s_1, s_2 \subseteq S$. Siis suvalised kaks sõnumit, mis sisalduvad antud süsteemis, rahuldavad ühte alljärgnevatest tingimustest:

1. sõnumid s_1 ja s_2 on omavahel *sõltuvad*, kui nende ühisosa pole tühi hulk:

$$s_1 \cap s_2 \neq \emptyset \text{ ja } s_1, s_2 \subseteq S;$$

2. sõnumid s_1 ja s_2 on omavahel *sõltumatud*, kui nende ühisosa on tühi hulk:

$$s_1 \cap s_2 = \emptyset \text{ ja } s_1, s_2 \subseteq S.$$

Praegu ei huvita meid sõnumite üksteises sisalduvuse määramise viis ja piirdume eeldusega, et taoline protseduur on olemas. Defineerimine sõnumite identsuse, mis on *ekvivalentsiseose* ja sellel põhineva klassijaotuse keskseks mõisteks.

Def. 2. *Sõnumite identsus.*

Olgu meil sõnumid s_1, s_2 . Iga kahe sõnumi korral hulgast S , $s_1, s_2 \subseteq S$, kui need sõnumid on omavahel sõltuvad, $s_1 \cap s_2 \neq \emptyset$, kehtigu: $s_1 \subseteq s_2$ või $s_2 \subseteq s_1$, st. üks sõnum sisaldugu teises. Kui kehtib $s_1 \subseteq s_2$ ja $s_2 \subseteq s_1$, siis $s_1 \cap s_2 = s_1$ ning $s_1 \cap s_2 = s_2 \Leftrightarrow s_1 = s_2$, sõnumid s_1 ja s_2 on *identsed*.

Identsusel on järgmised omadused:

- *refleksiivsus*: $s_1 = s_1$, iga sõnum on identne iseendaga;
- *sümmeetrilisus*: $s_1 = s_2 \Rightarrow s_2 = s_1$, kui üks sõnum on identne teisega, siis ka teine sõnum on identne esimesega;
- *transitiivsus*: kui $s_1 = s_2 \wedge s_2 = s_3 \Rightarrow s_1 = s_3$, kui üks kahest identsest sõnumist on identne kolmanda sõnumiga, siis on viimane identne ka teise sõnumiga algsest sõnumite paarist.

Sõnumite vastastikuse sõltuvuse mõiste kaudu saab defineerida liitsõnumi.

Def. 3. *Liitsõnumid.*

Olgu meil sõnumid s_1, s_2 infosüsteemist S . Iga $s_1, s_2 \subseteq S$ korral, kui s_1 ja s_2 vahe $s_2 \setminus s_1 \neq \emptyset \Leftrightarrow s_1 \subseteq s_2$, siis sisaldab sõnum s_2 veel ühte sõnumit $s_3 = s_2 \setminus s_1$ ja sõnumit s_2 nimetatakse s_1 ja s_3 kombinatsiooniks ehk *liitsõnumiks*:

$$s_2 = s_1 \circ s_3. \tag{1.1.4.1}$$

¹ *Süsteem lingvistilises tähenduses*: Süsteem on tõeste sõnumite hulk (Mesarovitš, 1978).

Def. 4. Baassõnumid.

Iga sõnumite süsteemi S korral saab välja tuua omavahel sõltumatute *baassõnumite* hulga B_0 nii, et suvalise sõnumi a , $a \subseteq S$ saab esitada baassõnumitest b_i koostatud liitsõnumina:

$$a = b_1 \circ b_2 \circ \dots \circ b_k, k \in [0, n], \quad (1.1.4.2)$$

kus $b_i \subseteq B_0 \subseteq S$ ja $i = 1, \dots, n$, n on mingi naturaalarv, $n \in N$.

Baassõnumite B_0 hulk ei moodusta iseseisvat süsteemi. B_0 on infosüsteemi S osa: $B_0 \subseteq S$ ja baassõnumid b omavad taolist tähendust ainult antud infosüsteemi S kontekstis K .

Gödeli ebatäielikkuse teoreemi põhjal: iga infosüsteemi S korral on olemas baas $B_0 \subseteq S$ nii, et iga sõnumi $a \subseteq S$ jaoks kehtib (1.1.4.2). Igas infosüsteemis on sõnumite baas. See sõnumite baas ei ole *absoluutne*, üldiselt rääkides saab baassõnumeid ümber defineerida uute baassõnumite kombinatsioonidena antud infosüsteemis, kuid sõnumite baasi struktuur on piiratud infosüsteemi struktuuriga.

Def. 5. Sõnumite fundamentaalbaas.

Baasi, mille puhul baassõnumite hulk ühtib infosüsteemi struktuuriga määratud baasiga, nim. *fundamentaalseks*. *Fundamentaalsed*, ehk *põhisõnumid* antud infosüsteemi kontekstis tähendust ei oma. Teiste sõnumite tähendused infosüsteemi kontekstis on määratud läbi põhisõnumite¹. Infosüsteemi struktuuri ja sõnumite baasi struktuuri vahel on seos, neist ühe muutumine toob kaasa muutused teises ja vastupidi.

Märkus: Infosüsteemi S jaoks on meil siamaani defineerimata sõnumite *järjestus*, samuti liitsõnumite moodustamise operatsiooni olemus (eeldame, et see on võimalik, kuid ei keskendu sellele kuidas see toimub). On defineeritud ainult sõnumite identsus ja sõltumatus. Samuti jäävad määratlemata *pöörd-* ja *vastandsõnum*, järelikult ka *nullsõnum* ning *ühiksõnum*. Infosüsteemidega toimuvate nähtuste kirjeldamise praeguse tasandi juures pole selle järgi veel vajadust.

1.1.4.3. Selektiivsus

Käesolevas punktis lähtume tunnetusmodelite (1.1.3) ja infosüsteemide omadustest.

Olgu meil infosüsteem S_0 ja $B_0 \subseteq S_0$ selle sõnumite baas. Reaalsusmodeli (1.1.3.1) loomisel defineeritakse unikaalsete üksiknähtuste klassijaotus ja määratakse huvipakkuv ruumiosa ja ajavahemik. Seega toimub baasisõnumite hulga B_0 jaotamine alambaasideks mingi *välise* klassifitseerimisparameetri alusel.

Olgu P mingi n -parameetiline klassibaas ja $P(B_0)$ sõnumite hulk ehk *klass*, mis omab konteksti antud baasil. Olgu S_1 kõigi mõeldavate klasside $P(B_0)$ ühend:

$$S_1 = \bigcup_{i=1}^n P_i(B_0), n \in N \quad (1.1.4.3)$$

nii, et iga $b \subseteq B_0 \Rightarrow b \subseteq B_1$, kõik baassõnumid b peavad kuuluma ka hulka B_1 .

Nimetame infosüsteemi *kontseptsiooniks* teisenduseeskirjade kogu C , mille alusel saab algse infosüsteemi S_0 kontekstist K_0 infosüsteemi S_1 konteksti K_1 nii, et iga klass $P(B_0)$ süsteemist S_0 kuulub infosüsteemi S_1 konteksti: $P(B_0) \subseteq K_1$.

Def. 6. Verifitseerimine².

Olgu infosüsteemi infokomponent S_0 määratud kõigi antud sõnumibaasiga B_0 seostatavate *kontseptsioonidega* C . Need eeskirjad võimaldavad sõnumeid, millel puudub

¹ Põhisõnum on „väljapoolt” sisse toodud suurus, mida antud kontekstis ei defineerita.

² *Verifitseerimine* e. nõuetekohasuse tõendamine - objektiivsete tõendite abil kinnituse andmine selle kohta, et spetsifitseeritud nõuded on täidetud (EVS-EN ISO 9000:2001 Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Alused ja sõnavara)

tähendus antud infosüsteemi S_0 kontekstis. Sellised sõnumid, aga samuti klassid, mille need moodustavad, arvatakse infosüsteemist S_0 välja kui *praak*, mis ei sobi sõnumite baasiga ega oma tähendust infosüsteemi S_0 kontekstis K_0 .

Def. 7. Lihtsustamine.

Tähistame infosüsteemi infokomponendi, mis sisaldab ainult verifitseeritud konteksti, S_1 . Tunnetusmodelite puhul tähendab see, et oleme infosüsteemis S_0 konstrueerinud reaalsusmodeli sõnumibaasist B_0 infomodeli baasi BI_1 :

$$BI_1 = B_1 + C, \quad (1.1.4.4)$$

mis ühendab endas kõik baassõnumid ja eeskirjad, st. määranud infosüsteemi S_1 infokomponendi struktuuri. Kuna $S_1 \subseteq S_0$, siis on selge, et reaalsusmodel teisendamisel infomodeliks üldiselt lihtsustub¹.

Kontseptsioon C kasutab infosüsteemi S_0 välist loogikat, mille alusel tagatakse informatsiooni sisene loogiline ühilduvus.

Infosüsteemide ülaldefineeritud omaduste: *verifitseerimise* ja *lihtsustamise* tõttu, tagamaks infomodeli kontekstide loogilist ühilduvust vastavalt süsteemivälisele loogikale, ilmutavad infosüsteemid informatsiooni vastuvõtmisel, salvestamisel, töötlemisel ja edastamisel *selektiivust*. Eelnimetatud tegurite mõjul vormitud infosüsteemi infokomponendi *siseloogika* põhjal väljastpoolt saabuvat informatsiooni:

- arvestatakse täielikult;
- arvestatakse osaliselt;
- ignoreeritakse.

Selektiivsus on infosüsteemide üldine omadus, mis ilmneb ja millega tuleb arvestada kõikide infosüsteemidega töötamisel. Seepärast on infosüsteemi loomisel vajalik hinnata selle selektiivsust ja töötamisel omada ettekujutust sellest, millist informatsiooni see vastu ei võta.

1.1.4.4. Infovahetus

Infosüsteem S_1 (1.1.4.3.) pole kasutamiseks *mugav*. Selle struktuuri määrav kontseptsioon C on üldisevõitu. Põhjuseks on intuiitiivselt tunnetatud nähtuste formaalseteks objektideks kujutumise ähmasus. Tulemusena võib klasside ja nende vaheliste seoste piiritlemine olla laialivalguv.

Infosüsteemi selektiivsus pole ainuke infovahetusel ilmnev omadus. Eelmises punktis (1.1.4.3) piirdusime esialgu nõudega, et infosüsteemi S_0 klassi $P(B_0)$ baasi P baassõnumid peavad olema infosüsteemi S_0 baassõnumid. Järgnevalt selgus, et süsteemist tõrjutakse süsteemiväliselt etteantud loogikaga sobimatud kontseptsioonid ja kontekstis tähenduseta sõnumid. Kuid infosüsteemi talitust ei ole ammendavalt kirjeldatud ainult tasemega S_1 . Kõigi infosüsteemis S_0 toimivate eeskirjade hulgast C eristub teatud hulk kontseptsioone, mis on infosüsteemis S_0 kõikide sõnumiklasside suhtes *invariantsed*.

Lihtsustame süsteemi BI_1 (1.1.4.3.) veelgi, kõrvaldades *süsteemivälise loogika* põhjal sõnumid, mida *peame* antud infosüsteemi jaoks *tarbetuteks*. Tulemusena saadud baassõnumite süsteemi tähistame BR_1 . Kehtib tarbetute sõnumite *taastamatuse nõue*. Need ei tohi olla saadavad eeskirjade C rakendamisel infosüsteemi S suvalisele sõnumite hulgale, mis on antud baasil BI_1 . Toome baasist BR_1 välja *täielikud ortogonaalbaasid* P_{ort} .

Def. 8. Ortogonaalbaas

Sõnumite täielikus ortogonaalbaasis P_{ort} on iga sõnum määratud mingite parameetrite komplekti kaudu nii, et parameetrite ja baasisõnumite vahel on üksühene vastavus. Ortogonaalsus tähendab seda, et erinevatele sõnumitele vastavad erinevad parameetrid, kui

¹ Äärmiselt lihtsatel juhtudel võib esineda üksühest vastavust.

kahe sõnumi parameerid langevad ühte, on tegu ühe ja sama sõnumiga. Kontseptsioon C_1 määrab säilinud sõnumite konteksti $K_1(BR_1)$ baasil B_1 , st. vastavalt süsteemi sise- ja välisloogikale verifitseeritud ja selekteeritud ehk *korrastatud* sõnumite hulga S_1 baasil.

Osutub, et klassikontseptsiooni alusel korrastatud sõnumiklassid moodustavad teatud üldisema struktuuri S_2 . Sellele vastab *baasklasside* B_2 süsteem. Infosüsteemi S_2 baasil B_2 on infostruktuuri elementidel (klassidel) kontseptsioonile C_1 vastav kontekst K_2 . Mitte ainult sõnumiklassid, vaid ka neisse kuuluvad üksiksõnumid peavad rahuldama selle konteksti nõudeid BI_2 :

$$BI_2 = B_2 + C_1. \quad (1.1.4.5)$$

Sõnumiklasside baas ja sõnumiklasse siduv kontseptsioon korraldavad infosüsteemi T_2 infovahetust. Infosüsteemi S_2 kontekstiga K_2 sobimatud sõnumid ei pääse süsteemi. Taoliste sõnumite tekkimisel infotötluse käigus need kõrvaldatakse verifitseerimisprotseduuri läbi kui tötluse *praak*.

Infosüsteem S_2 on teatud tingimustel suuteline *genereerima uusi sõnumeid*, mis varem puudusid infosüsteemis ja mis ei ole saanud infosüsteemi väljastpoolt. Kui puudub vasturääkivus kontekstiga K_2 , sõnumiklasside kontseptsioonid lubavad ja antud klassi sõnumitega seotud teistes klassides on sõnumid, millel on vaba (tühi) side antud klassi¹, saab nendele sidemetele vastavate sõnumi ilmumine sellele positsioonile ootuspäraseks. Kui süsteemis on *lubatud* genereerida uusi sõnumeid, siis saab sellise sõnumi tekkimise tõenäosus suureks ja võib mõnel juhul läheneda ühele.

Genereerimise omadus muudab infosüsteemid kasutamise seisukohast eriti väärtuslikuks. Infosüsteemile S_2 vastab teaduses *teooria*.

Näide 1.1.4.1: Keemiliste elementide perioodilisuse süsteem.

Dmitri Mendelejevi (1834-1907) poolt koostatud perioodilisuse tabel (1869), mis võimaldas hea täpsusega ennustada seni veel avastamata keemilise elementide omadusi. Tabeli põhjal kuulutati ekseteks väidetavasti avastatud keemilised elemendid, mis ei sobinud antud süsteemiga (Wikipedia, 2006).

Näide 1.1.4.2: Neptuuni ennustamine taevamehhaanika seaduste põhjal.

Prantsuse matemaatik Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877) ennustas 1845. aastal Uraani liikumise häirete põhjal häireallika, seni tundmatu planeedi olemasolu. Neptuuniks ristitud planeet avastatigi näidatud asukohast 23. septembril 1846, Berliini observatooriumis, Preisi astronoomi Johann Gottfried Galle (1812-1910) poolt (Wikipedia, 2006).

1.1.4.5. Täielikud infosüsteemid

Infosüsteem S_2 „tõmbab” ligi oma struktuuriga sobivaid ja „tõukab” ära sobimatuid sõnumeid. Tulemusena avaldab süsteem S_2 vastupanu välismõjutustele, mis püüavad muuta selle struktuuri, näitab üles *enesesäilitusvõimet*. Teatud tingimustel on süsteem S_2 suuteline *taastama* oma hävinud või vigastatud allstruktuure, kui need ei moodusta liiga suurt osa süsteemist kui tervikust².

Näide 1.1.4.3: Üks traditsiooniline ülesanne intelligentsustestist (Kees, 1978).

Milline arv jätkab arvurida:

1, 2, 4, 7, ... ?

Antud jada üldliige rahuldab seost: $a_{n+1} = a_n + n$, $n = 1, 2, 3, 4$; kus $a_1 = 1$, seega $a_4 = 11$.

¹ Infosüsteemi struktuuris on nõ. „auk”.

² Regeneereumisvõime oleneb konkreetsest süsteemist.

Vaatleme kontseptsioone C ja C_1 . Infostruktuuride S_1 ja S_2 konstrueerimisel lähtusime neist kontseptsioonidest kui seostest sõnumite ja sõnumiklasside vahel. Saadud süsteem omab märkimisväärset *heuristilist jõudu*¹, mis võimaldab määrata väliste objektide struktuursusega seostatud sõnumeid *siseinfo* põhjal. Toome nüüd lisaks seostele sisse *evolutsiooni* – infostruktuuri muutmise ajas.

Olgu meil välisloogikale vastav sõnumite fundamentaalbaas. Eraldame välja mingile ajahetkele t_0 vastavad sõnumid ja korrastame need. Selleks defineerimine klassikontseptsioonid, verifitseerimine sõnumid ja seosed ning ortogonaliseerime saadud tulemuse. Rakendame kontekstile $K(t_0)$ eeskirjad C_2 , mis kirjeldavad seoseid ja süsteemi evolutsiooni:

$$K(t) = C_2 K(t_0) \quad (1.1.4.6)$$

ja saame infosüsteemi konteksti ajahetkel t , $K(t)$.

Def. 9. Uuendus.

Kontekstis $K(t)$ sisalduvad sõnumid ja nendevahelised seosed teevad läbi verifitseerimise, mille käigus kontrollitakse vastavust sise- ja välisloogikaga. Seda ajavahemiku t_{uuend} kestel toimuvat protsessi nim. *uuenduseks*, ajavahemikku t_{uuend} *uuendusajaks*.

Def. 10. Täielik infosüsteem.

Infosüsteemi nimetame *täielikuks*, kui selles on määratud:

- sõnumite fundamentaalbaas S_{fund} ;
- algkontekst $K(t_0)$;
- seosed nähtuste vahel C_{fen} ;
- süsteemi evolutsioon eeskirjaga C_{evol} ;
- uuendusprotseduur;
- eeskiri, mis seob sise- ja välisloogika.

Täielikus infosüsteemis kuuluvad sõnumid süsteemivälise loogika järgi seostatud klassidesse. Iga sõnumi klassikuuluvus teeb läbi verifitseerimise, mille käigus jäävad kõrvale sõnumid ja seosed, mis ei sobi antud klassi konteksti. Sama protseduur kordub klasside puhul, mille tulemusena infosüsteem jääb ilma klassidest ja nende vahelistest seostest, mis ei vasta süsteemi üldisele sõnumite kontekstile. Klassisüsteemi korrastamise protseduuri käigus verifitseeritakse muidugi mõista uuesti ka üksiksõnumite sobivust infosüsteemi üldise kontekstiga. Tulemusena jäävad kõrvale infosüsteemi struktuuriga sobimatud sõnumid ja seosed. Saadud süsteem ortogonaliseeritakse. Järgnevalt fikseeritakse algkontekst ja evolutsioonireeglid ning uuendusprotseduur.

Täieliku infosüsteemi abil saab konstrueerida sõnumeid *nii, nagu need saabuksid süsteemi välistest struktuuridest, mille kohta reaalselt informatsiooni pole saabunud*. Samuti saab täieliku infosüsteemi abil konstrueerida sõnumite konteksti, *mis just nagu vastaks ajahetkele, mille kohta informatsioon pole kas veel saabunud või mille kohta informatsioon ei saa enam saabuda*. Seega annab täielik infosüsteem võimaluse uurida *tundmatuid* asju ja jälgida tuntud asju *tulevikus* (prognoos) ja minevikus (retrospektiiv).

1.1.4.6. Infovahetus täielikus infosüsteemis

Infosüsteemide S_0 , S_1 , ja S_2 uurimisel nägime seda rolli, mida omab *süsteemivälise loogika*² (Pereslegin, 1986-2006). Seda loogikat võib kirjeldada kui senivaadeldud sõnumite,

¹ *Heuristika*, kreeka sõnast εὐρισκω, mis tähendab: „leidsin!“ – „leiutamise ja avastamise kunst ning teadus“. Heuristiline jõud iseloomustab (sageli vigase ja osaliselt esitatud) ülesande lahendamise odavust: mida odavam, seda suurem heuristiline jõud.

² Piltlikult väljendudes maailmakord, millele allub vaadeldav infosüsteem.

klasside ja teooriate baasidest veelgi üldisema baasiga seotud eeskirju. Seega eeldame, et eksisteerib teatud fundamentaalbaas B_3 nii, et ühest infosüsteemist S_2 teise üleminekul invariantseid eeskirjad C_3 , määravad seosed infostruktuuride S_2 vahel sellel baasil.

Rakendades fundamentaalbaasil B_3 kirjeldatud struktuuridele S_2 infosüsteemide konstrueerimise protseduuri: verifitseerime ja ortogonaliseerime infoobjektid S_2 . Tulemuseks on infosüsteem S_3 . Infosüsteem S_3 ei mõjуста mitte ainult üksiksõnumeid või sõnumite klasse, vaid ilmutab valikulisust tervete süsteemide S_2 suhtes. Piltlikult võib öelda, et kui S_2 on teooria, mis opereerib sõnumite ja klassidega, siis S_3 on teooriate süsteem – *maailmavaade*.

Kuna infosüsteem S_3 sisaldab evolutsioonireegleid ja algtingimusi ning sõnumite, klasside ja teooriate vahel defineeritud seoseid, siis on süsteem S_3 suuteline *andma vastuse igale päringule* nii, et kõik kosted jäävad süsteemi piiridesse. Seega on S_3 *enesetäielik kinnine süsteem*. Tänu selektiivsusele omab S_3 enesesäilitusvõimet ja tugevad struktuuriseosed annavad võime taastada minimaalsete säilinud fundamentaalsõnumite põhjal terveid hävinud allstruktuure.

Infosüsteemi S_3 iseorganiseerimisvõime (struktuursus) on suur: see on suuteline lahterdama ja vastavalt kas endasse lülitama või tagasi tõrjuma *kogu välismaailmast saabuva informatsiooni ilma igasuguste eranditeta*. Vastuseks välisele häiritusele toimub infosüsteemi S_3 struktuuris minimaalne muutus, mis tagab tasakaalu säilimise välismaailmaga. Näiteks võib tuua nn. „epitsükliite” moodustamise (Näide 1.1.4.4).

1.1.4.7. Sobimatu informatsiooni liidendamine infosüsteemi

Põrkudes kokku väliskeskonnast saabuva *ignoreerimatu informatsiooniga*, mis on vastuolus infosüsteemi S_3 kontekstiga, siis selle sidumiseks infosüsteemi fundamentaalbaasiga tekitatakse uus eeskirjade kogu O_1 , mille ainsaks funktsiooniks on siduda antagonistlikku sõnumit. See sünnib siis, kui integreeritav informatsioon on infosüsteemi kontekstiga eeskirjade järgi seotud¹. Vastasel korral lükatakse see tagasi kui uskumatu. Üldiselt võib öelda, et infosüsteem S_3 omistab üksiksõnumite ja sõnumiklasside usutavusele sedavõrd kontekstuaalsed väärtused, et võib rääkida sõnumite sünnist ja hävingust.

Aja kestel epitsükliite hulk ja keerukus kasvab, kuni igauks neist saavutab süsteemiga S_2 võrreldava võimsuse. Süsteem S_3 *fragmenteerub* – igale sõnumile või sõnumiklassile vastab oma, spetsiifiline „eeskiri” (kalibratsiooniteooria), mis seob selle süsteemiga S_3 . Infosüsteemi S_3 heuristiline jõud langeb kiiresti nullini. Infosüsteemi S_3 edasine arendamine pole enam rentaabel. Teatud staadiumist alates ei suuda süsteem S_3 enam säilitada tasakaalu ümbritseva keskkonnaga ja laguneb iseseisvateks fraktsioonideks. Ontoloogiliselt² on infosüsteemide infokomponentide eksisteerimine otseses seoses materiaalsete komponentide ja nende sisestruktuuriga. Inimteadvus on lüli, mis ühendab omavahel informatsioonilise ja materiaalse maailma. Gnoseoloogiliselt³ tähendab infoobjektide eksistents ja evolutsioon reaalsete objektide eksistentsi ja evolutsiooni ajas ja ruumis. Infosüsteemid mõjutavad nendega seotud objekte.

¹ Informatsioon kuulub klassi, mis käib antud infosüsteemi alla, olles täiesti vastuvõtmatu tähendusega. Samas annab välisloogika informatsioonile nii suure tähenduse, et ignoreerida seda ei saa.

² *Ontoloogiline* – olemuslik. *Ontoloogia* e. olemisõpetus - tegeleb küsimustega, mis on Maailm, mis on Jumal jne. Materialistliku *ontoloogia* järgi on eksistentsi ainuluseks materiaalne kollektiivne reaalsus - maailma materiaalne struktuur (Uus, 1991). *Ontoloogia* infotehnoloogia kontekstis on teadmiste ja kontseptsioonide spetsifitseerimise ja jagamise mehhanism. Lihtsamalt lahti seletades on ontoloogiad mõistete hierarhiad (Peterson, 2005).

³ *Gnoseoloogiline* – teadmuslik. *Gnoseoloogia* e. teadmisõpetus - tegeleb Maailma ja tõe tunnetatavusega. Objektiivteaduslik gnoseoloogia peab struktuurimõtlemist (loogilis-matemaatilist mõtlemist) ainsaks korrektseks mõtlemiseks. Materialistlikus ontoloogias mõistetakse maailma käitumise põhjuslikkuse all eksistentsi struktuuri universaalset korrapära ajas, kusjuures selle korrapära iseloomule esitatakse ainult puhtabstraktstruktuuriline nõue: ühesugused situatsioonid peavad ajas muutuma ühtemoodi (Uus, 1991).

Võitlus stagneeruva infosüsteemiga ei anna positiivseid tulemusi, selle asemel tuleb püüda anda infosüsteemile uus mõõde, millega süsteem kaotab püsivuse ja maailm saab muudetavaks.

Näide 1.1.4.4: Epitsüklite konstrueerimine kosmogoonias.

Platon (427–347 eKr.) *kinnitas* kategooriliselt, et kõigi taevakehade liikumine on ringjooneline (Kasak, 2003), ühtlane ja korrapärane. Matemaatikute ülesandeks oli tema arvates leida, milline ringliikumiste kombinatsioon võimaldaks seletada kõikide planeetide näivaid liikumisi. *Tööülesandest lähtuvalt konstrueeris* tema õpilane Eudoxos Knidosest (408–355 eKr.) geotsentrilise süsteemi, kus ümber liikumatu Maa paiknes 27 kristallsfääri. Mudel andis rahuldavaid tulemusi Jupiteri ja Saturni puhul, teiste taevakehade jaoks see ei kõlvanud. Täpsemate tulemuste saamiseks tuli kontsentriliste sfääride idee asendada planeetide ühtlase liikumisega pikki ringjooni, kusjuures vaatlustega sobivate tulemuste saamiseks tuli süsteemi täiendada. Kõige tuntuim neist täiendustest ongi epitsüklite kasutamine. Oletati, et iga planeet liigub ühtlase kiirusega mööda väikest ringjoont (epitsükli), mille kese omakorda liigub mööda ühtlaselt mööda suurt ringjoont (deferenti) ümber maa. Aristoteles tõstis sfääride arvu 55ni. Klaudios Ptolemaios (90–160) kirjutas selle sisse oma entsüklopeedilisse „*Megale Syntaxis*’sse” ja nii sai selline käsitlus domineerivaks poolteiseks aastatuhandeks (Haud, 1997).

1.1.5. Uuenemine

Peatume korraks infosüsteemi suhtlusel välismaailmaga. Infovahetust mõistame kui mateeria struktuursuse edasikandumist. Objektidevahelise kommunikatsiooni käigus üks süsteem indutseerib endasarnase struktuuri teises süsteemides, ja vastupidi. Infovahetus on alati vastastikune: selleks, et saada informatsiooni, tuleb seda ka anda. Teisalt on infovahetus alati saadetud mateeria ülekandest ja muutustest objektide materiaalses struktuuris, st. protsessidega, mis on lahutamatu seotud *inerts*i ning *hajumisega*. See tähendab, et rangelt võttes pole infovahetus mitte kunagi momentaalne ja üksühene¹.

Süsteemide inertsist ja dissipatiivsusest tulenevalt eksisteerib välismaailma ja infosüsteemi struktuuride vahel teatud erinevus, muutused jäävad ajas maha² ning ei ole täielikud. Mida suuremaks kasvab erinevus infosüsteemi ja välismaailma vahel, seda tungivamalt püütakse üksteise struktuure vastastikusse kooskõlla viia. Infotehnoloogias on kombeks nimetada taolist ühtlustumisprotsessi *uuenduseks*³. Uuenemise käigus luuakse kas väliskeskkonnas või infosüsteemis puudunud struktuurid või siis viiakse olemasolevate struktuuride ülesehitus täpsemasse omavahelisse vastavusse (Alberts *et al.*, 2001). Ajahetkele $t_{\text{välis}}$ vastava välismaailma struktuursuse peegeldus infosüsteemis kujuneb infosüsteemis ajahetkel $t_{\text{süst}}$ ja reeglina ei ole meil tegu samaaegsete sündmustega, infosüsteemi reaktsioon hilineb⁴:

$$t_{\text{süst}} - t_{\text{välis}} = t_{\text{sünk}} \neq 0.$$

Infosüsteemi ja välismaailma samaaegsete struktuuride ühtlustumist ajas nimetatakse *sünkronisatsiooniks*. Sünkronisatsiooni iseloomustab ajavahemik $t_{\text{sünk}}$ mida võib mõista kui informatsiooni *uuenemise aega*, st. ajavahemiku, mille kestel toimub sõnumite verifitseerimine välise ja sisemise loogika suhtes. Tegemist on võrdlusprotseduuriga, kus kontrollitakse konkreetse sõnumi ja viimasega määratud struktuuri vastavust infosüsteemi S_3

¹ Informatsiooni kadudeta ülekandmiseks on loodud digitaaltehnikat, mis opereerib diskreetsete suurustega. Teoreetiliselt peaks digitaalsüsteemid võimaldama infovahetust ilma kadudeta, *praktikas* on aga alati teatud *tõenäosusega* mingi infokadu.

² Süsteemi omaaeg (vt. 1.1.1.3).

³ Inglise keeles *update*.

⁴ Reaalajas funktsioneeriv süsteem on samuti mudel, mis lähtub eeldusest, et sünkronisatsiooniaeg on võrreldes kirjeldatavate protsessidega *väike*. Ükski infosüsteem ei funktsioneeris reaalajas, tegelikult.

kontekstiga. *Tegelikult* pole võrdlusprotseduur erinevate sõnumite ja erinevate eeskirjade puhul identne, seega puudub konkreetne ja üheselt määratud ajavahemik $t_{\text{sünk}}$ mille kestel kogu infosüsteemi kontekst teeb läbi uuenduse. Veel enam, see ajavahemik $t_{\text{sünk}}$ sõltub tugevasti valitud sünkronisatsioonimeetodist.

Võimalikud sünkronisatsiooniprotseduurid:

- valime ajahetke t_0 ja konstrueerime eeskirja O^{-1} järgi välise loogikaga sobiva sõnumite fundamentaalbaasi ning kalibreerime viimase järgi süsteemi siseaja t_{sis} ;
- valime konteksti $K(t_0)$ ja konstrueerime eeskirja O järgi sõnumite fundamentaalbaasi; valime välja mingi sõnumi $s(t_1) \subseteq S_3$ ja seome selle järgi ajaskaala.

Sünkronisatsiooniprotseduurid pole samased: need erinevad tehtud eelduste ja eeskirjade rakendamise järjekorra poolest. Saab rääkida *määramatus*est infosüsteemis.

1.1.6. Informatsioon ja andmed

Ideaalse infosüsteemi omadused ja talitusprintsipiid on esitatavad kvalitatiivsest aspektist lähtudes. Reaalsusmudeli formaalseks loomiseks ja selle infomudeliks teisendamise põhimõtte kirjeldamiseks sellisest käsitlusest piisab.

Reaalse infosüsteemi loomisel ja selle täitmisel konkreetse sisuga üldsõnalistest määratlustest ei piisa. Iga infosüsteemi loomise eesmärgiks on ju konkreetse sisuga täidetud andmemudeli saamine, mis suudaks mugaval kujul esitada meile huvipakkuvat *teavet*.

1.1.6.1. Informatsiooni aspektid

Informatsioon avaldub süsteemi võimes indutseerida endasarnast struktuuri teistes süsteemides, mis on seotud mateeria struktuursuse edasikadumisega (1.1.2.1.). Selline kommunikatsioon füüsiliste objektide vahel toimub *signaalide* vahetamise teel.

Arvutus- ja kommunikatsioonitehnika vaatevinklist on informatsioon kvantitatiivses aspektis *füüsilise suuruse variatsioon*, st. teatud struktuuriga signaalide kogum, mis täidab arvutite mäluruumi ja koormab sidekanaleid. Informatsioon ilmneb infokandjaks oleva signaali töötlemisel. Küberneetikas (1.1.2.1.) vaadeldakse informatsiooni kui kahe juhusliku muutuja statistilise sõltuvuse mõõtu.

Kommunikatsiooniteoorias informatsioon (Haak, 2003):

- iseloomustab korda ja süsteemi, nn. negentroopiat;
- vähendab ebakindlust süsteemis;
- on teadmiste suurenemise määr, mis avaldub olemasolevate teadmiste täpsustamise, täiustamise, üldistamise ja teisenemisenä;
- informatsiooni saab üle kanda, salvestada (mällu) ja töödelda (teisendada);
- informatsioon on ainult uudne, esmakordselt saadud teave;
- informatsiooni väärtust mõõdetakse üllatus efektiga: mida uskumatum on teade, seda informatiivsem;
- kui on teada, et mingi sündmus A kindlasti toimub, selle tõenäosus $p(A) = 1$, siis selle sündmuse toimumine ei anna mingit informatsiooni, sest oli kindlalt ennustatav;
- kui koos esinevad kaks statistiliselt sõltumatut sündmust A ja B , mille koosesinemise tõenäosus võrdub nende tõenäosuste korrutisega: $p(A, B) = p(A) \cdot p(B)$, siis liitsündmuse (A, B) esinemisel saadav informatsioon on võrdne nende informatsioonide summaga;
- informatsioon ilmneb signaalikandjaks oleva signaali töötlemisel;
- signaal on informatiivne ainult siis, kui tema kuju ei ole ennustatav (ei ole töötlusruumis üheselt määratud);
- ühe signaali elemendiga saab edastada ühe märgi ehk sõnumi;

- kõikvõimalike erinevate sõnumite arv on määratud signaاليةlemendi kõikvõimalike erinevate olekute (väärtuste) arvuga;
- informatsioon näitab allika ja tarbija vastastikust suhet, sidet suunatud süsteemis;
- ei ole süsteemi absoluutne omadus, vaid omadus mingi teise süsteemi suhtes;
- allika entroopia on maksimaalne, kui väljundsymboolid on võrdtõenäosused.

Määrates igale sõnumile ette selle esiletuleku tõenäosuse, saab määrata iga võimaliku sõnumi *omainsformatsiooni* ehk informatiivsuse (infosalduse) I :

$$I = \log_j \frac{1}{p_i}, \quad (1.1.6.1)$$

kus p_i on i -nda teate esiletuleku tõenäosus, kõikvõimalike erinevate sõnumite arv $i = 1 \dots n$,

$p_i \in [0; 1]$ ja $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Valem (1.1.6.1) näitab, et kõrge tõenäosusega sõnum annab vähem infot kui madala tõenäosusega sündmus. See valem on aluseks informatsiooni ühiku defineerimisel, kusjuures määravaks on logaritmi alus j :

- $j = 2$, \log_2 – *binit* ehk *bit* ehk *shannon*;
- $j = e$, \log_e ehk \ln – *nat*;
- $j = 10$, \log_{10} – *decit* ehk *dit* ehk *hartley*.

Informatsiooniteooriat luues lähtus Shannon eelkõige infoedastuse kvaliteedi parandamise vajadusest. Seepärast keskendus ta rohkem sidekanali läbilaskevõime uurimisele kui teate efektile ja limiteeris oma teooria kasutusala rangelt kommunikatsiooniga tehnikavahendite vahel. Küberneetikabuumi aegsed üritamised kasutada infoteooriat muutmatul kujul igasuguse, sh. ka *eritasandilise kommunikatsiooni* kirjeldamiseks andsid üsnagi absurdseid tulemusi.

Klassikaliseks näiteks (veel arvutielest ajast) on ahv kirjutusmasina taga – märkide tähendusest mitte mõhkugi taipav loom toksib kaootiliselt klahve. Eelnevate põhjal on raske ennustada järgmist sümboolit, ometi pole taoline „tekst” *lugejale* kuigivõrd informatiivne.

Märkinud ära, et inseneri kommunikatsioonimudel ei tegele emotsioonide ja suhtumistega, jagas Warren Weaver kommunikatsiooniprobleemid kolme eri tasandi vahel:

- *tehniline* – kui täpselt edastatakse kommunikatsioonisümboleid;
- *semantiline* – kui täpselt sümboolid kannavad vajalikku tähendust;
- *pragmaatiline* – kui efektiivselt saadud teade mõjutab saaja käitumist soovitud suunas.

1.1.6.2. Semantiline aspekt

Küberneetikas on informatsioon vahetu keskkonna peegeldus juhtimissüsteemi signaalides, mis on info füüsiliseks kandjateks. See peegeldus on alati keskkonna mudeliks ja pole sellisena üheselt määratletud.

Informatsioonil on info saaja jaoks teatud tähendus, seda nimetatakse *semantiliseks aspektiks* (Roosaare, 2000). Semantiline aspekt oleneb lisaks informatsioonile ka info *saajast*, selle võimest sõnumist aru saada. Võimalus aru saada tähendab:

1. teade peab olema arusaadav;
2. info peab seostuma infosüsteemi kontekstiga;
3. sõnum peab endas kandma midagi uut.

Esimene nõuetest on süsteemidevahelise kommunikatsiooni probleem, kuid (2) ja (3) tulenevad infosüsteemi kontekstist. Info omab tähendust niivõrd, kuivõrd sellele leidub kohta

info saaja infosüsteemis. Info semantilisest ja pragmaatilisest aspektist rääkides kasutatakse konteksti tähenduses sõna *thesaurus* (varamu).

Sõnumi informatiivsus I on seotud sõnumiga s ja kontekstiga, mida praegu tähistame Θ (thesaurus), millesse see lülitakse: $I = I(s, \Theta)$. Olenevalt vastuvõtva infosüsteemi varamu arengutasemest on võimalikud järgmised variandid:

1. infosüsteem ei ole valmis taolise sõnumi vastuvõtuks, sõnumit seda ignoreeritakse;
2. taoline sõnum juba kuulub konteksti ja seetõttu täiendavat informatsiooni ei anna;
3. maksimaalset informatiivne on sõnum siis, kui infosüsteem on *valmis* taolise sõnumi vastuvõtuks ja oma struktuuri lõimimiseks.

Semantiline spekter on otseselt seotud sõnumi informatiivsusega. Sõnumid s omavad või ei oma tähendust antud infosüsteemi kontekstis, st. teatud viisil organiseeritud sõnumite kogumis. Esimesel juhul on igal sõnumil selles süsteemis mingi *semantilise spekter* (tähenduslikult seonduvate ja kaasnevate sõnumite hulk), teisel juhul mitte.

Vaatleme kaugusi sõnumite hulga elementide vahel. Defineerime, et identsete semantiliste spektrite tekkimisel on see kaugus null (tegu on identsete sõnumitega) ja spektrite erinevuse kasvamisega kaugus suureneb. Kui sõnumite s_1 ja s_2 poolt tekitatud semantiliste spektrite ühisosa on tühi hulk, konstrueerime sõnumitest korrastatud hulga Z_n , mis rahuldab järgmisi tingimusi:

- $Z_0 = s_1$;
- $Z_n = s_2$;
- Suvalise kahe naabersõnumi semantiliste spektrite ühisosa hulgast Z_n ei ole tühi (st. kaugus D_i naabersõnumite vahel on määratud);
- Leiame summa $D_n = \sum_{i=1}^n D_i$, kus $i = 1, \dots, n$;
- Nimetame kauguseks sõnumite s_1 ja s_2 vahel suurust $D = \min(D_n)$, kõigi võimalike vahepealsete elementide Z_n puhul¹.

"Kaardistades" vaadeldavas abstraktses inforuumis antud süsteemile iseloomulikud põhisuurused - *väärtused*, siis märkame, et joonistub välja tihke tuumik omavahel seostatud sõnumeid. Need ongi antud infosüsteemi tesauruseks.

Taoline primitiivne infosüsteemi mudel võib paista mõnevõrra kunstlikuna, ometigi annab võimaluse luua teatud ettekujutuse asjade seisust. "Väljastpoolt" vaadates peaks infosüsteemi varamu paistma „kumerana”: iga lõik, mis ühendab kahte süsteemi põhiväärtust kulgeb läbi tuuma. See näitab, et infosüsteem tugineb järjepidevale ja kooskõlalisele maailmavaatele². Kui tuumik pole ühtne, vaid jaguneb mitmeteks kumerateks tuumakesteks, siis on tegu *fragmenteeruva infosüsteemiga*.

„Kumera” tesaurusega infosüsteemid on selektiivsed. Teatud tingimustes võib neid tabada *informatsiooniline kollaps* – välja prakeeritakse kogu saabuv info, süsteem sulgub endasse. Sellist olukorda saab muuta ainult välispidine mõjutus, sisejõudude mõjul süsteem kollapsist väljuda ei saa.

Informatsiooniline sidusus on kujutletav kui infosüsteemi mahu suhe selle diameetrisse (suurim semantiline kaugus sellesse kuuluvate sõnumite vahel). Suure informatsioonilise siduvusega infosüsteemid kalduvad *genereerimisele* – „tühikud” ja „lüngad” sõnumite

¹ Piltlikult öeldes on kahe elemendi semantiline kaugus „seletuse pikkus”: mida pikemad seletused on vajalikud, seda seosetumad on tekstid.

² Paradigmale, paradigma tagab loogilise ühilduvuse sise- ja välisloogika vahel. Paradigmast tuleb juttu järgmises peatükis.

kontekstis täituvad süsteemist tuleneva sisuga. Sellised süsteemid püüavad viia ümbritsevat reaalsust vastavusse oma sisestruktuuriga.

1.1.6.3. Pragmaatiline aspekt

Informatsiooni saamine keskkonna kohta on küberneetiliste süsteemide käitumise aluseks: tõlgendades (st. omistades tähenduse) keskkonnast saabuvale signaalile sõnumina võimalikest palju tugevamatest mõjudest, valib küberneetiline süsteem sellise vastureaktsiooni, mis võimaldab sel käituda keskkonnamuutusi *ennetavalt*.

Pragmaatiline aspekt kajastab info mõju selle saaja käitumisele, on aluseks *otsustustele*¹. Pragmaatiline aspekt tuleneb semantilisest ja on veelgi *subjektivsem*. Mida keerukam süsteem, seda olulisem on sellele info hankimine, töötlemine ja salvestamine.

1.1.6.4. Informatsioon, andmed ja teave.

Kõnekeeles kasutatakse sõnu *informatsioon*, *andmed* ja *teave* üsna sageli sünonüümidena. Meenutame, et informatsiooni mõiste võeti kasutusele 1930. aastate paiku, kui tekkis vajadus vahetegemiseks andmete ja teabe vahele. Sellele vaatamata pole isegi seitse kümnendit hiljem segadus nende kasutamisel ja omavahelisel eristamisel lõppenud. Ühed püüavad informatsiooni seletada andmete kaudu, teised andmeid informatsiooni abil.

Näiteks professor Kanõgin kirjutas 1983. aastal: „Informatsioon on *andmed*², mis on fikseeritud, rangelt jaotatud, mürast puhastatud ja adressaatideni viidud nii, et need suudavad seda kasutada oma eesmärkide kohaselt” (Kanõgin, 1983).

Eestis 14 aastat hiljem avaldatud ingliskeelne “Teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat” seletab: “*Information Comp. Meaning given to data by the way in which it is interpreted... More generally, knowledge or intelligence unknown to the receiver before its receipt*” (TEA1, 1997).

Käesolevas töös on informatsiooni käsitletud üldmõistena lähtudes „Eesti Entsüklopeedia” ja „Eesti ISO-standarti kavandi” (1993) poolt pakutud määratlustest: milline ühtib Eesti Informaatikakeskuse omaga: “**01.01.01 informatsioon:** teadmus, mis puudutab objekte, näiteks fakte, sündmusi, asju, protsesse või ideid, sealhulgas mõisteid, ja millel on teatavas kontekstis eritähendus” (IS, 1993).

Vältides andmete ja informatsiooni üksteise läbi seletamise nõiarangi, määratleb näiteks ENE 1. köide (1985): „**andmed**, *küb* edastamiseks ja töötlemiseks sobivalt (enamasti arvude ja tekstina) esitatud faktid. A-d salvestatakse mingile a-mekandjale, a-te omavahelist seost väljendatakse a-struktuuriga.”

„Eesti ISO-standarti kavand” konkretiseerib: „**01.01.02 andmed:** informatsiooni *taastõlgendatav* esitus formaliseeritud kujul, mis sobib edastuseks, tõlgenduseks või töötlemiseks. Märkused: Andmeid võivad töödelda inimesed või automaatsed vahendid” (IS, 1993). Selles tähenduses kasutame mõistet *andmed* ka meie.

Teave on see kõik, mis on teadasaamistväärtne, tähenduslik – igasugused andmed, mida saame kommunikatsiooni kaudu (Roosaare, 2000).

Alajaotuses 1.1.4. kirjeldatud menetlus sõnumite korrastamiseks kirjeldab protsessi, mille käigus infosüsteemi sidekanaleid ja mäluruumi täitev informatsioon organiseerub sellisel määral, et muutub kõlblikuks taastõlgendamiseks ja edastamiseks, saab andmeteks.

Teadmiste ja teabe vahetamine on keeruline küsimus. *Teadmised* on kogum meie ettekujutustest ümbritseva maailma, selle osade ja nendevaheliste seoste kohta, mille abil

¹ Otsuste ruum (kõikvõimalike otsuste hulk) kujuneb info pragmaatilisest aspektist.

² Ka mujal maailmas on terminite *information* ja *data* kasutamisega üsna suur segadus.

muudame maailma tagades isikliku äraelamise. Ilmselt võib öelda, et informatsioon ja andmed on üldistatud infosüsteemis samas rollis, mis teave ja teadmised inimteadvuses.

Autorile tundub, et tänu XX sajandi keelekorrastajate pingutustele küberneetika ja üldse reaalteaduste terminoloogia alal ning 1990tel aastatel ette võetud informaatika mõistete standartiseerimisele, on eesti keel õnnelikumas seisus kui paljud suurkeeled. Maailmas on domineerivaks möödunud sajandi 70.-80. aastate aegse mõistetesüsteemi kasutamine (Kelin, 2001), sageli üsna suvaliselt mugandatud ja vulgaarsel kujul.

1.1.6.5. Infotöötlus ja andmetöötlus

Vaikimisi oleme *infotöötluste* mõistet infosüsteemidest rääkides juba korduvalt kasutanud. Nimelt moodustab infotöötlusteks kasutatavate vahendite kogum *infosüsteemi*, see hõlmab riistvara (seadmeid), tarkvara (algoritme ja programme) ning infovara (korduvalt kasutatavate andmete kogumeid). Teatmeteosed ütlevad asja kohta nii.

Infotöötlus – psüühilised või tehnoloogilised protsessid, mis tagavad teabe kogumise, vastuvõtu, eristamise, liigitamise, kohandamise (sh. ümberkodeerimise ja transformeerimise), säilitamise ja kasutamise ning tegevuse regulatsiooni. Tehnoloogias tähendab infotöötlus ennekõige informatsiooni töötlemist automaattöötlustevahenditega, eriti arvutitega, st. informatsiooniga süstemaatiliste operatsioonide sooritamist. Infotöötlus hõlmab lähteandmete kogumise ja sisestamise, salvestamise, programmjuhtimisega aritmeetilise ja loogikalise töötluste, väljastuse ja edastuse (ENE3, 1987).

Terminit *infotöötlus* ei tohi kasutada *andmetöötluste* sünonüümina (IS, 1993).

Andmetöötluse all mõistame andmetega süstemaatiliste operatsioonide sooritamist. See tähendab: aritmeetika- või loogikatehteid andmetega, andmete mestimist või sortimist, operatsioone tekstiga ja graafiliste objektidega, aga samuti redigeerimist, otsingut, kuvamist ja trükkimist jms. Andmetöötlus eeldab ja nõuab andmete viimist ühistöötlemiseks sobivale kujule. Võib öelda, et andmetöötlus on informatsioonist teabe väljatoomise võimaluste loomise protsess (ENE1, 1985).

Andmetöötlust ei tohi kasutada *infotöötluste* sünonüümina (IS, 1993).

Andmete ja informatsiooni ning infotöötluste ja andmetöötluste vaherkord on näidatud joonisel 1.1.6.2. Info- ja andmetöötluste mõisted on tihedalt seotud infohalduse ja andmehaldusega. „Eesti ISO-standarti kavand” defineerib need nii (IS, 1993):

- **01.08.01 infohaldus:** informatsiooni kogumist, analüüsi, säilitamist, otsingut ja jaotamist juhtivad funktsioonid infotöötlussüsteemis;
- **01.08.02 andmehaldus:** andmetele juurdepääsu andvad, andmete salvestust sooritavad või valvavad ning sisend–väljundoperatsioone juhtivad funktsioonid andmetöötlussüsteemis.

1.1.6.6. Informatsioonitehnika ja infotehnoloogia

*Tehnika*¹ ja *tehnoloogia*² mõistete küllaltki levinud väärkasutus on tekitanud üsna suure terminoloogilise segaduse. *Tehnika* all kiputakse pahatihti mõistma ainult mitmesuguseid seadmeid ja vahendeid, midagi materiaalselt ja käegakatsutavat, nõ. “rauda”, mitte aga “sihipärase tegevuse võtete ja meetodite kogumit” (EE9, 1996). *Informatsioonitehnika* on infotöötluste võtete ja töötlemisvahendite ning nende kasutamise meetodika kogum.

¹ *Tehnika* – looduseaduste ja nähtuste tundmisel ning loodusjõudude- ja varade rakendamisel põhinevate teadmiste, töövõtete ja oskuste kogum; sooritusvõtted parimate jõudluste saavutamiseks. Sageli mõistetakse tehnika all ka *tehnikavahendeid* (Eesti kirjakeele..., 1992).

² *Tehnoloogia* – menetlustehnika, toodete valmistamise menetlusi käsitlev tehnikaharu. *Tehnoloogilise protsessi* vältel töödeldav objekt muutub kvalitatiivselt (Eesti kirjakeele..., 1992).

Infotehnoloogia mõiste on laiulatuslik. Ülaltoodud arvestades saab selle tähenduse kokku võtta nii: *infotehnoloogia* – peamiselt loodusteadustel ja matemaatilal põhinev sihipäraste meetodite ning sooritusvõtete kogum ajas ja ruumis edasikanduva teadmuse struktuursuse kvalitatiivseks muundamiseks parima jõudluse saavutamiseks inimtarvete rahuldamisel. Saab anda ka teisi määratlusi, näiteks TEA “Teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat” (1997) defineerib infotehnoloogia: “*information technology Comp The application to information processing of current technologies from computing, telecommunications and microelectronics. Infotehnoloogia, IT*” ja jätkab: “*Information processing Comp The organization, manipulation and distribution of information.*”

1.1.7. Virtuaalsus – keskkond infoga opereerimiseks

Virtuaalsuse alg tähendus kaasaegses arusaamas on *näilisus*. Multimeedia¹ ulatuslik pruukimine on virtuaalsuse tähendust tublisti laiendanud. Laiendamise sagedase kaasnähtena puudub tänapäeval selge üksmeel sõnakasutuses. Ühed mõistavad virtuaalsust kui tehisreaalsust, teised aga kui reaalsuse vastandit. „Arvutikasutaja sõnastik” (Tavast, Hanson, 1998) ütleb: „*virtuaalreaalsus*, tehistõelikus multimeediumrakendus mitut meelt hõlmava liidesega inimese ja masina vahel” (Tavast, Hanson, 1998).

Käesolevas kirjutises loetakse **virtuaalsuseks** *inimteadvusest väljapoole* jäävas infosüsteemi osas olevat, teatud kindla korra kohaselt organiseeritud *märkide ja sümbolite süsteemi*. Reaalsust tõlgendavate sümbolite ja märkide süsteemil on materiaalsete objektidega vastavusse seatud struktuur. Seega on virtuaalsus² üldiselt rääkides tehnika abil loodud *keskkond³ märkide ja sümbolite süsteemi haldamiseks* ning edendamiseks. Raskesti hinnatav, kuid väga oluline osa infosüsteemist on teadmistena inimajus. Ilma selle komponendita on tarbetud kõik ülejäänud. Virtuaalsus ei saa eksiteerida ilma inimeseta, seega on inimene iga eksisteeriva⁴ infosüsteemi vältimatu komponent.

Virtuaalsuse näol on tegemist on mingi *mudeliga*. Virtuaalsus on tehnikavahenditega loodud *reaalsuse peegeldus*, lihtsustatud mudel. Tunnetusmodelite klassifikatsiooni järgi (1.1.3) on virtuaalsusel *esitusmudeli* tunnused. Virtuaalsuse kasutamiskõlblikuks realiseerimiseks on vajalik teatud sooritusvõtete ja tööriistade komplekt, infosüsteem. Tähtsaks infosüsteemi töövahendiks on kujunenud arvuti. Igapäevases kõnekeeles mõistetaksegi tavaliselt virtuaalsuse all *seda, mis on arvutis; seda, mida näitab arvuti*.

1.1.7.1. Virtuaalsuse käsitlused

Mõiste *virtuaalsus* tähendus on laialivalgub. Käesolevas töös esineb see peamiselt graafilise kasutajaliides⁵ abil loodud *töökeskkonna* tähenduses. Sellega võikski piirduda, kui mitte virtuaalsuse üldistatud, kultuuriline tähendus ei oleks tihedalt seotud tunnetusmodelite loomisega. Teiseks põhjuseks ülevaate andmiseks virtuaalsuse käsitlustest ja mõiste ajaloost on virtuaalsuse enda nõ. „virtuaalsus”. Üldkasutatav graafiline kasutajaliides ei võimalda isegi poolt sellest funktsionaalsusest, mis on *juba* omistatud virtuaalsusele *kultuurilises kontekstis*. Seepärast, öeldes välja sõna „virtuaalsus”⁶, riskib infosüsteemi operaator sattumisega tugeva surve alla. Vähim, mis temaga juhtuda võib, on piinlikud ja tüütud seletused nõrdinud

¹ *Multimeedia* – teabe mitme esitusvormi korraga kasutamine (tavaliselt tekst, graafika, heli, video)

² Virtuaalsuse mõiste sügavama olemuse lahkimine jääb kaugemale väljapoole käesoleva töö eesmärke.

³ St. infosüsteemi väljapoole inimest jääv osa.

⁴ Alates informatsiooniteooria ja küberneetika aluste rajamisest on spekuleeritud tehisintellekti teemadel, kuid seni pole põhimõttelist läbimurret selles valdkonnas veel toimunud.

⁵ Graafiline kasutajaliides, inglise keeles *Graphic User Interface (GUI)*. Arvuti graafikakuvamise võimalusi kasutav tarkvaraliides, mis teeb programmide kasutamise lihtsamaks. Täiuslik graafiline kasutajaliides vabastaks kasutaja täielikult vajadusest õppida programmeerimiskeeli. Graafilised kasutajaliidesed on näiteks *Microsoft Windows* ja *Apple Macintosh*. Graafiline kasutajaliides sisaldab järgmisi komponente: kuvaril liikuv viit ehk kursor, osutusseade (tavaliselt hiir), ikoonid, aknad ja menüüd (e-Teatmik, 2006).

⁶ „Ära hüüa hunt!” hoiatab eesti vanasõna.

kasutajaga, kes ei taha mõista, miks *infosüsteemi tegelikkus* ei vasta tema *eelarvamusele virtuaalsusest*.

Virtuaalsus tuleneb ladinakeelsest sõnast *virtualis*, mis vorm sõnast *virtus*, jõud. Keskaegsete skolastikas selgitati virtuaalsust kui „midagi, mis (potentsiaalselt) on olemas, kuid millel puudub tegelik eksistents”. Esimeseks teadaolevaks virtuaalsuse kasutajaks libatõelisuse tähenduses olevat olnud keskaegne teoloog ja filosoof John Duns Scotus (1265/66-1308), kes määratles mõistet: „pole olemas, kuid just nagu (oleks)”¹ (Heim, 1993). Tegu on vana sõnaga, mille tähendust seletati juba eelmiste sajandite teatmeteostes². Möödunud sajandi lõpus muutus see raskestiseletatavaks sõnakõlksuks (Skagestad, 1998), mida kasutati kõikjal kus võimalik ja pahatihti ka seal kus see polnudki tarvilik. Segadus sõna tähenduse seletamisel paistab selgelt välja emakeelsest teatmekirjandusest. „Eesti Entsüklopeedia” 10. köide (1998) märgib lühidalt: „virtuaalne (< lad), põhimõtteliselt võimalik, võimalikkusena käsitav”. Eesti Keele Instituudi egiidi all ilmunud „Eesti keele sõnaraamat” (ÕS, 1999) aga defineerib mõiste nii: „virtuaalne – võimalik, kuid toimumata; näiv-, teostatud teisiti kui näib.” Sama allikas annab määratleb *virtuaalreaalsuse* kui „tehistõelisuse, libatõelisuse, matkitud reaalsuse.”

Virtuaalreaalsuse mõiste autori au pärast käivad vaidlused. Tavaliselt nimetatakse pretendentidena Jaron Lanieri (s. 1960) kes sõnaühendi *virtual reality*³ 1980. aastal kokku seadis (Lanier, 2004). Interaktiivse arvutikeskkonna kohta olevat seda sõna väidetavasti esmakordselt kasutanud *hüperteksti mõiste* looja (1965), üks infotehnoloogia pioneer, Theodore Nelson (s. 1937), oma 1980. aastal ilmunud töös „*Interactive Systems and the Design of Virtuality*.” „Esemel virtuaalsuse all⁴”, kirjutas Nelson, „mõistan ma selle paistmist eraldiseisvana oma konkreetsest „reaalsusest”, mis ei pruugi olla oluline...Ma kasutan sõna „virtuaalne” selle traditsioonilises tähenduses, vastandina „reaalsele”. Filmi reaalsus kaasab endasse selle, kuidas stseen lavastatakse ja kuidas näitlejad liiguvad ringi võtete vahel, kuid keda see huvitab? Ekraanil olev paistabki sellena, mis on film.” (Nelson, 1980) Arendades seda kontseptsiooni edasi jõudis Paul Levinson formuleeringuni (Levinson, 1991), mis Peter Skagestadi parafraaseeringus kõlab nii: *virtuaalne „X” on see, mille saate, pökates „X” infostruktuuri lahti selle füüsilisest struktuurist* (Skagestad, 1998).

Sõnu saime palju, selgust – vähe. Vaated mateeria füüsilisest struktuurist lahti pökatud infostruktuuri olemusele ja omadustele jooksevad omavahel kõvasti lahku. Ühed autorid tunduvad võtvat *virtuaalreaalsust ainult* kui *tõelise keskkonnana tajutavat ja manipuleeritavat, simuleeritud ruumilist keskkonda* (TEA Võõrsõnastik, 1998), teised kõndivad John Scotuse jälgedes ning *näevad virtuaalsuses reaalsusega manipuleerimise vahendit*, „midagi”, mis *võib* saada reaalsuseks. Nagu näeme, on seisukohad diametraalselt vastupidised: reaalsust peegeldav illusioon⁵ *versus* potentsiaalne reaalsus.

Veel suurem on arvamuste dispersioon virtuaalse geneerilise tähenduslikkuse suhtes:

- 1) tehistõelisus – tehnika abil loodud näiline maailm, vastab reaalsusele;
- 2) matkitud tõelisus – reaalsuse peegeldus, teadlike moonutuste ja lisandustega;
- 3) libatõelisus – reaalsuse eitus, *antireaalsus*.

¹ „Not actually but just as if”

² Aastal 1902 määratles Charles Peirce virtuaalsust nii: „A virtual X (where X is a common noun) is something, not an X, which has the deficiency (virtus) of an X.” Vrdl. „Eesti Entsüklopeedia VIII” (1937): „Virtuaalne (lad) teotsemisvõimeline (nähtus, jõud). Füüsikas nimetatakse kehade süsteemi olekus v-seks niisugust (ka oletatavat) muutust, mis on võimalik ja ühendatav süsteemi olemasolutingimustega.”

³ Arvutigraafika „isa” Ivan Sutherlandi ja filosoof Suzanne Langeri, kes kasutasid 1950ndatel terminit *virtual worlds*, eeskujul.

⁴ Nelson: *By the virtuality of a thing I mean the seeming of it, as distinct from its more concrete "reality," which may not be important. ... I use the term "virtual" in its traditional sense, an opposite of "real". The reality of a movie includes how the scenery was painted and where the actors were repositioned between shots, but who cares? The virtuality of a movie is what seems to be in it.*

⁵ Olemasoleva meelepetteline matkimine tajuefektidel mängides.

Otseselt pole arvutikeskkonda virtuaalsuse jaoks vaja (Lindoja, 2002), arvuti pole virtuaalsus, vaid üks selle loomise tööriistadest.

1.1.7.2. Virtuaalsus tehnikas ja kultuuris

Inimkonna kultuuriajaloo informatsiooniteoreetiline käsitlus ilmselt alles ootab kirjutamist. Virtuaalsuse, nagu paljude teiste suursaavutuste puhul, on takkajärgi alanud piikidemurdmine esmaavastaja ja esmakasutaja au üle. Autori arvates ei maksa kaasa minna maksimalistidega, kes arvavad „virtuaalsuseks” muinasjuttudes, müütides ja pühakirjades esinevad „ilmutused”, samuti pühakutele osaks saanud „nägemused”, olgu siis isikliku meditatsiooni või „teispoolsuse” sekkumise läbi. Täie tõsidusega tuleb aga võtta asjaolu, et virtuaalsuse *visiooni* disaineriteks on olnud peamiselt müstikud. Insenerid, kes projekteerivad ehitusmudelit infosüsteemi väljundis, mõtlevad *muinasjutuvestjate* sümboolikas.

Ülalnimetatud John D. Scotus polnud ainus vaimuinimene, kes virtuaalsusega tegeles ja diskussioonile antud küsimuses ei pandud punkti tema õpilase Occami „teraga”¹ realistide ning nominalistide vahelises vaidlustes XIV sajandil. Realistid kinnitasid, et asjadel eksisteerivad *iseseisvad* olemused – *universaalid* ja need on suutelised *olema* ilma asja endata. Nominalistid väitsid vastu, et ei tohi arvata, nagu vastaks reaalses maailmas mingile üldsõnalisele formuleeringule midagi muud kui teatud ühise omadustega objektide klass (Lem, 1964).

Libatõelisuse „teine hingamine” saabus koos XIX sajandil Vene Impeeriumist levinud germaani okultistide, müstikute, spiritistide ja teosoofide koolkonnaga, kelle silmapaistvamatest esindajatest mainime Helena Petrovna Blavatskajat (1831–1891), tuntud kui *madame Blavatsky* (sünd. von Hahn-Rottenštern), Georgi Ivanovitš Gurdžijevit (1877–1949) Nikolai Konstantinovitš Rõrichit (1874–1947).

Õhtumaal põimusid need vaated Friedrich Nietzsche (1844–1889), Karl Haushoferi (1869–1946) ja Houston Stewart Chamberlaini (1855–1927) ideedega. Pärinud lisaks üht-teist antiikaja mõttetarkadelt, kogunud tähendusvarjundeid mitmesugustelt Idamaistelt ususektidelt ning keskaegsetelt ketseritelt, laenates argumentatsiooni Sigmund Freudi (1856–1939) psühhoanalüüsi teooriast, panid need kontseptsioonid aluse mitmesugustele *neomüstitsimi* vooludele. Kõiki neid eripalgelisi, omavahel vaenutsevaid maailmakäsitlusi läbis punase niidina õpetus *salateadmistest* ja *varjatud jõududest*, millised, jäädes hoomamatuks võhikutele, on avatud teadjatele ja annavad viimastele võimu maailma üle. Müstiliste koolkondade kultuurimõju oli ja on praegugi suur, alates modernismist XX sajandi algupoolel, sealt üle psühhodeelia² kaasaajani välja. Sellisena olid *kirjandus* ja *kunst* ammu enne tehnikat loonud oma kontseptsiooni virtuaalsusest ja kasutasid seda agaralt.

Sotsiaalne virtuaalsus, realiseeritud kirjanduslike ja kunstiliste meetoditega, sai XX sajandi meediatööstuse haruks³. Apelleerides mõnikord teaduslikkusele⁴ *võimatute maailmade* konstrueerimisel, sai müstiliste ideede serveerimine *võimalikkuse* pähe levinud kunstiliseks võtteks massipsühholoogia mõjutamisel. Pärast John Ronald Reuel Tolkieni

¹ William Occamist (1285-1349), filosoof ja teadlane. Talle omistatakse ütlemine (lihtsuse printsiip): „*Pluralitas non est ponenda sine necessitate*” või „*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*” (esitatakse veel mitmed ligikaudu samatähenduslikke väljendeid, mis eesti keeles kõlaks umbes nii: „ärge püüdke suurema abil seda, milleks piisab väiksemast”; „ärge tekitage juurde olemusi ilma vajaduseta”) ja mille juured küünivad Aristoteleseni.

² *Psühhodeelia* – „psüühikat näitav”, „teadvust laiendav”, kreeka sõnadest ψυχη ja δηλειν. Eelmise sajandi 60tel aastatel laialdast tähelepanu äratanud sügavalt okultne filosoofilise mõtte vool, mis nägi hallutsinogeensetes preparaatides ja teadlikult esilekutsutud psühhootilises seisundis üleüldse võimalust „laiendada teadvust väljapoole igapäevasuse piire”. Seostatakse tavaliselt Timothy Leary (1920-1996) nimega, kelle eksperimendid Harvardi Ülikoolis 1960ndatel mõjutasid arusaamist virtuaalsest reaalsusest.

³ Inglise keeles *world building*.

⁴ *Science Fiction*, ulme (fiktiivne teadus).

(1892-1973) ja Robert Ervin Howardi (1906-1936) nimedega seostatavate uusmuinasjuttude buumi loobusid paljud autorid oma irratsionaalsuse varjamisest tehnika viigilehega. Uued maailmad loodi puhtalt *mõõga* ja *maagia* abil.

Müstikapõhised fantaasiamaailmad on teema omaette, meid huvitavad hetkel mõned näited pseudotehnilistest ulmariikidest, kus tehniline kommunikatsioon on näilisust loovaks vahendiks. Esimesed tõsisemad pretendendid sellesse rolli pärinevad XX sajandi algusest. Kommunikatsioonitehnika revolutsiooni kajastavates ulmelugudes figureerib mõnikord televisioonitaoline kahepoolse side, milles *soovi korral* võib näha interaktiivsuse ja multimeedia elemente¹. Virtuaalsusena meie mõistes, st. tehnikavahenditega loodud infosüsteemi esitusmudelina teabe mitme esitusvormi ühekorraga kasutamisega, on neid siiski üsna raske võtta. Samuti toimus enamuse neist süsteemidest reaalses, ilma otsese võimaluseta pöörduda mälu poole². Sotsiaalse virtuaalsuse näideteks võiks olla Herbert Georg Wells (1866-1946) oma teosega „*Men like Gods*” (1923) ja Aldous Huxley (1894-1963) paljuvaieldud romaan „*Brave New World*” (1932).

Üllatuslikult haakis neomüstikute poolt reanimeeritud maagia ennast arvutustehnikaga ja XX sajandi lõppu tähistasid katsed anda raalipõhisele infotehnoloogiale maagia tähendus. Üks taoline üritaja on Bruce „Tog” Tognazzini, kes ütles: „nii tarkvaraloojad kui maagid loovad virtuaalreaalsust” (Tognazzini, 1993) ja arvas, et infotehnoloog ja maag peavad lähtuma sarnasest eetikast³. *Maagia* all mõistetakse sellisel juhul infomaailma (virtuaalmaailma) otsemõju materiaalsele maailmale⁴. See ühtib hästi ülalmainitud müstikute vaadete⁵.

„Tõeline” *tehniline virtuaalsus* äratuntaval kujul, kuigi veel sõna ennast kasutamata, ilmub areenile Teise maailmasõja järgsel ajal. Tuntud tegijatest tõusevad esile George Orwelli (1903-1950) ja Arthur C. Clarke'i (s. 1917), kellel veidi pikemalt peatume.

Romaanis „1984” (1949) maalib George Orwell pildi infotehnika abil loodud totalitaarsest ühiskonnast, kus praktiliselt kogu üksikindiviidi kommunikatsioon ümbritseva maailmaga on allutatud kõrgema juhtkonna *teadlikule* poliitikale. Väärrib tähelepanu kogu ühiskonna ajaloolise kogemuse pagasi viimine infosüsteemi muutmälu oleva andmekoguks, mida sihipäraselt muudetakse.

Kõige lähemale kaasaegsele ettekujutusele virtuaalsusest jõudis Arthur C. Clarke oma lühiromaanis „*Against the Fall of Night*” (1948) ja selle edasiarenduses „*The City and the Stars*” (1956), milles ta kirjeldab Keskarvuti poolt kontrollitavat tulevikulinna Diaspar. Olmedetailidena esitatud *saagad* ja arvutimälu eksisteeriva informatsiooni põhjal animeeritud Diaspari mudel on igati vastavad virtuaalreaalsuse kriteeriumitele.

Märkimisväärne on see, et virtuaalreaalse esitusmudelini küündivat infosüsteemi kasutatakse mõlema teedrajava kirjaniku teostes *keskkonna täielikuks kontrolliks ja regulatsiooniks*. Orwell piirdub küll ainult kontrolliga sotsiaalse keskkonna ja massiteadvuse üle, Clarke aga laiendab infosüsteemipõhist keskkonnaregulatsiooni kogu *kättesaadavale ruumiosale*, kaasa arvatud kõigi sealviibivate inimeste teadvus ja alateadvus.

Teise Maailma laiematele massidele algas virtuaalsuse ajastu Stanislaw Lemi (s. 1921) Ijon Tichy lühilugudega (1957) ja romaaniga „*Powrot z gwiazd*” (1961), milles esitatud ideed

¹ Mõned näited: E. M. Forster (1879-1970), novell „*The Machine Stops*” (1909); Hugo Gernsback (1884-1967), „*Ralph 124C41+: A Romance of the Year 2660*” (1911);

² Samuti oli tooniandev muutmälu puudumine süsteemis.

³ Umbes samal ajal (1992) valmis S. Kingi jutu põhjal tehtud film „*The Lawnmower man*”.

⁴ „Klassikaline maagia” oleks siis madala ressursimahukusega ja nigela tootmistasemega tehnoloogia. „Klassikalist maagiat” iseloomustab lisaks veel muutumatu eelajaloolisus (eksisteeris ennemuistsel ajal).

⁵ Nimetatud idealistid suhtusid kogu materiaalsesse maailma kui ideede peegeldusse ning radikaalseimad neist uskusid, et tahtele alluv materia võib võtta suvalise kuju. Need eripalgelised õpetused jätsid sügava jälje modernistlikule kunstile ja kirjandusele.

fantomaatikast kristalliseerusid 1964. aastal Krakowis trükivalgust näinud esseekogumikus „*Summa Technologiae*”.

Arvutus- ja kommunikatsioonitehnika kiire areng viis virtuaalsuse ja visioonitehnika 1960tel aastatel üksikute ulmekirjanike ning filosoofide episoodilisest huvivaldkonnast arvutiteadlaste stabiilse tähelepanu orbiidile.

Esimesed katsed tehniliselt realiseerida interaktiivne süsteem *inimene-arvuti* multimeediapõhise kasutajaliidese abil võeti ette 1960te teisel poolel. Mainida võiks Ivan Sutherlandi poolt 1966. aastal Wisconsinis Ülikoolis tehtud katseid esimese VR-kiivriga¹. Samal ajal töötas Myron Krueger (s. 1942) välja *projekteeritava reaalsuse* kontseptsiooni ja realiseeris selle oma *Videoplace* süsteemis². Samal perioodil algas arvutisimulaatorite konstrueerimine mitmesugustel sõjalistel³, poliitilistel ja teaduslikel eesmärkidel, paraku olid mitmed tollased projektid salastatud. Seetõttu saabus suurem kuulsus alles aastaid või isegi aastakümneid hiljem.

Termin *kunstlik reaalsus*⁴, mis oli peamiselt spetsialistide hulgas kasutusel 1960-70tel, tõrjuti 1990te algul välja *virtuaalreaalsuse*⁵ poolt. Puhtalt arvuti ja arvutivõrkude „sisese” maailma tähenduses tuli 1980te alguses tarvitusele sõna „küberryum” mille levikule aitasid kõvasti kaasa küberpunkki koolkonna ulmekirjanikud. Eelkõige muidugi sõna kasutuselevõtja William Gibson (s. 1948) oma teostega „*Burning Chrome*” (1982)⁶ ja „*Neuromancer*” (1984). Uuematest ilukirjanduslikest käsitlustest võiks mainida S. Lukjanenko (s. 1968) poolt romaanis „*Лабиринт отражений*” (1997) arendatud „lihtsustatud” virtuaalsuse kontseptsiooni.

Ideid ja põnevaid konstruktsioone inimese ja arvuti vahekorra organiseerimiseks on välja pakutud küll ja veel, aga neisse süvenemine läheks käesoleva töö eesmärkidest liiga kaugele.

1.1.8. Infoobjekt

Operatsioonid informatsiooniga ja infosüsteemidega viivad mõttele, et informatsioon ei ole vaid üksteisele järgnevate bittide jada (Pereslegin, 1986-2006). Vaade informatsioonile kui millelegi, mis „täidab kettaruumi ja koormab sidekanaleid” osutus väga viljakaks puhttehniliste arvuti- ja sidesüsteemide loomisel. Täenduslikkusega ümberkäimisel sellest enam ei piisanud. Formaalselt arutledes peaks ahv, kes klõbistab arvutiklaviatuuri, tootma informatsiooni. Praktikas on see *mõttetu, tähenduseta* märkide kogum. On selge, et infosüsteemi poole pöördudes ei huvita meid mitte suvaline signaalidejada, vaid soov saada süsteemilt koste, mis annaks meile mingi uue väärtuse. Pöördudes korraks alapunkt 1.1.6.4. esitatud informatsiooni, andmete ja teabe määratluste juurde võib öelda, et küsides informatsiooni, soovitakse tegelikult saada teavet.

Informatsioon on mingi meediumi vahendusel edasikanduv struktuursus. Kõnealune struktuursus, talletatud infosüsteemi kontekstina, määrab süsteemi talituse. Infosüsteemi omadused tulenevad otseselt selle struktuurist. Infosüsteemi koste mingile sõnumile on olemas sõnumi ja süsteemi struktuuride vastasmõjust (vt. punkt 1.1.4.). Osutub, et infostruktuurid käituvad teatud äratuntaval moel, just nagu mingid suhteliselt püsivad objektid. See viib infoobjekti mõiste juurde.

¹ Virtuaalreaalsuskiiver – seadeldis sissemonteeritud kuvarite, valjuhääldite ja sensoritega virtuaalkeskonnas viibimise simuleerimiseks.

² Tema raamat „*Artificial Reality*” ilmus 1983.

³ Simulaatorite üheks oluliseks rakendusala on tänaseni jäänud pilootide trenaažöörid.

⁴ Inglise keeles *artificial reality*.

⁵ Virtuaalreaalsus, inglise keeles *virtual reality*, võeti tõenäoliselt kasutusele Jaron Lanier poolt 1989. aastal.

⁶ Väidetavalt oli virtuaalreaalsuse (nii nagu me seda täna mõistame) esmakasutaja ulmeloos Austraalia kirjanik Damien Broderick romaanis „*The Judas Mandala*” (1982).

Infoobjekt on infostruktuur, mis ei sõltu materiaalselt kandjast, peab end teatud kindlal viisil ülal ja evib isearenemisvõimet. Infoobjekti saab väga mitmel viisil siduda teiste infoobjektidega. Ühtede objektidega moodustuvad sidemed kergemini, teistega vaevaliselt või üldse mitte. Nende sidemete hulk ja iseloom määravadki *infoobjekti käitumise*. Infoobjektid on pidevas informatsioonilises vastastikmõjus teiste objektidega, mis viib nende evolutsioonini teatud aja kestel.

Näide 1.1.8.1: Tallinn-Tartu maantee võib olla esitatud värviplekkidega paberil, plekiribaga bussijaama seinal, omavahel seotud koordinaatpaaridega tabelis, läbitavate kohanimede loendina, rasterpildina (helendavate punktikesega ekraanil) või siis vektorgraafikana – kuid seni, kuni on äratuntav Tallinn-Tartu maanteena on see ikka üks ja seesama infoobjekt.

Infoobjektidel nagu infosüsteemidelgi on oma *hierarhia*. Need hierarhiad on omavahel seotud. Tasemete erinevuse korral on infoobjekt infosüsteemi jaoks kas müra või üldse väljaspool vastuvõtupiire. Infosüsteemi küll läbivad kõrgema või madalama taseme infoobjektid, kuid süsteemile on need süsteemi tasemele vastavate sõnumite kogum.

Näide 1.1.8.2: Televisioon: kaamerad, saatejaamad ja vastuvõtjad ei näe pilti. Pilti näeb ainult inimene.

Materiaalsele objektile on omane struktuur. Objekti tajumisel nähtusena kujuneb inimteadvuses sellele vastav abstraktne struktuur – formalism (vt. 1.1.2.3). Infoobjekt on selle formalismi üleskirjutus *taastõlgendataval* kujul. Selles on erinevus formalismi ja infoobjekti vahel. Formalism kui indiviidi psüühika objekt ei ole kommunikeeritav, infoobjekt on¹. Virtuaalsus on selles tähenduses vahend infoobjektidega opereerimiseks.

1.1.9. Inimfaktor. Paradigma

Informaatiku jaoks on inimene infosüsteem. Inimene on osa igast tehnilikust infosüsteemist (Alberts *et al.*, 1999), ka siis, kui ta on parajasti serveriruumi uksest välja läinud. Siiaamaani on töös lähtunud üldistatud infosüsteemi lahutatusest inimesest ja tehnikast. See oli abiks infosüsteemi üldiste omaduste kirjeldamisel. Ometigi on päevselge, et ilma inimeseta ei saa. Üldistatud infosüsteem on samasugune abstraktsioon nagu punktmass – lihtsustab mudelite loomist, kuid tegelikult ei ole seda olemas.

Infosüsteemi kirjeldamise aluseks on tunnetusteooria, lähtepunktiks inimene tajumas ümbritsevat maailma. Virtuaalsus kui keskkond infoobjektidega manipuleerimiseks on võimatu ilma mõistusega, mis annab infoobjektidele tähenduse. Veel enam, ainult mõistuse ja tahtega olendid tahavad infoobjektidega opereerida, taotledes paremat tulevikku. Vaid elavad soovivad juhtida tulevikku, püüdes masinate abil saavutada suuremat võimsust. Seepärast ei saa infosüsteemi mudelit lugeda täielikuks kui see ei arvesta inimesi selles süsteemis.

Inimene on infosüsteemi lahutamatu osa. Veel enam, ta inimene määrab selle „näo”. Infosüsteemidega ümberkäimisel ei kehti inimeste ekvivalentsuse printsiip: inimesed ei ole vastastikku asendatavad. Vähemalt sama määravaks on *suhted* ja *sidemed* teiste inimestega süsteemis. Tugevate sidemete puhul võib tekkida võrdlus omapärase „sunnismaisusega”². Muutused ja kulutused, mida toob süsteemile kaasa võtmeisiku kadumine, on sedavõrd suured, et odavam püüda teda säilitada.

Inimeste unikaalsus võib tunduda kunstliku ja vägivaldse teooriana. On ju viimase paari tuhande aasta kestel suuremas osas maailmast lähtunud inimese universaalsusest, olgu siis teemaks sõda või rahu. Tõepoolest, üks hiljutine uurimus kinnitas veelkord, et „konfliktide

¹ Infoobjekt on andmed mõtlemise kohta.

² „Meile meeldib selle poisiga asju ajada. Me tahame Teie firmaga äri teha veel järgmised 25 aastat, makske talle piisavalt, et me ei peaks hakkama endale uut partnerit otsima!” (Gratton *et al.*, 2004).

dünaamilisel evolutsioonil on vähe pistmist geograafilise piirkonna, religiooni, rahvuse jms.” (Johnson *et al.*, 2006). Kõik ühesugused inimsüsteemid peavad ennast sarnastes tingimustes ühtemoodi üleval – kuid see puudutab inimsüsteemide evolutsiooni. Hoopis teine asi on, mida mõtlevad ja tunnevad inimesed selles süsteemis ja kuidas nad näevad ning mõistavad toimuvat.

1.1.9.1. Paradigma

Igal ajajärgul, igas ühiskonnas, igas ainevaldkonnas on kasutusel oma mõistetesüsteem, mida teadlased, ametnikud, insenerid jt. tihti peale erinevalt tõlgendavad ning interpreteerivad. Ometigi on neis süsteemides midagi ühist. Thomas Kuhn tõi 1962. aastal kasutusele *paradigma* mõiste, pidades viimase all silmas süsteemset mudelit millegi käsitlemiseks. Infosüsteemide hierarhias (vt. 1.1.4.) seisab paradigma teooriate süsteemi S_3 tasemel. Paradigma väljendab maailmanägemise süsteemi.

Vaatamata erinevatele paradigmatel, on inimesed siiski suutelised omavahel suhtlema ning isegi üksteisest aru saama. Inimestevahelise mõistmise aluseks pole mitte vaadete ühtsus vaid *materiaalse maailma ühesus*.

Materiaalse maailma ühesuse tõttu iga maailmavaade, mis annab adekvaatse, st. falsifitseerimisele vastupidava pildi maailma asjadest, peab olema kovariantne¹ teise nendesamade asjade kohta käiva seisukohaga kui too paradigma nõndasamuti peegeldab maailma adekvaatselt. Paradigmade kovariantsus tähendab, et need objektiivse reaalsuse kujutused² on seatavad üks-ühesesse vastavusse lõpliku hulga operatsioonide abil. Mõlema paradigma õigsuse korral, kui need kujutavad maailma tuvastatavates piirides adekvaatselt – peavad vastu falsifitseerimise proovile – peavad need olema kovariantsed. Vastasel korral tuleks loobuda materiaalse maailma ühesusest.

Eeldame vastupidist: maailm on ühene, kuid adekvaatsed paradigmad pole kovariantsed. Siinkohas tekkib loogiline vastuolu. Ühe ja sama asja kohta kehtivad ja kontrollitavalt õiged paradigmad välistavad üksteist. Ainsaks väljapääsuks on eeldada, et tegu pole ühe ja sama asjaga, st. tegu on erinevate materiaalsete maailmadega, mis lisaks kõigele pole omavahel ühenduses³. See asjaolu lahendab infosüsteemide praktiku jaoks väga olulise *absoluutse tõde* probleemi. Absoluutset tõde ei ole, kuid tuvastava määramatuse piires on adekvaatsed kirjeldused kovariantsed. Õppides tundma paradigmaga kaetud nähtusi, saab leida vaste nendele nähtustele teises paradigmas. Selles on inimkommunikatsiooni alus.

Kokkupuude erinevate paradigmatel on igale infointegraatorile vältimatu. Maailmavaateline nihe infosüsteemide vahel pole ootuspärane mitte ainult kaugete maade ja erinevate kultuuride või koolkondade kokkupuutel. Paradigmad vahetuvad ajas – just nii seletaski Thomas Kuhn revolutsioone teaduses. Tänapäeval on kättesaadav digitaalkujul talletatud info, mis salvestati pool sajandit tagasi. Lisaks sellele on digitaliseeritud suur hulk varasemal ajal tardkandjatel säilitatud infot. Nõnda suur ajavahe muudab paradigmatel erinevuse väga tõenäoliseks.

1.1.9.2. Infosüsteemi juht

Ülaltoodud seisukohti pareeritakse väitega: *võimatu on nõuda tavalise infosüsteemi juhilt ja infooperaatoritelt erakordset eruditsiooni ning võimet vabalt orienteeruda erinevate filosoofiliste süsteemide rägastikus; igapäevaste ülesannete lahendamisel ei vajata geeniusi, vaid töötajaid kes asja tähtajaks valmis teevad!*

¹ Kovariantsus – suuruste omadus, mis seisneb nendevaheliste seoste muutumatuses, kui suurused ise teisenduste käigus muutuvad. Seega väljendab kovariantsus nimetatud seoste sõltumatust esitussüsteemist.

² Teooriad jms., mis teisendavad reaalsuse kas tervikuna või osaliselt formalismideks inimteadvuses.

³ Vastasel korral on leitav kovariantne teisendus paradigmatel vahel.

Tõepoolest, geeniused on defitsiitne ressurss, kuid ka ülesanded infolõimijate ees on puhttehnilised ja tehnoloogilised. Palju olulisem mõttetarkade erinevate koolkondade tõekspidamiste detailsest tundmisest on tunda *tehnikat*. Tehnikat, mis kõlbab erinevate filosoofiatega, ideoloogiate, maailmavaadete jms. ümberkäimiseks ning kasutamiseks.

Infosüsteemi juht peab omama tõhusat mõistust, helget pead ja tugevat iseloomu. Ta peab olema kursis oma organisatsiooni ajaloo, eesmärkide ja poliitikaga ning mõistma oma rolli selles. Ettevaatusele manitsev märk on infosüsteemi juht koos kaaskonnaga, kes püüab emantsipeeruda organisatsiooni poliitikast ja vastandab sellele infostrateegia. See tunnus viitab infosüsteemi killustumisele – tegu on „haige” organisatsiooniga.

Infosüsteemi juht ei pea olema peen psühhoanalüütik ja tähelepanelik vaatleja, kes lahkab inimhinge kõigis nüanssides. Kuid talle on hädavajalik tunda kaastööliste ja partnerite mõttemalle, meelsust, iseloomu vooresi ja puudusi; inimpsüühika vanuselisest, soolisest, rahvuslikust, rassilisest, sotsiaalsest päritolust ja religioonist tulenevaid eripärasid ning oskama seda kõike püstitatud ülesannete lahendamiseks ära kasutada.

Pahatihti esinevaks IS-juhi puuduseks on taktika prevaleerimine strateegia üle. Infosüsteemide maailmas tähendab see riistvaralise platvormi ja andmemudeli domineerimist. Ekstreemsel juhul allutatakse kogu organisatsiooni poliitika infosüsteemi andmemudeli stabiilsuse tagamise vajadustele. Seejuures on märkimisväärne, et infosüsteemi juht ega organisatsiooni juhtkond seda ei märka.

1.1.10. Infosüsteem

Käesoleva töös on kesksel kohal **infosüsteemi** mõiste. *Infosüsteem* on informatsiooni kogumise, säilitamise ja väljastamise vahendite kogum. Infosüsteemi põhiosad on infokogum¹, töötluseeskirjad² ning tehnilised vahendid³. Praktikast kasutatavad infosüsteemid on kindlat liiki andmete ja kasutajate tarvis (ENE3, 1987).

Vaatenurki infosüsteemile on palju. Infosüsteem on vahend:

- esitamiseks – saab „näha teisi ja näidata ennast”;
- otsimiseks – saab leida olemasolevat;
- mõistmiseks – saab välja tuua midagi uut;
- juhtimiseks – saab võimendada oma mõju inimestele ja asjadele.

Infosüsteemi kontseptuaalmudel, ideaalne infosüsteem⁴, on infosüsteemi mõiste laiendus. Kõigist infosüsteemi omadustest on alles jäetud ainult „puhtalt” infotöötlusega seonduvad ja on tehtud eeldus, et *ideaalse infosüsteemi* sisestruktuur on määratud ainult vastuvõetava, töödeldava, säilitatava ning väljastatava informatsiooniga. Tegu on abstraktsiooniga, mis aitab mõista infosüsteemi üldist talitust ja tuua välja infosüsteemi põhiomadused.

Ideaalne infosüsteem on materiaalne objekt, mis koosneb infoosast ja materiaalosast. Traditsiooniliselt loetakse infosüsteem koosnevaks *riistvarast, tarkvarast, andmevarast ja orgvarast*. Inimene on infosüsteemi lahutamatu komponent – on selge, et ükski organisatsioon ei püsi ilma inimesteta. Lisaks sellele inimestele infosüsteem raha ja vahendeid. Infosüsteem aheldab endasse mingi osa ümbritsevast keskkonnast tulvavast infovoost. Mida suurem on see voog, seda võimsam on süsteem. Infosüsteem on üks tervik. Muutes infosüsteemi suvalist komponenti, muudame kogu infosüsteemi⁵.

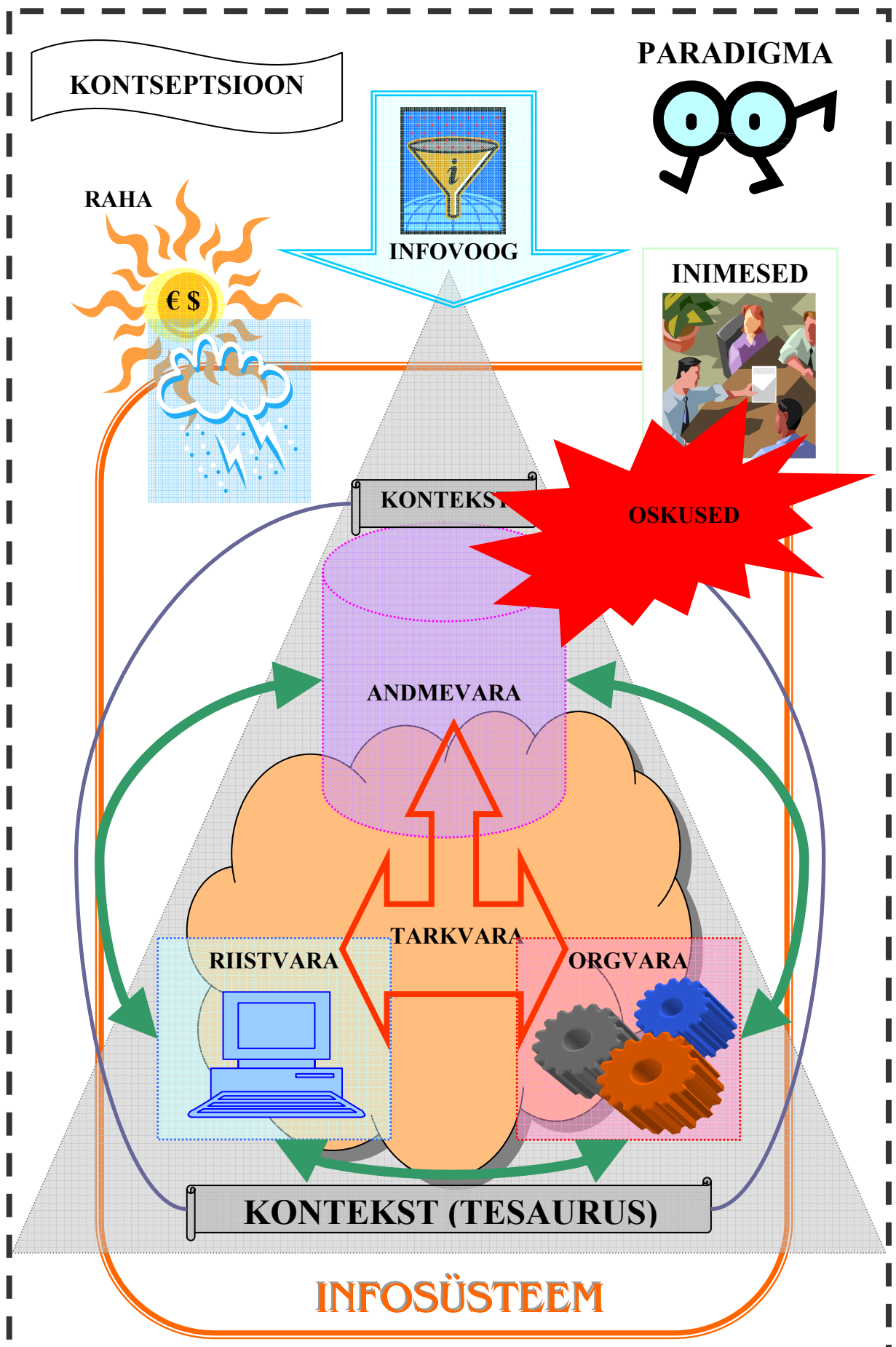
¹ Konkreetsetes, igapäevastes infosüsteemides andmekogu ja andmebaas.

² Algoritmid ja programmid jms.

³ Riistvara.

⁴ Ideaalne infosüsteem *ei ole* infosüsteemi ideaal. See on samasugune *mudel* nagu ideaalne gaas.

⁵ Näiteks muutes infosüsteemi, muudame ka vastavat inimorganisatsiooni.



Joonis 1.1.10.1. Infosüsteem (üks võimalikest ülesjoonistustest).

Ideaalseid infosüsteeme ei eksisteeri. Kaasates mudelisse tüki väliskeskkonda, paradigma, kontseptsiooni, inimesed, oskused, infovoo koos filtriga, tesauruse ja kõik neli infosüsteemi põhivara komponenti, saame infosüsteemi laiendatud kontseptuaalmudeli (joon 1.1.10.1).

Alajaotuses (1.1) on antud ülevaade infosüsteemide organiseerumisprotsessi põhialustest, seletatud lahti mõisted **informatsioon**, **andmed** ja **teave** ning kirjeldatud nende omavahelist vahekorda.

Informatsiooni all mõistetakse materiaalsetele objektidele võimet kujundada teistes objektides endasarnast struktuursust. See toimub läbi *kommunikatsiooni* teiste objektidega, st. mingi füüsilise suuruse variatsiooniga esitatud *signaalide* vahetamise teel. Informatsioon ilmneb infokandjaks oleva signaali töötlemisel. Sellisena ei ole informatsioon absoluutne, vaid omadus teise süsteemi suhtes. Vaadeldes informatsiooni kui kahe juhusliku muutuja *statistilise sõltuvuse* mõõtu, saab informatsiooni kirjeldada süsteemi korrapära kaudu ja siduda termodünaamikas kasutatud *entroopia* mõistega. Teisalt on informatsioon *teadm*, mis puudutab objekte, näiteks fakte, sündmusi, asju, protsesse või ideid, sealhulgas mõisteid, ja millel on *kontekstist* olenev eritähendus. Informatsioon on *teadmiste suurenemise määr*, mis avaldub olemasolevate teadmiste täpsustamise, täiustamise, üldistamise ja teisenemisena. Informatsiooni väärtust mõõdetakse *üllatusefektiga*: mida uskumatum on teade, seda informatiivsem.

Andmed on informatsiooni *taastõlgendatav* esitus formaliseeritud kujul, mis sobib edastuseks, tõlgenduseks või töötamiseks. Andmed on infosüsteemi jaoks sobivalt esitatud faktid.

Teave on see, mis on teadasaamistväärtus, meie jaoks tähenduslik. *Teadmus* on see osa teabest, mis jõuab meie teadvusse, st. teave, mida oleme suutelised kasutama. Vajadust infosüsteemi kui töövahendi järele illustreerib järgmine lihtsustatud pingerivi:

Informatsioon ► Andmed ► Teave ► Teadmused ► Teadvus ► Tarkus ► Arukus.

Inimesed ei vaja mitte informatsiooni ega andmeid, vaid hoopis arukust, et tulla toime enda ees seisvate probleemidega¹.

Informatsiooni kvantitatiivse aspekti juurest, seletades kvalitatiivseid omadusi, jõudsimme välja informatsiooni *semantilise* ja *pragmaatilise* aspektini. Nägime, et informatsiooni tähendus sõltub kontekstist. Üksiksõnumi *informatiivsus* oleneb infosüsteemi, millesse see sattub, struktuurist ja iseorganiseerumisvõimest. Sõnumi sobivus infosüsteemi on määratud sobivusega antud süsteemi konteksti, kohaga infosüsteemi tesauruses. Kui koht infovaramus puudub või on täidetud, siis sõnum antud infosüsteemi jaoks informatsiooni ei kannu.

Järgnevalt esitame *infotöötlust* ja *andmetöötlust* mõisted ning tuginedes arusaamale informatsioonist ja andmetest on rõhutatud, et neid kahte terminit ei tohi kasutada sünonüümidenä. Info- ja andmetöötluste protsessi olemus avaneb meile läbi reaalse maailma kirjeldamiseks kasutatavate *tunnetusmudelite*. Reaalsusmudeli, infomudeli, andmemudeli ja esitusmudelite konstrueerimine on tihedalt seotud infosüsteemi infostruktuuri korrastamisega. Näitasime *virtuaalsuse* samastust arvutipõhise infosüsteemi esitusmudeliga, st. *kasutaja töökeskkonnaga*.

Korrastatud infosüsteemi, milles lisaks struktuuriloovalatele *seose-eeskirjadele* on antud ka süsteemi evolutsiooni eeskirjad, nimetatakse *täielikuks*. Üldistatud infosüsteemi **selektiivsus** informatsiooni suhtes on kõigi infosüsteemide üldine omadus, millega peab arvestama *iga reaalse infosüsteemi* looja ja kasutaja. Infosüsteemi struktuuri aluseks on *teooriad*, *kontseptsioonid* ja *eeskirjad* millest tegijad oma töös juhinduvad. Seega on iga inimtekkeline infosüsteem ette limiteeritud oma loojate *maailmavaatega*. Filosoofilised tõekspidamised,

¹ Püha Augustinuse palve: „Issand! Anna meile jõudu leppida asjadega, mida me muuta ei saa; julgust muuta asju, mis on meie võimuses ja mõistust, et nende vahel alati vahet teha.”

nägemus Maailmast ja asjadest, mis selle sees¹, on infosüsteemi organisatsiooni *loogika* raamistikuks milles toimub sõnumite ning nendevaheliste seoste *verifitseerimine*. Verifitseerimisprotsessi infosüsteemi konteksti (struktuuri) ja ümbritseva keskkonnaga piiritletud *välisloogika* vahel nimetame *uuenemiseks* ehk *sünkronisatsiooniks*. Seda iseloomustab sünkronisatsiooniaeg. Sünkronisatsiooni vasteks reaalses infosüsteemides on *andmeuendus*.

Infosüsteem kaldub *genereerima*, st. tootma informatsiooni mida sinna pole sisestatud. Kõrgemat järku infosüsteemid võivad anda vastuse **igale** päringule. See vastus ei pruugi alati olla tõene.

Infosüsteemi maailmavaateline olemus ilmutab end *epitsükli* konstrueerimises kontekstiga sobimatu² informatsiooni, mida ei saa eitada, *lõimimiseks* süsteemi. Epitsükli hulga kasv ja epitsükli enda paisumine (iseseisva infosüsteemi mõõtmeteni), viib *infosüsteemi mandumisele*. Informatsiooniline *sidusus* süsteemis langeb, sisekommunikatsioon süsteemi eri osade vahel saab häiritud, süsteem *fraksioneerub*. Terviksüsteemi infotakistus kasvab järsult. Mandunud infosüsteem võib teatud tingimustel laguneda iseseisvateks infosüsteemideks.

Piisavalt arenenud ja suure sidususega infosüsteemi võib tabada *kollaps*. Süsteem eirab kõiki väliskeskkonnast saabunud signaale ning saab sisemiselt enesetäielikuks, täites kogu varamu genereeritud informatsiooniga.

Sellised on informatsiooni ja infosüsteemide olemusest tulenevad põhiprintsiibid, millele allub töö igasuguste infosüsteemidega. Need on lähtekohad keskkonnainfoga tehtavate operatsioonide uurimisel.

¹ Materia peegeldus teadvuses.

² Faktid, mida maha vaikida ei saa kuid olemasolevas kontekstis seletada ei anna.

1.2. INFORMATSIOONI JA INFOSÜSTEEMI KVALITEET

*Kvaliteet*¹ näitab informatsiooni ja infosüsteemi **väärtust**. Kvaliteedi põhikriteeriumiks on sobivus *tarbija* mingite konkreetsete vajaduste rahuldamiseks. Kvaliteeti saab hinnata järgmistest põhiaspektidest:

- *kontseptuaalsest* – vastavusena tarbija maailmavaatele ja ootustele;
- *tehnilisest korrektsusest* – vastavusena konkreetsetele vorminõuetele;
- *adekvaatsusest* – vastavusena tegelikkusele teatud lõtku piires.

Eelmises osas (1.1.) tegelesime peamiselt sellega, mis toimub infosüsteemi *sees* ja jutt käis infokomponendi struktuuri kujunemise eripärasuste mõjust mudelitele. Välismaailma käsitlesime süsteemi loogikat dikteeriva piirava faktorina. Nüüd tulevad vaatluse alla infosüsteemi välise objektide modelleerimise, st. tunnetusmudelite loomisega haakuvad küsimused.

Infosüsteem ei koosne reeglina ühesugustest, rangelt piiritletud kvaliteediklassi kuuluvatest andmetest. Andmete iseloom, päritolu ja infosüsteemi kuulumise aeg varieeruvad väga suurtes piirides. Andmete *heterogeensus* muudab kvaliteedi hindamise keerukaks ülesandeks.

1.2.1. Kvaliteedi hindamine

Kvaliteeti mõistetakse üsna tihti intuiitiivselt. Igal inimesel on kvaliteedi mõõtmiseks omad kriteeriumid, mis sõltuvad inimese isiklikest eelistustest ja tema käsutuses olevast informatsioonist ning võimalikest alternatiividest. See, mis ühe inimese jaoks on piisavalt kvaliteetne, ei pruugi seda olla teise jaoks. Seega saab mingist kindlast kvaliteeditasemest rääkida vaid kui statistiliselt mõõdetavast nähtusest (Mättas, 2005).

Lihtsustatud arusaamine kvaliteedist kui millestki puhttehnilisest jääb pinnapealseks. Kvaliteedi mõiste on pidevas muutumises. Seepärast otsitakse definitsioone, mis oleksid kõikehõlmavad, ega välista lähitulevikus esile kerkida võivaid tõlgendusi.

1.2.1.1. Tarbijakeskne lähenemine

Igal inimesel on oma reaalsus. Järelikult on tal ka oma arusaam kvaliteedist². Inimtunnetuse üldisel käsitlemisel (punkt 1.1.3.) kontseptuaalmudel taandus reaalsus- või infomudelile. Infosüsteemi konstrueerimisel ning andmekvaliteedi hindamisel tõuseb vastavus etteantud nõuetele ja normidele, tarbija ootustele-lootustele esikohale. Konkreetse info või infosüsteemi kvaliteedi paneb paika vastavus kontseptsioonile.

Tarbija seisukohast on kvaliteet:

- sobivus eesmärgi või kasutamisalaga;
- vastavus nõuetele (ootustele);
- kooskõlas tarbija praeguste ja tulevikus tekkida võivate vajadustega.

Kasutajale on sageli palju olulisem põhimõtteline otsus kulutuste (jõupingutuste) ja andmekvaliteedi suhte kohta konkreetse ülesande raames kui raskeltsaavutava ideaali poole pürgimine. Pole mõtet töödelda/osta andmeid liigse täpsusega ja mõttetus koguses. Oluline on määratleda kasutajate ja tegijate ülesanded üksteisele vastuvõetavalt ning täpsustada funktsioonid, st. kindlaks teha milleks *sobib* või *ei sobi* infosüsteem ja andmestik. Sobivamad

¹ *Kvaliteet* – määr, milleni olemuslike karakteristikute kogum täidab nõuded [EVS-EN ISO 9000:2001 Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Alused ja sõnavara] (EJK, 2005).

² „Klient on kuningas.”

on kvalitatiivsed ja üldisemad nn. *poolkvantitatiivsed* hinnangud, mis tulenevad varasematest töökogemustest infosüsteemidega. Määravaks on siinkohas:

- teema ja otstarve (funktsioon);
- täpsus;
- aegumisperiood, st. millal loetakse vananenuks.

Infosüsteemi kvaliteeti kui kasutaja rahulolu mõõtu võib esitada valemiga, kus S on kasutaja poolt tajutud, tuvastatud olukord ja L on loodetud olukord

$$Q = S/L, \quad (1.2.1.1)$$

kui $Q = 1$, siis on kasutaja ootused täidetud. Saamaks enam-vähem üheselt mõistetavaid tulemusi *kvaliteedi planeerimisel* ja hindamisel, tuleb ühelt poolt määratleda andmete omadused ja teiselt poolt kasutaja ootused.

Juhul $Q > 1$ on tegu tootjapoolse ülepakkumisega – mis alati ei tähenda suuremat rahulolu – kasutaja võib süsteemi leida liiga raskepärase ja igapäevaseks kasutamiseks kohmaka. Tehnikaajastu kogemus näitab, et kasutajate hulgas populaarseimad pole sugugi mitte ekstreemsete näitajatega supervahendid, vaid üsnagi keskpäraste parameetritega asjad, millel on üks ühine omadus – need vastavad kõige paremini keskmise kasutaja võimalustele, vajadustele ja *oskustele*. Juhul, kui liiasusega kaasneb kõrgem hind, suurem ekspluatatsioonikulu ja langeb soovitud tulemuse saavutamise stabiilsus, tuleb objekti kvaliteet hinnata madalaks – vaatamata paljutöötavatele tehniliste lahendustele.

Juhul $Q < 1$ ei ole kasutaja rahul, süsteem ei vasta tema ootustele.

1.2.1.2. Praktikakeskne lähenemine

Kvaliteedi sidumine kasutajapoolsete ootustega jääb ühekülgsesks. Jäiga liini: „tarbija soov on seaduseks” ajamine ei anna alati optimaalset tulemust, kuna see soov on formuleeritud puuduliku info põhjal. Tarbija ei pruugi teada kättesaadavatest võimalustest ja vajadustest ning võib mõnikord olla oma vajaduste suhtes täiesti ekslikul seisukohal. Infosüsteem peab looma kasutaja jaoks lisaväärtust, andma arukust asjadega toimetulemiseks (vt. 1.1.10.). Infosüsteemi tõeliseks kvaliteediaudiitoriks on *praktika*¹.

Infosüsteemi funktsioneerimise korrektsust saab kontrollida infoobjektiga toimuvate muutuste kaudu. Korralikus infosüsteemis on infoobjekt invariantne, see on suhteliselt universaalne infosüsteemi headuse näitaja. See tähendab, et side formalismi vahel inimteadvuses, infoobjekti vahel virtuaalsuses ja objekti vahel looduses ei katke. Kvaliteetses infosüsteemis infoobjekt ei moundu infosüsteemis tundmatuseeni, ei lagune äratundmatuteks osisteks ega hävi täielikult.

1.2.1.3. Andmekvaliteedi näitajad

Praktilise kogemuse najal on juurdunud infosüsteemis kasutatavate andmete väärtuse tuvastamine osahinnangute kaudu. Andmete headus on iseloomustatav *kvaliteedinäitajate* kaudu. Vastavate mõõdikute väljatöötamine ei ole lihtne ja nende rakendamise igal konkreetsel tuleb olla tähelepanelik. Omaette küsimus on *mõõdikute arv*. Liiga vähe mõõdikuid võib tekitada illusiooni kõrge andmekvaliteedist. Liigsed kvaliteedinäidikud aga panevad rikkuma endakehtestatud reegleid, kuna neid pole mõistliku pingutusega võimalik jälgida. Tulemus on sellisel juhul risti vastupidine kavatsusele: kõrgekvaliteediliste andmete asemel täitub süsteem praagiga.

Metoodilisi juurdeminekuid andmete *kvantitatiivsele* iseloomustamisele on mitmeid. Üldisem võiks olla nelja-viie astmeline, kus igal klassil on oma *otstarbekas* täpsuse ja ajakohasuse nõue. Näiteks:

¹ Puud tuntakse viljadest.

- matemaatiline mudel;
- alussituatsioon;
- teemakihid, mis on määravad antud kasutaja jaoks;
- taustakihid, abistavad konteksti ja teemainfo mõistmisel.

Infosüsteemide ja andmekogude puhul on nende sisu mitmetähenduslik. Ilma sisus täpsemalt *kokku leppimata* võib tekitada asjatuid lahkkelisid kvaliteedi hindamisel. *Andmekogu kvaliteet* kujuneb järgmistest faktoritest (Stanek, Frank, 1993):

- mõõtetäpsus;
- atribuuditäpsus¹;
- loogiline õigsus²;
- täielikkus³;

millele omalt poolt lisame⁴:

- asjakohasuse⁵;
- töötuse kvaliteedi⁶.

Mõnikord eristatakse kvaliteedist rääkides kvantitatiivseid ja mittekvantitatiivseid, hinnangulisi näitajaid. ISO 19113 (ISO 19113: 2002) järgi on *eksperthinnangulised*:

- asjakohasus⁷;
- kasutusvaldkond⁸;
- andmete päritolu, sugupuu, nende legitiimsus⁹.

Kvantitatiivsed näitajad ISO 19113 järgi, st. mõõdetavad, piiritletavad suurused on:

- täielikkus;
- loogiline õigsus;
- ajakohasus¹⁰;
- temaatiline õigsus¹¹;
- täpsus¹².

Andmekvaliteet on mitmemõõteline suurus. Üks võimalik esitusskeem on toodud joonisel 1.2.1.1. Skeem hõlmab lisaks infosüsteemi andmekogule ka esitusmudelit.

¹ Atribuut ehk tunnus määratakse samuti mõõtmiste teel, kuid selle parameetri prioriteet infosüsteemi kontekstis pole kõige kõrgem.

² Inglise keeles *logical consistency*

³ Inglise keeles *completeness*.

⁴ Kvaliteedi struktureerimiseks on veel võimalusi, kuid nad erinevad siintoodust ainult nüanssides. Andmekvaliteedi määramise näitena võiks viidata Euroopas loodavale standardile (*European Standard prEN 287008*, 1995).

⁵ Inglise keeles *relevancy*.

⁶ Inglise keeles *processing quality*.

⁷ Inglise keeles *purpose*.

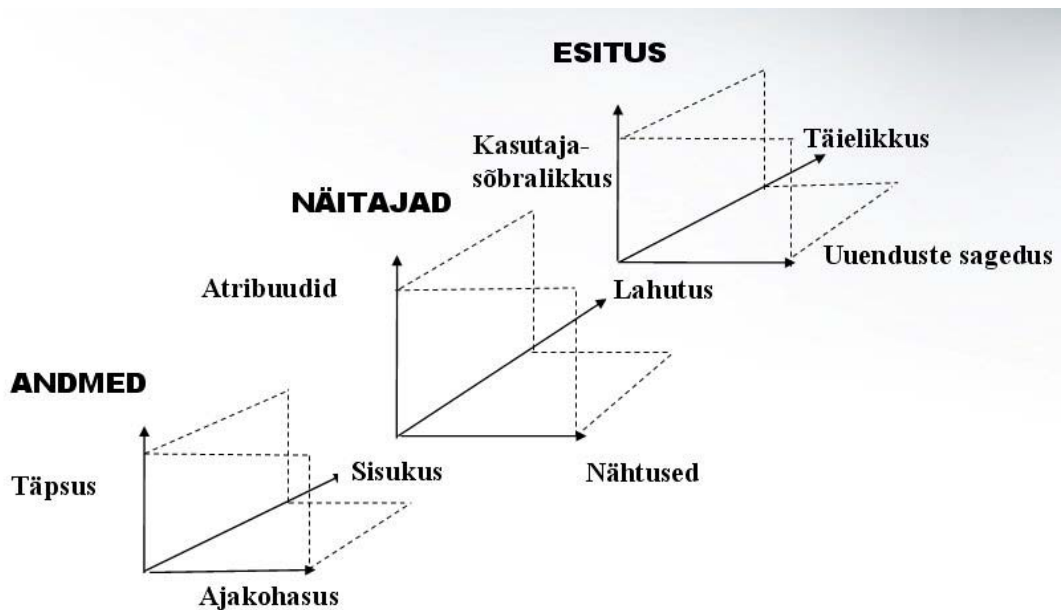
⁸ Ka kasutamiskõlblikus, inglise keeles *usage*.

⁹ Inglise keeles *lineage*.

¹⁰ Inglise keeles *temporal accuracy*.

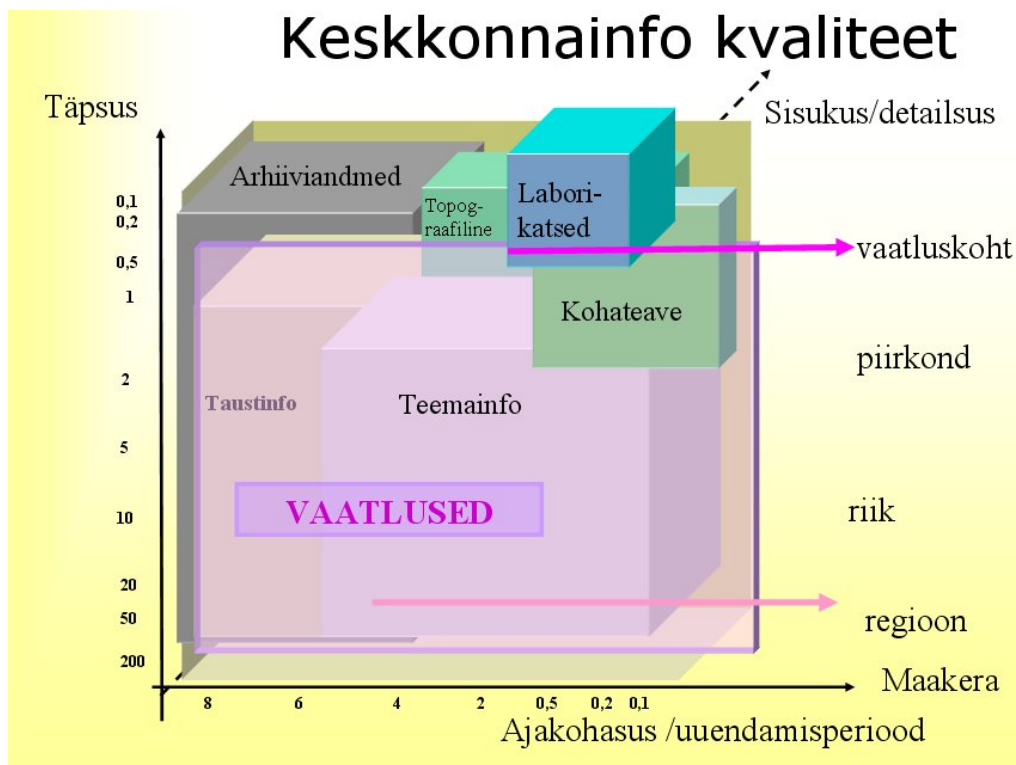
¹¹ Inglise keeles *thematic accuracy*.

¹² Inglise keeles *measurement accuracy*.



Joonis 1.2.1.1. Andmekvaliteedi mõõdikute üks võimalik esituskeem (Loodla, 2005b).

Andmetega tutvumisel kontrollitakse täpsust, ajakohasust ja sisukust. Kehtestatud kontseptsioonile vastavalt väljendatakse need konkreetsetes parameetrites. Järgnevalt selgitatakse välja *näitajate kvaliteet*. Tehakse kindlaks kuidas, kui palju ja millises ulatuses on *nähtusi kirjeldatud*. Vaadatakse üle selleks kasutatud tunnused, nende hulk ja esitusviis. Näitajate lahutus ja eraldus tuvastatakse, omandatakse ülevaade suuruste skaalaulatusest ja sammust, graafilisest detailsusest. *Esituse* headuse määrana hinnatakse kasutajasõbralikkust, täielikkust ja esitatud andmete uuendamise sagedust. Kasutaja vaatenurgast on esmatähtsad andmeesituse *loetavus* ja *mõistetavus*. Keskkonnainfole kohandatud võiks *andmekogu kvaliteediruum* näha välja nii, nagu joonisel 1.2.1.2.



Joonis 1.2.1.1. Keskkonnainfo kvaliteediruum (idee: J. Jagomägi, 2006).

Kokkuvõtvalt saab öelda, et infosüsteemi neljast komponendist: *andmed* (infovara), *organisatsioon* (orgvara), *riistvara* ja *tarkvara* (vt. 1.1.10.), on andmete kvaliteet süsteemi raames kõige varieeruvam. Andmete kvaliteeti hinnatakse järgmiste parameetrite alusel:

- mõõtetäpsus;
- atribuuditäpsus;
- loogiline õigsus;
- täielikkus;
- ajakohasus;
- asjakohasus;
- töötluslugu;
- kvaliteediinfo usaldusväärsus.

Korrektset vormistatud *metaandmed*¹ peavad andma ülevaate andmekvaliteedist. Andmekogu *matemaatiline alus*² peaks olema selgelt kirjeldatud. Täpselt samuti nõuab töötlusloo täielikkus piisavalt detailset ülevaadet andmetega sooritatud operatsioonidest, sh. matemaatilist alust mõjutanutest. Viimane punkt, kvaliteediinfo usaldusväärsus, puudutab peaausjalikult metaandmeid endid.

1.2.1.4. Lõimitavus kui kvaliteedi näitaja

Kaasaegse andmekogu põhitrubiks on andmetöötuse ja andmevahetuse kiirus. Võib isegi öelda, et mida kergemini ja väiksemate kadudega on andmed erinevate esitusviiside ja vormingute vahel teisendatavad, seda kvaliteetsemad need on. Absolutiseerida kvaliteeti siiski ei saa – kvaliteet maksab ja sugugi mitte vähe. Hästikonverteeritav andmekogu nõuab palju kõrgetasemelist oskustööd. *Konverteeritavus*³ koos teiste kõrgete kvaliteedinäitajatega iseenesest ei taga veel edu. Konverteeritavust võib võrrelda *potentsiaaliga*, mis näitab meile *võimalust*, kuid mitte *võimet*. Kasuliku töö saamiseks potentsiaalset üksi veel ei piisa, vajalik on potentsiaalide vahe. Seepärast tuleks siingi lähtuda “mõistlikku piisavuse” printsiibist: ei ole mõtet teha suuri kulutusi tarbetult kõrge kvaliteedi tagamiseks, aga samas tuleb vältida takerdumist “potentsiaalibarjääri” taha.

Konverteeritavus on eduka infolõimimise pant. Keskkonnainfo peab olema võimalikult konverteeritav. Konverteerimise kvaliteeti näitab infoobjekti invariantsuse säilimine. Andmete puhttehnilise konverteeritavuse kõrval on andmekogude ja infosüsteemide lõimimise seisukohalt tähtis *ühilduvus*. Ühilduvuse tagamiseks on eelkõige vajalik teada kontseptuaalmudelite vahekorda.

1.2.2. Mõõtmine

Igasuguste teadmiste rakendamisel kerkib üles küsimus nende *õigsusest* ja *täpsusest*. Infosüsteemi saab vaadelda mõõtevahendina. Korrastatud infosüsteemi heuristiline jõud lubab hinnata materiaalse objektide omavahelisi suhteid ja omadusi mudeli põhjal, ilma otsese pöördumiseta reaalsuse poole.

Infosüsteemide omadusi kirjeldades näitasime *tunnetusmudelite* rolli süsteemi konteksti loomisel, info tõlgendamisel. Mudeli loomisel seatakse omavahel võrdlemise kaudu määratud vastavusse materiaalne objekt ja formalism. Võrdlemisprotseduuri, mille käigus luuakse nähtuste jaoks *ekvivalentklassid*, nimetatakse *mõõtmiseks* (Tammet, 1971). Mõõtmistel

¹ Metaandmed on andmed andmete kohta.

² Matemaatiline alus on paragrahv 1.4 teemaks.

³ Konverteeritavuse mõiste antakse punktis 1.2.4.

saadavad tulemused pole mitte kunagi absoluutsed ja täpsed (va. väikese arvu objektide loendamine, kuid ka siin tehakse vigu!).

1.2.2.1. Metroloogia

Metroloogia on teadus *mõõtmistest* ehk tunnetusmudelite loomisel kasutatavate meetmete kirjeldus. Ülevaade mõõtmistest ja mõõtetäpsusest on keeruline teema: ühtpidi on see kinni sügavas filosoofias ja teistpidi väga spetsiifilistes tehnilistes probleemides. Ühest küljest on see väga abstraktne, teisest küljest kitsalt rakenduslik distsipliin. Sügavuti minek pole ilmtingimata tarvilik: igal konkreetsel erijuhul on täiesti võimalik kasutada etteantud arvutusvalemeid mõõtemääramatuste ja hälvete arvutamiseks, võttes need teatmikest või mõõteriistade tehnilisest dokumentatsioonist. Keerukamaks läheb olukord siis, kui osutub vajalikuks erinevate andmete omavaheline integreerimine ning resultaadi kõlblikkuse hindamine.

Iga *mõõtmine* kujutab endast *eksperimenti*, mis vaikumisi tugineb väga üldistele ja fundamentaalsetele loodusseadustele ning filosoofilistele järeldustele nendest. Üheks olulisemaks kriteeriumiks teadmiste kvaliteedi hindamisel on küsimus teadmise usaldusväärsusest. Absoluutne teadmine on reaalteaduste valdkonnas (üksikute erandjuhtudega) inimesele saavutatamatu ja tihti konkreetse sisuta. Meie teadmised ümbritseva maailma kohta on *ligikaudsed* ja kasutamiskõlblikud ainult siis, kui on välja selgitatud selle ligikaudsuse määr. *Teisisõnu: mitte ühtegi suurust ei loeta määratuks kuni pole leitud tema määramatust.*

1.2.2.2. Mõõtmine

Intuitiivne ettekujutus mingist suurusest on kõlbmatu loodusobjektide täpselt modelleerimiseks, kuna psüühilised protsessid on omavahel võrreldamatud. Aeg ei ole kell ja ruum ei ole joonlaud. Need on täiesti erinevad mõisted. Võrrelda saame ainult *füüsilise maailma objekte*: kehasid ja protsesse, *psüühiliste protsesside* hulka kuuluv tunnetus nende hulka ei kuulu.

Mõõtmine toimub alati mõõdetavate objektide omavahelise võrdlemise teel. Objekte saab võrrelda mitmeti. Võrdlemise eeskiri on samaväärne suuruse defineerimisega (Tammet, 1971). Korraga saab võrrelda ainult kaht objekti omavahel. Kui objekte on rohkem, võrreldakse neid paarikaupa. Kui eksisteeriks vaid üksainuke objekt, poleks mõõtmine ega võrdlemine võimalik.

Näide 1.2.2.1: Massi mõõtmisel võrdleme kehasid, kiiruste mõõtmise korral protsesse.

1.2.2.2. Ekvivalentsiklassid

Võrdlemine võib piirduda võimaliku võrdväärsuse või mittevõrdväärsuse väljaselgitamisega. Võrdlemise tulemuseks võib olla näiteks konstateering, et mõlemal kõlvikul on ühesugune maakate või siis tuvastatakse fakt, et kaks teed erinevad oma kattelt.

Metroloogias kasutatavate reaalsusmudelite (nagu igal muul alalgi) valusaimaks punktiks on antud subjektiivse tõlgenduse piisav adekvaatus, ehk teisisõnu matemaatika kui niisuguse loodusnähtuste kirjeldamiseks rakendamise põhjendatus. Seepärast tuuakse mõõtmiste teoorias sisse *samasusklassid*.

Näide 1.2.2.2: Olgu meil laual hulk pulkasid. Üksteisega võrreldes leiame pulkade hulga, mis on ühepikkused. Need ühepikkused pulgad moodustavadki antud ekvivalentsiklassi.

Olgu meil nüüd mingi hulk \mathbf{A} elementidega a_1, a_2, \dots . Vaatleme elemendipaare $\{a_i, a_j\}$, millised moodustavad hulga \mathbf{A}^2 . Kui nüüd võtta saadud hulgast mingi osahulk, siis määrab see meile mingi binaarse relatsiooni. Olgu hulga \mathbf{A}^2 osahulga \mathbf{B} omadused järgmised:

- refleksiivsus;

- sümmeetrilisus;
- transitiivsus;

kui hulgal on defineeritud need kolm omadust, siis on tegu *ekvivalentse relatsiooniga* (vt. 1.1.5.).

Füüsikaline relatsioon (siduv suhe) määratakse eksperimentaalselt, st. kõikvõimalike formalismide hulgast võetakse arvesse vaid need, mis vastavad eksperimendi tulemustele. Füüsikaline suurus on keha, aine või nähtuse oluline omadus, mida saab kvalitatiivselt eristada ja kvantitatiivselt määrata (Tammet, 1996). *Kõik reaalteadustes mõõdetavad suurused on oma olemuselt füüsikalised.*

1.2.2.3. Suurused, järjestus

Lisaks ekvivalentsusele saab mõõtmistega tuvastada objektide *järjestuse* võrreldava suuruse järgi.

Näide 1.2.2.3: Temperatuur.

Temperatuur on omane kõikidele füüsikalistele objektidele. Iga üksik isoleeritud keha (termodünaamiline süsteem) läheb termodünaamilise tasakaalu olekusse, kus puudub energiavahetus süsteemi eri osade vahel. Võtame nüüd kaks keha ja viime nad omavahel kokku. Tulemusena realiseerub üks kolmest võimalikust olukorrast:

- energia kandub kehalt A üle kehale B;
- energia kandub kehalt B üle kehale A;
- energia ülekannet ei toimu.

Esimesel juhul on keha A soojem kui B. Teisel juhul on A külmem kui B ja kolmandal juhul on nende temperatuurid võrdsed. Näeme, et kehade temperatuur on järjestatav – saab hinnata, millistelt kehadelt kandub soojus teistele üle ja millistelt mitte ning määrata ülekande suuna. Järjestuse omadus ei ole piiratud kitsalt füüsikaliste nähtustega:

Näide 1.2.2.4: Nädalapäevad.

Nädalapäevad: esmaspäev, teisipäev, kolmapäev, neljapäev, reede, laupäev ja pühapäev on järjestatud hulk.

Näide 1.2.2.5: Haldusjaotus.

Haldusjaotus: vallad ja maakonnad.

Näide 1.2.2.6: Teedevõrk.

Teede jaotus klassideks: põhimaanteed, tugimaanteed ja kõrvalmaanteed.

Osade (NB! mitte kõigi!) suuruste puhul on võimalik teha kindlaks nende arvuline suhe, selliseid suurusi nimetatakse *divitiivseteks* ehk jaguvateks. Siia kuuluvad näiteks mass, pikkus ajavahemik jt. olulised suurused.

Aditiivseteks ehk liidetavateks nimetatakse suurusi, mille väärtus on määratav vaid teatud nullnivoo suhtes. Aditiivne suurus oleneb nullnivoo valikust. Aditiivsusest järeldub divitiivsus, kuid mitte vastupidi. Aditiivsete suuruste korral ühtib kahe objekti kindla reegli kohasel ühendamisel saadud liitobjekti iseloomustava füüsikaline suuruse sõltuvuse omadused liitmistehte algebraliste omadustega. *Füüsikaline liitmine* on tehe, mis rahuldab assotsiatiivsuse, kommutatiivsuse ja neutraalse elemendi olemasoluga nõudeid.

1.2.2.4. Füüsikaline suurus

Füüsikaliseks suuruseks nimetatakse füüsikalist ekvivalentset relatsiooni (siduvat suhet) looduses. Vastavaid ekvivalentsklasse aga füüsikalise suuruse *väärtusteks*. Üldjuhul

nimetame mõõtmiseks iga katset, mis seab füüsikalise suuruse reaalse objektiga esitatud väärtusele vastavusse konkreetse *mõõtarvu*.

Füüsikalise suuruse ühele väärtusele on võimalik omistada mitmeid mõõtarve. Suure hulga võrreldavate objektide korral valitakse nende hulgast üks ja võrreldakse sellega kõiki teisi. Seda objekti nimetatakse *etaloniks*.

Mõõtetulemuste *ühesuse* tagamiseks ei tohi kahe ühesuguse suuruse suhe sõltuda sellest, millise ühikuga neid mõõdetakse. Suurem osa füüsikalisi suurusi vastab sellele nn. suhtelise hulga absoluutse väärtuse tingimustele. See tingimus võib olla täidetud, kui on olemas kasvõi põhimõtteline võimalus kahe ühesuguse suuruse võrdlemiseks niiviisi, et tulemuseks saadakse arv, mis väljendab nende kahe suuruse suhet. Eelöeldu kehtib mõistagi ainult divitiivsete suuruste kohta. See üks kindel mõõtarv on kokkuleppeline.

Kitsamalt võttes on mõõtarv füüsikalise suuruse suhe mõõtühikusse, mis on määratud etaloni kaudu. Kehtib see jutt ainult divitiivsete suuruste kohta, mille puhul saame rakendada näiteks *Archimedese protseduuri*. Füüsikalise suuruse väärtusele mõõtarvu omistamisel moodustub paar, mille esimene komponent on füüsikalise suuruse väärtus ja teiseks komponendiks on mõõtarv. Taoline paaride hulk moodustab *füüsikalise suuruse skaala*. Mõõtmine on tõlgendatav skaalaelemendi teise komponendi määramisena esimest komponenti esitava füüsikalise objekti (*etaloni*) järgi. Mõõtarv üksi ei fikseeri suuruse väärtust. Vajalikud on nii mõõtarv kui skaala, milles mõõtarv on määratud.

Ülakirjeldatud viisil saadakse seos matemaatikas hästiuuritud reaalarvude hulga ja füüsikaliste suuruste mõõtarvude vahel.

1.2.2.4. Loodusteaduste ja matemaatika erinevus

Loodusteadused on rangemad kui matemaatika. Matemaatilised struktuurid objektide vaheliste seostega, mis on formaalloogiliselt igati korrektsed, ei pruugi seda olla loodusteaduste jaoks. Loodusteaduste aluseks on eksperiment. Kehtivateks loetakse siin ainult katseliselt kontrollitud seoseid füüsikaliste suuruste vahel.

Reaalsusmudel (formalismis) käsitletakse mõõtarve reaalarvudena, kuid need täielikult pole seda. Vaatleme näiteks füüsikaliselt ja matemaatiliselt lõpmata suurte ja lõpmata väikeste suuruste erinevust. Füüsikaliselt lõpmata väike suurus on, üldiselt väljendudes, suurus mis jääb allapoole mõõtevahendi tundlikkuse piiri. Füüsikaliselt lõpmata suur suurus ületab antud kontekstis kõigi teiste analoogiliste suuruste resultandi vähemalt suurusjärgu võrra. Reaalsusmudel kehtib reeglina teatud kindlas rakenduspiirkonnas ning sellest väljapool annab absurdseid ja vastuolulisi tulemusi.

Näide 1.2.2.7: Tasandilised ristkoordinaatide süsteemid geodeesias.

Tasandilised ristkoordinaatide süsteemid geodeesias – Maa suurte mõõtmete tõttu on need head ja mugavad lokaalsetes piirkondades, kuid Maakera kuju tõttu kasutamiskõlbmatud globaalses mastaabis.

1.2.2.5. Kardinaalsed ja ordinaalsed suurused

Suurusi saab jaotada *kardinaalseteks* ja *ordinaalseteks* (Plank, 2001).

Kardinaalsete suuruste puhul saab öelda, mitu korda üks suurus teisest erineb. Enamus füüsikalisi suurusi on kardinaalsed suurused.

Ordinaalsete suuruste võrdlemisel saab ainult väita, et üks on teisest suurem või väiksem. Selgusetuks jääb, mitu korda üks teisest suurem või väiksem on. Ordinaalne suurus on näiteks kasutaja rahulolu.

1.2.2.6. Dimensioon ja mõõtühikute süsteemid

Suuruse esitamiseks ei piisa ainult mõõtarvu esitamisest, tuleb esitada ka seos vastava mõõtühikuga. Mõõtühik, füüsikaline suurus ja dimensioon on omavahel lahutamatu seotud. Iseenesest on mõõtühikute süsteemi moodustamisel ja baasühikute valikul suur vabadus – siin pole tegu looduseaduse vaid hoopis *kokkuleppega*.

Põhimõtteliselt on võimalik ühikuks valida ükskõik millise sama liiki füüsikalise suuruse väärtus ja seejärel mõõta, mitu korda on mõõdetav objekt suurem või väiksem. Praktilised kaalutlused piiravad seda vabadust tunduvalt. Esiteks on vaja, et teised inimesed saaksid aru, mida me mõtleme, teiseks on vajalik, et baasühikuteks valitud mõõtühikud peegeldaksid materiaa võimalikult üldisi omadusi. Taolist süsteemi, mis koosneb pikkuse aja ja massi mõõtühikutest, nimetati absoluutseks. Tänapäeval on Kontinentaal-Euroopas ja endise Nõukogude Liidu aladel, aga samuti mitmetes muudes piirkondades domineerivaks tõusnud rahvusvaheline ühikute süsteem **SI**.

SI *baasühikuteks* on seitse omavahel täielikult sõltumatut *põhiühikut* (millele võivad lisanduda nurga ja ruuminurga ühikud).

Mõõtühik on vastavas ühikute süsteemis *ühikelement*.

Dimensioon on nõ. *üldistatud füüsikaline suurus* (Ohvril, 2002b). Dimensioonvalemid näitavad, kuidas baasühikute muutmisel muutub konkreetse suuruse tuletatud ühik (Rõõm, 2004). Dimensioon näitab seda, et olenemata valitud mõõtühikust ja arvutusvalemist peab vastav suurus alati avalduma oma definitsioonivalemi (looduseaduse) kohaselt. Nõnda avaldub kiirus teepikkuse ja aja jagatisena¹, jõud kiirenduse ja massi korrutisena jne. Erinevatel suurustel võib olla üks ja seesama dimensioon.

1.2.2.7. Mõõtühikute süsteemid

Füüsikaline suurus on alati iseenda dimensiooniga, kuna dimensioon on lahutamatu füüsikalise suuruse definitsioonist. Pikkus on igas mõõtühikute süsteemis pikkuse dimensiooniga ja nõnda edasi. Füüsikalise suuruse dimensioon määrab füüsikalise suuruse olemuse.

Põhimõtteliselt võiks kõik mõõtühikud valida üksteisest sõltumatult ja defineerida ainult etalonide abil. Aga, kuivõrd paljusid suurusi tuleb mõõta *kaudmõõtmiste* teel, on mugavam võtta kasutusele *tuletatud ühikud*, mis defineeritakse üle dimensioonivalemi põhiühikute kaudu. Dimensioonivalem on matemaatiline avaldis, mis näitab, mitu korda muutub tuletatud ühik, kui baasühikute muutused on ette antud (Sena, 1985).

Tuletatud suuruste mõõtühikud moodustatakse põhiühikutest määravate seoste abil, milleks on füüsikaseaduste ja füüsikaliste suuruste definitsioonide matemaatilised avaldised. Mõõtühikute süsteemi aluseks on füüsika võrrandite hulk (Tammet, 1971). See hulk peab sisaldama võrrandeid kõigi ettetulevate ülesannete lahendamiseks. Sõltumatute põhisuuruste hulk peab olema piisav selleks, et iga ülejäänud suurust saaks avaldada põhisuuruste kaudu.

1.2.2.8. Looduseadused ja kokkulepped

Oluline on looduseaduste ja kokkulepete vahel vahet teha. *Looduseadused on teatud empiirilise kogemuse üldistus*. Nende matemaatilistes avaldustes esinevate konstantide väärtused on kokkuleppelised.

Näide 1.2.2.7: Pindala mõõtühikud.

Kokkuleppeliselt mõõdame pindalaid ruutühikutes² ja pindalaühik on defineeritud kui:

¹ Kiirust iseloomustava mõõtarvu suurus avaldub läbitud teepikkuse ja kulunud ajavahemiku suhtena, kiirus ei ole ajaühikus läbitud tee (Sena, 1985).

² St. väljendades pinna suuruse ühikruuduga võrdlemise kaudu.

$$S = k \cdot L^2$$

$$[\text{pindala}] = [k] \cdot [\text{pikkus}^2].$$

Iseenesest ei takista miski pindalade mõõtmist ringühikutes¹:

$$S' = k' \cdot L^2$$

$$[\text{pindala}] = [k'] \cdot [\text{pikkus}^2].$$

Kuna on tegemist ühe ja sama pinnaga, siis ilmselt

$$S = S', \text{ kuid}$$

$$k \neq k'.$$

Konstantide k ja k' väärtused on *kokkuleppelised*, seos „[pindala] on võrdeline [pikkuse ruuduga]” aga *loodusseadus*. Olenevalt sellest kas võtame ühikruudu või ühikringi, loeme ühe konstandi võrdseks ühega ja üleminekul teistele ühikutele kasutame seosekonstanti

$$\pi = k'/k.$$

Mõõtühikute süsteeme võib vaadelda teatud abstraktsete ruumidena, kus põhiühikud täidavad *baasi* rolli. Baasikomponentide omavahelise sõltumatuse tingimusest tuleneb, et antud süsteemis ei saa ühel füüsikalisel suurusel olla kahte erinevat dimensiooni. Füüsikaline suurus on *invariantne* mõõtühikute süsteemi baasiteisenduste suhtes. Näiteks distantsid pikkusega 1852,0000118528 meetrit ja 1 meremiil on ühepikkused.

Nüüd saab selgeks ka konstantide k , k' jne. olemus: need moodustavad baasiteisenduse maatriksi, mis teisendavad ühe mõõtühikute süsteemi teiseks mõõtühikute süsteemiks.

Materia praegusel arenguetapil on kõikvõimalike füüsikaliste suuruste mõõtmiseks vaja 7 põhiühikut (Õiglane, 1997). Just niipalju neid SI-s ongi. Kindel on aga see, et vähemaga kui 7 põhiühikuga toime ei tule ja rohkem pole neid kah vaja (Õiglane, 1997), vähemasti meie kaasaegse teadmiste taseme juures.

1.2.2.9. Tehed mõõtühikutega

Füüsikaliste võrrandite levinud kirjutusviis, mis ei erine matemaatiliste tehete esitusest, võib viia ekslikule ettekujutusele matemaatilistest tehetest mõõtühikutega. See ei ole nii.

Erineva dimensiooniga suuruste omavahelised liitmised ja lahutamised on mõttetus – liita meetreid kilogrammidele lihtsalt ei saa. Liita ja lahutada saame ainult ühesugustes ühikutes väljendatud arvvaartusi.

Keerulisem lugu on korrutamise ja jagamise: nende kaudu defineeritakse *uus* füüsikaline suurus. Üldiselt tähendab korrutamistehe reaalteaduste vallas võrdelise sõltuvuse postuleerimist. Siin avaldub meile füüsika ja matemaatika erinevus: lugedes baasühikud omavahel sõltumatuteks komponentideks, peaks kahe erineva ühiku omavaheline korrutis olema nullelement; ühiku korrutis iseendaga aga jällegi ühikelement. Füüsikalistes dimensioonivalemites toimime hoopis teisiti.

Näiteks "*meeter* korda *meeter*" on matemaatiliselt sisutu väljend. Kokkuleppeliselt aga võetakse, et kirjalpilt "*meeter* korda *meeter*" määrab uue ühiku, pindalaühiku, mis defineeritakse kui meetrise küljepikkusega ühikruudu pindala. Seega mitte "*meeter* ruudus", vaid *ruutmeeter*. Tasub silmas pidada, et *fikseerides taustsüsteemi*, milles uurime loodusnähtusi, fikseeritakse, üldiselt rääkides, ka mõõtühikute süsteem.

¹ Võttes pinna suuruse mõõtühikuks ühikringi.

1.2.2.10. Füüsikaliste suuruste skaalad

Suuruste mõõtmisel saame mitmesugused skaalad (Tammet, 1971).

Suhteskaala saame etaloniga võrdlemisel ja on moodustatav *divitiivse suuruse* jaoks. Suhteskaala kahe elemendi mõõtarmude suhe võrdub füüsikalise suuruse katseliselt määratud suhtega. Suhteskaala on fikseeritud, kui meil on teada etalon, st. *üksainus* skaalaelement. Suhteskaala null on loomulik ehk absoluutne nullpunkt.

Vaheskaala ehk *intervallskaala* on skaala, mis ise ei ole suhteskaala, kuid mille elementide vahed moodustavad suhteskaala.

Näiteks ajahetkede skaala on tüüpiline suhteskaala. Aega ei saa mõõta (pole mitte millegagi võrrelda, kuna ei ole olemas teist aega). Küll aga saame võrrelda *ajaintervalle*. Ajavahemikke mõõdetakse (võrreldakse) kellaga¹. Ajavahemik 1 tund ja 20 minutit kestab kaks korda kauem kui 40 minutit. Peale ajaskaala on vaheskaaladeks koordinaadid (ruumi mõõtmiseks on vajalik teine ruum) ja potentsiaalid. Vaheskaala vajab fikseerimiseks *kahte* skaalaelementi.

Järjeskaala ehk *ordinaalskaala* moodustamiseks on vajalik, et mõõdetava suuruse kõik väärtused oleksid järjestatavad. Mõõtarmudeks on enamasti naturaalarvud suuruse väärtuste loomulikus järjekorras. Näiteks ajanoole "suund" on järjeskaala (mis millele järgneb). Üksteisele järgnevad ajahetked määravad omavahelised intervallid ja nende järjestuse. Järjeskaalade hulka kuuluvad näiteks Beauforti skaala tuule tugevuse ja Mohsi skaala mineraalide kõvaduse kohta.

Nimeskaala ehk *nominaalskaala* korral puudub alus mõõdetava suuruse väärtuse järjestamiseks. Seepärast kasutatakse nende tähistamiseks loomuliku järjestuseta sümboleid. Näiteks elektrilaengu ja magnetpooluste märgid: "positiivne" ja "negatiivne", aga samuti "põhja-" ja "lõunapoolus" on lihtsalt nimetused - igasuguse konkreetse füüsikalise sisuta. Kasutatakse klassifitseerimisel.

Funktsionaalskaala on kasutusel, kui x on füüsikalise suuruse mõõtarm suhteskaalas ja

$$y = f(x)$$

mõni tuntud üksühene funktsioon. Kuna y järgi saab alati määrata x , siis võime suuruse esitada arvu x asemel arvuga y . Saab kasutada ainult suhteskaalal baseeruvate mõõtarmude jaoks. Saadud skaala aga ei ole alati suhteskaala. Funktsionaalskaala näiteks võib olla logaritmiline Belli skaala.

1.2.2.11. Otsene ja kaudne mõõtmine

Mõõtmised võivad olla otsesed või kaudsed.

Otsemõõtmise korral määratakse mõõtmisele kuuluva suuruse väärtus muid füüsikalisi suurusi mõõtmata, vahetult mõõtevahendi skaalalt.

Kaudmõõtmise korral mõõdetakse otseselt teisi, mõõdetava suurusega tuntud viisil seotud füüsikalisi suurusi.

1.2.3. Määramatus ja täpsus

Igasuguste teadmiste rakendamisel kerkib üles küsimus nende *õigsusest* ja *täpsusest*. Mõõtmistel² saadavad tulemused pole mitte kunagi absoluutsed¹ ja täpsed. Infosüsteem on

¹ *Kell* on piisavalt suure täpsusega perioodiline protsess, näiteks taevakehade näiv liikumine taevavõlvil; pendli võnkumine vms. Tavaliselt mõeldakse kellast rääkides seadeldist, millel see protsess on realiseeritud ja mis on varustatud näidikuga lugemite võtmiseks.

² Mõõtmine on menetluste kogum, mille eesmärgiks on mõõdetava suuruse väärtuse määramine.

mõõdistamise tulemus ja seda ennast saab samuti vaadelda mõõtevahendina. Korrastatud infosüsteemi heuristiline jõud lubab hinnata materiaalsete objektide omavahelisi suhteid ja omadusi mudeli põhjal, ilma otsese pöördumiseta reaalsuse poole.

1.2.3.1. Määramatus ja viga

Üksikmõõtmise tulemuseks olev *mõõdis* ei ütle iseenesest suurt midagi mõõteväärtuse headuse kohta, kuna füüsilises maailmas saame füüsikalise suuruse lugeda määratuks alles siis, kui on teada *määramatus*.

Kuni XX sajandi lõpuni nimetati mõõtemääramatust *veaks*. Tänapäevase terminoloogia vaatevinklist on see iseenesest viga. XX sajandi lõpust alates räägitakse metrooloogide eestvedamisel määramatustest.

Mõõtemääramatus on mõõtmistulemusega seotud parameeter, mis iseloomustab mõõtmistulemusele omistatavat mõeldavate väärtuste hajumist (Füüsikaliste..., 2001). Mõõtemääramatus on hinnanguline väärtus selle vahemiku ulatusele mõõtmistulemuse ümber, kuhu mõõtesuuruse tõeline väärtus etteantud tõenäosusega sattuda võiks. Mõõteväärtuse parimaks hinnanguks normaaljaotusele alluvate mõõdiste y_i puhul on nende mõõdiste aritmeetiline keskmine \bar{y} . Niimoodi väljendatud mõõtemääramatust nimetatakse *standardmääramatuseks* ja tähistatakse $u(y)$:

$$u(\bar{y}) = s_y, \quad (1.2.3.1)$$

see võrdub vastava standardhälbe absoluutväärtusega, st. $u(y)$ on defineeritud alati positiivse suurusena.

Mõõtetulemus on mõõdetavale omistatavate väärtuste kogum, mida esitatakse:

- mõõteväärtuse ja mõõtemääramatusega;
- vahemiku kujul, milles teatud tõenäosusega asub (leppeline) tõeline väärtus;
- mõõtevahendi näiduga ja antud mõõtevahendi lubatud vea piiridega.

Jääb üle lisada, et normaaljaotusele alluvate kordusmõõdiste väärtuste statistilisel töötlemisel saab arvutada nende standardhälbe ehk *eksperimentaalse standardhälve*:

$$s(y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (1.2.3.2)$$

Mõõdiste arv n iseloomustab mõõtmiste korduvust, kui korduvus on domineerivaks määramatuse allikaks, siis võib mõõtemääramatuse esitada kordusmõõtmiste standardhälvena.

Mõõtmistulemuse määramatus koosneb paljudest komponentidest, mis jaotatakse kahte suurde rühma (Plank, 2001):

- *A-tüüpi määramatus*² on eksperimentaalse standardhälbe kaudu väljendatud standardmääramatuse hinnang;
- *B-tüüpi määramatus* on määramatuse hinnang, mis ei kasuta statistilisi meetodeid.

Liitmääramatus saadakse paljude komponentide väärtuste põhjal.

Viga on mõõtmistulemuse ja mõõdetava suuruse *tõelise väärtuse* vahe (Plank, 2001). Seepärast ei saa ega tohi kasutada määramatuse ja mõõtmisvea mõisteid sünonüümidena. Mõõdetava suuruse tõeline väärtus, ja järelikult ka viga, ei ole üldjuhul eksperimentaalselt

¹ Mõõdetakse mingi taustsüsteemi suhtes.

² Mitte kunagi ei tohi unustada, et kordusmõõtmiste statistilise töötlemise tulemusena saadud standardhälve kirjeldab üksikmõõtmiste *hajuvust*, mitte nende *õigsust*. Statistika uurib üksiktulemuse hälbimist tulemuste *keskmisest*, ja *ainult*.

määratavad. Kui mõõteviga oleks teada, siis saaks mõõtetulemust korrigeerides leida mõõdetava suuruse tõelise väärtuse. Mõõtemääramatusega mõõteväärtust korrigeerida ei saa. Iga reaalse mõõtmise tulemus on mingil määral hajuv, seepärast on mõõteväärtuse y ümbruses (vahemikus $y \pm U$) tõelise väärtuse asukoht määramatu. Ühtegi väärtust nimetatud vahemikus ei tohi pidada teistest võimalikest väärtustest usaldusväärsemaks.

Vigadest räägitakse *mõõteriistade* korral, millele on kehtestatud lubatud mõõtevead. Viimastest on tähtsaim *põhiviga* – maksimaalselt lubatud viga.

Tihtiugu kasutatakse *leppelist tõelist väärtust* – hinnangut, mida saab anda parima võimaliku vahendiga, st. *etaloniga*.

1.2.3.2. Eraldusvõime

Infosüsteemi eraldusvõime määrab väikseim objekt, mis on eristatav, kirjeldatav ja esitatav antud süsteemis (Briggs, 2003). Infosüsteemi eraldusvõime ei ole sama, mis üksikmõõtmise täpsus või süsteemi täpsusklass. Täpsus ei saa olla suurem kui süsteemi eraldusvõime, küll aga saab olla sellest väiksem.

Süsteemi reaalseks eraldusvõimeks on minimaalne kindlalt tuvastatav erinevus kahe mõõtetulemuse vahel. Keskkonnainfosüsteemide puhul tuleb üsna sageli *otsustada*¹, et kas kaks lähestikust mõõtetulemust on looduses üks ja sama või kaks erinevat. Kuna kõik tulemused mõõtemääramatusega antud vahemikus on võrdtõenäolised, siis peab mõõdupunktide eraldiseisvateks lugemiseks nendevaheline arvatud kaugus ületama suurimat standardhälvet.

Mõõtetulemus esitatakse alati ümardatult, määramatuse viimase koha täpsusega. Tulemuste esitamine reaalse lahutusvõimega fikseeritud *tähendnumbrite*² hulka ületades ei oma mõtet ja ilma mõõtemääramatuse arväärtusi näitamata on see eksitav. Normaaliaotusele alluva mõõtetulemuse standardmääramatus näitab selliseid piire, mille sisse mõõdetava suuruse tõeline väärtus langeb ligikaudu 68% tõenäosusega. Sellest kõrgema usaldatavusega (usaldusnivooga) mõõtetulemuse saamiseks tuleb mõõtemääramatust $u_c(y)$ korrutada vastava *katteteguriga* k . Kattetegur $k = 2$ annab mõõtetulemuse usaldatavusega ligi 95%, kattetegur $k = 3$ aga umbes 99% (Ohvril, 2002b).

Võib esineda olukord, kus mõõtmistäpsuse edasine suurendamine kaotab mõtte, kuna mõõdetav suurus ei oma sellise eraldusvõime juures enam selget sisu. Näiteks kahe ehitise omavahelise kauguse määramine seinakrobilisusest kõrgema mõõtmistäpsusega ei tähenda paremat tulemust.

Tuleb teha vahet *eraldusvõimel*, st. objektide eristatavusel ja süsteemi tehnilisel *lahutusvõimel*. Viimane on määratud mõõtmiste ja vaatluste *tehnikaga* ning võib liigselt suurendamisel viia uurimisobjektide „laialimäärimiseni” – nende eristatavusele huvipiirkonnas.

Infosüsteeme loovad ja kasutavad töögrupid (aga miks mitte ka üksikisikud personaalseks tarbimiseks) peaksid seadma sisse oma andmemajanduse detailse dokumenteerimise – nõ. „*andmepassid*”. Nendesse „passidesse” ehk siis *metaandmetesse* tuleks *mõistliku detailsusega*³, *kindla korra kohaselt*, fikseerida andmekvaliteeti kujundavad tegurid, eelkõige aga hinnang usaldatavusele ja täpsusele; kasutatud vahendid aga samuti lõpptulemus ning ilmnunud probleemid.

¹ Arvata, mitte *teada*.

² Kehtivate kümnendkohtade arv.

³ Infosüsteemide komplekteerituse tõttu on mingeid üldisi reegleid kehtestada raske (kui mitte üldse võimatu), saab tugineda ainult senisest kogemusest tulenevale eksperthinnangule ja ettenähtavale praktilisele vajadusele.

1.2.3.3. Täpsus

Küsimus *täpsusest* on möödapääsmatu igasuguse infosüsteemi andmevara puhul. Millised tegurid määravad infosüsteemi täpsuse? Kuidas neid määrata? Ilmselt pole *süsteemi täpsus* lihtsalt üksikute mõtetulemuste või mõteseeriade täpsuste aritmeetiline keskmine.

Problemaatiline on isegi mingisuguse keskmise täpsuse arvutamine: infosüsteemide puhul on tavaline kardinaalsete ja ordinaarsete suuruste kooskasutus. Suhteskaalas, vaheskaalas, järjeskaalas, nimeskaalas ja funktsionaalskaalas esitatud suurused on üksteisega seotud mingil, infosüsteemi kasutajale viimasel ajal üha sagedamini *teadmata moel*¹. Eriskaalaliste ja eritüübiliste andmete süsteemi summaarne täpsus on, vähemalt põhimõtteliselt, metrooloogias väljatöötatud reeglite järgi arvutatav. Suurest töömahust saame üle algoritmiseerides ja seejärel automatiseerides vastavad kalkulatsioonid. Iseküsimus on, kas selline keskmine tulemus ikka tõesti väljendab infosüsteemi kasutaja jaoks olulist teadmist? Kas ei toimu täpsuse üle- või alahindamist?

Infosüsteemi loomisest ja andmekorrastuse seosest tunnetusmudelitega rääkides (1.1) näitasime, et reaalsust peegeldav informatsioon jagatakse klassidesse, millised omakorda ühendatakse süsteemi mingite eeskirjade kohaselt. Objektid andmemudelil on mingite tunnuste alusel jagatud klassidesse. Samas on nii klassid kui objektid omakorda jaotatud *kihtideks*. Tunnused saab omakorda lüüa kahte lehte:

- 1) mõõdistamise tulemusena saadud suurused, mis kirjeldavad objekti omadusi looduses;
- 2) tunnused, mis määravad objekti paiknemise infosüsteemi struktuuris.

Infosüsteemi struktuur on vaadeldav järgmiste osadena:

- sätestatud kvalitatiivsed ja kvantitatiivsed seosed objektide vahel, reaalteadustes ja tänapäevastes arvutipõhises infosüsteemides peaaegu eranditult *matemaatilis-loogiline mudel*;
- *taustsüsteem* (alussituatsioon), mille suhtes objekte vaadeldakse;
- *teemakihid*, mis on määravad antud kasutaja jaoks;
- *taustakihid*, abistavad konteksti ja teemainfo mõistmisel.

Nagu näha, ei ole kõikide infosüsteemi osade täpsus ühesuguse tähtsusega kasutaja jaoks ja otseselt mõõdetud suuruste hajuvus ei domineeri süsteemi määramatust kujundavate tegurite hulgas.

Tõepoolest, kõrgtäpselt määratud suurustest on vähe abi, kui me ei tea, kus ja mille kohta need käivad, st. andmed on taustsüsteemiga kehvasti seotud. Sideme taustsüsteemiga, samuti vahekorrad erinevate andmekihtide vahel *defineerib* kasutatav *mudel*², st. teatud matemaatilised ja loogilised seosed. Lonkav loogika nullib kuitahes kvaliteetsed mõõtmistulemused ja muudab asjatuks mistahes tehnika. Matemaatiliste eeskirjade ja neid *realiseerivate arvutusalgoritmide*³ täpsus peaks olema valitud **vähemalt** selline, et lähendamis- ja ümardamisvead *ei ületaks* otsemõõdetud suuruste mõõtemääramatust.

Taustandmete täpsus ei ole sedavõrd oluline, moodustavad need ju ainult fooni, mis *toonitab* teemakihtide teavet. Taustakihtide täpsus peaks olema siiski nii suur, et nende sõnum oleks teemakihtide vaatlemisel loetav.

¹ Tarkvaratootjad ei valgusta kasutajaid mitte just alati ja eriti meelsasti detailse ning ammendava informatsiooniga kasutatud algoritmide konkreetse realisatsiooni eripärade kohta. Sageli on tegu patenteeritud (litsentseeritud) teabega, mida tasuta välja ei anta. Seega võib lugeda, et töötlusprogramm on kasutajale „must kast”, mille omaduste kohta ta võib ainult *arvata* sisendi ja väljundi põhjal.

² Infosüsteemi kasutamisel mõõtevahendina ei mõõda me reaalsust vaid virtuaalsust, st. mudelit.

³ Ei tohi unustada, et põhimõtteliselt väga täpne matemaatiline valem võib arvutiprogrammis deformeeruda üsnagi ligikaudseks lähendusalgoritmiks.

Teemakihi täpsuse määravad *andmete täpsus* ja andmete taustsüsteemiga *sidumise täpsus* (mudel). Tuleb aga silmas pidada, et keskkonnamudelite puhul on infosüsteemis sageli koos *mitmed* erinevad teemakihid. Olles oma tähenduse tähtsusest võrreldavad, on need tihti erineva täpsusega.

Infosüsteemi saab käsitleda mõõtevahendina. Kuid mõõtevahendist on vähe abi, kui on teadmata selle täpsus. Üksiktulemuse määramatus infosüsteemis on põhimõtteliselt arvutatav, kuid praktikas *ei tasu* see end sageli ära. Seda enam, et tavaliselt huvitab meid juba ette, kui täpse tulemuse *võime* saada. Seepärast on infosüsteemi täpsust kõige mugavam kirjeldada *täpsusklassina*.

Unustada ei maksa sedagi, et kasutaja jaoks määrab täpsuse esitusmudel, kus andmed näidatakse lihtsustatud ja üldistatud kujul. Seega on infosüsteemi täpsuse määramisel „viimase sõna õigus” esitusmudeli generalisatsiooniastmel.

Täpsus infosüsteemis on suhteline. Arvutipõhises infosüsteemis näitab täpsus esmatähenduses *salvestatud tähendnumbrite arvu*. Kui infosüsteemi ei tehta olemasoleva info põhjal, siis tuleb arvestada andmete kogumise tehnoloogia täpsust. On kaks täpsuse aspekti, üks on kasutaja, teine koostaja oma. Infosüsteemis võib iga andmekiht (või isegi objekt) olla kujutatud erineva täpsusega, rõhutada tuleb, et objekte ei ole suurt mõtet esitada täpsemalt kui need looduses tuvastatavalt eksisteerivad.

1.2.3.4. Atribuuditäpsus

Keskkonnaandmete kogudes salvestatakse objektide kohta õige mitmesuguseid andmeid. Andmemudelis on objekt kirjeldatud mitmesuguste *tunnuste* ehk atribuutidega, mis määravad objekti seotuse vastava *teemaga*. Atribuutide vastavust tegelikule iseloomustab *atribuuditäpsus*. Näiteks õhutemperatuur võib olla mõõdetud väga täpselt, kuid vaatlustulemused omistatud hoopis teisele vaatlusjaamale. Atribuutide skaala on iseenesest teatud suuruse skaala (Tab. 1.2.3.1):

Tabel 1.2.3.1. Suuruste skaalad (Jagomägi, 1997).

| Skaala tüüp | Iseloomustus |
|-----------------|--|
| Nominaalskaala | Objektid on jagatud klassidesse (tähistatakse tähtede või numbritega). Nominaalskaala puhul ei ole võimalik teha aritmeetilisi operatsioone, on võimalik öelda ainult, et <i>klass A ≠ klass B</i> (on või ei ole samane). |
| Järjeskaala | Objektid on jagatud klassidesse, mille vahel on võimalik teha pingerida. On võimalik öelda, et <i>klass A < klass B</i> , <i>klass A > klass B</i> või <i>klass A = klass B</i> , kuid ei ole arvuliselt võimalik väljendada vahede suurust. |
| Intervallskaala | Objektid on võimalik järjestada ning nendevahelist kaugust määrata. Intervallskaalal ei pruugi olla nullpunkti ning seetõttu ei saa kasutada kordseid arve. |
| Suhteskaala | Objekte on võimalik järjestada, nendevahelist kaugust määrata ning kõik suurused on absoluutsed. Suhteskaala on kõige levinum skaala. |

Infosüsteemi andmemudeli atribuutide täpsuse määramine pole midagi spetsiifilist, erinevat vastavate suuruste „tavalisest” määramisest. Seetõttu sobivad atribuutide kvaliteedi määramisel samad meetodid, millega vastavaid andmeid tavaliselt hinnatakse.

Tabel 1.2.3.2. Atribuuditäpsuse määramise meetodid (Dent, 1990).

| Skaala tüüp | Täpsuse määramise võimalused | | |
|--------------------|------------------------------|------------------------|---|
| | Keskväärtus | Dispersioon | Testid |
| Nominaalskaala | Mood | Variatsioon | <i>Chi-ruut</i> , koonduvuskoefitsient |
| Järjestatud skaala | Mediaan | Persentiilid | Spearmani rho; Kendalli <i>Tau</i> |
| Intervallskaala | Keskmine | Standardhälve | <i>F</i> -test; <i>t</i> -test; Pearsoni <i>V</i> |
| Suhteskaala | Geomeetriline keskmine | Variatsioonkoefitsient | <i>F</i> -test; <i>t</i> -test; Pearsoni <i>V</i> |

1.2.3.5. Täpsusklass

Erinevad teemakihid ja eri päritolu andmed erinevad täpsuselt, neid on otstarbekas grupeerida, muidu halveneb süsteemi integraalne täpsuse näitaja, *täpsusklass*. Täpsus ei ole infosüsteemis konstantne suurus, täpsusklass aga kehtib kogu infosüsteemi jaoks.

Iga infosüsteem *moonutab* andmeid. See on paratamatus, mis tuleneb infosüsteemi üldistest omadustest. Ei saa teha moonutusteta infosüsteemi, kuid saab luua süsteemi, mille moonutuste iseloom ja suurus on teada.

Andmete seotus konkreetse objektiga infosüsteemis peab olema piisavalt korrektne, matemaatiliselt määratletud. Piir, millest alates saab lugeda seotuse mudeli ja objektiga piisavaks, on leppeline, see oleneb otstarbest ja viisist kuidas väljundit kasutada kavatsetakse. Hindamisel on olulised: *objekti määratlus*, üleminekute piiritletavus ja *sisuline täpsus*, klassifitseerimiseeskirja detailsus. Sageli loobutakse infosüsteemi andmekvaliteedi määramisel võrdlusest loodusega, asendades selle võrdlemisega kokkuleppelise etaloniga ehk *nominaaltõega*.

Nominaaltõde – tegelik andmekogu kvaliteedi etalon¹, teoreetiline vaade reaalsusele, mis määratakse andmete spetsifikatsiooniga defineerimaks “ideaalset” ja kvaliteetset andmekogu.

Täpsusklass määrab ootused – mida ja kui täpselt infosüsteemi esitusmudelist lugeda saab ja milleks sobib andmestik. Täpsusklass on aga mõistetav ja määratletav mitut moodi:

- *nimitäpsus* on täpsus andmemudeli nullilähedaste moonutuste piirkonnas, millele vastavalt on valitud detailsus, sisuline koormus ja objektide tihedus;
- *väljundtäpsus* on määratud esitusmudelis antud objektide täpsuse ja detailsusega;
- *sisuline täpsus* on väljendab infosüsteemi objektide ja reaalse objektide vastavust, iseloomustab sisu generaliseeritust või abstraheeritust; kasutatakse samafunktsionaalsete infosüsteemide võrdlemisel, nn väljendatav ka infosüsteemi koormuse või koormatuse kaudu; sisuline täpsus määratakse objektide ja tunnuste valikukriteeriumi eeskirjadega.

Ilma täpsustamata, mida täpsusklassi all mõistetakse ja kuidas see on määratletud, ei saa üheselt rääkida kvaliteedist. Määratlemise viise on mitmeid ja *need tuleb kasutajaga kokku leppida*².

Üheks täpsusklassi määramise viisiks on leida see kaudmõõtmistel kasutatavate mõõtemääramatuse leidmise eeskirjade järgi ja üldistada infosüsteemi väljundile.

¹ Inglise keeles *nominal ground*.

² Missugust meetodika valida ja millised näitajad on sobivamad, tuleb koostööpartnerite vahel kokku leppida. Kasutatud meetodikast tuleb teavitada kasutajat (tellijat).

Teine võimalus on normeeri¹ väljundinfo tihedus, andmemudeli objektide tihedus ja rääkida nn. formaalsetest täpsusklassidest ja mida väljendatakse näiteks tasemeindeksitena (T_1, T_2, \dots), iga järgnev vahemik on N -korda detailsem ja tihedam.

Kolmandaks meetodiks täpsuse hindamisel võib olla süsteemi *lahutusvõime*, arvestades kasutatavat mõõte-, töötlus ja salvestustehnikat. Ruumiliste objektide graafilisel kirjeldamisel on kolmekordne lahutusvõime süsteemi *eraldusvõime*. Eraldusvõime miinimumist Kolm korda suuremaid objekte saaks lugeda vastavaks antud nimitäpsusele, mis määrab objektide *sisulise esitamisevõime*.

1.2.4. Konverteeritavus

Infosüsteem on kirjeldatav (1.1.4) mingi abstraktse, m -mõõtmelise ruumina. Ruumis on fikseeritud teatud koordinaatteljestik ja ajaarvestuse algushetk. Objektide vahel selles ruumis on määratud matemaatilis-loogilised seosed. Objekte siduvad eeskirjad ja kasutatav taustsüsteem kokku moodustavad süsteemi *matemaatilise aluse*. Seepärast on andmete vastastikusel kohandamisel vajalik mitte üksnes andmevormingu muutmine, vaid ka matemaatilise aluse ühitamine.

1.2.4.1. Lõimimine

Andmevahetus ei ole kitsalt infotehnika probleem. Küsimus on suurem ja sügavam. Infovahetuse probleemid ei piirdu ainuüksi ühenduskanalitega loomisega signaalide ülekandeks ja infokandjatega nende talletamiseks. Seadeldis, mis opereerib füüsiliste signaalide läbi esitatud informatsiooniga, ei ütle mitte midagi selle tähenduse kohta. Eesmärgiks pole ju mitte abstraktsete informatsiooniühikute liigutamine, vaid parem arusaamine maailma asjadest, sh. ka elukeskkonnast ja inimese vahekorra sellega. Seepärast on inimhõlmatus infotehnoloogilise protsessi vältimatu koostisosa.

Lõimimine, st. erialikalisest, eritüübilisest, heterogeensest infost ühtse terviku loomine, on infotöötlemise tähtis ja sageli möödapääsmatu osa. Infolõimimise eesmärgiks on viia mitmepalgeline algmaterjal võrreldavale ja ühiskasutamiseks kõlblikule kujule. Informatsiooni lõimimine ehk integreerimine on äärmiselt mitmetahuline ja mitmekesine protsess, mille elemente võib esineda infotöötlemise suvalisel etapil.

1.2.4.2. Konverteerimine või transformeerimine?

Kindlalt paikapandud terminoloogiat selles osas ei ole. Üldiselt kasutatakse eesti keeles andmete loogilisel töötlemisel sõna *teisendama*, füüsilisel töötlemisel (nt. signaalitöötlemisel) sõna *muundama*² (Tavast, Hanson, 1998). Sellest võikski lähtuda: kui meil on tegemist füüsikaliste parameetrite muutmise, näiteks pingevoolu muundamisega, siis räägime *transformeerimisest*³. On aga tegemist andmete esituse ühelt kujult teisele üleminekul, ilma andmetes sisalduvat informatsiooni muutmata, siis – *konvert(er)imisest*⁴. Seega võiks konverteerimise tähenduseks olla:

¹ Norm on seaduse, määrusega või juhiseiga kehtestatud nõue või nõuete kogum.

² „Arvutikasutaja sõnastik”: **11.04.01 muundur andmemuundur konverter** - funktsionaalüksus, mis transformeerib andmeid ühest esitusest teistsugusesse, kuid ekvivalentsesse esitusse.

³ „Arvutikasutaja sõnastik”: **06.03.04 transformeerima** - kindlaksmääratud reeglite kohaselt andmete kuju muutma, andmete tähendust põhjapanevalt muutmata.

⁴ *Konverteeritavad andmed* analoogiliselt nagu *konverteeritav valuuta*. EE 5. köide (1990) ütleb: „Konversioon lad *konversio*, ümberpööramine, -pöördumine, vahetus...” „Arvutikasutaja sõnastik” aga konkretiseerib: „**06.03.06 konvert(er)ima: 1. teisendama; 2. muundama.** Andmete esitust ühelt kujult teisele üleminekul, muutmata andmetes sisalduvat informatsiooni. Näited: Kodeerimissüsteemi teisendus, arvustusüsteemi teisendus, analoog-digitaalmuundus, kandja muundus.”

- 1) matemaatilise aluse muutmine;
- 2) andmete teisendamine ühest failiformaadist teise.

Heterogeensete andmevoogude ja andmekogude integreerimisel on mõlemat tüüpi operatsioonid igapäevane asi. Operatsioonide omavaheline järjekord tuleneb eesmärkidest ja mõnikord ka tehnilistest võimalustest. Konverteerimisest rääkides võtame vaatluse alla matemaatilise aluse elementide infotehnoloogiliste vahenditega teostatavad ümbermuutmised.

Konverteerimine võib kasu kõrval ka üsna palju segadust kaasa tuua – kui ununeb, et meil on tegu *infosüsteemiga*. Ilma ülevaataeta andmekogust, st. töötlusloota ja metaandmeteta allika, kvaliteedi jms. kohta kaob varsti järg käest ning hägustub ülevaade sellest, mis on ja mida tegelikult vaja oleks. Seepärast oleks töögrupi ja/või firmasiseselt (aga miks mitte ka isiklikuks tarbimiseks) igati soovitatav ja kasulik rakendada andmete konverteerimisel ühelt matemaatiliselt aluselt teisele detailsemat dokumenteerimist – näo. “andmepassi” ehk *metaandmeid*. Metaandmetes tuleks fikseerida teisendusmeetod, kasutatud tarkvara, aga samuti tulemus ning ilmnenud puudused.

1.2.4.3. Konverteeritavus

Infosüsteemi infokomponendiks on teatud mudeli järgi koondatud andmekogu, tavaliselt **erikujuliste** andmete kogu. Praktiline kogemus ütleb, et erikujuliste andmete viimine andmetöötlemiseks vajalikule kujule ei ole kõikidel juhtudel võrdselt *töömahukas*. Alapunktis 1.2.1. loetletud andmekvaliteedi hindamiskriteeriumid ei ütle meile suuremat erinevate andmemassiivide ühildamisel tehtava töö hulga ja protseduuri keerukuse kohta. Kvaliteedi selle aspekti kirjeldamiseks on vaja uut näitajat, siitkaudu jõuamegi andmete *konverteeritavuse* mõisteni.

Konverteeritavus iseloomustab töökulu andmete teisendamisel, hästikonverditavad andmed nõuavad vähem tööd. Infotehnoloogilise tööprotsessi¹ eesmärgiks on tavaliselt “kasuliku osa” väljaeraldamine toorinfost, algmaterjali entroopia vähendamine². Seega iseloomustab konverteeritavus informatsiooni korrastatust. Konverteeritavust võib vaadelda potentsiaalina. Andmete viimine “kõrgemale” tasemele tähendab infovara suurema korrastatuse määra. *Kõrgem organiseerituse tase* tähendab, et ühesuguse riist- ja tarkvara puhul kulub hierarhiliselt samaväärse või madalama väljundi andmisele vähem tööd, kui madalatasemeliste andmete viimiseks kõrgemale tasemele.

Olukord, kus üksik töögrupp või organisatsioon pole suuteline tagama endale kogu vajalikku infoga isevarustamist otsevaatluste teel, on täiesti tavaline³. Midagi halba selles ei ole. Infotootmise teiseks küljeks ongi *kommunikatsioon* teiste infotootjatega. Vahetusprotsessi olemuseks on vajaliku info ülesleidmine teistest, eraldiseisvatest infosüsteemidest ja selle ühteliitmine, lõimimine. Konverteeritavus ei ole absoluutne suurus: see sõltub oluliselt kättesaadavast riist- ja tarkvarast, aga samuti oskusteabest. Siiski kujuneb iga infosüsteemi andmekogu puhul välja teatud pingerivi, erinevate andmevormingute hierarhia.

Eeltoodu alusel saab infolõimimise tüüpsituatsioonide esitamiseks moodustada teatud abstraktse, uuritavaid süsteeme kirjeldava informatsiooni „üldise” hierarhia. Selle loomiseks jaotatakse info mingi kas süsteemi või infot (infoallikat) ennast (selle kvaliteeti) iseloomustava tunnuse põhjal vastavatesse „tasanditele”. Lõimimise käigus toimub kas info:

¹ Entroopiat, tööd jms. sarnaseid mõisteid infoteoreetilises ja termodünaamilises tähenduses ei tohi kasutada üksikeid asendavatena.

² Piltliku võrdlusena võib öelda, et *entroopia on võimetuse mõõt*. Teisalt tuleb entroopia kahandamiseks teha tööd, seega iseloomustab konverteeritavus konkreetse sõnumi või kontekstikatte infosüsteemi lõimimisel tehtavat tööd.

³ Eksisteerib küll hulganisti teatud vaatlustele ja uurimistele spetsialiseerunud süsteeme, millised omavad enda kasutuses vahendeid globaalse, regionaalse või siis lokaalse monitooringu teostamiseks, kuid ka nende eesmärgiks ei ole infoautarkia (isetagamine).

- viimine madalamalt kõrgemale tasandile;
- toomine kõrgemalt madalamale tasandile;
- liikumine ekvivalentsete tasandite vahel.

Nimetatud ülesannete lahendamine nõuab sageli informatsiooni vormingu muutmist. Vormingu muutmine infohulkade teisendamiseks ühiskasutatavale kujule on infolõimimise olemuseks.

1.2.5. Õigsus, täielikkus ja kvaliteet

Andmekvaliteet ei ole üheselt määratud suuruste ja objektide atribuutide määramise täpsusega. Kasutamise kergus, mida kirjeldab konverteeritavus, ei ole samuti absoluutne. Peatume veidi põhjalikumalt paragraafis 1.2.1. kvaliteedi hindamiseks kasutatud intuiitsetel suurustel.

1.2.5.1. Loogiline õigsus

Loogiline õigsus kirjeldab andmestruktuuri vastavalt tegelikkusele. Iga objekt andmemudelil on kirjeldatud tunnustega, mis määravad tema mingid omadused ning tunnustega, mis kirjeldavad objekti asukohta, asendit teiste objektide suhtes ja objekti geomeetrilist koju, samuti topoloogilisi seoseid naaberobjektidega. Sellest tulenevalt loogilist õigsust tuleb hinnata objektide tunnuste ja graafiliste andmete (kuju, asukoht, asend jne) jaoks eraldi.

Graafiliste andmete loogiline õigsus sõltub graafilisest korrektsusest ning *sisulistest vigadest*. Graafikavead tekivad tavaliselt sisestamiseeskirjade rikkumisest, nt. pinnad ei ole suletud, jooned ei löiku korrektselt jms. Sisulised vead tekivad enamasti asukohatäpsusest tulenevalt. Objektid võivad küll vastata esitatud asukohatäpsuse kriteeriumitele, ometi võivad kokkusattumuste tulemusena sattuda üksteise sisse, peale või alla, samuti tekivad muud sarnased loogilised või topoloogilised vasturääkivused. Seega, rääkides loogilisest õigsusest on vaja hinnata järgmisi aspekte:

- andmete loogiline õigsus;
- asukoha loogiline õigsus;
- kuju ja mõõtmete loogiline õigsus;
- nähtuste defineerimise loogiline õigsus¹ (reaalsusmudeli õigsus).

1.2.5.2. Täielikkus

Täielikkus kirjeldab andmete vastavust püstitatud valikukriteeriumitele. Täielik andmekogu ajalises mõttes on *aktuaalne*, so. vastab andmebaasi kasutamise hetke seisule.

Täielikkust koos täpsusega arvestades on võimalik hinnata, milline on infosüsteemi täpsusklass. Täielikkuse määr ja objektide esitamise täpsus kirjeldavad suhteliselt täpselt esitusmudeli üldistamise ning lihtsustamise astet.

1.2.5.3. Asjakohasus

Asjakohasus ehk ülearuse puudumine. Päringutulemused või infosüsteem ise ei tohiks sisaldada liigset infot, mis segab olulise tajumist või kasutamist. Samas peaks uue info lisamine olema võimalik. Teemakihtide ja objektiklasside asjakohasus oleneb kasutamise otstarbekusest. Teemakihte ja ka objekte tuleb kihtidesse rühmitada sihtotstarbe järgi. See võimaldab muuta infosüsteemi kasutajasõbralikumaks ja ökonoomsemaks, aga ka andmete

¹ Ilmneb infosüsteemi andmemudelil, kuid on enamasti spetsifikatsiooni, eeskirjade ja mõõdistamise probleem.

asjakohasuse lihtsamini jälgitavaks. Andmete, atribuutide, andmestruktuuride asjakohasuse hindamise aspektideks on *hulk, täpsus ja detailsus*.

1.2.5.4. Töötuse kvaliteet

Andmete teisendamisel ühest esitusest teise või vorminguid vahetades tekivad paratamatult teatud kaod või moonutused. Tihti on nende suurust raske määratleda, seetõttu dokumenteeritakse kõik tegevused, mida andmehulgale on rakendatud. Oluline on teada rakendatud algoritme ning kasutatud parameetrite väärtusi. Näiteks võib matemaatilisel teisendusel kasutada algoritme, mis isegi teoreetiliselt ei anna täpselt sama tulemust. Konkreetse rakenduse puhul võib tekkivat erinevust ignoreerida, kuid seda tuleb teha teadlikult, mitte lasta vigadel kumuleeruda. Säilitada tuleks *töötuslugu*: kirjeldus sellest kuidas andmed sisestati, töötlemise täpsuse hinnang, seletus suuruste saamisloo kohta ja kasutatud ühikud.

1.2.6. Infosüsteemi kvaliteedi hindamine

Kvaliteedi hindamine kasutaja rahulolu järgi võib loodusteadustes tunduda veidrana. Esmapilgul võib isegi näida, et selline lähenemine on teatud vastuolus üldtunnustatud objektiiivsete kriteeriumitega vaatlustulemuste töötlemisele, kasutamisele ja nende usaldatavuse määramisele. Mõngisugust vastuolu pole. Kriteeriumid üksikmõõtmise või mõõteseeria täpsuse ja andmekogu ning infosüsteemi kvaliteedi hindamiseks on erinevad, kuna tegu on põhimõtteliselt erinevate asjadega.

Infosüsteem *moonutab* andmeid. See on paratamatus, mis tuleneb infosüsteemi üldistest omadustest. Ei saa teha moonutusteta infosüsteemi, kuid saab luua süsteemi, mille moonutuste iseloom ja suurus meie huvifääris on teada. Moonutuste kontrolli all hoidmiseks on kasulik järgida *infoobjektide invariantsuse* nõuet infoga opereerimisel. See nõue tähendab *informatsiooni „kvantimist“*. Informatsiooni „kvantimise“ mõte on aktiivse hierarhiataseme informatsiooni jaotumises vastavateks portsjoniteks, millega infosüsteemis toimuksid vaid taotluslikud muutused. Andmetöötuse praktikas on selleks *objektorienteeritud lähenemine* (Tennisberg, 2000).

Infosüsteemi kvaliteeti saab hinnata järgmiste parameetrite alusel (Alberts *et al.*, 2001):

- täielikkus;
- õigsus;
- ühtsus;
- pidevus;
- õigeaegsus;
- kättesaadavus.

Täielikkus väljendab siinkohas eelkõige kokkulõimitud informatsiooni rikkalikust ja mitmekesisust. *Õigsus* tähendab seda, et kasutaja pöördumise hetkel peegeldab infosüsteem reaalsust adekvaatselt, oma täpsusklassile vastava määramatuse raames. *Ühtsus* – kõik ühesuguses häälestuses liidest pruukivad kasutajad näevad andmeid ühtmoodi. *Pidevus* iseloomustab võimalust saada teavet katkematult. *Õigeaegsus* – infosüsteemi koste jõuab pärijani sobival hetkel. Kättesaadavus – kasutajale vajalik info on olemas ja talle kättesaadav.

Andmete kvaliteeti hinnatakse tavaliselt järgmiste parameetrite alusel:

- mõõtetäpsus; atribuuditäpsus; loogiline õigsus;
- täielikkus;
- ajakohasus; asjakohasus; töötuslugu;
- kvaliteediinfo usaldusväarsus.

Kvaliteeti iseloomustavad kriteeriumid võib jagada *andmete kvaliteeti* ja kvaliteediinfo kvaliteeti ehk *metakvaliteedi* kirjeldavateks. Andmekvaliteeti näitavad *täpsust, õigsust ja kohasust* esitavad parameetrid; *töötluslugu* ning andmete vastavus *kasutusotstarbega*. Metakvaliteet tuleneb hinnangust kasutatud *metoodikale* ja *abstraktsiooniteisenduste*, süsteemi *kindlusele* ning *usaldusväärsele*. Sageli loobutakse infosüsteemi andmekvaliteedi määramisel võrdlusest loodusega, asendades selle võrdlemisega *kokkuleppelise etaloniga* ehk *nominaaltõega*.

Andmekvaliteedi hindamisel tuleb silmas pidada ka vastavust *kehtivate standardite* ja infosüsteemi *spetsifikatsioonile*. Standardid kehtestatakse seadusandlike aktidega või siis rahvusvaheliste lepetega. Spetsifikatsioon on infosüsteemi väljatöötamise aluseks olev dokumendi vormis *detaalne formuleering*.

Andmete *konverteeritavus*, nende teisendamiskõlblikus ja infosüsteemide ***ühilduvus*** ei küll otseselt seotud üldiste kvaliteedikriteeriumitega, kuid kaasajal, mil tihti on määravaks just kommunikatsiooni kiirus ja mugavus, mängib *kvaliteedi tunnetamisel* üha suuremat rolli.

1.3. KESKKONNAINFO

Keskkonnainfo peegeldab keskkonnamuutusi ruumis ja ajas. Uuritavate nähtuste ruumiline mastaap ja ajaline kestvus vormivad keskkonnainfo iseloomu. Keskkonnainfo näo kujundavad nähtuste keerukus, tihe omavaheline seotus ja keskkonnasüsteemide avatus.

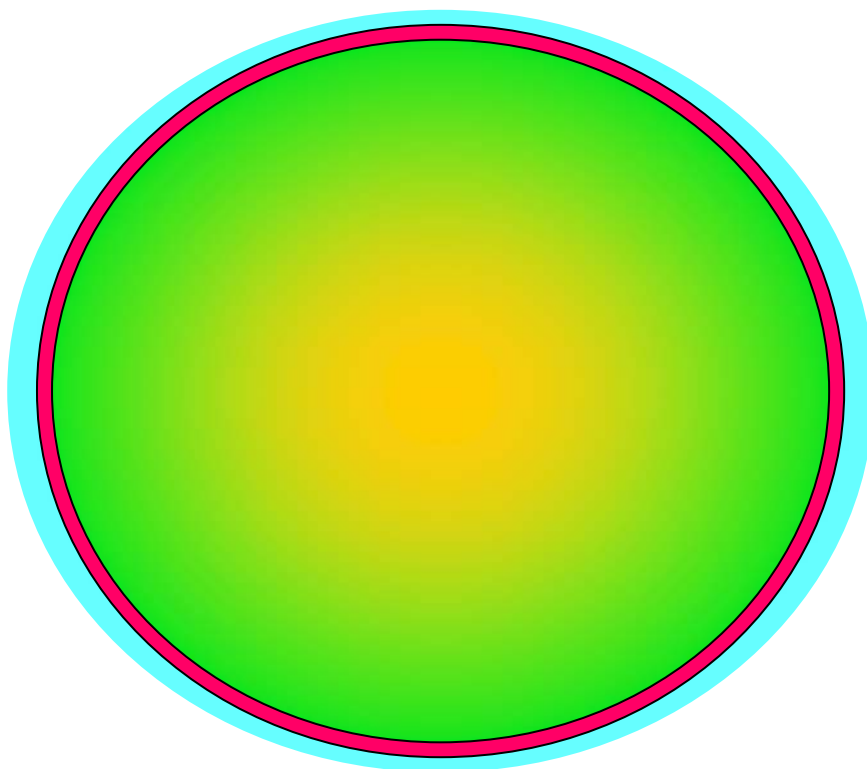
Kõik keskkonda või selles toimuvat protsessi kirjeldavad parameetrid ei ole otseselt mõõdetavad. *Kaudsete suuruste määramine* tuntud seoste abil otsemõõtmiste tulemustest on teine infotötluse eesmärk.

Üksikvaatlused ei pruugi anda piisavalt head ülevaadet keskkonnaprotsesside kulgemisest. Terviklikuma pildi saamiseks keskkonnas toimuvast tuleb vaatlusandmeid protsessipõhiselt, koha või aja järgi koguda ja süstematiseerida. Andmekogud vajavad organiseerimist ja struktureerimist. Andmete analüüsi ja sünteesitulemused talletamist ning kolleksioneerimist. Üldiselt rääkides on see pidev protsess.

1.3.1. Keskkonnaprotsesside aeg ja ruum

Igas teaduses on oma **ruumikäsitlus**. Keskkonnanahtuste ruum ei vasta täielikult teoreetilise füüsika ruumikäsitlusele. Tühi, sile ja ühetaoline ruum, kus kõik kohad ning suunad on võrdväärsed, kujutab endast abstraktsiooni, mida reaalsuses ei esine.

Inimtegevus ja inimese elukeskkond on siimani olnud piiritletud maapindmiku ja sellelähedase õhukese kihiga¹. Seepärast on keskkonnaprotsesside ruum suuresti ühilduv *geograafilise ruumiga* (vt. *joon. 1.3.1.1 ja 1.3.1.2*).

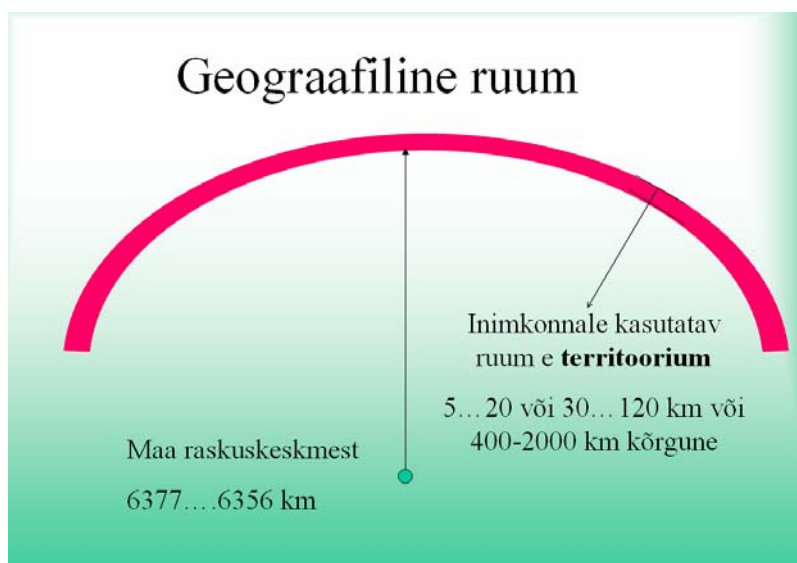


Joonis 1.3.1.1. Keskkonnaprotsesside ruum.

Õhuke „punane” kiht atmosfääri ja Maa piiril ongi meie eluruum. Keskkonnaprotsessid Maal ja maalähedases ruumis on mõistagi mõjutatud Päikesest ning muudest kosmilistest faktoritest, kuid absoluutne põhiosa meie huvidest ja tegemistest on limiteeritud selle kihiga.

¹ Mitte ükski inimene ega kõrgem loom pole käesoleva ajani teadaolevalt lahkunud Maa mõjusfäärist.

Keskkonnainfo on olemuslikult ruumiinfo, st. keskkonnanähtuste puhul on tähtis teada nende asukohta ja asetust geograafilises ruumis.



Joonis 1.3.1.2. Geograafiline ruum (Jagomägi, 2006).

Võib öelda, et geograafiline ruum on rohkem kui kolmemõõtmeline. Ruumiga seonduva käsitlemisel on olulisel kohal:

- naabrussuhted;
- kattuvused;
- sisalduvused.

Keskkonnanähtuste ruumi lihtsaim jaotus oleks selline:

- lokaalne;
- regionaalne;
- globaalne;
- (ja kosmiline).

Keskkonnaruum piirneb, kattub, sisaldab ja sisaldub mitmesuguste teiste ruumidega (Jagomägi, 2001):. Neist tähtsamad on inimese personaalne ruum, sotsiaalne ruum, kultuuriruum jms. Ruum on piiratud ressurss. Ühiskonnale, sootsumile on ruumi olemasolu hädavajadus. Iga rajatis ja ettevõtmine vajab ruumi ning sobivate omadustega ruum on defitsiit. Mida suurem ja kiirema arenguga inimgrupp või ühiskond, seda defitsiitsem on ruum. Suur ja dünaamiline inimühendus avaldab tugevat mõju oma eluruumile.

Keskkonnaprotsesside ruumi saab liigendada (Jagomägi, 2006):

- *Paik* – kus paikneb, on punktina käsitletav;
- *Koht* – ruum kuhu inimene mahub tegutsema ja mis kannab **nime**;
- *Territoorium* – jagunemine haldamise/valdamise alusel: poliitiline ja õiguslik;
- *Maastik* – kui inimese tegutsemise areen, vahetu tunnetuse aluse piiritletud;
- *Maastik* – kui isearenev ruumiline nähtus, piiritletakse paljude pikaajaliste protsesside, näitajate ja nähtuste põhjal;
- *Keskkonnasüsteem* – eesmärgipäraste, praktiliste uurimuste eesmärgil või siis süsteemse, teadusliku tunnetuse nimel.

Ajakäsitlused on mudelikesksed. Aeg, nagu informatsiooni, ei ole absoluutne, vaid suhteline. Reaalsuses on igal nähtusel oma aeg. Punktis 1.1.1. on ajaintervallide moodustamise põhimõtte alusel *aja suund*¹ – „enne” ja „pärast” järjekord – määratud kui:

- subjektiivne aeg – *mälestustes* antud sündmuste järjestus (põhjus-tagajärg seos);
- termodünaamiline aeg – TD II seadusest (entroopia kasvuga suletud süsteemis);
- kosmoloogiline aeg – Universumi evolutsiooniga Suure Pauku teooria alusel.

Kaasajal saab aja suunda fikseerida ka infosüsteemides talletatud kirjete järjestusega. Aja *pidevus* on üks eeldus, mis infosüsteemi kontseptsioonis tehakse. Reaalsel infosüsteemil on lisaks ruumilisele lahtusele ka ajaline *lahutusvõime*, mis fikseerib süsteemi suurima *eraldusvõime* – minimaalse tuvastatava ajaintervalli. Praktikas kasutatakse sellest kordades pikemaid vahemikke. Keskkonnaprotsesse kirjeldades vaadatakse üsna sageli aega:

- süsteemi omaajana;
- protsessi omaajana.

Üksikindiviidile ja infosüsteemile on aeg ruumist määravam, nende jaoks on aeg piiratud ressurss. Eriti kehtib see juhtimise kohta. Ümbritsevas keskkonnas toimuvate protsesside jälgimisel ja juhtimisel infosüsteemi omaaeg reeglina ei ole sünkroonne ümbritseva keskkonna ajaga.

1.3.1. Keskkonnainfo allikad

Informatsioon keskkonna kohta pärineb *vaatlustest*. Vaatluseks võib olla niihästi ülitäpsete mõõtevahenditega sooritatud mõõtmine kui juhusliku möödakäija tähelepanek.

Üldiselt rääkides on infoallikateks kõik keskkonda puudutavate vaatluste teostamise kohad ja mõõtevahendid, aga samuti vaatlustulemuste säilitamise ja töötlemise paigad, st. igasugused vaatlusjaamad, mõõteriistad, vaatlejad, seadmed, süsteemid, infohoidlad jms. Kõige olulisemaks infoallikaks on kaasajal keskkonnaseire.

Keskkonnaseire on keskkonnaseisundi ja seda mõjutavate tegurite järjepidev jälgimine (Oja, 2000), mille põhieesmärk on prognoosida keskkonnaseisundit ja saada lähteandmeid programmidele, planeeringute ja arengukavade koostamiseks. Keskkonnaseire hõlmab keskkonnavaatlusi ja vaatlusandmete töötlemist (Keskkonnaseire seadus, 1999).

Andmekogudeks on käesolevas töös nimetatud igasuguseid korrastatud andmete kogumeid. Mingit põhimõttelist erinevust vaatlustulemustel ja andmekogude infol ei ole. Talletatud vaatlustulemused on ju samuti andmekoguks.

Keskkonnainfot saab jaotada *otseseks*, mis saadakse keskkonnauurimise eesmärgil teostatud vaatlustest ja *kaudseks*, mida kogutakse mingil muul eesmärgil. Viimaste näiteks võib tuua ajaloolise jäärežiimi rekonstrueerimise sadamadokumentide, ajalookroonikate, päevikute, kirjade jms. materjali alusel. Tänapäeval on esile kerkinud mitmed uued kaudse keskkonnainfo allikad. Esmajärjekorras tuleb ära märkida loodusvaatlustele spetsialiseerunud vaatlusjaamade kõrvale kujunevaid harukondlikke või ametkondlikke seirestruktuure. Näiteks maanteede seisukorda jälgiv vaatlusjaamade võrk, mis fikseerib muude andmete kõrval ka ilmastikuolusid maanteetrassidel. Info tarbija seisukohast võib ka Internetti lugeda infoallikaks: üha enam vaatlusjaamu, organisatsioone ja üksikisikuid avaldavad veebis andmeid keskkonnaseisundi kohta. Eriti suurt huvi pakuvad siinkohas võrguleheküljed kas reaalaajas või regulaarselt uueneva infoga.

¹ Määrab ajaintervalli +/- märgi valitud alghetke suhtes.

1.3.2. Keskkonnainfo töötlemine

Keskkonnanähtuste ja objektide seosed võivad tihtilugu olla keerulised ja neid võib olla palju. Analüüs, mis põhineks eranditult *kõigi* tegurite toime kindlaksmääramisel ja arvestamisel, upuks ebamäärasusse juba seepärast, et kõiki tegureid on võimatu loetledagi, rääkimata nende mõju hindamisest. Seetõttu on levinud ratsionaalsem lähenemisviis, mille puhul uuritavaid nähtusi ei püütagi hõlmata kogu mitmekesisuses, vaid vaadeldakse neid lihtsustatud käsitlusskeemide alusel, mis pole küll nii mitmekesised kui kogu tegelik seostekompleks, ammendavad aga siiski nende mõju. Protsesside niisugust skemaatilist käsitlemist nimetatakse üldistamiseks ehk *generaliseerimiseks*.

Infotöötlust saab välja eraldada *eeltöötuse*, mille käigus toimub toormaterjali ettevalmistamine edasiseks kasutamiseks. Ettevalmistav tegevus ei ole sugugi kõrvalise tähtsusega. Selle mõju kogu infotöötuse tulemi kvaliteedile on suur. Eeltöötus hõivab üsna sageli suurema osa tehtud tööde mahust.

Keskkonnainfo eksisteerib kas digitaalkujul või fikseerituna mõnel tardkandjal. Palju varasemast infost on tänini paberil, fotomaterjalil, magnetlindil vms. kandjal. Arvestades asjaolu, et arvuti on kaasaegse infotöötlusprotsessi lahutamatu komponent, siis on infot mõttekas koguda, säilitada ja vahetada raalile sobival kujul. Tähendab, osa informatsiooni tuleb *digitaliseerida* eeltöötuse käigus.

1.3.3. Keskkonnainfo vahetuse ja hõive probleemid

Ülevaate andmisel elukeskkonna olukorrast ja arengutendentsidest iseloomustavad iga konkreetse objekti seisundit *arvukad parameetrid*. Üksikud indikaatiivsed, kergesti analüüsitavad ja võrreldavad parameetrid, millega tavaliselt kirjeldatakse eluta loodust, on elustiku ja elukeskkonna seisundi esitamisel suhteliselt haruldased.

Keskkonnainfo tootmise aluseks on vaatlused ehk mõõtmised. Viimased on tihtilugu erineva täpsuse ja detailsusega (Tamm, 2005). Komplitseeritud on *vaatlustulemuste üldistamine* – süsteemi teatud osale antud hinnangu laiendamine kogu süsteemile tervikuna. Lisaks sellele iseloomustab paljusid keskkonnaprotsesse suur ruumiline ulatus ja ajaline kestus. Keerukust lisab ka keskkonnanuuringute *metoodika erinevus* valdkonniti. Omajagu probleeme võivad põhjustada vaatlustulemuste erinevad *tõlgendused* erinevates mudelites.

Keskkonnasüsteemide ulatus ehk *mastaap* varieerub näiteks mõned üksikut kasvukohta ümbritsevast „mikrosüsteemist“ kuni kogu Maa ja maalähedase kosmilise ruumini. Sellest tingituna puudub keskkonnasüsteemidel üldkasutatav ruumiline *hierarhia*. Sama kehtib keskkonnaprotsesside ajalise kestuse kohta. Mõlemal juhul toimub jaotamine olenevalt uurimisobjektist ja vastavalt vajadustele. Tinglikult võib rääkida *globaalsetest, regionaalsetest ja lokaalsetest süsteemidest*. Üsna tavaline on ka nähtuste vaatlemine kas riikide, riikide liitude või siis teiste haldusüksuste kaupa, ajaarvestuses aga lähtumine üldkasutatavast süsteemist.

1.3.4. Keskkonnainfo kasutamine

Vaatluste tulemuseks on teatud suurustele väärtuste kindlaksmääramine. Tänapäeval võib nõuda, et need väärtused, mis iseloomustavad keskkonnaparametreid kvantitatiivses või kvalitatiivses mõttes, peavad olema saadaval arvutitele sobival kujul. Seega on keskkonnainfo tootmisel põhinõudeks automatiseeritud arvutus- ja loogikatehete sooritamiseks kõlblikku info produtseerimine. Seda infot kasutatakse mitmesuguste matemaatiliste mudelite koostamiseks, kontrollimiseks ja lahendamiseks.

Võrrandit kujul:

$$\frac{dX(t)}{dt} = F[X(t), t] \quad (1.3.4.1)$$

kus F on teadaolev funktsioon suurustest X ja ajast t , nimetatakse füüsikas *evolutsioonivõrrandiks*. Nimetus ütleb, et selline diferentsiaalvõrrand võimaldab leida suuruse X evolutsiooni ajas, st. avaldada X väärtuse ajahetkel $t + dt$ X väärtuse kaudu hetkel t :

$$X(t+dt) = X(t) + F[X(t), t]dt . \quad (1.3.4.2)$$

Võrrandit, mis seob omavahel suurusi $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$, ... antud ajahetkel ja tuletisi aja järgi ei sisalda

$$G[X(t), Y(t), Z(t), \dots] = 0 \quad (1.3.4.3)$$

nimetatakse füüsikas *seosevõrrandiks* (Rõõm, 2002).

Keskkonnamudelid sisaldavad endas mitmesugustest evolutsiooni- ja seosevõrranditest koosnevaid süsteeme. Võrrandisüsteemide määramiseks, alg- ja rajatingimuste fikseerimiseks on vaja kindlaks teha mitmed parameetrid: füüsikalised, bioloogilised, demograafilised jne.

1.4. KOKKUVÕTEKS

Esimeses osas „*Keskkonnainfo käsitlused*” on lahti seletatud käesolevas töös olulised põhimõisted: *informatsioon, infosüsteem, andmekvaliteet ja keskkonnainfo*.

Näeme, kuidas ja milliste põhireeglite alusel *keskkonnavaatluste* käigus *mõõdetud suuruste* tõlgendamisel *tunnetusmodelite* loomiseks toimub info organiseerimine teatud kindlate omadustega infostruktuuriks. Infotöötamise käigus kujunev *infosüsteem* on vastasmõjus ümbritseva *keskkonnaga*, püüdes viimast viia vastavusse oma sisestruktuuriga; väliskeskond aga indutseerib infosüsteemis muutused vastavuses oma struktuuri evolutsiooniga. Järelikult on *teoreetiliselt* võimalik organiseerida infosüsteeme, mille abil on saab teatud tingimustel mõjutada väliskeskonda arenguid soovitud suunas.

Infosüsteemide põhiomadustest on peatunud juhtimise seisukohast olulisel *selektiivsusel*, mis on omane kõigile süsteemidele. Keerukate infosüsteemide trend *fragmenteerumisele* ning „puuduva” informatsiooni *genereerimise* omadus hoiatavad potentsiaalsete ohtude eest infosüsteemide liiga heausksel kasutamisel. Viimast probleemi illustreerib kontekstiga sobimatu informatsiooni viimine infosüsteemi ehk nõ. „epitsükli” konstrueerimine. Ainult katkematu side reaalsusega, konstruktiivne suhtumine väljastpoolt tulevasse kriitikasse võib hoida süsteemi kollapsi ja stagneerumise eest.

Inimene on infosüsteemi lahutamatu koostisosa, kes *virtuaalsuses* opereerib vastavate kasutajaliidestega abil mitmesuguste infoobjektidega. See püstitab omad nõuded inimesele. Nagu ülaltoodust nähtub, püüab iga infostruktuur modifitseerida reaalsust vastavalt oma olemusele. Seepärast peab operaator vältima infosüsteemi fetišeerimist. Infosüsteem ei ole Jumal ja arvutuste eesmärgiks pole mitte arvud vaid arusaamine (Tamm, 2004). Alati tuleb mees pidada: *kui miski on infosüsteemis, ei tähenda see veel seda, et see on õige!*

Kvaliteedi määramisel püstitasime põhikriteeriumiks kasutaja vajaduste rahuldatus. Teave ei pea mitte ainult olema õige, vaid ka hästi kättesaadav ja mugav kasutamiseks. Andmed peavad olema *konverteeritavad*, st. võimalikult väikeste kulutustega teisendatavad ja teiste andmetega *lõimitavad*. Selgelt on märgatav inimeste kalduvus eelistada valikul kergesti kättesaadava kuid kehva kvaliteediga *digitaalallika* (näiteks Interneti) ja kvaliteetse kuid vaevalise *tardkandja* vahel digitaalset infoallikat.

Digitaalinfo kasutamise ja teisendamise hõlpsus tekitab omi probleeme, millistest üks valusaim on *vigade propageerimine*. See püstitab väga ranged nõuded andmete kvaliteediinfo dokumenteerimisele.

Keskkonnainfo spetsiifikaks infotöötlaste seisukohast on paljuparameetrisus ja heterogeensus. See näitab informatsiooni eeltöötlaste suurt rolli keskkonnainfo viimisel keskkonnamudelite koostamise jaoks sobivale kujule keskkonnainfosüsteemis.

Järgmises osas „*Keskkonnainfo tootmine*” vaatleme mõnevõrra põhjalikumalt keskkonnainfo tootmise sõlmküsimusi.

Selles on tõeline vajadus infosüsteemide järele. Hästitoimiv infosüsteem on mõistust võimendav masin. Mõistus on aga liigi *Homo Sapiens Sapiens* peamine kohastumus toimetulemaks keskkonnamõjudega.

2. KESKKONNAINFO LÕIMIMINE

Maailma tunnetakse võrdluse läbi. Võrdlemiseks tuleb asjad viia ühesugusele kujule. Heterogeense info viimist ühtsesse infosüsteemi nimetatakse *infolõimimiseks* ehk integratsiooniks. Integratsioon on oluline osa informatsiooni-kommunikatsiooniteooria, küberneetika ja mikroelektroonika rakenduste problemaatikast. Informaatika võtted nende lahendamisel on ühesuguse tuumikuga, kuid valdkonnast sõltuvalt eriilmelised.

Info lõimimine tähendab üleminekute konstrueerimist erinevate infostruktuuride vahel. Integratsiooni käigus selgitatakse välja vastavused ja erisused infosüsteemide ja infoobjektide vahel. Keskkonnainformatsioon ei ole selles osas erandiks.

Keskkonnainfo lõimimise sõlmküsimused võib jagada kolme suurde gruppi. Esimene grupp on vahetult seotud *infosüsteemide*, nende loomise ja funktsioneerimisega. Teine tuleneb *keskkonnainfo tootmise spetsiifikast* ja kolmas on keskkonnast arusaamise ning keskkonda suhtumise *ühiskondlik aspekt*.

Keskkonnavaatluste käigus mõõdetud suurusi tõlgendades luuakse *tunnetusmudelid*. See toimub teatud paradigma raames. Sündiv infosüsteem organiseeritakse kontseptsioonile tuginedes kindlate omadustega infostruktuuriks. Infotöötamise käigus kujunev *infosüsteem* on pidevas vastasmõjus ümbritseva *keskkonnaga*. Infosüsteem deformeerib ümbritsevat vastavusse oma sisestruktuuriga, väliskeskond omakorda indutseerib infosüsteemis muutusi. Nõnda toimub informatsiooniliselt seotud struktuuride evolutsioon. Muutused leiavad aset üksteist mõjutades, kuid ajanihkega ja erinevas ulatuses. On võimalik teadlikult disainida infosüsteeme, mille abil saab mõjutada väliskeskonda arengut. Üldiselt rääkides on iga keskkonnainfosüsteem, vähemalt kaugemas perspektiivis, suunatud tulevikujuhtimisele.

Nende ülesannete lahendamine tõstab tähtsale kohale keskkonnainfo tootmise, kogumise ja haldamise. Võrreldavuse nõue haakub ühilduvusega, ühilduvus on aga otseselt seotud konverteeritavusega, mis on oluline kvaliteedinäitaja. Hästilõimuv info on kergelt konverteeritav. Lõimimise sisuks on *infoobjektide invariantisuse* nõuet rahuldavate teisenduste leidmine. Infointegratsioon eeldab *objektorienteeritud* lähenemist. Infoobjektide tasemel tähendab lõimimine:

- struktuuri ühtlustamist;
- vormi kokkusobitamist;
- infokandjate standardiseerimist¹.

Infoobjekti *struktuuri* määrab ära sõnumite tähendus antud kontekstis. Sõnumi tähendus on lisaks kontekstile ka süsteemi *hierarhiast*. Teisalt mõjutab infoobjekti struktuuri konkreetse infosüsteemi realisatsioon mingil kindlal *platvormil*, milline toimib piirava faktorina. *Vorm* on paika pandud struktuuri ja kasutatud *kodeeringuga*. Kodeering on sõnumi esitus mingi signaali variatsioonina – teatud kokkuleppelise *muustrina*. Info lõimimiseks võib osutada vajalikuks infokandjate *standardiseerimine* lugemise tõhususe tõstmiseks.

2.1. INFOLÕIMIMISE PÕHIPROBLEEMID

Infolõimimise põhiülesandeks on erineva maailmanägemisega, üksteisest ruumis ja ajas eraldatud inimeste poolt, erinevas esituses ning erineval otstarbel genereeritud infovoogudest uue terviku loomine. Infointegratsiooni kitsaskohad tulenevad erinevatest *allikatest*, *tehnoloogiast* ja *tõlgendustest*.

¹ Standardiseerimine teostatakse tavaliselt riiklike või rahvusvaheliste õigusaktidega. Infotehnoloogia standardeid Eestis võib leida näiteks Riigi Infosüsteemide kodulehelt (EIS, 2005).

Oma üldises käsitluses on infointegratsioon filosoofiline ja abstraktne, samas jääb iga lõimimisoperatsioon väga konkreetseks, puhttehniliseks ettevõtmiseks. Infooperatsioon on ikka veel rohkem kunst kui tehnika. Informaatikutel puuduvad¹ selged tehnoloogilised eeskirjad. Kogu tahtmise juures langetada järelduste tegemine kellegi teise õlule ja keskenduda ainult andmetöötlusele, peavad informaatikud töötama *tähendustega*. Nende põhimureks on, et *sõnumi tähendus ei läheks kaotsi*.

Sõnumi tähendus sõltub kontekstist. Seepärast jääb konteksti tundmise nõue muutumatult informaatiku kutseoskuste hulka. Pigem vastupidi: *määrani, mis ei nõua enam tähendusest arusaamist algoritmiseeritud infooperatsioon ei vaja operaatorina inimest*.

Infosüsteemide põhiomadustest (vt. 1.1) on info lõimija jaoks olulised: *selektiivsus, fragmenteerumine ja genereerimine*. Piisavalt võimas infosüsteem suudab anda vastused kõikidele esitatud päringutele. Ainult katkematu side reaalsusega ja konstruktiivne suhtumine väljastpoolt tulevasse kriitikasse võib hoida süsteemi kollapsi ja stagneerumise eest.

Inimene on infosüsteemi osa ja info lõime aktiivne komponent. Informatsioon tähendus on süsteemist, kontekstist. Inimese puhul on selleks süsteemiks paradigma (vt. 1.1.9).

2.2. PARADIGMA

Paradigmad, üldkontseptsioonid jms. *raamivad* info lõimimise protsessi. Kogu info töötlus, sh. ka integratsioon, toimub alati konkreetse paradigma sees. Info vahetades ei tohi seda hetkekski unustada.

Inimene elab üheaegselt nii ühiskonnas kui looduses. Seepärast on elukeskkonnaga seotud mured midagi enam kui loodusteaduslik probleem, neil on tugev *sotsiaalmajanduslik foon*. Keskkonnauuringute rahastamine väljendab *sotsiaalset tellimust*, mille formeerib *ühiskondlik mentaliteet*. Keskkonnauuringud sõltuvad paljuski ühiskondlik-poliitilistest realiteetidest, teenivad teatud huvigruppide sotsiaalseid ja majanduslikke eesmärke. See vajutab omakorda pitseri ka keskkonnainfo tootjate maailmavaatele². Keskkonnainfo töötlust mõjutavad info tootjate paradigmade erisused väga kõvasti.

Keskkonnainformaatika peab loodusvaatluste ja eksperimentide tulemuste töötlemise kõrval haarama ka muu inimesele ning ühiskonnale tähtsa *keskkonnainfo*. Keskkonnast arusaamisel annavad psühholoogia, kultuur, ühiskond ja majandus tugevalt tooni. Vaatluste lahtimõtestamisest sündinud keskkonnamudelid määravad informatsiooni talletamise ja esitamise viisi. Salvestatud keskkonnainfo ei ole objektiivne reaalsus, vaid tunnetusmudeli „tsensuuri” läbinud signaali üleskirjutus.

Üsna tavaline asi info töötamise igapäevases elus on infosüsteemi loojate ja informaatikute kindel veendumus, et *kõik* inimesed näevad maailma ühtemoodi. *Seepärast maailmavaadet ei dokumenteerita*. Infosüsteemi kirjeldava dokumentatsiooni üldosa ja esitatud kontseptsioonid³ annavad läbi väga spetsiifilise prisma lastud ettekujutuse⁴ ülesandest, mille täitmisele süsteem peaks⁵ olema suunatud. Ohtlik ja raskeltavastatav *viga* info lõimimisel on paradigmade erinevuse ignoreerimine⁶. Avastatakse selline fundamentaalne möödalaskmine näiliselt tühise mittevastavusena kolmandajärgulistes küsimustes. Kontrollimisel selgub, et kogu protsess on teostatud lähtudes valedest eeldusest ja nõuab täielikku ümber tegemist.

¹ See on tavaline seis.

² Meenutame kasvõi uhkusega eksponeeritud tossavaid korstnaid tööstusrevolutsiooni aegsetelt plakatitelt.

³ Neid ei esitata alati.

⁴ Dokumentatsiooni koostaja oma.

⁵ Aga ei pruugi olla.

⁶ „Ma olen väike inimene, kitsas spetsialist – kas pean mina seda teadma?” mentaliteet.

Infolõimimise käigus paradigmad *tõlgitakse*. Seda tõlget ei saa ja ei tohi teha „otse” – sarnastele sümbolikomplektidele samatähenduslikkuse omistamisega. Need on vaid identsed sümbolid, mille tähendus on antud vaid infolõimija eelarvamustes. Paradigmaatiliste mõistete ja tähenduste tõlkimine toimub üle reaalsuse, lähtudes *materiaalse maailma ühesusest*.

Informatsiooni lõimija on tõlkija ja vahendaja. Oluline osa infolõimimisest toimub tegija peas. Infolõimija vooruseks on psühholoogiline valmisolek mängida erinevate paradigmadega. Tunnistada teisi maailmavaateid, käsitleda neid eetiliselt võrdväärsetena ning mitte langeda nende mõju alla. Adekvaatne arusaamine süsteemist ja infost, sõnumite tähenduse süsteemikeskne esitus on tõhus aparraadi infolõime probleemide lahendamiseks. Seevastu sõnadesse ja ideoloogiatesse takerdumine on infolõimijale tõsiseks takistuseks.

Kvaliteedi hindamine on samuti paradigmast lähtuv. Põhikriteeriumiks on kasutaja vajaduste rahuldatus, rahuldatus mõõdikuks – tulemuste võrdlus ootustega. Ootused aga on üheselt seotud maailmavaatega. Arvamus infosüsteemi headusest ei kujune ainult andmete õigsuse¹ põhjal. Teave ei pea mitte ainult olema õige, vaid ka hästi kättesaadav ja mugav kasutamiseks. Mugavus on samuti mentaliteedi küsimus, harjumuspärast eelistatakse üsna sageli ratsionaalsele.

Paradigmade tõlkimine on vajalik etapp igas infointegratsioonis, tööprotsesside mõttes on tegu *eeluuringute* osaga. See on vältimatu, paradigma teadvustamatus ei anna võimalust sellest möödahiilimiseks kuid on täiendavaks riskifaktoriks.

2.3. ORGANISATSIION

Inimesed ei ole organisatsiooni suurim vara, hoopis inimestevahelised sidemed² on. Neid sidemeid ei saa toota, need sünnivad õnnelike juhuste³ läbi (Gratton, 2005). Inimsuhted, tementeeritud kultuuriga, on organisatsioonile tähtis ressurss – ühine varandus⁴ – *orgvara*. Üldistatud infosüsteemi mudeli (vt. 1.1) kohaselt on orgvara infosüsteemi lahutamatu osa. Seepärast peab iga infolõimija tundma inimorganisatsioonide talituse kõige üldisemaid põhimõtteid ja oskama neid oma töös kasutada.

Ühiskond koosneb varieeruva struktuuriga inimühendustest. Üldiseks reegliks on see, et üks inimene esineb erinevates organisatsioonides erinevas rollis. See loob sidemed inimgruppide vahel. Inimese kui infosüsteemi baaskomandod on: luua, vahetada, hävitada.

Inimorganisatsioonid saab taandada võimupüramiididele. See on abstraktsioon. Maailmas kohtab selliseid ideaalseid organisatsioone üsna harva. Tavaliselt on tegu laia sotsiaalse baasiga kiirestikasvava struktuuriga. Silinderjas kuju viitab organisatsiooni stagneerumisele, hierarhiapüramiid paksendiga keskel või ülaosas – surevale struktuurile. Mitme hierarhia koeksistents organisatsioonis viitab selle infosüsteemi fragmenteerumisele (vt. 1.1.4).

Elujõulistes organisatsioonides liiguvad juhtimiskorraldused *vertikaalis* ja suhtlemine toimub *horisontaalis*. Sama kehtib organisatsioonidevahelise suhtlemises, mis on infolõime protsessi lahutamatu osa. *Võrdne räägib võrdsega*, käsklusi võetakse vastu ainult ülevalt ja antakse ainult alla. Sellises ühiskonnamudelil paistavad „küljelt” vaadates püramiidid – *narmastikud*, hierarhia (Ploompuu, 2003) ja „ülevalt” või alt „vaadates” – *võrgustikud*.

Tunnetusmudelite keeles tähendab see:

- *paradigma* – organisatsiooni visioon, missioon, väärtused ja strateegia formuleeritakse eliidi poolt ja tagatakse kõrgeima juhtkonna autoriteediga;

¹ Õige info ei pruugi olla meeldiv ja mitte just alati vastata kasutaja tegelikele soovidele.

² I.k. *ties*.

³ I.k. *serendipity*.

⁴ I.k. *social capital*.

- *reaalsusmudel* – nähtuste käsitus – luuakse konkreetsete ülesannete lahendamiseks analüütikute¹ poolt, keskastme täitejuhtide² egiidi all;
- *infomudel* – luuakse infotehnoloogide poolt reaalsusmudeli raames andmetöötlejatele teadmiseks ja täitmiseks;
- *andmemudel* – sünnib andmeanalüütikute ja andmetöötlejate koostöös, peegeldab otseselt infosüsteemi tehnilist taset;
- *esitusmudel* – kujundatakse kunstniku poolt kooskõlas organisatsiooni üldiste eesmärkide ja konkreetse ülesande püstitusega.

Infolõimimise praktikas vahetatakse andmeid (Loodla, 2005b), kuid mitte paradigmasid. Organisatsioonide vahelise infovahetuse ideaalsel juhul pöörduvad esmalt üksteise poole kontaktisikud³, kes edastavad neid huvitavate andmete reaalsusmudeli kirjelduse⁴. Otsuse korral jätkata kontakte kaasatakse läbirääkimistesse infospetsialistid, kes omavahel suheldes kooskõlastavad juhtkonna kaastadmisel tehnilised detailid.

2.4. MUDELITE PÕKKAMINE, INFOOBJEKTIDE TEISENDUSED

Infohulga karkassiks on mudelid. Mudelid organiseerivad infosüsteemi struktuuri. Mudelistest tuleneb informatsiooni tähendus, seosed, vorm ja esitusviis süsteemis. Põhimõtteliselt taandub kogu infolõimimise kvalitatiivne osa mudelite omavaheliste vastavuste väljaselgitamisele – *mudelite kokkupõkkamisele*.

Mudelite põkkamine on keeruline ülesanne ja läbimõtlematul teostamisel võib kaasa tuua väga suured kulud. Seepärast on mudelite põkkamisel oluline hoida selged sihid silme ees, säilitada teadvuse tugev side ümbritseva maailmaga (Szafranski, 1995). Kollektiivsete püüdluste ühtsuse tagamisel on grupisisest üldtunnustatud põhimõtteid⁵, kultuur, ainsaks vahendiks. Kultuurinormid aitavad informaatikul orienteeruda kõikvõimalike paradigmade ja reaalsuste rägus.

Ajaliste ja ruumiliste mastaapide erinevused, vahed süsteemide omaajas komplitseerivad infolõimimist. Info tähendus on ka süsteemi *hierarhiast*, sellega peab mudelitega opereerija alati arvestama. Tavaliselt püütakse mudelid, sh. ka *keskkonnamudelid* odavuse ja parema arusaamise nimel teha võimalikult lihtsad. Seepärast on mudeliloomise „sõela” läbinud andmed meelevaldne ja ahtakene väljavõtte meid ümbritsevast informatsioonivoost.

Mudel, paradigma, kontseptsioon, reaalsusmudel jms. on *abstraktsioonid*, mis oskuslikul kasutamisel on tõhusateks tööriistadeks ja teevad infotöötlejate elu kergemaks. Abstraktsed mudelid aitavad selgemalt ja täpsemalt mõelda, kuid need ei tohi „mõelda” inimese eest. Formalismid (vt. 1.1.2.3) ei luba formaalset suhtumist. Inimene peab looma ja kasutama mudeleid, mitte mudelid – inimest.

Igapäevases elus kohtab infolõimija haruharva infovoogusid, mille metaandmetes on üheselt mõistetavalt ja punkthaaval lahti seletatud tunnetusmudelid, kontseptsioonid, loojate maailmavaade ning kaugemad eesmärgid. Infotööstuses ostetakse, müüakse ja vahetatakse „pörsast kotis”. Seepärast on tunnetusteooria rakendused hädavajalikuks töövahendiks⁶ infovoogude käitlemisel.

¹ Esineb siinkohas spetsialisti tähenduses.

² Edastavad juhtkonna vaated analüütikutele ja vastutavad tippjuhtide ees reaalsusmudeli sobivuse eest organisatsiooni eesmärkidega.

³ Äriühingus müügiimehed, vahetajad; tavaliselt omavad keskastme liidri staatust.

⁴ Üha sagedamini infotarnijad avalikustavad reaalsusmudeli ja automatiseerivad päringud kahandades inimtöö andmeväljastusoperatsioonis minimaalseks.

⁵ Nn. korporatiivsed väärtused, i.k. *corporate values*. Ühised, üldtunnustatud väärtused on edukalt funktsioneeriva organisatsiooni alus.

⁶ Piltlikult väljendudes midagi taolist nagu mutrivõtmete ja kruvikeerajate komplekt konveieritöölisel.

2.4.1. Reaalsusmudelid

Reaalsusmudel tagab loogilise ühilduvuse infosüsteemis (vt. 1.1.3.1). Reaalsusmudeli loomisel ühendatakse unikaalsed üksiknähtused sarnasuse alusel klassidesse (Jagomägi, 1999). Klasside valik on suvaline ja sõltub konkreetse infosüsteemi eesmärgist. Erinevalt paradigmat on reaalsusmudel on tihedalt seotud konkreetse infosüsteemiga. Reaalsusmudelite põkkamist ei õnnestu vältida mitte ühegi lõimimise läbiviimisel.

Reaalsusmudelite põkkamisel tuleb:

- vältida kahestumust¹ – kindlalt püsida ühe paradigma raames;
- lähtuda integratsiooniülesandest, et mitte kaotada silmist lõppeesmärki
- vältida *teadvustamata* liigutusi.

Praktikas tähendab reaalsusmudelite põkkamine vastavuse leidmist erinevate infohulkade nähtuste ja klasside vahel. Seejuures võib lihtsate, väheste nähtustega mudelite põkkamine osutada palju keerulisemaks kui detailse jaotusega mudelite kokkuviiimine. Põkkamisel võib nähtuste ja klasside arvukus:

- kasvada – uute nähtuste liitmisel või liitnähtuste moodustamisel;
- jääda samaks:
 - osasid nähtuseid ei tooda üle;
 - nähtused tuuakse üle olemasolevateks nähtusteks;
- kahaneda – liitandmekogusse pääsevad vaid ühised nähtused.

Sageli on edukaks integratsiooniks vajalik nähtusklasside tükeldamine ja nähtuste ümberklassifitseerimine teistesse klasside või uuteks klassideks. Infolõimimisel tuleb arvestada, et nähtused võivad infosüsteemis eksisteerida ka *ilmutamata kujul*. Ilmutamata kujul on nähtused määratud seostega süsteemis, kuid pole otseselt kirjeldatud mudelites.

Töö infohulkade lõimimisel algab *eelanalüüsist*. Eelanalüüsi faas on alati olemas, ka siis kui lõimija seda endale ei teadvusta ja tööprotsessi kirjeldus ette ei näe. Tõsi, rutiinsete operatsioonide puhul on see juba varem tehtud ja lihtsamate tööde puhul tuginetakse üsna sageli kogemustele ning intuitsioonile. Halb on olukord siis, kui eeluuringutes nähakse mõttetut kulutust. Katse „kohe ja kiiresti²” „asi ära teha³” lõpeb tavaliselt väga suure ülekuluga⁴, ning ähvardab lõpptarbija rahulolematusega.

Teine oht on eelanalüüsi takerdumine. Kramplik püüd teha eelanalüüs *enne* tööde algust *täielikult valmis* viib asjade venimisele. Metaandmed saabuva informatsiooni kohta on harva täielikud, näidised ei anna täit ülevaadet, andmed ise saabuvad mitmes jaos – kuid aeg läheb. Tuleb otsustada: kas anda andmed töösse ja võta risk või venitada otsustamisega ning võtta samuti risk. Äraütlemine on kõige raskem otsus, sest loobumine kriipsutab läbi mõned võimalused. Infot toodetakse küll palju, kuid iga konkreetse ettevõtmise jaoks on kättesaadavaid infoallikaid üsna vähe.

Eeluuringud algavad kontseptsioonide (lähteülesandega) ja reaalsusmudelitega tutvumisest. Vajadusel ka tegeldakse ka paradigmat. Üleminek reaalsusmudeli uurimiselt ja info- ning andmemudeliga tutvumisele on tavaliselt sujuv. Mõistlik on ilmutada infolõimimises paindlikust. Abstraktsed mudelid sisenevate ja väljuvate noolekestega „kastidega” on vaid mõtlemise abivahendiks. On üsna lootusetu ettevõtmine konkreetse infovoo puhul analüüsida kõigepealt ainult reaalsusmudelit, seejärel minna „puhta” infomudeli uurimisele jne. Praktikas toimub eelanalüüs kõigile mudelitele segi-läbi ja

¹ Mitmesust, süsteemi infojuhi ülesandeks on jälgida infolõimijate paradigmat ühtelangevust.

² Rutakalt teed, naeruks jääd (Eesti vanasõna).

³ Üheksa korda mõõda, üks kord lõika (Eesti vanasõna)

⁴ Üks eeluuringute päev võib hoida kokku terveid aastaid.

ühekorraga. Samuti on täiesti loomulik parameetrite ja tingimuste edasine täpsustamine tehnoloogiliste protsesside eel ning ajal.

Eeluringute käigus:

- tuvastatakse vajadused ja võimalused;
- omandatakse ülevaade tootjatest ja kasutatud tehnikast ning tehnoloogiast;
- tutvutakse mudelitega;
- hinnatakse metaandmete piisavust;
- luuakse ülevaade nähtuste käsitlemisest mõlemas süsteemis;
- tehakse kindlaks nähtuste hulk mõlemas süsteemis;
- selgitakse välja nähtuste jaotus klassidesse ja alamklassidesse;
- uurida välja mudelitega hõlmatud nähtuste ruumiline ja ajaline ulatus;
- pannakse paika hierarhiad;
- hinnata kvaliteeti, pöörates eriti tähelepanu:
 - täpsusele,
 - detailsusele;
- nõutakse vajaduse ilmnemisel täiendavat teavet või näidiseid;
- leitakse vastavused nähtuste vahel;
- *mõistlikku* rutiini kohaselt¹ ja *piisava* üksikasjalikkusega dokumenteeritakse tehtud avastused ja ilmnunud probleemid.

Eeluringute etapi tulemused:

- põhimõtteline hinnang kasutatud tehnoloogiatele ja lähteandmetele nende nõuetekohasuse osas;
- ülevaade mudelite iseloomust
- ettekujutus andmete:
 - mahust;
 - ulatusest;
 - detailsusest;
- kvaliteedihinnang;
- edasise tegevusplaani täpsustamine;
- lõimimisskeem, mis sätestab kõigi nähtuste teisenemiseeskirjad
- kindel alus metaandmete ja tehnilise dokumentatsiooni koostamisele.

Võimalust mööda tuleks üleminek liidendatavate nähtuste ja klasside vahel konstrueerida *ühene* ja pööratav – kahesuunaline üleminek lubab manööverdada informatsiooniga süsteemide vahel. Ühesus on vajalik mitmel põhjusel:

- vältime „fantoome”²
- säilib võrdlusmoment erinevate infokogude vahel
- on võimalus kasvõi osaliseks tagasivahetuseks.

¹ St. mingis kindlas, vähemalt organisatsioonisisest mõistetavas keeles.

² Ühe konkreetse objekti kujutumist mitmeks erinevaks objektiks teisenduste läbi.

Reaalsusmudel määrab ruumi osa ja ajavahemiku mille ulatuses nähtusi vaadeldakse. Samuti fikseerib reaalsusmudel süsteemi eraldusvõime – esitatavate nähtuste alampiiri. Tavaliselt jäetakse see, mida „ei näe” reaalsusmudelis kirjeldamata. Erandi moodustavad tähtsad, kuid allapoole süsteemi eraldusvõime läviväärtust jäävad nähtused, millised esitatakse spetsiaalse *sümboliga* mille maht infosüsteemis on teadlikult liialdatud.

Reaalsusmudelite põkkamisel peab jälgima süsteemide hierarhiat. Erineval tasemel reaalsusmudelite põkkamisel ilma vastava teisenduseta on ühe süsteemi info teises müra. Hierarhia võib olla määratud:

- konteksti keerukusega;
- süsteemi võimsusega (kiirusega, läbilaskevõimega jms.);
- ajaga (kestusega, sagedusega, eraldusvõimega jms.);
- ruumiga (ulatusega, tihedusega; mahuga jms.);
- hulgaga (arvukusega);
- jne.

Ülejäänud tunnetusmudelid lõimivas infosüsteemis tuginevad põkatud reaalsusmudelitele.

2.4.2. Infomudelid

Infomudel on reaalsusmudeli *eesmärgipärane* lihtsustus. Infomudelis käsitletakse reaalsusmudeli nähtusi ja nähtusteklasse koos nende vaheliste seostega formaliseeritud kujul. Infomudelis on rõhuasetus sellel, milliseid omadusi ja suhteid peetakse ühe või teise nähtustekogumi kirjeldamise jaoks olulisteks (vt. 1.1.3.2).

Infomudel ei ole olemiteks ümbernimetatud nähtuste loend, vaid ka olemite omaduste kirjeldus ja nende vaheliste seoste esitus (olemiseosmudel). Lõimimise teisenduskeemi infomudel kujuneb reaalsusmudelite vahelisest üleminekust, mis teevad nähtustest ühes mudelis nähtused teises mudelis. Ühendatavate andmekogude infomudeleid ei põkata. Infomudel lõimitavatele andmetele saadakse põkatud reaalsusmudelist, arvestades seejuures süsteemi andmemudelit. Konkreetsete süsteemide infomudelid ei eksisteeri asjadena iseeneses, vaid realisatsioonina mingil kindlal platvormil. Selle asjaolu ignoreerimiskatse ähvardab olemiseosmudeli purunemisega info üleviimisel teise süsteemi.

Olemite ja olemiklasside teisendamisel erineva hierarhiatasandi süsteemide vahel kasutatakse *üldistamist* (generaliseerimist) ja *ühendamist*. Tüüpülesanne erineva hierarhiatasandi infostruktuuride kokkuviiimisel on sõredatest andmetest pidevate genereerimine ja vastupidi.

Levinud apsakaks lõimimisel on infomudeli kui niisuguse üldse „mängust välja” jätmine. Sellisel juhul kipub infomudel *kujunema* „iseorganiseerumise” läbi andmetöötluse rutiinist. Nii silmapaistmatut positsiooni pole infomudel siiski ära teeninud. Infomudeli funktsioon on tõlkida inimese arusaam nähtustest masina kasutajaliidese jaoks arusaadavasse keelde.

2.4.3. Andmemudelid

Andmemudel on infomudeli konkretiseerimine kasutatavate andmete tarbeks vastavalt reeglitele, mida seab kasutatav infotehnoloogia (vt. 1.1.3.3). Andmemudeli keskne mõiste on objekt millel esinevad tunnused. Üleminek ühe infosüsteemi andmemudelist teise süsteemi andmemudelisse toimub üle põkatud reaalsusmudelite infosüsteemi vahendusel.

Korrektne reaalsusmudel tagab andmete loogilise ühilduvuse, andmemudel ühilduvuse konkreetse IT-platvormiga. Reaalsusmudel on küllaltki üldine ja väikeste mööndustega rakendatav erinevatel platvormidel, andmemudel küllaltki IT-platvormi põhine.

Andmemudelis saab olemist objekt ja omadusest tunnus, fikseeritakse objektide, objektiklasside, tunnuste jms. kodifitseerimise ja nimetamise süsteem. Samuti määratakse andmemudeliga täpsusnõuded. Geomeetriliste primitiividega (Jagomägi, 1997) ja nende kombinatsioonidega kirjeldatud olemite omadused kirjeldatakse andmemudelis objektide geomeetriaga.

Reaalsus- ja infomudel on objektorienteeritud süsteemid ning nähtuste ja olemite vahelised üleminekud on infoobjektide teisenemise kaudu hästi kirjeldatavad. Objekti translatsioon ühe andmekogu infomudelist teise objekti infomudeliks läbi kokkupõkatud reaalsusmodelite on ülevaatlik. Andmemudelite objektide tõlkimine ühest süsteemist teise on komplitseeritum.

Tõlgete puhul samal IT-platvormil realiseeritud andmekogude vahel erilisi probleeme ei ole. Operatsioonid võivad olla ressursimahukad kuid korrektsete andmetega erilisi probleeme ei tule. Erineval platvormil andmekogude integreerimisel on objektide üksühene teisenemine objektideks koos kõigi tunnuste ja geomeetria säilimisega üks paljudest erijuhtudest.

Andmemudeli objekt on olemit esitavate kirjade või geomeetriliste objektide kogum. Kirje võib olla seotud geomeetriaga ja geomeetrilised objektid – kirjetega.

Mis võib juhtuda ühe andmemudeli objektide transleerimisel teise mudeli objektideks:

- objektid või tunnused sattuvad valedele kihtidele või väljadele – vaadata üle teisenduskeem, eelkõige infomudel;
- kaovad objektidevahelised relatsioonid – need tuleb uuesti defineerida, transleeritud seoste omistamine on algoritmiseeritav ja lahendatav tarkvaraliste vahenditega;
- kaovad objektide tunnused või nende osad – tuleb kontrollida üle andmeväljade tüübid ja seatud piirangud¹; kui lõimiva infosüsteemi IT-platvorm ei toeta seda väljatüüpi tuleb otsida muid lahendusi või loobuda sellest tunnusest;
- objektid lagunevad komponentideks – tarkandmetega tabelite puhul taandub lahendus relatsioonide taastamisele, geomeetriliste objektide puhul on asi keerulisem;
- objektid lähevad kaduma – vaadata üle teisenduskeem, eelkõige reaalsusmudel ja infomudel; kui IT-platvorm ei toeta seda tüüpi objekte, mõelda kogu operatsioon uuesti läbi.

Tekstatribuutidel on piirajaks lubatud välja pikkus. Arvude puhul on takistuseks kas tüüp või lubatud kohtade arv. Enamasti on need lahenduvad probleemid.

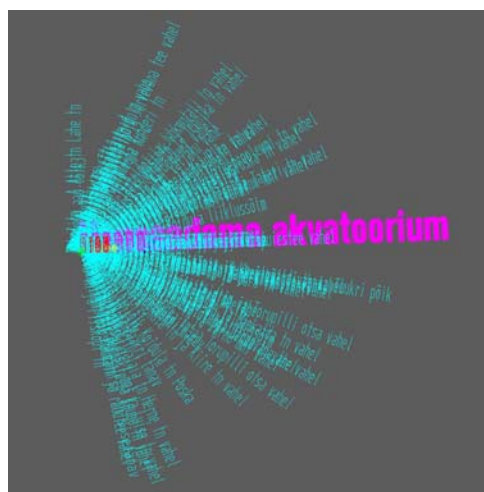
Geomeetriliste objektide kirjeldamise meetodid ja loogika erinevatel IT-platvormidel on äärmiselt varieeruv. CAD-, GIS- ja mitmesugused kujundustarkvarad tõlgendavad geomeetrilisi objekte igaüks omamoodi.

Geomeetriliste objektide põhitüübid virtuaalsuses ja probleemid nende lõimimisel on detailsemalt lahtikirjutatud allpool.

2.4.3.1. Tekst ruumilise graafikaobjektina

Tekstiobjektid ruumilisi suhteid peegeldavates failides on üsna tihti infolõimijale tülikad asjad. Kindlasti tuleb enne lõimimise juurde asumist välja selgitada, kas sihtfail toetab sellisel kujul antud tekste. Vastasel korral võib näha näiteks niisugust pilti nagu joonisel 2.4.3.1. Laiali lagunenu ja pooliku teksti ühtelõimimine on väga ajamahukas ja vaevaline ettevõtmine.

¹ Piirangutest tuleb juttu järgmises osas.



Joonis 2.4.3.1. Näide luhtunud tekstilõimimisest.

Põhiprobleemid:

- IT-platvorm ei toeta teksti vektorgraafika staatilise objektina:
 - tekstiobjekte ei viida üle;
 - tekstid muundatakse staatilistest dünaamilisteks – neist saavad kirjed andmetabelis; iseloomulik on kujundatud („väänatud”) tekstide lagunemine üksikuteks märkideks;
 - tekstid lõhutakse muudeks vektorgraafika objektideks – joonteks, pindadeks, 3M-primitiivideks;
- tekstid tulevad üle moonutatult ja vigaselt:
 - IT-platvorm ei toeta seda koodilehte või fonti – tuleb installeerida keeleteetus või puuduv font (kui see on võimalik); sageli aitab arvuti keele- ja regionaalsätete ümberhäälestamine;
 - IT-platvorm ei toeta teksti suurust või pikkust – muuta kas tarkavara sätteid või viia lõimitavad tekstid juba eelnevalt konverteeritavale kujule;
 - Tekstiobjektid on osaks mingist graafikagrupidist – enne teisendamist tuleb liitobjekt purustada teisenevateks komponentideks;
- tekstid lõimuvad kujunduseta – kui mure ei lahene mõne „linnukese” sisse/välja lülitamisega konverteerimismooduli menüüs on suuremate andmehulkade puhul ainuke praktiline lahendus kujundusatribuutide omistamine spetsiaalse tarkvara abil; graafiliste andmebaaside puhul tuleb vastavad atribuudid eelnevalt lugeda teisenduvasse tabelisse.

2.4.3.2. Punktobjektid

Punkt on lihtne geomeetiline objekt, mille vooruseks on hõlbus esitusviis koordinaatidega (paar või kolmik). Seetõttu saab punktobjekte konverteerida ja lõimida nagu lihtsaid tunnuseid atribuuttabelist, suuremate probleemideta. Ootamatuste allikaks on tarkvaraloojate erinevad arusaamad punktist:

- ühtede jaoks on see graafikaobjekt *punkt*¹;
- teiste jaoks: 0-pikkusega sirglõik (joon) millel on 2 otspunkti; see filosoofilise hõnguga matemaatiliste definitsioonide vahe muutub infolõimisel praktiliseks probleemiks:
 - teatud kriitilisest pikkusest lühemad joonejupid loetakse punktideks:

¹ I.k. *point feature*.

- maatriksitesse, võrkudesse, ahelatesse jms. moodustistesse tekivad katkestused – ilma luhtunud konverteerimist kuulutava veateateta;
- andmekogusse ilmuvad punktobjektid, mis võivad eksida valele kihile;
- punktid teisendatakse joonejupikesteks; graafiliste objektide modifitseerimisel (näit. venitamisel) ja andmekogu matemaatilise aluse teisendusel võivad need omandada pikkuse;
- vastuabinõuks on lõimimistulemuste kontroll; kindlasti tuleb tööruutiini lülitada võrdlus teisenduskeemi kuuluvate mudelitega ja objektide kokkulugemine enne ja pärast teisendust.

2.4.3.3. Joonobjektid

Joon – erinevaid joonetüüpe on vektorgraafikas palju. Nende nimetused on üsna tihti tarkvaratootja kaubamärgiks ning seepärast on üsna tavaline ühte tüüpi joonte erinev nimetamine erinevas programmis. Haruldane pole ka ühine nimetus eri tüüpi joonte. Loetelu, mis ei pretendeeri täielikkusele:

- *sirgjoon* (sirglõik) – kahe punktiga antud joon; heaks omaduseks lihtsus; puudusteks:
 - võib teisenemisel moonuda punktiks ja kaduda joonte kihilt;
 - on mõnikord defineeritud oma *keskpunkti* külge ja käitub siis geomeetrilistel teisendustel jäiga „pulgana”, lammutades laiali võrgud ja ahelad;
 - ei allu generaliseerimisele ja mõnikord ka tihendamisele (punktide lisamisele);
- *joon*, pidevjoon (murdjoon) – antud omavahel ühendatud punktidega, on lihtsalt teisenev; võimalikud probleemid:
 - mõni tarkvara seab joont määravate punktide arvule piirangud, see tähendab joone teisenemisel kas selle tükeldamist mitmeks murdjooneks või üldse lagunemist omavahel sidumata sirglõikudeks; lõimimisel tuleb tähelepanelikult jälgida valikuid teisendamismooduli menüüs – enamus tarkvaradest pakub graafikaobjektide lammutamise võimalust, kuid ühtedel on see vaikesäte, teistel mitte.
- *matemaatilise funktsiooniga esitatavad jooned* – vektorgraafika programmid, eelkõige just kujundustarkvara ja tehniliseks joonestamiseks loodud CAD pakuvad ohtralt võimalusi näo. *ilusate joonte* kasutamiseks, näiteks:
 - kaared – ringjoone või ellipsi osad;
 - kõverad – defineeritakse teatud fikseeritud punktide suhtes;
 - splineid – liik kõverjooni, näiteks B-splineid, eraldatakse mõne tarkvara poolt omaette klassi;
 - matemaatilise funktsiooniga antud jooned kuvatakse igal suumil „siledana” kuid võtavad samas vähe mäluruumi ja arvutivõimsust; puuduseks on nende tihe seos ühe matemaatilise alusega ja ühe kindla failivorminguga; matemaatilise funktsiooniga esitatud jooned konverteeruvad üsna tihti raskustega – mõistlik on need eelnevalt lõhkuda tavalisteks joonteks;
- *mitmekordsed- ja sümboljooned* (kujundusega jooned):
 - kordsed- ja sümboljooned defineeritakse tavaliselt teegist loetavate atribuutide alusel;
 - konverteerimisel teisele platvormile on järgmised võimalused:
 - jooned kaotavad kujunduse, teisenevad lihtsateks joonteks;
 - mitmekordsed jooned lagunevad komponentideks, milleks võivad olla punktid, sümbolid, jooned, pinnad;
 - joonobjektid kaovad teisenemisel osaliselt või täielikult;

- omaette klassi moodustavad etteantud nurga all (sageli täisnurkselt) painutatud jooned – need võivad teiseneda kui sümbolid – pöördudes jäigalt ümber oma kinnituspunkti;
- *liitjooned ehk ahelad* (ketid) – joonobjekte, sealhulgas ka erinevat liiki jooni, saab ühendada ühtseks aheljooneks; ohud ahela teisenemisel:
 - ahel puruneb komponentideks mis võivad andmemudelil sattuda erinevatele kihtidele või tabelitesse;
 - osad liitjoone elemendid jäävad teisenemata;
 - ahel ei teise.

Arukas on joonte kasutamisel järgida mõistliku piisavuse printsiipi. Väga ilusad – reeglina suure hoole ja vaevaga tehtud – jooned võivad anda tulemuseks väga tüütu andmebaasi.

2.4.3.4. Pindobjektid

Pindobjekte kujutavate primitiivide rikkalikkus on vektorgraafika kasutajale teoline kiusatus. Erinevaid pindobjektide tüüpe pakutakse veel suuremas koguses kui jooni. Hästi üldiselt saab pindobjektid ehk areaalid jagada järgmistesse klassidesse:

- *hulknurgad ehk polügoonid* – on määratud punktidega antud äärejoonega; reeglina teisevad probleemideta, välja arvatud:
 - piirangud äärejoone punktide arvule:
 - pindobjekt loetakse kompleksiks mitmetest polügoonidest;
 - pindobjekt lammutatakse eraldiseisvateks polügoonideks;
 - pindobjekt ei teise;
 - aukudega pinnad – kui tarkvara ei toeta aukudega polügoone:
 - aukust saab omaette polügoon;
 - objekt loetakse liitobjektiks ja liigitatakse sümboliks;
 - objekt ei teise;
- *korrapärased geomeetrilised objektid*:
 - ringid – kas omaette graafikaklass või üks ellipsitest; ringobjekti teisenemisel platvormile, kus on ainult ellips võib muutuda looperguseks;
 - ellipsid – nende kuju võib matemaatilise aluse teisendustel silmnähtavalt deformeeruda;
 - täisnurksed kujundid – kui teisevad sümbolobjektiks, siis pöörduvad jäigalt, mis võib rikkuda topoloogilised seosed;
 - korrapärased hulknurgad (kolmnurgad, viisnurgad jne) – kipuvad teisenema sümboliteks ja peavad end ülal jäiga „kehana”;
- *pindobjektid, mille äärejoon on defineeritud matemaatilise funktsiooniga* – teisevad üsna tihti probleemidega; esimesel võimalusel enne lõimimist teisendada lihtsamateks pindadeks;
- *täidise või mustri pinnad* – problemaatilised:
 - pinna kujundus võib teisendusel kaduda;
 - objekt võib laguneda seosetute joonejuppide ning pinnatükikeste räguks.

2.4.3.5. Liitobjektid ja 3M objektid

Liitobjektid moodustatakse kas ühe- või eritüübilistest graafilistest objektidest, võib esineda ka vektor- ja rastervormingus objektide ühiskasutamist. Ahvatlus selliseid keerukaid objekte kasutada on suur, kuid pidades silmas andmevahetuse perspektiivi, tuleb siiski järele mõelda.

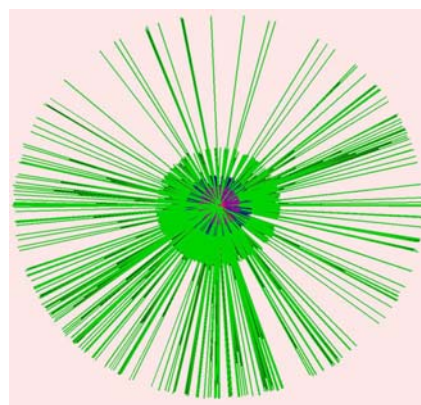
Üldreeglik on, et liitobjektid ei teisene. Kui neid on ikkagi kasutatud ja nende konverteerimine on hädavajalik, tuleb teha vastav eeluuring. Kui tegu on sümboliga, siis on mõistlik lugeda sisse nende koordinaadid, konstrueerida sihtvormingu teegis analoogiline objekt ning joonistada need teisendatud koordinaatide järgi uues süsteemis.

Teine võimalus on luua liitobjekti graafiliste primitiivide vahele teisendatav seos (näiteks unikaalsete identifikaatorite kaudu), lammutada liitobjektid teisenevateks primitiivideks ja liita need uues vormingus jällegi kokku. Seda protseduuri on vähemalt teatud tüüpi objektide korral võimalik algoritmiseerida ja automatiseerida. Avatud koodiga tarkavara arendajad igatahes teevad selliseid katseid.

Kolmemõõtmeliste objektide kohta kehtib sama, mis 2-mõõtmelise graafika kohta; punktid, lihtsad jooned, pinnad ja kehad teisenevad üsna väikese vaevaga ja enamasti piisab tarkavara standardvahenditest; keerulised ja liitobjektid nõuavad individuaalset teisenduskeemi.

2.4.3.6. Graafikaobjektide lõimimine

Kokkuvõtteks graafikaobjektide lõimimise kohta võib öelda, et lihtsus kaunistab. Graafilised andmebaasid on tülikad hallata ning rasked integreerida (joon. 2.4.3.2). Graafiline kujundus peaks jääma esitusmodeli osaks, andmemudel on parem ilma kauni kuid kalli eksootikata.



Joonis 2.4.3.2. Kaardileht enne (vasakul) ja pärast (paremal) teisendust.

Andmed on alati mingisuguses esituses. Käesoleva töö osade 1.1.1-3, 1.1.9 ja 1.2.2. põhjal on selge, et igasugused andmed on esitatud teatud mudelis, keskkonnateaduste puhul on see matemaatilis-loogilises mudel. Praktikas tähendab see nähtuste esitust teatud matemaatilisel alusel, mingis ühikute süsteemis antud suurustega.

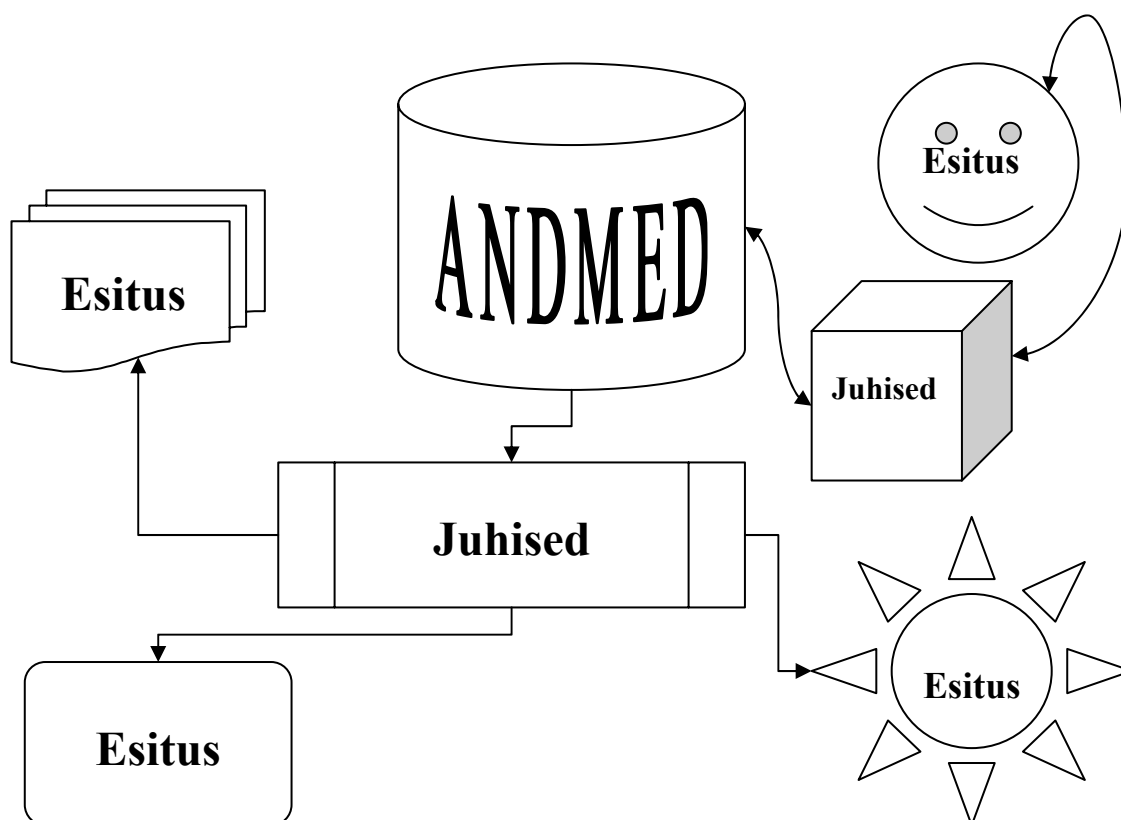
Infoobjektide vahetamisel andmemudelite vahel on kõvasti abiks korralik eelanalüüs, mis ütleb ette milliste objektidega tegemist tuleb. Teisenduskeemide koostamisel on arukas tugineda olemasolevatele vahenditele, oskustele ja varasemale kogemusele. Standardised lõimimisoperatsioonid tuleks algoritmiseerida ja automatiseerida.

2.4.4. Esitusmudelid

Esitusmudel määrab reeglid andmete esitamiseks kasutajale sobival kujul (vt. 1.1.3.4). Esitusmudelis valitakse andmemudeli alamhulk ning moodustatakse sellest meeleeelunditega tajutav objekt – *virtuaalobjekt* (vt. 1.1.7. *Virtuaalsus*). Kuna inimene saab absoluutse enamuse informatsiooni ümbritseva maailma kohta nägemise kaudu, siis räägitakse esitusmudeli loomisel tavaliselt *visualiseerimisest*. Esitusmudel on andmeüksuste vormistuse eeskiri, mis tõlgib nähtused ja nende tunnused virtuaalsuses kasutatavate sümbolite keelde. Esitusmudel määrab ära virtuaalsuse välisilme, st. milliseid objektiklasse milliste struktuurielementidega ja

missuguste sümbolitega näidata. Esitusmodel on *leppemärkide kogu* koos nende kasutamisujuhendiga.

Infosüsteemi loomisel on tark tegu vältida selle kinni ehitamist mingi konkreetse esituse külge. Kuigi andmete esitus ja salvestamine mingis esituses on möödapääsmatu (vt. 1.2.2) peab süsteem võimaldama erinevaid kasutajavaateid (joon. 2.4.4.1).



Joonis 2.4.4.1. Andmed, juhised ja esitused.

Ideaaljuhul on esitusmall, mille alusel infoobjekt esitatakse vastavalt kasutaja vaatele, antud selgelt formuleeritud juhistega¹. Juhistebaasi kohaselt valitakse teegist sümbolid ja tähestik objektide kodeerimiseks lõppkasutajale sobivale kujule. Juhistebaas peaks lubama valida ka matemaatilist alust – mis on esitusmodeli osa. Infovahetus on infosüsteemi ülesehituse seisukohast ühe spetsiifilise kasutaja teenindamine.

2.5. PIIRANGUD VIRTUAALSUSES

Keskkonnainfo lõimimist mõjutab otseselt kasutatav tehnoloogia. Tehnilistel võimalustel on piir, mis igakord ei ole väga kaugel. Tunnetusmudelid on lihtsustatud pilt reaalsusest. Nähtusi, olemeid, seoseid, objekte, sümboleid on infosüsteemis alati lõplik hulk. Infoobjektid on piiratud nii ajas kui ruumis.

Virtuaalsuse all mõistetakse käesolevas töös (vt. 1.1.7) üheaegselt keskkonda infoobjektidega opereerimiseks ja tehnikavahenditega loodud lihtsustatud mudelit reaalsusest. Virtuaalreaalsuse loomiseks on vajalik teatud vahendite komplekt, mida tähistatakse “IT”. Kõige olulisemat IT töövahendit nimetatakse traditsiooniliselt *arvutiks*. Igapäevases kõnekeeles tavaliselt mõistetaksegi “virtuaalsuse” all “seda, mis on arvutis”. IT võimalused panevad paika kasutatav *riist- ja tarkvara*.

¹ I.k. *rulebase*.

Riistvarast tulenevad infosüsteemi mahtu, võimsust ja läbilaskevõimet määravad piirangud. Riistvaraks on seadeldised mingi füüsilise suuruse variatsiooniga esitatud signaalide töötlemiseks. Need signaalid, aga samuti töötlusprotsess ei pea oma füüsiliselt sisult olema elektroonilised. Üldistatud infosüsteemi jaoks pole konkreetne tehniline baas (vt. 1.1) oluline.

Kaasajal domineerivad igasugu rakendustes elektronarvutid¹ ja “arvutist” rääkides mõeldakse tavaliselt just viimast. Üks põhimõttelise tähtsusega piirang elektronarvutitel on *digitaalsus*: info töötlemine ja salvestamine tavaliselt kahendsüsteemis loetavate impulsside jadana. Teatud läviväärtuse suhtes määratud kahendimpulsside (bittide) jadaga opereerimine avas suured võimalused arvutustehnika ees, kuid tekitas ka omajagu probleeme andmete salvestamise ja esitamisega.

Digitaalsusest tuleneb arvutisse salvestatud andmete *sõredus*. Igasugused arvutipõhises infosüsteemis salvestatud andmed on alates teatud tasemest sõredad, esituse pidevus on virtuaalne. Ükskõik, kui võimsat riist- ja tarkvara ka ei kasutataks, kusagil on ikka piir, millest alates suurused saavad muutuda ainult *diskreetselt* – lõpliku (kuigi väikese) sammuga.

Riistvara arhitektuurist tuleneb veel üks piirang – *sõna pikkusele*. Arvutustehnikas on *sõna* kasutusel loomuliku ühikuna info mõõtmiseks. Sõna on fikseeritud pikkusega kogum bitte, mida arvuti töötleb ühekorraga. Bittide hulk sõnas on tähtis arvuti arhitektuuri iseloomustav suurus. Sõna suurus mõjutab paljusid IT struktuuri ja operatsioonide aspekte. Suurem osa registreid on tavaliselt sõna mõõtu. Tüüpiline arvväärus, millega opereerib arvuti on tõenäoliselt sõna mõõdu. Infohulk protsessori ja mälu vahelises ülekandes on suuremal osal juhtudel sõna. Mäluaadress on samuti määratud sõnaga. Kaasaegsed arvutid kasutavad tavaliselt 8-, 16-, 32- ja 64-bitiseid sõnu. Ajalooliselt või eksootilisemates lahendustes on kasutatud ka teistsuguse pikkusega sõnu (Wikipedia, 2006).

Pikka aega (1960ndatest alates²) on arvutitootjad vaikimisi järginud 32-bitise arhitektuuri *de facto* „standardit” (Wikipedia, 2006), kuid teatud mõõndustega. Kuna arvutid olid nõrgad, mälu maht väike ja esimesed laiadele massidele mõeldud mikroprotsessorid esmalt 4-bitised (1971), siis 8-bitised (1972), seejärel 16-bitised (1978) ja alles 1986. aastast 32-bitised (*Inteli* 386) siis viidi tarkvaraloojate poolt teadlikult sisse omapoolsed kitsendused.

Need kitsendused ilmnevad üsna ootamatutes kohtades. Tüüpilised avaldumisviisid on:

- piirangutes faili suurusele:
 - mälumahu;
 - tabeliridade arv;
 - objektide arv;
- piirangutes nimetuste pikkusele:
 - andmeväljadel
 - failinimedel
 - kataloogipuudel;
- piirangutes teatud sümbolite ja märkide (tühik, täpitähed, numbrid) kasutamisele;
- andmete kadumises lõimimisel;
- teadetes kirjutusõiguse või isegi faili puudumise kohta.

Viimati mainitud veateadete puhul tuleb failihaldusvahendiga, näiteks *MS Exploreriga*, kontrollida faili olemasolu. Kui fail on eksisteerib, ei ole kasutuses ja vajalikud õigused on olemas, tuleb vaadata üle faili ja kaustade nimed ning kõrvaldada sealt tühikud ja täpitähed.

¹ Elektronarvuti ei ole ainuke arvuti, kuigi on kaasajal kõige laiemalt levinud.

² IBM System/360.

Võib proovida ka faili kopeerimist lühikese teega kausta kus õigused kindlasti olemas, näiteks c:\temp\ ja operatsiooni korrata.

Arvude-failide lõplikkusest tingitud äpardused ilmutavad ennast tavaliselt infokaona: tööpiirkonnast välja ulatuv info läheb kaotsi, fail ise aga võib mõnikord (olenevalt asjaoludest, formaadist ja tarkvarast) muutuda täiesti loetamatuks.

Seni, kuni lubatav 64- ja 128- bitiste süsteemide võidukäik ei ole kõiki praeguseid piiranguid kõrvaldanud, ei tee halba infolõimija „maagiliste arvude” meelespidamine. Need on: $2^8=256$; $2^{16}= 65536$ (või -32768 kuni 32767) ja $2^{32}= 4294967296$ (-2147483648 kuni 2147483647). Häired infotöötuses, mis ilmnevad mingis seoses nende „maagiliste arvudega” viitavad üpris tihti mõne IT-piiranguga kohtumisele. Tähelepanelik tuleb olla ka failide poolt hõivatud mälumahu (kõvaketas) suuruse osas, eriti just andmete lõimimisel. Arusaamatu päritoluga takistused andmeintegratsioonil, kui sihtfaili suurus läheneb näiteks kas 16 või 32 megabaidile, võivad samuti osutada IT-ga seatud piirangule.

Tarkvara ja andmevara on samuti piirangutega. IT-virtuaalsuse lõplikus vajutab oma pitseri kogu infotöötlusele, sh. ka lõimimisele. Tarkvarast tulenevad piirangud ei ole seotud ainult piirangutega faili suurusele ja mälupesade arvule.

IT-maailmas sätestab just tarkvara üsna sageli „pimestandardi” – üldkasutatava kuid „salajase” failivormingu (näiteks DGN, DWG jne.). Viimastel aastatel on ruumiandmete vallas omandanud kaaluka sõnaõiguse *avatud standardeid* propageeriv *OpenGIS* konsortsium. Kuna konsortsium koosneb peamiselt firmadest ning teadusasutustest, mis on huvitatud uute tehnoloogiate võimalikult kiirest kasutuselevõtust, siis on *OGC standardid* peamiselt rakendusliku suunaga, samuti toimub OGC standardite väljatöötamine kiiremini kui näiteks ISOs (Kuus *et al.*, 2002). Enne andmekogu loomise juurde asumist ja lõimimise alustamist on mõistlik tutvuda vastavate standarditega. Tegu on väga kiireltareneva valdkonnaga, millega tuleb end pidevalt kursis hoida.

Matemaatiliste operatsioonide eripära IT-vallas tuleneb arvutustehete algoritmi realiseerimise eripäradest konkreetsetel riistvaral, eelkõige protsessoril. Tuleb silmas pidada, et kõige „alumisel tasemel” rehkendab üks ja seesama algoritm täpselt ühes ja samas programmis erinevatel protsessoritel erinevalt. Analüütiliste valemitega antud täpne arvutuseeskiri ei ole selline arvutis – siin ei pruugi ühtede samade algandmetega korduval edasi-tagasi arvutamisel sugugi mitte ühesugused tulemused tulla. Ei maksa 100% kindel olla, et erinevat tüüpi protsessoritega arvutites erinevate programmidega ühe ja sama arvutusvalemi järgi tehtud rehkendused alati täpselt ühesuguse resultaadi annavad. See lahknevus võib kippuda kasvama ja täie tõsidusega peaks sellesse tõika suhtuma seal, kus on tegu paljude iteratsioonidega. Siin võib vahe saada ülemäära suureks ning tekitada parajat peavalu¹.

Keele- ja kultuuriprobleemid² arvutiga suhtlemisel muutuvad rakendustarkvara ja operatsioonisüsteemide edenemisel üha tähtsamaks ning võivad, kas siis kasutajate teadmatusel või hoolimatusest, saada üpris ajamahuka äparduste jada generaatoriks.

Kaasaegse IT-ga töötamisel tuleb olla valvas keele- ja regiooni sätete suhtes. Tähelepanu tuleks osutada eelkõige koma ja punkti kasutamisele kümnendmurdudes, aga samuti ka kuupäevade esitusstiilile jms. Paljudel tarkvarapakettidel (eriti vanematel versioonidel) puudub eesti keele toetus. Selle asjaolu ignoreerimine võib tekitada raskusi teatud käskluste

¹ Kogemustel põhinev teadmine ütleb, et materiaalsed objektid ei olene kirjeldusest. Kui nüüd ühe ja sama tehnoloogia kasutamine hakkab andma üksteisest kas süstemaatiliselt või juhuslikult, kuid igal juhul reaalsuses tuvastataval määral lahknevaid resultaate (eriti siis, kui erisus progresseerub), tuleb tööprotsess ja mudeliehitus kriitiliselt üle vaadata.

² *Kultuur* – informatsioonisüsteem; teadmiste, väärtuste, käitumisnormide, mõtlemistüüpide, uskumuste, stiilikaanonite jms. kogum. Kultuuritraditsioonid on mõtlemise, tegutsemise ja käitumise püsivormid.

sisestamisega käsurealt, kuna vastavaid sümboleid kas ei loeta klaviatuurilt sisse või loetakse valesti. Õnneks on sedasorti raskused kergesti ületatavad: tuleb vaid vajalikud suvandid õieti paika sättida. Keele-kultuuriprobleemid võivad ennast ilmutada juba tarkvara installeerimise käigus. See on punkt, mida ei teeks halba standartlahendustega kogemusega süsteemioperaatorile enne spetsiaaltarkvara installeerimist veelkord meenutada. Kirjeldatud lihtne eksimus on kahetsusväärset tihti põhjuseks, miks mõned programmid “ei installeeru” või “ei hakka tööle”.

Infolõimimisel tuleb olla tähelepanelik (graafiline kasutajaliides):

- mõõtühikute suhtes; üldkasutatavatest ei ole näiteks endastmõistetav:
 - jalgade, tollide või miilide pikkuse täpne väärtus SI ühikutes;
 - temperatuuri esitus Reamueri, Fahrenheiti, Celsiuse või Kelvini järgi;
 - nurgamõõdu ühikute kasutamine;
 - geograafiliste koordinaatide esitusviis;
- ajamäärangute suhtes:
 - kuupäevade esitusviis;
 - kellaajad;
 - nädalate numeratsioon;
 - aastaarvud;
- igasuguse kalendri ja ajaarvamise vastu;
- kirjete kooditabeli ja fondi suhtes;
- kõikvõimalike arvsuuruste vastu, mille esitusviis erineb kümnendmurrust.

See loetelu pole kaugeltki täielik!

„Kultuuriprobleemid” infosüsteemides alles hakkavad päevakorda kerkima. Mida laiem on süsteemi infohaare maailmas, seda tõenäolisem on nendega kohtumine.

IT-tootjad ei räägi süsteemi piirangutest väga innukalt. Kasutusjuhendites ja tootetutvustustes on rõhk rohkem tugevustel ja võimalustel. See on ka mõistetav. Teave kasutamispõrke, sh. piirangute kohta on üsna hajutatud ja liigub kas spetsialiseeritud perioodikas või postiloendites. Selle otsimine võib olla üsna ajamahukas.

2.6. RUUMIANDMETE MATEMAATILINE ALUS

Paradigma raames loodud tunnetusmudelid koos teiste ettemääratud süsteemi parameetritega moodustavad infosüsteemi *matemaatilis-loogilise aluse*. Neid aluseid on palju. Võib öelda, et igal teadusdistsipliinil on matemaatilis-loogiline alus. Iga valdkond, iga rakendus kasutab vähemalt ühte spetsiifilist varianti matemaatilis-loogilisest alusest.

Keskkonnainfo on olemuselt ruumiinfo. Seepärast on geoinfosüsteemide matemaatiline alus suuremal või vähemal määral toimiv igas keskkonnainfot kasutavas süsteemis.

Matemaatilise aluse olemus ja tähendus geoinfosüsteemides ja digitaalkartograafias on märgatavalt laiem kartograafias traditsiooniliselt tarvitavast. Tegu pole mitte niivõrd uute komponentide lisamisega, kuivõrd loetletud parameetritele uue, arvutimaailma nõuetele paremini vastava tähenduse omistamisega. Enamik terminite ümberkohandamistest on tingitud arvutustehnika füüsilistest piirangutest ja diskreetsete suurustega opereerimisest.

Matemaatiline alus mängib tähtsat rolli digitaalkartograafias, olles üheks määravaks komponendiks ruumiandmete esitusmudelis. Matemaatiline alus defineerib loodusobjektide asukoha, asendi, kuju ja vastastikuse paiknemise esitamise viisi konkreetses mudelis.

2.6.1. Matemaatilise aluse elemendid

Digitaalkartograafia matemaatilise aluse elemendid saab liigitada ligilähedaselt sama moodi kui tavakartograafias (Jagomägi, 2006):

- ühikud;
- mõõtkava;
- kaardiraam;
- kaardilehtede nomenklatuur;
- daatum;
- koordinaatsüsteem;
- kaardiprojektsioon.

2.6.2. Ühikud

Reaalset objekti kirjeldav suurus esitatakse mingis ühikute süsteemis antud mõõtarvu kaudu. Mõõtmisprotseduuri üldises tähenduses ja ühikute olemust on kirjeldatud eespool (vt. 1.2.2). Arvutipõhises infosüsteemis on ühikute kasutamisel omad eripärad, millel allpool peatumegi.

Ühiku mõiste virtuaalsuses on väga mitmetähenduslik ja oleneb kasutusvaldkonnast. Ühik pole ühikuga ruuminfo virtuaalkeskkonnas “sugulane”. See kehtib ka samasse mõõtühikute süsteemi kuuluvate ja isegi üheaegselt kasutatavate ühikute korral. Seepärast teab alati väga rangelt jälgima: kus, millega seoses ja millistest ühikutest räägitakse.

Virtuaalmaailmas on objektid omavahel seotud – defineerides kusagil midagi ümber, võivad muutuda kõik omavahel seotud suurused¹. Ruumiinfosüsteemis on mitu erinevat, kuid omavahel haakuvat mudelikihti, piltlikult väljendudes võib neid võrrelda hammasratastest ja ajamitest koostatud mehhanismiga. Kõige “alumine” on riistvaraga (vt. 2.5) paika pandud. Järgmine on määratud tarkvara võimalustega (vt. 2.5).

Igal infosüsteemil on lõplik täpsus ja lõplik lahusvõime². Lõplik on ka faili maht lahusühikutes. Virtuaalmaailma “aluspõhjaks” olevate arvude-failide lõplikkuse ja diskreetsuse ning arvutustehnika piiratuse mõju on eespool käsitletud.

GIS- ja digitaalkartograafia valdkonnas on tavaline, et puudub ühtne ja üldtunnustatud terminite süsteem. See on nii eesti kui ka inglise keeles. Seetõttu ei pühendata edaspidi mõne konkreetse tarkvarapaketi kesksele sõnavarale vaid räägitakse lihtsalt: *lahutusühikud³, kujundusühikud⁴, töövälja suurus, kujundusvälja suurus* jne.

Lahutusühik ja töövälja suurus

Lahutusühik ja töövälja suurus on omavahel seotud. Mõlemad tulenevad piirangust faili suurusele ja maksimaalsele tüvenumbrite arvule. Üldiselt on töövälja suurus määratud lahusühikutes ja võib sellisena olla üsna tihti jäigalt fikseeritud⁵. Kasutaja seda ise igas programmis muuta ei saa, küll aga saab defineerida ja ümber defineerida virtuaalse lahusühiku ja füüsilise suuruse mõõtühiku vahekorda. Selle tagajärjel muutub tööväljale vastava ala suurus reaalsuses.

Töövälja suurus ei saa ka kõige paindlikumate süsteemide korral mitte kunagi “lõpmata” suureks. Erilist traagikat see endas ei peida – vaevalt keegi hakkab koostama näiteks kogu

¹ Doominokivide efekt.

² Seega võib infosüsteemi vaadelda kui mõõtevahendit.

³ Näiteks *Bentley MicroStation* kasutab *Units of resolution – UOR*.

⁴ Üsna sage ingliskeelne nimetus *Paper Units* on eksitava sisuga, kuna väljatrükkimisel paberi suurus trükiseadmes määratakse reeglina hoopis mujal.

⁵ Eriti vanemates programmides.

Maakera, poolusest pooluseni, mikromeetrise lahutusega digitaalkaarti. Selleks, et lubada konkreetsetes failis suuremat lahutustäpsust¹, määratakse tihtilugu töövälja suurus kaardiobjektide maksimaalse ulatusega. Liites nüüd kokku erinevaid faile võib kergesti sattuda olukorda, kus konkreetse faili tööväljale on seatud ulatuse ja sellest “välja” ulatuvad andmed nõ. “ei lähe” teise tabelisse või saavad seal kaardipildis tundmatuseni moonutatud kuju. Töövälja suuruse erinevus ei mängi taustinfona kasutamisel enamuses GIS-töokeskkondades suuremat rolli. Teisendus toimub tuntud üleminekute korral automaatselt või on defineeritav. CAD ja kujundustarkvara puhul see alati nii kergelt ei käi. Nendes saab referentsina kasutada vaid kokkusobivate tööväljadega faile või tuleb failid „käsitsi” kokku tõsta.

Lahutusühiku-töövälja suuruse määramise/ümberrääramise “kummivenitamine” võib takistuseks olla puhvrite genereerimisel, topoloogia korrastamisel jms. vektorgraafikaga sooritataivate operatsioonide juures. Saadud objektid on sakilised, “trepis”. On võimalik, et mõni tarkvarapaketi moodul töötab madalama lahutusega, kui programm tervikuna.

Lahutusühikud ja mõõtühikud

Lahutusühik ei ole mõõtühik väljapoole virtuaalsust jääva maailma mõistes. Lahutusühik on vähim samm kahe arvsuuruse vahel, mida konkreetne infosüsteem eristada suudab. Lahutusühikud omandavad mingi suuruse mõõtühikuga määratud sisu kas vaikimisi või siis alles pärast vastavat *omistamisprotseduuri*. Programmide poolt lubataivate mõõtühikute hulk on jõudsasti kasvanud ning peaks rahuldama kasutajate vajadused. Probleemid ühikute kasutamisel võivad tekkida kasutajate puudulikest teadmistest või pealiskaudsusest.

Konkreetse punkti (pikslid, rasti korral) asupaiga teiste suhtes määravad teatud ristkoordinaadid. Need koordinaadid salvestatakse kõikide kaardiobjektide ja elementide jaoks – ilma selleta pole programm suuteline asju nende asupaika kuvama. Muutes lahutusühiku ja mõõtühiku vahetada ilma koordinaate ümber arvutamata, kaotatakse kvantitatiivne vastavus loodusobjekti ja kaardi vahel. Kvalitatiivne seos võib säilida. Püsima jäävad ka objektide omavahelised suhted ja paigutus antud failis.

Tööväli, kujundusväli ja kaardiakna suurus

Enamik ruuminfosüsteemide tarkvarast näeb ette võimaluse väljatrüki või kuvakaardi kujundamiseks. Seda saab teha kas otse kaardiaknast või avades spetsiaalse kujundusakna. Väljundi kujundusaknasse saab avada töövälja või selle osa. Kujundatud seisu saab tavaliselt salvestada ja uuesti avada.

Kujundusaknale saab ja tihti ka tuleb omistada mingi suurus ja kehtestada mõõtühikud (kujundusühikud). Nendeks kas “tavalised” pikkusühikud või siis hoopiski punktid ja pikslid. Igas programmis on sellel omistamisprotseduuril oma spetsiifika. Traditsiooniliselt on väljundiakna defineerimine seotud “paberiga”. Kaasajal tõrjub veeb tiražeerimisvahendina tardväljundit edukalt tahaplaanile ning väljundi kujundamiseks määratakse väli kuvariühikutes, näiteks punktides.

Virtuaalsuse “kummist” maailmas käivad tööväli, kujundusaken ja kujundusväli (“paber”) omaette. Igähe jaoks neist saab tavaliselt defineerida oma ühikute süsteemi. Seepärast on range vahetegemine iga iseseisva faili või kihi ühikute süsteemi, töövälja ehk siis kaardiakna ühikute süsteemi, kujundusakna ja kujundusvälja ühikute süsteemide vahel hädavajalik.

¹ Kaardistatavate loodusobjektide puhul on enamasti isegi sentimeetrine täpsus objekti defineerimise piiril, samas annab kõrge lahutustäpsus andmekorrastuse seisukohalt mitmeid eeliseid.

2.6.2. Mõõtkava (infosüsteemi täpsus)

Üks sagedasem küsimus, mida esitatakse digitaalsete ruumiandmete kohta, kõlab: “Kui täpsed need on, milline on nende mõõtkava?”

Mõõtkava on kaardil mõõdetud suuruse suhe tegelikkuses olevasse suurusesse.

Tardkaardi korral see määratlus suuremaid probleeme ei tekita, kuvakaardil aga küll. Kaardipildi suurendusaste on hõlpsalt ja suures ulatuses muudetav – mida lugeda sellisel juhul mõõtkavaks?

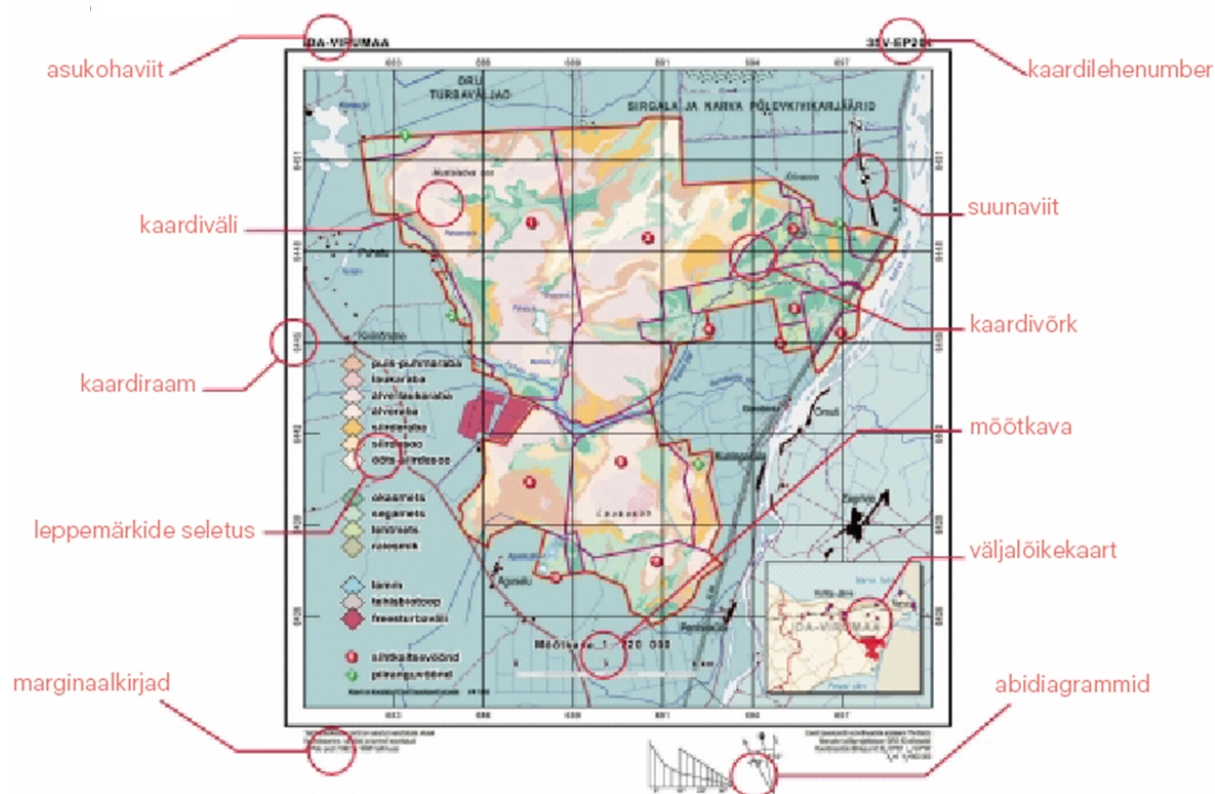
Erinevuse arvutikaardi ja tardkaardi vahel saab kokku võtta nii: tardkaardi mõõtkava määrab täpsuse, digitaalkaardi täpsus ja detailsus aga mõõtkava. Digitaalkaardi mõõtkava võiks iseloomustada kui *täpsusklassi* (vt. 1.2.3).

Asukohatäpsus ei oma mõõtkava nominaalväärtuse fikseerimisel täiesti monopoolset seisundit: kaardiobjektide generaliseeritus ja detailsus mängivad samuti olulist rolli. Väike täpsus või suur generalisatsioonaste võivad takistada kaardiandmete kasutamist oma detailsusele või asukohatäpsusele vastavas mõõtkavaklassis.

Rasterkaartide mõõtkava on defineeritav analoogiliselt vektorkaartide omaga, ainult generalisatsioonistme ja detailsuse funktsioonis esineb siin pildielemendi ehk *piksl* suurus.

2.6.3. Kaardiraam ja kaardivõrgud

Kaardiraam on kaarti piirav vormikohane joonestik, mille matemaatiliseks tähenduseks on kaardi koordinaatvälja piiramine. Kaardiraami kasutatakse ka koordinaatide tähistamiseks.



Joonis 2.6.3.1. Kaardielemendid (Jagomägi, 2006).

Kaardiraam ja koordinaatvõrgud tõusevad digitaalkartograafias tähelepanu objektiks peamiselt kaardikujunduse protsessis tardkaartide väljatrukkimisel. Olenevalt kasutatavast tarkvarast tuleb need kas CAD vahenditega joonistada või siis vastava mooduli abil genereerida. Mõnikord osutuvad kaardiraamid-võrgud ka heaks abivahendiks sidumisel koordinaatsüsteemiga.

Kaardijagu ja nomenklatuur on süsteem, mis jaotab suurema kaardistatud territooriumi kindlal viisil üksikute kaardilehtede vahel ning annab kaardilehtedele teatud tähistuse. Kaardinomenklatuuri eesmärgiks on hõlbustada vajalike kaardilehtede leidmist. Kaardilehtede nomenklatuuril põhinevad viitesüsteemid on laialt kasutusel. Eestis kasutab seda näiteks *Eesti Linnuatlas* (<http://www.eoy.ee/atlas/>).

Töötgemise hõlbustamiseks võiks alati käepärast olla **indekskaart** põhikasutuses oleva kartograafilise materjali kaardilehtede nomenklatuuriga.

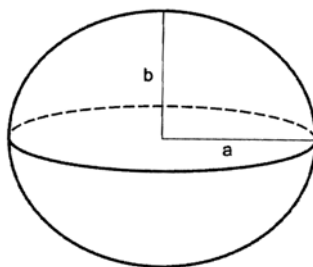
2.6.4. Daatum

Daatum ehk geodeetilise alus defineerib Maakera globaalse mudeli ja selle pinna määramise lähtekoordinaadid (Dana, 1999-2003). Tingimisi arvatakse siia mõnikord ka kõrguste süsteem, mis määrab rannajoone asendi. Geodeetilise aluse elementideks on (Randjärv, 1997 ja Randjärv, 2002):

- ellipsoid;
- koordinaatide süsteemi tsentreerimise lähtepunkt ja orientatsioon;
- geodeetiline põhivõrk (möödistamisel aluseks olevate geodeetiliste punktide võrk).

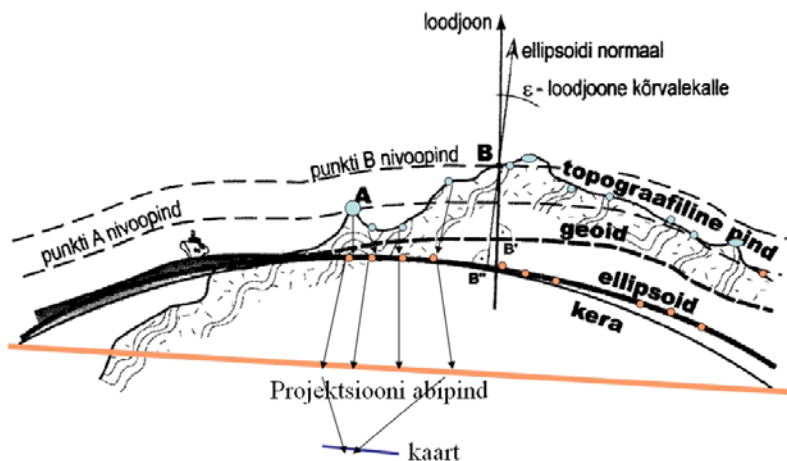
Ellipsoid

Ellipsoid on siirdepind, mida kasutatakse topograafilisel pinnal olevate punktide teisendamiseks geograafilisteks ja ristkoordinaatideks. Ühtlasi annab see võimaluse Maa pinna ja teatud tasapinnana vahelise vastavuse määramiseks. Taoline üleminek toimub siirdepindu (geoid, pöördellipsoid või ka kera) ja spetsiaalseid transformatsioone (kartograafilisi projektsioone) rakendades.



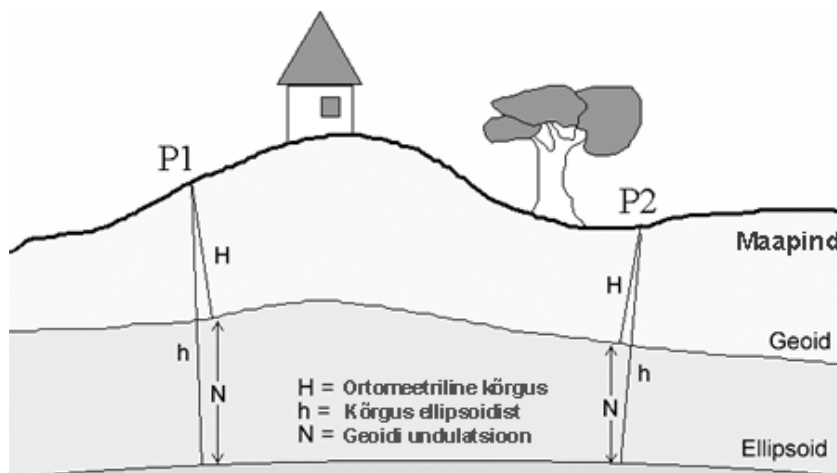
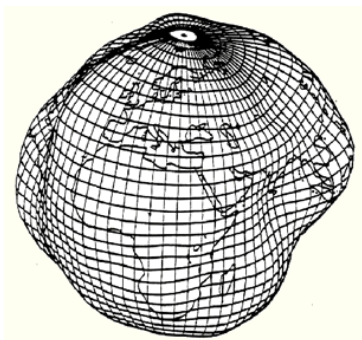
Joonis 2.6.4.1. Pöördellipsoid

Ellipsoid on kirjeldatud suurpooltelje (ekvatoriaal-pooltelje) a ja väikese pooltelje (polaar-pooltelje) b või ühe pooltelje ja lapikuse abil.



Joonis 2.6.4.2. Kera, pöördellipsoidi ja geoidi kasutamine topograafilisel pinnal olevate punktide teisendamisel geograafilisteks ja ristkoorinaatideks (Jagomägi, 2006).

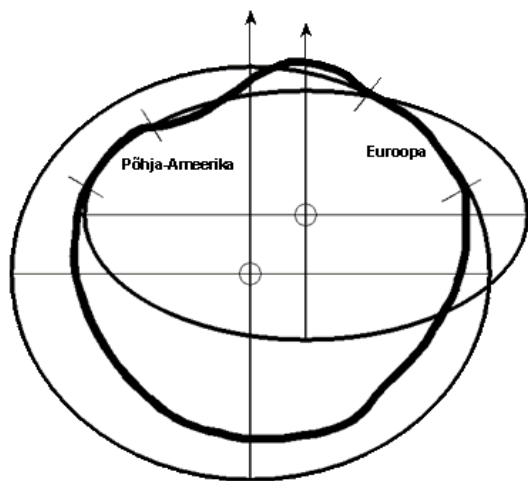
Maa topograafilise pinna üldistuseks on *geoid* – keha, mille pind on raskuskiirenduse vektoriga alati risti ja ühtib teoreetiliselt maailma ookeanide veepinnaga. Geoidi kuju on keeruline (vt. Joon. 2.6.4.3a) ja arvutused sellel komplitseeritud. Arvutuste hõlbustamiseks tuuakse sisse geomeetriselt ja matemaatiliselt lihtsalt kirjeldatav keha – *pöördellipsoid*.



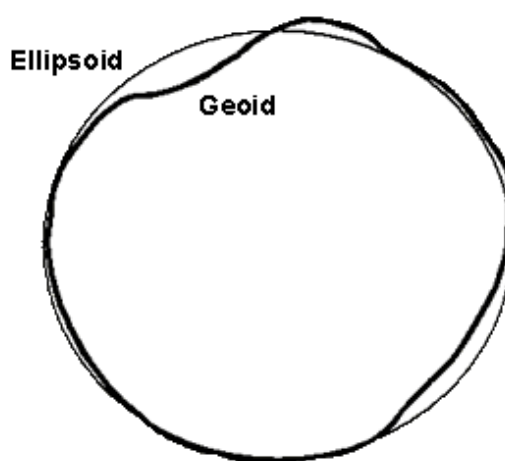
Joonis 2.6.4.3a. Geoid, undulatsioonid: 15000:1 (Knippers, 2000)

Joonis 2.6.4.3b. Kõrgus ellipsoidist, geoidi undulatsioon ja ortomeetriline kõrgus (*R.A Knippers*'i järgi).

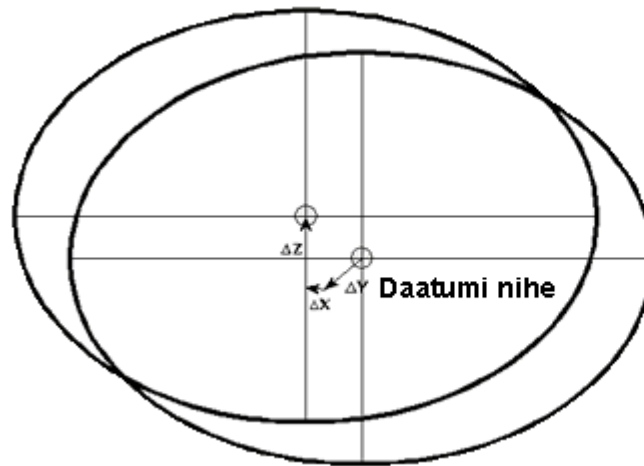
Ellipsoid valitakse võimalikult lähedane geoidile ja seejärel kõik vajalikud punktid transformeeritakse loodjoone kõrvalekalde abil ellipsoidi pinnale (Jagomägi, 2006). Pöördellipsoidi, mis on võimalikult lähedaselt sobitatud geoidiga mingis lokaalses piirkonnas (NIMA, 2006), nimetatakse *referentsellipsoidiks*.



Joonis 2.6.4.4a. Geoid ja kaks referents-ellipsoidi.



Joonis 2.6.4.4b. Geoid ja globaalne referentsellipsoid.



Joonis 2.6.4.5. Ellipsoidid ja daatuminihe.

Parimat ühtelangevust geoidiga on võimalik saavutada ellipsoidi nihutamisel ja pööramisel ümber oma telgede (joon. 2.6.4.4a ja 2.6.4.5). Eelneva põhjal võib öelda: daatumiks on normeeritud geograafilisi parameetrid, mis määravad referentsellipsoidi mõõtmed, asetuse ja koordinaatide süsteemi.

Koordinaatide süsteemi tsentreerimise lähtepunkt ja orientatsioon

Koordinaatide süsteem antakse selle *alguspunktiga*¹ ehk 0-punktiga, millest alates hakatakse lugema koordinaatide väärtusi ja orientatsiooniga. Samas ei pruugi mõõtmiste alustamine koordinaatide alguspunktist alati väga lihtne olla. Praktilised kaalutlused nõuavad *lähtepunkti*² kindlustamist ja tähistamist maastikul. Üks lähtepunkt ei anna meile veel koordinaattelgede orientatsiooni, sellepärast peab olema ka teine lähtepunkt. Lähtepunkt 1 ja lähtepunkt 2 määravad meile lõigu, mille asimuut koos algmeridiaaniga panebki paika koordinaatsüsteemi orientatsiooni.

Geodeetiline põhivõrk

Geodeetiline võrk on maastikul kindlustatud ja ühtses koordinaatide süsteemis olev geodeetiliste punktide kogum, millest lähtutakse geodeetilistel ja topograafilistel mõõdistamistel.

Geodeetiline põhivõrk jaguneb riigi geodeetiliseks põhivõrguks, geodeetiliseks tihendusvõrguks ja geodeetiliseks mõõdistamisvõrguks. Globaalse kartograafia puhul võib geodeetilist põhivõrku sekundaarseteks pidada.

Eristatakse plaanilist (horisontaalset) ja kõrguselset (vertikaalset) geodeetilist võrku. Horisontaalse võrgu korral määratakse punktide asend ainult geograafiliste ja ristkoordinaatidega, kõrguselise võrgu korral absoluutsete ja/või geodeetiliste kõrgustega (Randjärv, 1999). Vastavalt sellele jagatakse ka daatumid horisontaalseteks ja vertikaalseteks. Kui lisaks kõrgusinfole on antud veel muid parameetreid, nagu näiteks gravimeetriliste mõõtmiste andmed ja Maa pöörlemise nurkkiirus, nimetatakse daatumit *täielikuks*³.

2.6.5. Koordinaatsüsteemid

Ruumiandmed on seotud mingi asukohaga. Objektide asukohad antakse koordinaatidega. Koordinaatide esitamiseks on mitmeid võimalusi, kõige mugavam on neid esitada arvupaaride

¹ i.k. *origin point*.

² i.k. *initial point*.

³ i.k. *complete*.

või kolmikutena, millistest igauks määrab üheselt punkti asukoha vastavalt tasandil või ruumis. Siit tuleneb failide jagunemine *kahe- ja kolmemõõtmelisteks*. Andmete teisendamisel saab 2-mõõtmelisi objekte viia 3-mõõtmelistesse failidesse, kuid mitte vastupidi.

Koordinaatsüsteemiks nimetatakse eeskirja, mis defineerib koordinaatväärtuste vastavuse asukohaga (Krassovski, 1955). Igasse koordinaatsüsteemi kuulub ilmingimata koordinaatide alguspunkt (Hager et al., 1990). Arvutiga töötades ei tee halba silmas pidada, et kasutusel on mitu koordinaatsüsteemi, seega ka mitu alguspunkti. Alguspunkt, millest loetakse koordinaate failis, on alati olemas, samas ei pruugi reaalsusmudeliga seotud nullpunkt faili tööväljale mahtuda.

Igas koordinaatsüsteemis on olemas *koordinaatjooned* – punktide, millel üks koordinaat on muutumatu, geomeetriselised asukohad (Kavraiski, 1958). Koordinaatjoonte süsteem, mis on võetud koordinaatide erinevuste kindlate intervallide tagant, moodustab *koordinaatvõrgu*. Koordinaatjooni, mis läbivad nullpunkti, käsitleme *koordinaatteljestikuna*. Teljed, nagu järeldub koordinaatjoonte definitsioonist, võivad olla nii sirg- kui kõverjoonelised. Sirgjooneliste hulgast kasutatakse kõige sagedamini ristkoordinaatistikku (DMA 8358.1). Mugavuse ja laia leviku tõttu on saanud tavaks, et lihtsalt “koordinaatidest” rääkides peetakse vaikimisi just ristkoordinaate silmas.

Koordinaatsüsteemid kartograafias ja geodeesias jagunevad:

- tasandilised ristkoordinaadid
- polaarkoordinaadid
- topotsentrilised ristkoordinaadid
- geograafilised koordinaadid
- geodeetilised koordinaadid
- geotsentrilised koordinaadid.

Digitaalkartograafias ja GIS-is salvestatakse andmed enamasti ristkoordinaatides, harvem geograafilistes koordinaatides. Andmete salvestamise ja nende kuvamise süsteemid võivad olla täiesti erinevad.

Tasandilised ristkoordinaadid

Maakera puhul ristkoordinaate, rangelt võttes, olla ei saa – jätkates kahte ristuvat joon mööda maapinda, jõuaksime uue ristumiseni vastaspoolkeral. Kuid kahte ristumist ei tohi olla. Siiski saab, arvestades Maa suuri mõõtmeid, ristkoordinaate kaartidel kasutada – selleks kas piiratakse koordinaatistiku kasutusala või siis, nagu näiteks UTM-süsteemi puhul, jagatakse Maakera pind vastavateks tsoonideks.

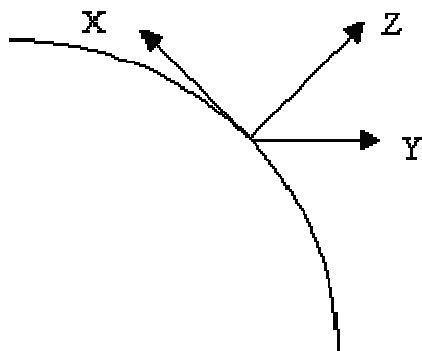
Telgede tähistuse korral tuleb ilmutada teatud ettevaatust – geodeesias on kombeks suunata x-telg vertikaalselt (põhja-lõuna sihis) ja y-telg horisontaalselt, suuremas osas arvutiprogrammides on aga telgede jaotus sarnane matemaatikas kasutatavale: x-telg on horisontaalne.

Polaarkoordinaadid tasandil

Punkti asukoht maastikul võidakse anda kas polaarkoordinaatidega (polarraadius ja polaarnurk) või bipolaarkoordinaatidega – kahe polarraadiuse või kahe polaarnurgaga.

Topotsentrilised ristkoordinaadid

Lokaalne topotsentriline süsteem on kasutaja poolt valitud alguspunktiga kolmemõõtmeline ristkoordinaatide süsteem. Z-telg on suunatud vertikaalselt üles, x-telg näitab tõelist põhjasuunda antud punktis ja y-telg on orienteeritud vastavalt parempoolse kolmiku nõuetele.



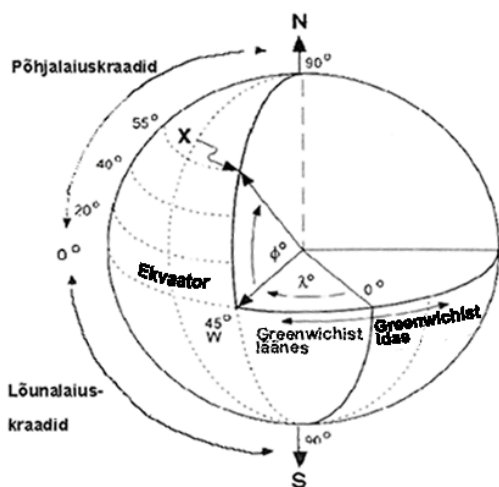
Joonis 2.6.5.1. Topotsentriline ristkoordinaadistik.

Topotsentriline süsteem leiab kasutamist GPS-mõõdistamisel, kus alguspunktiks võetakse GPS-antenn, ja on vaja arvutada tehiskaaslase asimuuti ka otsetõusu.

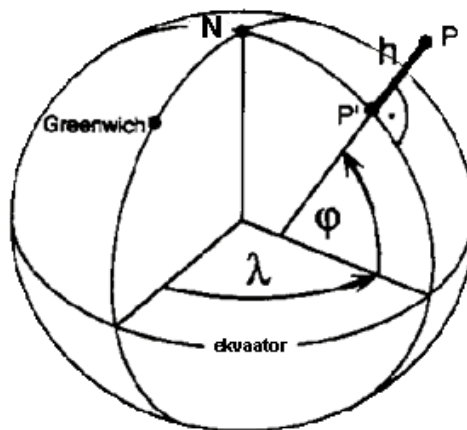
Geograafilised koordinaadid

Geograafilised koordinaadid on maapealse punkti nurkkoordinaadid: *geograafiline laius* ja *geograafiline pikkus* (Maling, 1992). Nurki mõõdetakse referentsellipsoidi ekvatoriaaltasandi ja algmeridiaani tasandi ehk geodeetilise referentsüsteemi suhtes. Tänapäeval on algmeridiaaniks *Greenwichi meridiaan*. Nurki mõõdetakse tavaliselt kraadides.

Geograafilisi koordinaate on mõnikord kutsunud “absoluutseteks”, mida nad pole: olenevalt referentsellipsoidi valikust võib ühel ja samal punktil olla erinevad geograafilised koordinaadid.



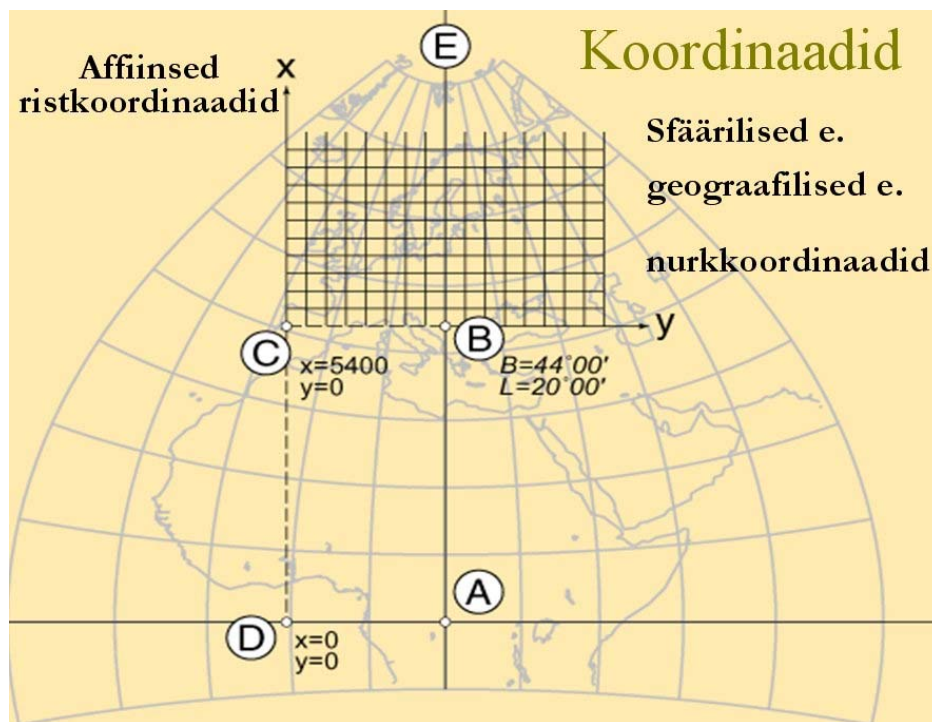
Joonis 2.6.5.2a. Geograafilised koordinaadid.



Joonis 2.6.5.2b. Ruumilised geograafilised koordinaadid.

Geograafilised koordinaadid jagunevad (Zakatov, 1954):

- astronoomilisteks (λ, ϕ), leitakse astronoomilist vaatlustega ja punkti asukoht määratakse geoidil;
- geodeetilisteks (λ, ϕ, h) koordinaadid saadakse geodeetilistest mõõtmistest, punkti asukoht määratakse ellipsoidil. Tavaliselt antakse ka kõrgus ellipsoidist h .



Joonis 2.6.5.3. Geograafilised koordinaadid ja ristkoordinaadid (Jagomägi, 2006).

Geograafilised koordinaadid saab määrata ka sfääril – *sfäärilised koordinaadid*. Sfäärilised koordinaadid võivad lisaks ülalkirjeldatutele olla ka rist- ja polaarkoordinaadid. Joonisel 2.6.5.3. toodud skeemil on punkt A telgmeridiaani ja ekvaatori lõikepunkt. Punktis B lõikab telgmeridiaani tasandiliste ristkoordinaatide y-telg. Ristkoordinaatide alguspunkt on D ja punktis E koonduvad meridiaanid ning see vastab Maakeral poolusele.

Geograafilised koordinaadid esitatakse kas nurga- või nurga- ja ajaühikutes. Viimasel juhul antakse pikkuskraad tundides, minutites ja sekundites, laiuskraad aga nurgauhikutes.

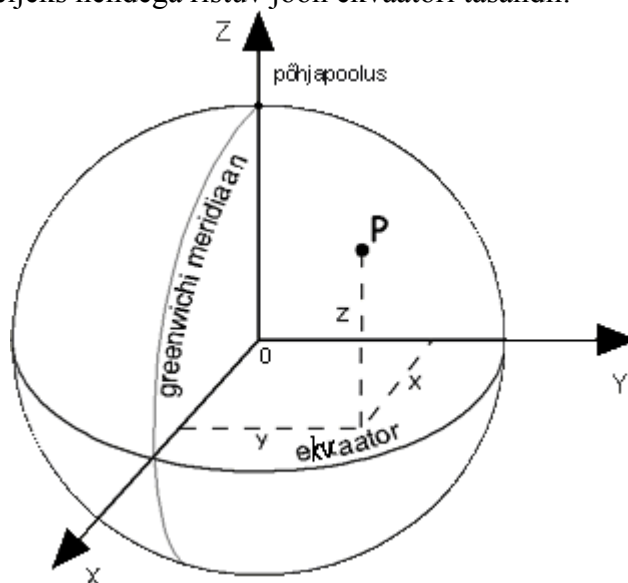
Geograafilisi koordinaate saab väljendada õige mitmel moel (Potter, 2002): traditsiooniliselt kaarekraadides, minutites ja sekundites; kaarekraadides, näidates minutid ja sekundid kümnendkohtadena täiskraadist; *gon*'ides – jagades täisringi mitte 360-ks vaid 400 osaks; ja radiaanides.

Eesti geodeetiline süsteem (RTL 2004, 17, 267):

- geodeetiline referentssüsteem:
 - EUREF-EST97= WGS84(G873) geotsentrilised koordinaadid;
- tasapinnalised ristkoordinaadid:
 - LAMBERT-ESTONIA ehk LAMBERT-EST projektsioon;
 - L-EST'97 koordinaatide süsteem;
- kõrgussüsteem:
 - Balti 1977 ehk BK77;
 - geoidimudel EST-GEOID2003;
- gravimeetiline süsteem:
 - GV-EST95.

2.6.6. Geotsentrilised koordinaadid

Sageli on mugav võtta tarvitusele geotsentrilised ristkoordinaadid e geodeetilised ristkoordinaadid (Geodesy Tutorial, 2003). Sellisel juhul võetakse 0-punkt Maa raskuskeskmesse, Z-teljeks on Maa pöörlemistelg, X-teljeks nullmeridiaani ja ekvaatori tasandi lõikejoon, Y-teljeks nendega ristuv joon ekvaatori tasandil.



Joonis 2.6.6.1. Geotsentrilised ristkoordinaadid.

Geodeetilise koordinaatide (λ, ϕ, h) ja geotsentriliste ristkoordinaatide (X, Y, Z) vahel olevad seosed on avaldatavad järgmisel kujul (Bowringi võrrandid) (POSC Ver. 2.2):

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda \\ Y &= (N + h) \cdot \cos \phi \cdot \sin \lambda \\ Z &= \left[\left(\frac{b}{a} \right)^2 \cdot N + h \right] \sin \phi, \end{aligned} \quad (2.6.6.1)$$

kus N on laiuskraadi esimese vertikaali kumerusraadius:

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2 \phi + b^2 \cdot \sin^2 \phi}}. \quad (2.6.6.2)$$

2.6.7. Kaardiprojektsioonid

Projektsioon on maaellipsoidi pinna tasandil kujutamise viis (vt. joon. 2.6.4.2).

Kaardiprojektsioon määrab sõltuvuse Maakera mudeli punktide geograafiliste või geodeetiliste koordinaatide ja samade punktide ristkoordinaatide vahel tasapinnal. Vastavad seosed on väljendatavad teatud *matemaatiliste võrranditega* (Jagomägi, 1991), milliseid jagatakse *otsevõrranditeks*:

$$x, y = f(\phi, \lambda) \text{ ja } x, y = f(B, L, h) \quad (2.6.7.1)$$

ja pöördvõrranditeks:

$$\phi, \lambda = f(x, y) \text{ ja } B, L = f(x, y). \quad (2.6.7.2)$$

Projektsiooniparameetrid

Projektsiooniparameetrid ja teised matemaatilise aluse elemendid on ruumiinfo metaandmete lahutamatu osa. Kaasaegne GIS-tarkvara tunneb suurt hulka eeldefineeritud projektsioone ja omab uute sisestamise võimalust. Tundmatu või ebakorrektselt määratud matemaatilise alusega andmed on kasutajavaenulikud. Nende kvaliteet tuleb hinnata madalaks.

GIS-i kasutamisel tuleb projektsiooni määramiseks fikseerida järgmised parameetrid:

- kõikide projektsioonide korral:
 - tüüp;
 - ellipsoid;
 - daatum;
- projektsioonide puhul kus neil parameetritel on mõtte:
 - telgmeridiaan;
 - lõikeparalleel(id);
 - õige mõõtkava joon;
 - idanihe ja põhjanihe;
 - mõõtkavategur.

2.6.8. Kaart ja plaan

Kaart on reaalsuse üldistatud ja leppemärkidega seletatud matemaatiliselt määratletud kujutis. Kitsamalt mõistetakse kaardi all Maa või mõne muu taevakeha vähendatud kujutist, mis vastab ülaltoodud nõuetele.

Plaan on ortograafilises projektsioonis maapinna suuremõõtkavaline kartograafiline kujutis, mille puhul me ei arvesta (Maa suurte mõõtmete tõttu) Maa kujust tulenevat moonutust. Plaane koostatakse väiksemate maa-alade (maksimaalselt 100-300 km²) kohta (Randjärv, 1999).

Plaan on Maakera pinna pisikese osa *moonutusteta* kujutis ja selle mõõtkava on igas kohas õige (Randjärv, 1997). *Kaart on moonutustega*, mille iseloomu ja suuruse määrab projektsioon.

Moonutused kaardil võivad olla:

- joonpikkuste moonutused;
- pindalade moonutused;
- nurkade moonutused;
- kuju moonutused;
- suuna moonutused.

Üldreeglina moonutuste suurus kaardipinna eri osades muutub.

2.7. ANDMETE KONVERTEERIMINE

Igasuguse infolõimimise teostamisel toimub *andmete konverteerimine* (vt. 1.2.4). Konverteerimine hõlmab nii failivormingute muutmist kui ka matemaatilise aluse teisendusi. Ainult täiesti identse struktuuriga andmekogude liitmisel saab rääkida konverteerimise puudumisest.

Halvasti teostatud konverteerimine võib kasu asemel üsna palju segadust kaasa tuua. Lõimitud andmekogu töötluslugu peab sisaldama teavet sooritatud konverteerimistest. *Metaandmetes* tuleb fikseerida andmeallikas, samuti eeluuringute tulemused, hinnangud kvaliteedile ja muud olulised tööetapid. Kindlasti kuuluvad säilitamisele andmed teisendusmeetodi, kasutatud tarkvara, aga samuti tulemuste ja ilmnunud puuduste kohta.

2.7.1. Matemaatilise aluse teisendused

Matemaatilise aluse teisendused saame olenevalt muudetavatest elementidest jaotada:

- töövälja suuruse & lahutusühiku, st. mõõtühiku ja infosüsteemi lahutusühiku vahekorra teisendused;
- daatumi ja ellipsoidivahetused;
- projektsioonivahetused;
- kompleksed teisendused;

Lisaks sellele on matemaatilise aluse teisendusi võimalik liigitada:

- etteantud parameetritega;
- arvutatavate parameetritega.

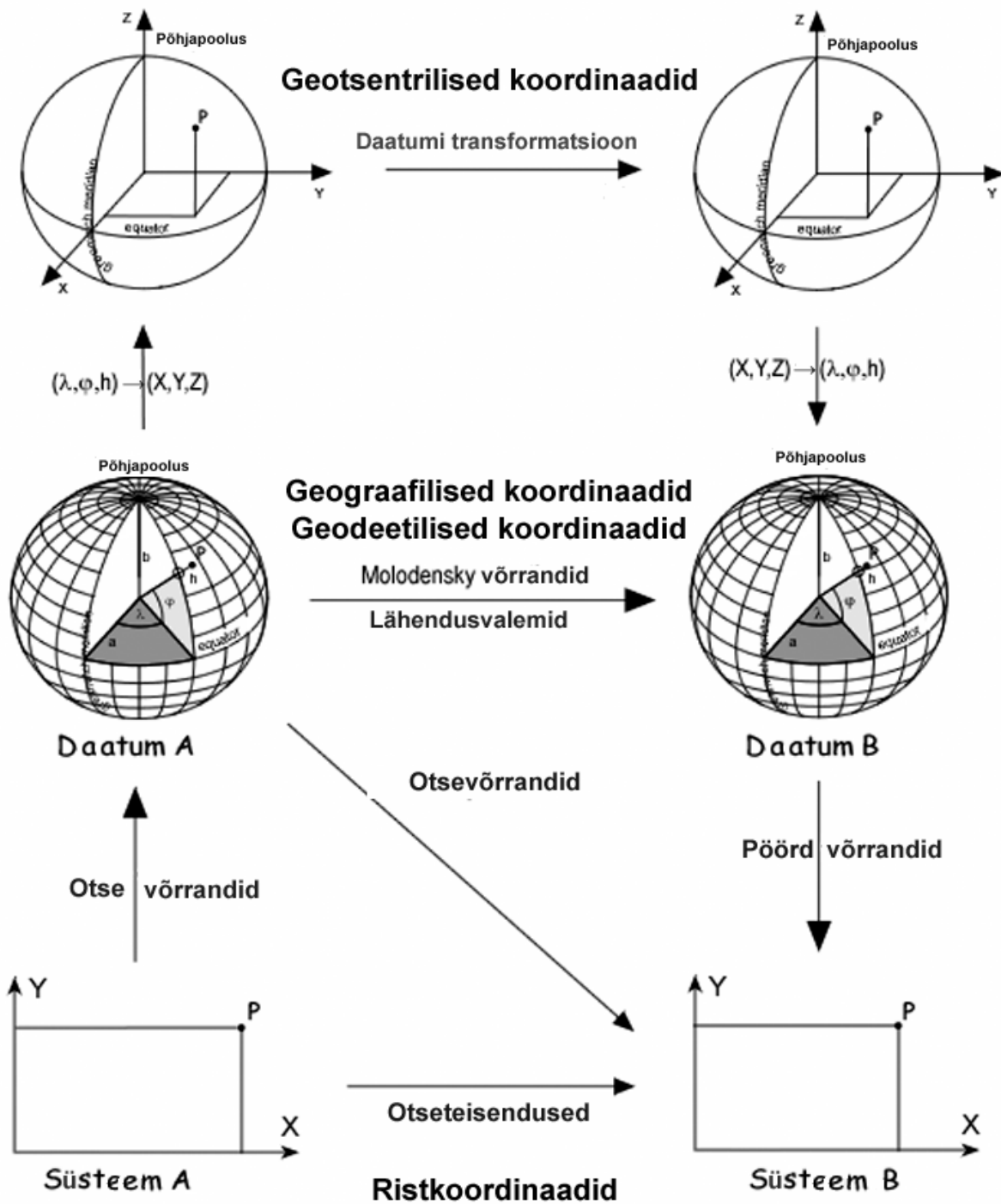
Esimesel juhul toimub teisendus fikseeritud algoritmiga mingite etteantud parameetrite alusel. Teisel juhul antakse ette algoritm ning vajalikud parameetrid arvutatakse. Viimane varinat leiab kõige sagedamini rakendamist koordinaatidega sidumisel.

Matemaatilise aluse teisenduse ehk koordinaatsüsteemi teisenduse või kõnekeeles lihtsalt projektsiooniteisenduse all mõistetakse reeglina siiski digitaalkaardi üleviimist uuele matemaatilisel alusele koos projektsiooni, daatumi ja ellipsoidi vahetusega. Erinevad teisenduskeemid on esitatud joonisel 2.7.1.1 Ümberrehendus toimub vastavalt skeemile:

$$(\phi, \lambda, h)_{\text{Daatum } a} \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{Daatum } a} \rightarrow (X, Y, Z)_{\text{Daatum } b} \rightarrow (\phi, \lambda, h)_{\text{Daatum } b}. \quad (2.7.1.1)$$

Põhimõtteliselt on meil kolm erinevat teisenduskeemi:

- otseteisendus lähendusvalemitega;
- geograafiliste või geodeetiliste koordinaatide teisendus kas Molodenski võrrandite või lähendusvalemite abil;
- üle geotsentriliste ristkoordinaatide teisenduse ühelt daatumilt teisele.



Joonis 2.7.1.1. Projektsiooniteisenduste skeemid (Knippersi järgi).

2.7.1.1. Töövälja suuruse ja ühikute teisendused

Näilise lihtsuse taga võivad peituda üsnagi tüütud mured.

Kujundusprogrammides muudetakse kaardipilti. On täiesti lubatav suurendada ja vähendada kaardipilti tervikuna, ilma proportsioone rikkumata. See ei kehti alati joonte, pindade ja teksti kujutamiseviisi kohta (paksus, värv jms). Väljundi mõõtkava suhtes tuleb olla tähelepanelik – see peab tardkaardil olema õige. Kaardikujunduse funktsionaalsusega tarkvara on matemaatilise aluse teisenduste suhtes üsna paindlik.

GIS-tarkvara näitab väljundi kujundamisel üles suurt paindlikust – nii kaardiaknas kui väljundiaknas on võimalik nii välja suurust kui ühikuid üsnagi vabalt muuta. Piisab vastavate sätete muutmisest. GIS-is saab matemaatilise aluse teisendada kas faili ümbersalvestamise käigus – ühe etteantud valikuna – või vastava käskluse abil otse failis.

CAD, mis on kõige mugavam vektoriseerimiskeskond, osutub matemaatilise aluse muutmiste suhtes kõige jäigemaks ja nõuab selleks spetsiaaltarkvara.

2.7.1.2. Ristkoordinaatide teisendus lähendusvalemite abil

Standardülesandeks ruumiandmete lõimimisel on teisendused ühelt matemaatiliselt aluselt teisele. Teadaolevate arvutusvalemite ja parameetrite korral on see lihtne. Üsna sageli esineb situatsioon kus üks koordinaatsüsteem kas puudub või on tundmatu. Seega tuleb andmete lõimimiseks etteantud süsteemi teha kindlaks vastavad teisendusvalemid.

Antud juhul toimitakse nii. Vaikimisi omavad kõik digitaalkujul ruumikuvad mingit ristkoordinaadistikku. Matemaatilise aluse vahetuse korral tuleb selles ristkoordinaadistikus antud punktid ümber arvutada teise koordinaatsüsteemi.

Matemaatikas on tõestatud teoreemid, mis ütlevad, et kui on kaks punktihulka kahest ühelsidusast piirkonnast, siis defineerides vastavuse teatud punktide vahel, saab leida teisenduse, mille korral saadud kujutispunktide hälve etteantud punktidest on minimaalne. Ruumiandmete teisendamisel rakendatakse järgmist liiki teisendusi:

- konformseid;
- affiinseid;
- projektiivseid;
- n -järku polünoome.

Lähendusfunktsioonide kasutamine väga võimas vahend – põhimõtteliselt, võttes piisavalt kõrget järku polünoomid, võime saada soovitud täpsusega teisenduse kahe koordinaatsüsteemi vahel. Arvutusvõimsuste kiire kasv on korvanud kunagised arvutusaja juurdekasvust tulenenud takistused ja viimasel ajal on küllaltki sageli avaldatud arvamust: “teisendusteks koordinaatsüsteemidest, mille kohta meil on puudulikud andmed on meie arvates kõige otstarbekam kasutada kompleksarvulisi kuuppolünoome...” (Lippus, 1997a ja 1997b).

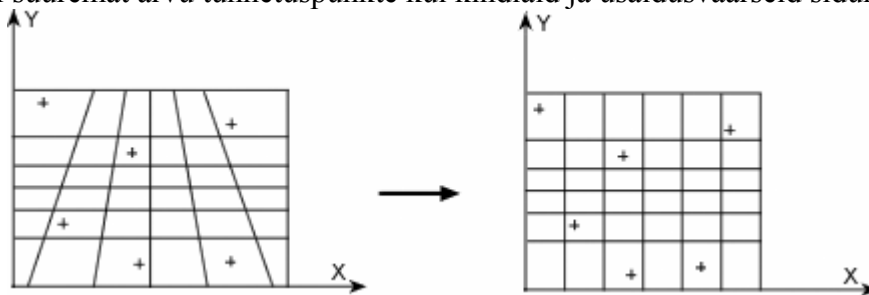
Otseteisendustel lähendusvalemite abil on väga suur praktiline väärtus: paljudel juhtudel on see ainuke võimalus iseseisvate andmemassiivide integreerimiseks kaasaegsete ruumiandmete koguga¹. Meetod leiab laia kasutamist kosmose- ja aeropiltide transformeerimisel (Liba, 2005), aga samuti kõige erinevamate raster- ja vektorkihtide omavahelisel integreerimisel.

Otseteisendused lähendusfunktsiooniga annavad väikeste ruumiipiirkondade puhul täpsemaid tulemusi, kui pikk ja keerukas ümberarvutus üle joonisel 2.7.1.1 kujutatud

¹ Kaasaegse ruumiandmete kogu all mõistame andmekogu, millest vähemalt osa eksisteerib digitaalkujul.

daatumivahetusega arvutusskeemi. Meetodi puuduseks (inim)töömahukus – vaja on punkte (sidumis-, tuvastus-, tunnetus- e. ID-punktid), mille koordinaadid on määratud mõlemas koordinaatsüsteemis.

Tuvastuspunktid ehk ID-punktid. *Sidumispunktide* all võiks mõista (1) kasutatavaid mitmesüsteemsete koordinaatidega punkte üldiselt ja (2) kitsamalt mõõdupunkte või siis matemaatilise aluse elementide: kaardivõrgu või kaardiraami kaudu fikseeritud koordinaatidega punkte, mille määramatus on antud mõõtkavas väike. *Tunnetuspunktid* on *kaardisituatsioonide võrdlemise* kaudu identifitseeritud sidumispunktid, ära tuntud ja samastena identifitseeritud. Need otsitakse üles ja fikseeritakse paralleelselt nii *lähtefailis* kui *sihtfailis*¹. Ei ole raudseks reegel, kuid enamasti vajatakse situatsiooni järgi sidumisel-koolutamisel suuremat arvu tunnetuspunkte kui kindlaid ja usaldusväärseid sidumispunkte.



Joonis 2.7.1.2. Tuvastuspunktide abil teostatud koordinaatteisendus.

Sidumine ja koolutamine

Parema arusaamise huvides vaadeldakse sidumist ja koolutamist eraldiseivate operatsioonidena.

Koolutamine² tähendab lähtefaili transformeerimist, st. algse kaardipildi moonutamist. Resultaadiks on uues projektsioonis digikaart. Kuigi teoreetiliselt saab digitaalkujutist transformeerida väga suures ulatuses, tuleb meile praktikas vastu tuntavuse piir – ülemäära moonutatud kaardipilt on kasutajale loetamatu, topoloogilised seosed objektide vahel katkevad (eriti on see märgatav rastritel).

Sidumise all mõistetakse lähtefaili kujutise sidumist etteantud koordinaatsüsteemiga. Sidumisel määratakse iga lähtefaili punkti jaoks koordinaadid uues koordinaatsüsteemis. See sünnib kas läbi vahetu ümberarvutamise või siis fikseerides vastava teisendusalgoritmi tüüpi ja parameetrid. Koordinaatide ümberarvutus annab häid tulemusi vektorfailide ja objektorienteeritud andmebaaside korral.

Näilise koolutamise puhul jäävad koordinaate esitavad arvud failis muutumatuks. Kaardiobjektide koordinaadid arvutatakse igal avamisel või muul operatsioonil ikka ja jälle uuesti. Meetodi puuduseks on suurem koormus protsessorile ja mälule, töö aeglus. Vooruseks aga võimalus otse avada eriprojektsioonilisi andmekihte ühisesse tööruumi ilma eelneva ümberteisendamiseteta. Rastrid ja teatud tüüpi vektorfailid seotakse vastavate väärtuste kirjutamisega vahetult faili päisesse või siis iseseisvasse, funktsionaalselt ühtekuuluvasse faili (näiteks: TAB, TFW, HDR, EWW jms.).

Sidumine üldiselt rääkides eeldab koolutamist, kuid ei nõua seda. Kui digikaart on juba soovitud projektsioonis, siis saab selle koordinaatidega siduda, omistades etteantud koordinaadid vähemalt ühele punktile failis. Sageli on selleks koordinaatide alguspunkt lähtefailis. Siinkohas eeldame, et ülejäänud punktide (objektide) paiknemine sidumispunkti

¹ Sihtfail ei pruugi alati füüsiliselt kogu teisenduse aja eksisteerida, see võib tekkida protsessi ajal (uus fail) või siis kirjutatakse lähtefail (koordinaatide väärtused selles) ümberrehkenduse lõpus ajutise failiga üle (samanimeline fail).

² I.k. *warping, rubbersheeting*.

suhtes on jäigalt fikseeritud ja jääb lähtefaili siseselt samaks. Lähtefaili koordinaatsüsteemi orientatsioon sihtfaili koordinaatsüsteemi suhtes võib teha läbi (1) nihke (2) pöörde (3) mõõtkavamuutuse.

ID-punktide valiku üldised põhimõtted

Teoreetiliselt saab lähendusfunktsiooni leida suvalise kahe koordinaatsüsteemi vahel. Lähendusfunktsiooni leidmiseks vajalikud punktid (JRC, 2005):

- peavad olema mõlemas süsteemis määratud koordinaatidega;
- paiknema võimalikult regulaarselt;
- katma teisendatava piirkonna piisava tihedusega;
- omama piisava täpsusega koordinaate.

Praktikas ei ole need neli nõuet sageli täidetavad ja vastavate andmete kogumine on seotud üsna kulukate välitöödega. Seepärast pakuvad praktilisest seisukohast huvi kiiremad ja käepärasemad kameraalsed meetodid, kus üleminekut esitavad koordinaatarvude paarid leitakse vahetult sidumis- ja koolutamisprotsessi käigus.

ID-punktide koordinaate on võimalik leida:

- otseste mõõtmistega välitööde käigus
- andmekogudest varasemate mõõdistuste tulemustest
- mõlemat meetodit kombineerides
- töösolevatest failidest lähte- ja sihtfaili situatsiooni visuaalse tunnetuse läbi.

ID-punktide valikul tuleks silmas pidada järgmisi nõudeid:

- *usaldusväärsus*; kasutada eelkõige selgelt äratuntavaid ja võimalikult täpselt määratud punkte; on mõttekas omistada sidumispunktile erinevad kaalud vastavalt nende usaldatavusele;
- *ühtlane paiknemine* üle kogu teisendatava ala – kahjuks ei ole see alati järgitav;
- *mõistliku piisavuse printsiipi* – ülepingutamine punktide hulgas ja polünoomi järgus annab hulga tarbetut ülekuulu, koonerdamine aga pole kunagi tähendanud kokkuhoidu (“kooner maksab topelt” printsiip kehtib siin sama kindlalt kui mujal);
- *kiirustada aeglaselt* – üks kord ja korralikult võtab vähem aega kui mitu korda ja rüpakalt.

Teadaolevad mõõdupunktid (ükskõik kas vahetult välimõõtmistest või arhiiviandmetest) sisestatakse tavaliselt koordinaatarvude kaudu ja lastakse programmil leida lähendusfunktsioon ning teha vajalikud failide ümberrehkendused.

Tuvastuspunktide arv

Praktilistel kaalutlustel püütakse lähendusfunktsiooni valida võimalikult madala astmega polünoomide hulgast. Esimest järku lähenduspolünoomi saamiseks on vaja teada minimaalselt 3 punkti koordinaate. Projektiivne teisendus eeldab vähemalt 4 punkti omi, 2.-järku lähenduspolünoom aga nõuab juba vähemalt 6 punkti koordinaate. Iga tuvastuspunkt tähendab suurt tähelepanu nõudvat inimtööd. Seepärast on väiksema arvu tuvastuspunktide kasutamisel võit tööajas ilmne.

Tuvastuspunkte arv peab olema piisav kvaliteetse projektsiooniteisenduse jaoks. Soovitatav on võtta lihtsamatel (kuni 2.-järku) teisendustel vähemalt kahekordselt minimaalselt vajalikku ületav arv tuvastuspunkte. Sellisel juhul annab statistika usaldusväärse ülevaate teisenduse kvaliteedist.

Tunnetuspunktide puhul ei maksaks teha projektsioonivahetusi minimaalse võimaliku arvu punktidega – resultaat võib olla masendav. Kõrgemat järku lähendusfunktsioonide puhul võiks võtta *vähemalt* 5 punkti üle lubatud miinimumi ja on hea, kui need paiknevad laiali, mitte kobaras koos.

Valdav enamus sidumiseks-koolutamiseks kasutatavat tarkvara võimaldab tuvastuspunktide valikul interaktiivset kontrolli. Väljavaliitud punktid kuvatakse tabelina, mis annab ülevaate valitud punktide koordinaatidest, hälvetest ja hajumisest iga üksikpunkti jaoks eraldi ning kogu teisenduse jaoks kokku. Osad programmid hakkavad pärast valitud järku polünoomi jaoks minimaalselt vajaliku ID-punktide arvu saavutamist iga konkreetse ID-punkti esimese paarilise identifitseerimisel ise teise asukohta välja pakkuma. See on üsna tõhus abi ning annab näitliku ülevaate kujuneva teisendusvalemi headusest. Kui näeme, et pakutavad punktid tulevad oma õigesse asupaika, võime punktide võtmise lõpetada või hakata ID-punkte valima suurema sammuga ja väiksemal arvul.

Eksitavad punktid

Tuvastuspunkti võib lugeda *ekseks*, kui selle hälve ületab 3-kordse keskmise ruutvea (vt. 1.2.3). Ometigi ei maksa, kui pole just tegu karjuvalt suure hälbega ja silmnähtava eksitusega, ID-punktide sisestamise ajal, eriti protsessi alguses, kohe kõiki kahtlasi punkte elimineerida. On täiesti võimalik, eriti esmaselt valitud punktide paiknemisel liiga lähestikku, et esialgsete tuvastuspunktide kobarast kaugemal võetud punkti näidatakse *eksisteerivas mudelis* vigasena.

Teisendusvalem kahe koordinaatsüsteemi vahel on tuvastuspunktide võtmise ajal muutuv suurus ja võib alguses kõikuda üsna suures ulatuses (teisendusmudeli stabiliseerumine viitabki küllaldasele hulgale ID-punktidele). Tuvastuspunkte ei tasu valida ühele sirgele, isegi mitte ligilähedaselt. Mõistlik oleks vältida 3 kõige esimese ID-punkti valimist ühele sirgele. Soovitav on, kui võimalik, võtta esimesed punktid hästi laiali üle kogu teisendatava ala ning seejärel jagada punktidevahelisi lõike uute ID-punktidega võimalikult regulaarselt väiksemateks osadeks. Kui on näha, et punktid langevad üsna täpselt, hálbed teisendusmudelis on väikesed ja uute punktide lisamisel enam oluliselt ei muutu, võib tuvastuspunktide valimise lõpetada ja asuda teisendamise juurde.

Lähendusfunktsioonide liigid

Matemaatiliste teisenduste kogu arsenal pole täismahus digitaalkartograafias kasutatav. Ainult väike osa teisendustest rahuldab kaardikasutuse vajadustest seatud piiranguid ja kõlbavad projektsiooniteisendusteks. Sobivad ühesed teisendused mis ei riku kaardiobjektide topoloogilisi suhteid. Vaikimisi eeldame sedagi, et objektid ei moundu teisendusel tundmatuseni.

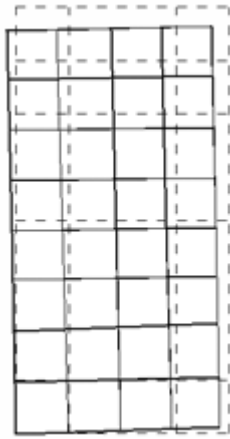
Konformne teisendus

Konformsus tähendab seda, et mõõtkava on kaardil igas suunas ühesugune. Sellest tulenevalt lõikuvad paralleelid ja meridiaanid omavahel täisnurga all. See ei tähenda, et need on sirged – piisab nende puutujate ristumisest lõikepunktis.

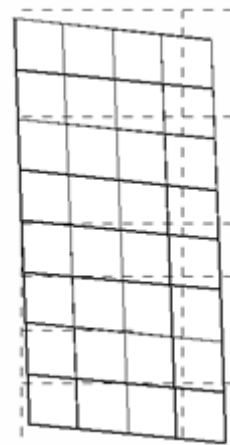
Konformse teisenduse näide (Knippers, 2000)

$$\begin{aligned} X' &= s \cdot X \cdot \cos \alpha - s \cdot Y \cdot \sin \alpha + T_x \\ Y' &= s \cdot X \cdot \sin \alpha + s \cdot Y \cdot \cos \alpha + T_y \end{aligned} \quad (2.7.1.2)$$

kus T_X ja T_Y on X ja Y koordinaadi nihked; s – mõõtkava muutus ja α - pöördenurk.



Joonis 2.7.1.3a. Konformne teisendus.



Joonis 2.7.1.3b. Affiinne teisendus.

Affiinne teisendus

Affiinne teisendus säilitab nurgad lõikuvate joonte vahel – paralleelsed sirged teisenevad mittelõikuvateks (joon. 2.7.1.3b). Teisenduse arvutame näiteks nii:

$$\begin{aligned} X' &= s_X \cdot X \cdot \cos \alpha - s_Y \cdot Y \cdot \sin \alpha + T_X \\ Y' &= s_X \cdot X \cdot \sin \alpha + s_Y \cdot Y \cdot \cos \alpha + T_Y \end{aligned} \quad (2.7.1.3)$$

kus T_X ja T_Y on X ja Y koordinaadi nihked; s_X ja s_Y – mõõtkava muutused ja α – pöördnurk. Erinevus konformsest teisendusest (2.7.1.2) arvestatakse nüüd mõõtkavam muutust sõltuvalt suunast.

Projektiivne teisendus

Projektiivne teisendus jätab sirged sirgeteks ja toimub järgmiste valemitega

$$\begin{aligned} X' &= \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3}{b_1 Y + b_2 Y + 1} \\ Y' &= \frac{a_4 X + a_5 Y + a_3}{b_1 X + b_2 Y + 1} \end{aligned} \quad (2.7.1.4)$$

kus (X, Y) ja (X', Y') on vanad ja uued koordinaadid ning $a_1 \dots a_4$ ja $b_1 \dots b_4$ teisenduskoefitsiendid.

N-järku polünoomne teisendus

Otseteisendused teevad kolmesuguseid operatsioone:

- nihutamine;
- pööramine;
- mõõtkava muutmine;

Kõige lihtsam taolistest teisendustest on võimalik juba ainuüksi 2 sidumispunkti abil – lähtefaili “jäik” ringitõstmine, st. objektide proportsioonid ja omavahelised suhted lähtefailis ei muutu. Sel moel on hea vastavus saavutav vaid samal matemaatilisel alusel digikaartide sidumisel. 1.-järku affiinse (teeb riskülikust rööpküliku, ja vastupidi) ja projektiivse teisenduse (teeb riskülikust trapetsi) võimalused jäävad tihtilugu napiks. Siit tuleneb vajadus kõrgemat järku teisenduspolünoomide järgi:

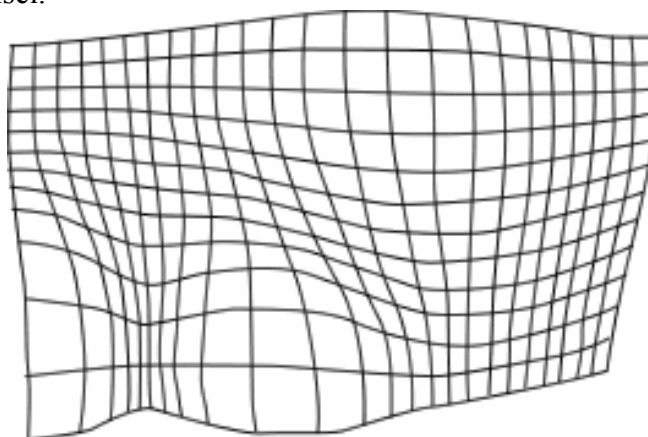
$$\begin{aligned} X^n &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2 + a_6 X^2 Y + a_7 XY^2 + a_8 X^3 + \dots \\ Y^n &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY + b_4 X^2 + b_5 Y^2 + b_6 X^2 Y + b_7 XY^2 + b_8 X^3 + \dots \end{aligned} \quad (2.7.1.5)$$

N-järku lähenduspolünoomid on väga võimsaks matemaatiliseks tööriistaks. Enamasti saavutatakse ihaldatud teisendustäpsus juba 2.- või 3.-järku polünoomidega. Üsna harvad on juhtumid, mil 4.- või 5.-järku polünoom on tõesti vajalik. Enne “statistiliste keskmiste parandamist” polünoomi järgu tõstmisega tuleks alati ID-punktide kogum kriitilise pilguga üle vaadata võimalike eksete suhtes.

1.-järku ja projektiivne teisendus teisendavad sirged sirgeteks. Samas tähendab kartograafilise projektsiooni muutmine enamasti teisendust, kus sirged ei teisene sirgeteks. Oleks hea meeles pidada, et 2.-järku polünoom esitab parabooli, kõrgemat järku teisendused veel keerukama kujuga jooni.

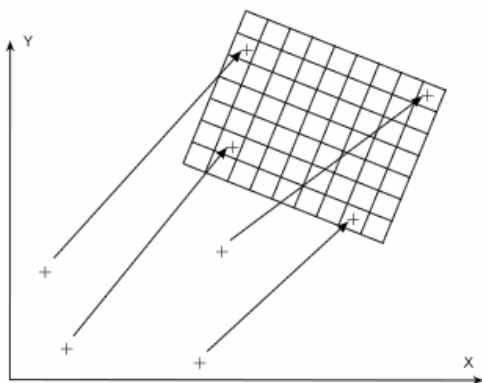
2.7.1.3. Rasterfailide sidumine ja koolutamine

N-järku polünoomsed ja projektiivsed teisendused on enimkasutatavaks ja tihtilugu ainsaks rasterfailide projektsiooniviimise ja moonutuste silumise meetodiks. Viimane vajadus võib näiteks üles kerkida skaneeritud paberkaartide sidumisel koordinaatsüsteemiga. On tavaline, et tardkaardid on aegade jooksul tugevasti deformeerunud (joon. 2.7.1.4) ja arvutis kasutamiseks tuleb kaart “sirgu tõmmata”. Samasuguseid probleeme kohtab satelliit- ja aeropiltide koolutamisel.

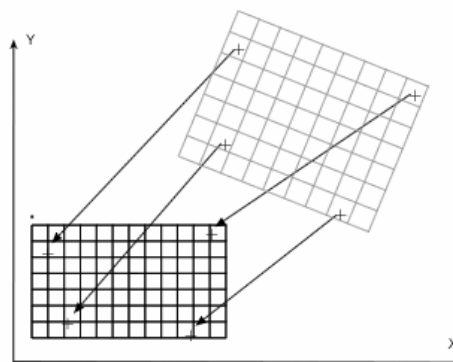


Joonis 2.7.1.4. Erineva suurusega moonutused rasterkaardil (regulaarne koordinaatvõrk).

Lihtsamate teisenduste (1.järku) korral saab rasterfaili siduda ilma koolutamiset. Sidumisel antakse vähemalt kahele punktile (pikslile) või siis ühele punktile koordinaadid uues süsteemis. Rastrite sidumisel ja koolutamisel kehtib kõik alapunktis 2.7.1.2. öeldu. Keerukamatel juhtudel saab vajalikuks rastrit *ümberjagamine*¹ ehk ümberkvantimine (ümberdiskreetimine) uuteks piksliteks, protsess, mille käigus uude



Joonis 2.7.1.5a.
Teisendus ümberjagamiseteta.



Joonis 2.7.1.5b.
Teisendus ümberjagamisega

¹ i.k. *resampling*.

koordinaatsüsteemi viidud rasterfailis arvutatakse uued kujutiselemendid mingi algoritmi alusel vanadest pikslitest (joon 2.7.1.5). Andes nüüd ette pildielementide ridade ja veergude orientatsiooni ning pikslite mõõtmed antud süsteemis, ongi rasterkaart uude projektsiooni viidud.

2.7.1.4. Vektorfailide sidumine ja koolutamine

Kasutaja jaoks ei erine vektorfailide projektsiooniteisenduse lähendusfunktsioonide otsimise ideoloogia rasterfailide töötlemise omast: ID-punktide kaudu määratakse koordinaatide teisenduste polünoomide parameetrid ning seejärel toimub ümberarvutus.

Vektorfailid on ümberrehkendustel “paindlikumad” rasterfailidest, kuid liialt kuritarvitada sellega ei maksa – loetamatuks muutunud kaardipildist on vähe kasu.

Geograafiliste koordinaatide teisendus lähendusvalemiga

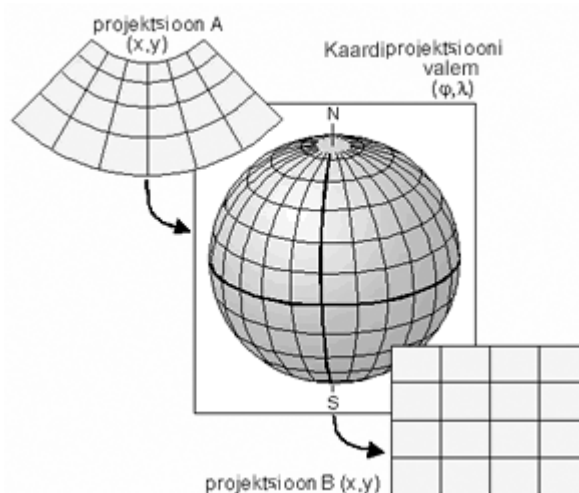
Lähendusvalem geograafiliste koordinaatide teisendamiseks on leitav täpselt sama üldskeemi kohaselt nagu ristkoordinaatide puhulgi.

Teisendus geograafiliste koordinaatide kaardivõrgul valitud ID-punktide kaudu ei ole reeglina geograafiliste koordinaatide teisendus, kuna arvuti loeb koordinaate ristkoordinaatides.

Lihtsad projektsiooniteisendused

Projektsiooniteisenduse all kitsamas mõttes käsitleme digitaalkaardi projektsiooni muutmist ilma daatumivahetuseta (joon. 2.7.1.6.).

GIS-tarkvarapaketid omavad teisendusmooduleid (mis installeeritakse koos põhiprogrammiga või on eraldi lisatavad), mille olemasolul taandub kogu projektsiooniteisendus ümbersalvestamisele koos soovitud projektsiooni valikuga. Kuna siin ei erine kasutaja vaatevinklist lihtne projektsiooniteisendus keerulisemast, st. daatumite teisendusega konverteerimisest, siis käsitleme neid koos.



Joonis 2.7.1.6. Lihtne projektsiooniteisendus (Knippers, 2000).

Siinkohas tuleks teha selge vahe kaardipildi muutmise ja täpisteisenduste vahele. On olemas terve kategooria tard- ja rasterkaarte, mille puhul kaardikujunduse kunstiline tase ja legendi ning tingmärkide/tähistuste kerge loetavus on esikohal, samas mõõdukad kõrvalekalded matemaatiliselt korrektselt sidumistäpsusest aga ei mõjuta oluliselt kasutamist. Sellest tulenevalt ei ole teisenduse matemaatiline perfektsus trüki- ja kuvakaartide koostamisel meie jaoks alati kõige primaarsem. Seega võime graafilisi elemente teisendada

lihtsustatud valemite (2.7.1.6) abil kasutades teatud lähendusi, näiteks lugedes Maa kerakujuliseks ning tehes teisenduse üle rist(kaardi)koordinaatide¹.

$$\begin{aligned} \phi, \lambda &= f(X, Y)_{\text{projektsioon}A} \text{ pöördvõrrand projektsioonile } a \\ X', Y' &= f(\phi, \lambda)_{\text{projektsioon}A} \text{ otsevõrrand projektsioonile } b \end{aligned} \quad (2.7.1.6)$$

Seda teed on läinud mitmed kujundusprogrammide kaardimoodulid, aga samuti matemaatilise rakendustarkvara loojad. Täpsemate teisenduste puhul tuleb kasutada hoopis keerulisemaid üleminekuvalemeid.

Projektsioonivahetuste korral tuleb tööriist valida vastavalt vajadustele. Kujundusprogrammide projektsioonivahetuse hõlpsus võib viia meid väga raskeltlähenduvate probleemideni, kui me soovime oma digitaalkaarti mõnes suuremat täpsust nõudvas GIS-rakenduses pruukida.

Projektsiooniteisendus üle geograafiliste koordinaatide

Punktis 2.7.1 kirjeldatud otseteisenduse võimaluse puudumisel saab kasutada kaudsemaid meetodeid. Üheks niisuguseks on arvutusskeemid üle geograafiliste koordinaatide.

Kõige lihtsamal juhul (joonis 2.7.1.1) minnakse samal geodeetilisel daatumil ja ellipsoidil üle teisele kartograafilisele projektsioonile.

Teisel juhul on vajalik ka geodeetilise daatumi vahetus. Selleks on kaks võimalust: kõigepealt saab leida otsese lähendusvalemi kahe geograafiliste koordinaatide süsteemi vahele (vt. 2.7.1); teine võimalus on kasutada üleminekuvalemeid, mille abil daatumite omavaheliste nihete ja ellipsoide kirjeldavate parameetrite kaudu leitakse parandid geograafilistele koordinaatidele uues süsteemis. Laialt levinud on Molodenski (*Molodensky*) teisendused.

Molodenski teisendusega saab daatumi nihetest ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), punkti laiuskraadist ϕ ja pikkuskraadist λ ning kõrgusest ellipsoidi kohal h arvutada parandid pikkus- ja laiuskraadile ning kõrgusele ellipsoidist. Kasutusel on kaks versiooni: lihtsustatud (i.k. *abridged*) ja standartne Molodenski teisendus.

Lihtsustatud Molodenski teisendus:

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= [-\Delta X \sin \phi \cos \lambda - \Delta Y \sin \phi \sin \lambda + \Delta Z \cos \phi + (f \Delta a + a \Delta f) \sin 2\phi] / \rho \\ \Delta \lambda &= (-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda) / (N \cos \phi) \end{aligned} \quad (2.7.1.7)$$

$$\Delta h = \Delta X \cos \phi \cos \lambda + \Delta Y \cos \phi \sin \lambda + \Delta Z \sin \phi + (a \Delta f + f \Delta a) \sin^2 \phi - \Delta a.$$

a ja a' on ellipsoidide peateljed, f ja f' – lapikused.

Meridiaani kõverusraadius ρ avaldub:

$$\rho = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (2.7.1.8)$$

Laiuskraadi esimese vertikaali kumerusraadius N arvutakse valemiga (2.6.6.2).

¹ Kaardiväljaga otseselt määrav ristkoordinaadistik, tavaliselt on alguspunktiks kaardivälja nurk.

Molodenski standardteisendus (annab geograafiliste koordinaatide parandid nurgasekundites):

$$\begin{aligned} \Delta\phi'' &= \{ -\Delta X \sin\phi \cos\lambda - \Delta Y \sin\phi \sin\lambda + \Delta Z \cos\phi \\ &\quad + \Delta a (Ne^2 \sin\phi \cos\phi) / a + \Delta f [\rho (a/b) \\ &\quad + (b/a)] \sin\phi \cos\phi \} \cdot [(\rho + h) \sin 1'']^{-1} \\ \Delta\lambda'' &= [-\Delta X \sin\lambda + \Delta Y \cos\lambda] \cdot [(N+h) \cos\phi \sin 1'']^{-1} \\ \Delta h &= \Delta X \cos\phi \cos\lambda + \Delta Y \cos\phi \sin\lambda + \Delta Z \sin\phi \\ &\quad - \Delta a (a/N) + \Delta f (b/a) N \sin^2\phi \end{aligned} \tag{2.7.1.9}$$

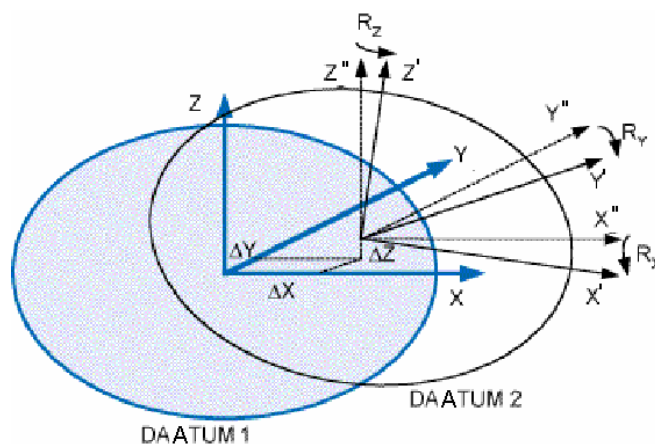
Teisendatud geograafilised koordinaadid avalduvad:

$$\begin{aligned} \phi' &= \phi + \Delta\phi \\ \lambda' &= \lambda + \Delta\lambda \\ h' &= h + \Delta h. \end{aligned} \tag{2.7.1.10}$$

Molodenski teisenduste puuduseks on vajadus teada punktide kõrgusi ellipsoidist.

Projektsiooniteisendused daatumite vahetusega

Kõige hõlpsam on ühelt geodeetilisel daatumilt teisele üle minna kasutades vaheteisendust üle geotsentriliste ristkoordinaatide. Sellisel juhul on tegu kahe kolmemõõtmelise ristkoordinaadistiku teisendusega. Arvutuskeem oleks järgmine: (1) ristkoordinaatidelt geograafilistele, (2) geograafilistelt geotsentrilistele, (3) arvutatakse ristkoordinaadid uues süsteemis (koordinaattelgede nihutamine ja pööre). Edasi arvutatakse (4) geotsentrilistest uuesti geograafilised ja viimastest ristkoordinaadid. Tuleb märkida, et pöördteisendus geotsentrilistelt ristkoordinaatidelt geograafilistele koordinaatidele üleminekuks ei ole lihtne. Võrrandites (2.7.1.11) on laiuskraad võrrandi mõlemal poolel, laiuskraadi esimese vertikaali kumerusraadiuse N avaldises (2.6.6.2). Seepärast on Browningi pöördvõrrandid kasutatavad ainult üle mitmekordse iteratsiooni¹. Iteratsiooni käigus arvutatakse senikaua laiuskraadi väärtusi, kuni see enam ei muutu.



Joonis 2.7.1.7. Daatumite vahetus.

¹ Arvutuskeemide puhul, mis käivad üle geotsentriliste ristkoordinaatide, on iteratsioonide kasutamine reeglipärane. Kui meil on iteratsioonita otsevalemid, tuleb itereerida pöördvalemite ja vastupidi.

$$\begin{bmatrix} \lambda \\ \phi \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan(Y/X) \\ \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h}\right)^{-1}\right) \\ \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi \cos \lambda} - N \end{bmatrix} \quad (2.7.1.11)$$

Bursa-Wolffi 7-parameetiline teisendus

Bursa-Wolffi 7-parameetiline teisendus (i.k. paralleelnimetusega *helmert*) on populaarne töövahend geotsentriliste koordinaatsüsteemide vahetusel. Valem (3.1.6.2) kasutab 7 parameetrit: nihkeid ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$), pöördeid (R_X, R_Y, R_Z) ja skaalafaktorit M .

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} 1 & R_X & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_X & -R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} \quad (2.7.1.12)$$

Molodenski 7-parameetiline teisendus

Daatumite vahetust on võimalik teostada ka geodeetilise daatumi lähtepunkti (i.k. *initial point*) suhtes. Molodenski 7-parameetiline teisendus (2.7.1.13) nihutab ja keerab koordinaattelgi lähtepunktiga seotud koordinaattelgi. Skaalafaktorid on samuti defineeritud lähtepunkti suhtes.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta V \\ \Delta W \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega & -\psi \\ -\omega & 0 & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U - U' \\ V - V' \\ W - W' \end{bmatrix}_i + \Delta S \begin{bmatrix} U - U' \\ V - V' \\ W - W' \end{bmatrix}_i \quad (2.7.1.13)$$

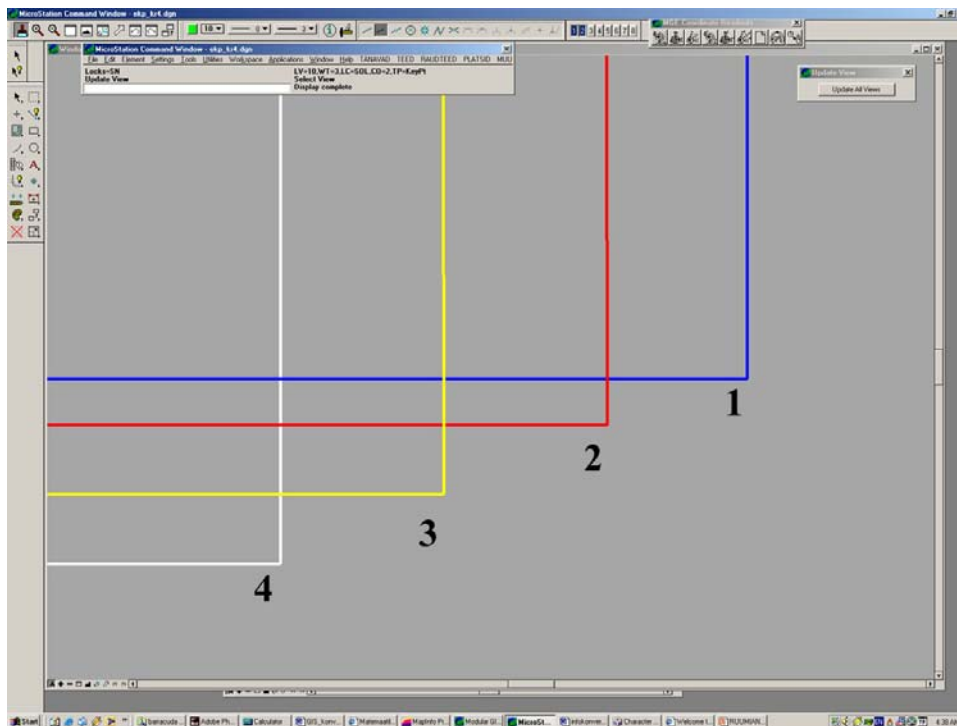
Iga i -nda sidumispunkti ($i = 1 \dots n$) koordinaadid uues süsteemis on $(X, Y, X)_i$ ja algses süsteemis (U, V, W) . Algsüsteemi lähtepunkti koordinaadid on (U', V', W') . Koordinaattelgede pööretel ($\omega, \psi, \varepsilon$) loetakse positiivseks suunaks pöördumine vastupäeva, lähtepunktist vaadates. Kui lähtepunkti koordinaadid (U', V', W') pole teada, võetakse need vaikimisi nulliks.

Projektsiooniteisenduste täpsus

Projektsiooniteisendused nõuavad väga kõrget *matemaatilist täpsust*: edasi-tagasi teisendusel ei tohiks tekkida punktide nihkeid mis ületavad poole faili lahutusühiku väärtust. Vastasel korral hakkab kaardipilt algse suhtes “triivima” (joon. 2.7.1.8).

Teisendusparameetritest ja arvutusmetoodikast tulenevat metoodilist viga hinnatakse erinevate projektsiooniteisenduste jaoks (Jagomägi, 2006):

- 3-parameetiline (geotsentrilise koordinaatsüsteemi alguspunkti nihe) ~ 10 m;
- Molodenski teisendus ~ 5 m;
- Bursa-Wolffi teisendus ~ 1 m;
- N -järku lähenduspolünoomid $\sim 0,1$ m.



Joonis 2.7.1.8. Kaardipildi “triiv” neljal järjestikusel “edasi-tagasi” teisendustel (MGE)

2.7.2. Vormingu muutmine

Vorminguks nimetatakse *andmete* ettemääratud korraldusviisi andme-töötluses¹, s.t. andmete struktureerimis- ja paigutusviisi failis.

Andmevormingu muutmine on virtuaalsuses igapäevane operatsioon ja tarkvara võimekuse üheks näitajaks ongi erinevate formaatide hulk, mida see lugeda oskab. GIS-tarkvara (näiteks *ArcGIS*, *Geomedia*, *TatukGIS*) suudavad erineva vormingus faile omaette andmekihtidena ühises tööruumis avada või omavad konverteereid vormingute muutmiseks.

Enamasti toimub vormingu muutumine suuremate komplikatsioonideta. Siiski on mõningaid momente, millele tasub rohkem tähelepanu pöörata.

Rasterfailide valupunktiks võivad osutuda värvid – uues vormingus ei pruugi värvid täpselt samaks jääda. Üks võimalus originaalvärvide kadumaminekuks on erinev lubatud värvitoonide arv eri vormingutes. Üldkasutatav GIS- ja CAD tarkvara eelistab siiaamaani vaikiva standardina 256-värvilist (RGB) kodeeringut. Ka CMYK-i toetus ei ole endastmõistetav. Kujundus- ja rastritöötlustarkvara aga lubab juba ammu palju suuremat hulka värve. Siit oht, et hästikujundatud rasterpilt võib GIS või CAD keskkonnas paista inetu (joon. 2.7.2.1) või keelduda üldse avanemast.

Tarkavaramoodulid, mis kuvavad rasterpilti ja need, mis töötlevad seda, on üsna sageli tehtud erinevate tegijate poolt. Pole väga haruldane juhus, kui need rastrist ja üksikeisest aru ei saa.

¹ Vorminguid võib jaotada sisendvorminguteks, salvestusvorminguteks ja väljundvorminguteks, sealhulgas kuvavorminguteks.



Joonis 2.7.2.1a. 8-bitine TIF (RGB).

Joonis 2.7.2.1b. 24-bitine TIF (RGB).

Vektorfailide vormingu muutmisel (vt. 2.4) on esmajärjekorras problemaatiline graafikaelementide kujundusega seonduv: (1) *värvipaletid*, (2) *joonestiilid* ning *pindade mustrid* (täidised). Seega on oht, et graafilise andmebaasi *atribuutidega* (värvus, stiil, kiht ja paksus) antud info läheb konverteerimisel kaotsi.

Palju peavalu võivad põhjustada graafilised elemendid või elementide grupid, mis ei konverteeru korralikult või üleüldse (vt. 2.4.3). Mõnda tüüpi elemendid (õnneks esineb neid harva) võivad sihtfaili täielikult rikkuda ja muuta avamiskõlbmatuks. Küllaltki tavalised on raskused uuemas tarkvaras tehtud andmete esitusviisi ümbervormimisel formaati, mis on küll antud tarkvaraperekonna originaalvorming, kuid leiab pruukimist tunduvalt varem toodetud versioonis. Komplikatsioone võib esineda ka sama tooteperekonna erinevate versioonide failiformaatide vahel.

Eeluuringud, millest oli juttu paragrahvis 2.4, tuleks kindlasti ette võtta enne iga tähtsamat konverteerimist kui on tegu kas tundmatute andmete, vormingute või tarkvaraga.

2.8. KOKKUVÕTEKS

Käesoleva töö teine peatükk „Keskkonnainfo lõimimine” põhineb autori üle 10-aastaselt töökogemusel informaatikuna. Õpingud Tartu Ülikoolis keskkonnafüüsika erialal paralleelselt igapäevase kokkupuutega GIS-maailmaga viisid infolõimimise temaatika juurde. Õppides ise ja õpetades teisi tekkis vajadus isiklikku kogemust üldistada ning laiendada.

Matemaatilis-loogilise aluse teisendused ei ole füüsika ja matemaatika jaoks midagi uut, tegu on *baasiteisendustega* ja teoreetilisel tasandil on need hästi läbi uuritud. Küsimus on baasiteisenduste süsteemi sellises algoritmiseerimises, mis lubaks seda automaatselt rakendada infovoogude lõimimisel.

Tänu riistvara- ja tarktootjate ühispingutusele on kunagised probleemid ühilduvusega tavakasutaja jaoks peaaegu lahenenud. Seadmed, mis võimaldavad infovahetust teiste arvutite ning arvutivõrkudega on üldkasutatavad, võib isegi öelda – saanud maailmakultuuri osaks.

Kunagised ühe kitsa IT-platvormi kesksed lahendused lähevad minevikku. Info saamine oma süsteemi ei ole enam keeruline tehniline probleem. Internetiajastu üheks tunnuseks on info üleküllus (Engelbrecht, 2004). Taustainfot, teemainfot – jagatakse üsna tihti täiesti „tasuta”. Probleem on hoopis selles mida taolise rikkusega pihta hakata.

Keskonnauuringud pole infouputuse osas erandiks. Arvutielese ajastu meetodit järgides andmeid hiirega kinni haarates bitt-haaval ühest failist teise tõsta ei vii sihile. Filigraanne töö üksikute baitide kallal võib mõneks ajaks pakkuda tegevust, kuid lõpeb mahajäämusega teadmistes ümbritseva maailma kohta. Mahajäämus teadmistes viib ülejõukäivate probleemide kuhjumisele.

Püsimiseks muutuvast maailmas tuleb asjadega kursis olla, selleks tuleb vahetada infot – lõimida seda oma infosüsteemi. Selleks tuleb info leida, kontrollida selle õigsust ja seejärel see integreerida. Õigsuse tuvastamine ei kasutaja suva, vaid hädavajadus. Kui miski on arvutis, ei tähenda veel selle õigsust. Kõlbmatud andmed näevad esmapilgul välja samasugused nagu head.

Infotehnoloogia ja abstraktsed mudelid on olemuselt ükskõiksed (tolerantsed). Sellel tasemel on kõik lihtne: mudel võib olla õige või vale, kuid infotöötlaste vaatevinklist sellest küll mingit probleemi pole. Isegi kõige keerukamate infoskeemide lõimimisel ei tohi unustada, et tegu on reaalsuse lihtsustatud ja piiratud ulatusega peegeldusega.

Maaailma tunnetamisel kogunev info ladestub infoobjektidena infosüsteemides. Need infoobjektid moodustuvad vastavalt mingile üldisele maailmakäsitlusele – paradigmat. Infoobjektide teisendustsükkel:

paradigma → nähtus → olem → objekt → leppemärk → paradigma

annab paradigma raames võimaluse tunda nähtusi sümbolite järgi ära ja opereerida selle infoga nii süsteemisiseselt kui süsteemide vahel. See protsess on tagasisidestatud: paradigma määrab reaalsuse lahterdamise nähtusteks kuid infosüsteemi kasutamise *kogemus* materiaalse maailma muutmiseks reaalsusele vastavaks mõjutab omakorda paradigmat.

Automatiseeritud infohõive suurendab süsteemi võimsust ja *peaks* andma inimestele rohkem aega informatsiooni sisulise küljega tegelemiseks. Infosüsteem ei ole lihtsalt füüsikaline struktuur või mõtteline osa keskkonnast, infosüsteem on vahend juhtimiseks. Just selles valguses tuleb vaadata infovahetust, eriti just uue info lõimimist oma süsteemi. Infosüsteemi edukaks funktsioneerimiseks on vajalik selle sünkroonsus ümbritseva keskkonnaga. Infosüsteem ei tohi jääda maailmast ajas maha.

Sünkroniseerimine tähtsus on infosüsteemide kommunikatsioonis fundamentaalne. Asünkroonsus süsteemis tekitab pinged, mis avalduvad süsteemi deformeerivate tungidena Nihked kontekstis¹ ja süsteemi ning süsteemi osade omaajas võivad piisava suuruse korral süsteemi purustada. Infosüsteemid alluvad nn. *kommunikatsiooniteoreemile: ühendused infosüsteemi keskme ja osade vahel peavad arenema kiiremini kui perifeeria*. Vastasel korral antud infosüsteem killuneb. Tsentrumi läbilaskevõime peab edestama ääremaa oma². Tõhus koormuse ümberjaotamine vastavalt vajadusele suurendab süsteemi püsivust. Kommunikatsiooniteoreemi saab formuleerida nii: *süsteemi fragmenteerumise vältimiseks peab iseloomulik kommunikatsiooniaeg ääremaa ja keskuse vahel olema lühem kui keskuse sekkumist vajavate protsesside iseloomulik kestus*. Kommunikatsiooniaeg ei ole siinkohas füüsikalise signaali (näiteks raadiosignaali) levimise aeg. See on aeg reageerimist nõudva protsessi ilmnemisest vastumeetmete *rakendumiseni*³.

¹ Süsteemi „inforuum“.

² Siin pole tegu ainult infovahetusega, vaid see nõue on laiendatav ka transpordile (energia, kaubad, inimesed).

³ Inimühiskonnast rääkides ei ole globaalses mastaabis see "iseloomulik aeg" isegi kõige teravamate probleemide puhul alla mõne nädala (kui kriisipiirkond oli tähelepanu fookuses), mõnel muul juhul aga võib olla aastaid ja aastakümneid (signaal ei jõua kohale, sumbub juhtimisahelates või siis puudub vastav juhtimisahel üldse). Mis tähendab seda, et süsteemi tundev otsustaja võib üsna pika aja kestel tegutseda nii, nagu poleks Keskust üldse olemaski!

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Käesolev töö on keskkonnainfo lõimimisest. Peamiseks eesmärgiks on teema avamine informatsiooni tähenduslikkuse aspektist, IT-platvormi mõjust vaba vaade infotöötlusele. Selleks lahendati mitmed ülesanded: (1) loodi infosüsteemi kontseptuaalne mudel (nn. ideaalne infosüsteem); (2) analüüsiti infovahetust infosüsteemis; (3) koostati koolitusmaterjal ruumiinfo kasutajatele.

Informatsiooni all on käesolevas töös mõistetud kõigile materiaalsetele objektidele omast edasikanduvat struktuursust, mis võib indutseerida endasarnast struktuuri teistes objektides. Informatsioon levib materiaalsete kanduritega, füüsiliste signaalide variatsiooniga antud mustritesse kodeeritud sümbolitena. Informatsiooni põhiomaduseks on muuta süsteemi seisundit, vähendades määramatust süsteemis.

Esimeses peatükis konstrueeritud *infosüsteemi kontseptuaalne mudel* ühendab endas tunnetusmudelid, informatsiooniteooria ja loodusteadusliku mõõtmismeetodi. Osutub, et maailma tunnetamine, näiteks keskkonnauuringute läbi ning infosüsteemi loomine, on ühe ja sama protsessi eri ilmingud. Põhimõtteliselt võib iga struktureeritud infohulka, st. ka süstematiseeritud teadmisi, käsitleda spetsiifilise objektina – infosüsteemina. Infosüsteem on asi, mis informatsiooni mõjul muudab oma käitumist.

Selles töös on infosüsteem defineeritud *sõnumi* ja *konteksti* kaudu. Sõnumil on tähendus antud kontekstis. Sõnumite sobivus kontekstiga määrab infosüsteemi käitumise infovahetusel. Sõnum võib juba konteksti kuuluda ja võib sellest puududa. Infovahetusel sõnum kas lülitakse konteksti või ei, kriteeriumiks on sobivus kontekstiga ehk sõnumite süsteemiga. Konteksti mõistele tuginedes on konstrueeritud käesoleva töö seisukohalt keskne infosüsteemi kontseptuaalne mudel. Viimase põhjal on selgitatud infosüsteemi käitumise põhivorme: sõnumite selekteerimist, genereerimist ja fraktsioneerumist.

Selekteerimine tähendab sõnumite valikulist lõimimist kontekstiga. Praktikas avaldub see mingi info eelistamises teisele, mõnikord ka informatsiooni või selle allika tõesuse ja kvaliteedi hinnangutes. *Genereerimine* hakanud infosüsteem täidab lüngad oma kontekstis ainult siseloogika alusel, väljastpoolt informatsiooni saamata. Selline infosüsteem võib anda koste igale esitatud päringule, kuid selle tulemus ei pruugi alati olla tõene. *Fraktsioneerumisel* killustub infosüsteem sisemiste või välimiste mõjutuste tulemusena allsüsteemideks ja võib täielikult lakata toimimast ühtse tervikuna.

Loodud mudelis määrab infosüsteemi sisestruktuuri sõnumite konteksti struktuur. Infolõimimisel toimub infosüsteemi kontekstis muutus, see omakorda tähendab muutust struktuuris. Selle kontseptuaalse mudeli rakendamine infosüsteemide analüüsiks annab hea ülevaate infovahetusel, -tootmisel ja töötlemisel toimuvast.

Virtuaalsus on tehnikavahenditega loodud keskkond sümbolitega manipuleerimiseks. Virtuaalsuses moodustub inimesest ja infosüsteemist ühtne tervik. Töös on antud ka ülevaade virtuaalsuse kui tehnika ja kultuurifenomeni ajaloost. Alates Occama Williama ja Scotuse Johni ajast on virtuaalsuse mõiste ning tunnetusteooria olnud omavahel tihedalt seotud.

Infosüsteemi mudelis on kesksel kohal *infoobjekt*, st. informatsioon, mis ei sõltu infokandjast, peab end teatud kindlal viisil ülal ja evib isearenemisvõimet. On näidatud, et reaalsuse nähtuste modelleerimine tunnetusmudelites:

reaalsus → nähtused → olemid → objektid → leppemärgid

on samaväärne vastavate infoobjektide viimisega süsteemi.

Selgelt joonistub välja inimese kui otsustaja ja väärtushinnangute allika roll reaalsust peegeldavate tunnetusmudelite koostamisel. Inimene oma maailmavaatega, oma

paradigmadega on infosüsteemi lahutamatu osa. Vaatamata erinevatele paradigmadele, on inimesed siiski suutelised omavahel suhtlema ning isegi üksteisest aru saama. Inimestevahelise mõistmise aluseks pole mitte vaadete ühtsus vaid *materiaalse maailma ühesus*. Infolõimija, eriti aga infojuht, peab olema valmis tõlkija ja vahendaja rolliks.

Kvantitatiivsed suurused vaatluste täpsuse hindamiseks, mõõtemääramatused ja -vead, on vaid üks komponent andmekvaliteeti määravatest parameetritest. Koondhinnang info kvaliteedile tuleneb tarbija rahulolust, tema kultuuritaustast ja väärtushinnangutest. Informatsiooni integreerimise seisukohast on üheks oluliseks kvaliteedinäitajaks *konverteeritavus*, mis väljendab info lõimimise kergust. Andmekvaliteedi seisukohast on oluline lõimimise käigus talletada informatsiooni töötluslugu ja pidada korras metaandmed.

Keskkonnainfost on tähelepanu keskmis selle ruumiinfo osa, jättes ökoloogilised, bioloogilised jms. käsitlused tagaplaanile. Keskkonnainfo lõimimise iseloom tuleneb selle tootmise ja tarbimise eripärast. Erinevad arusaamad keskkonnast ja loodusest, täpsemini lahknevused loodusnähtuste ning vaatluste tõlgendamisel, mõjutavad tunnetusmudeleid ja seeläbi ka integreerimist. Lõimimise seisukohast on keskkonnainfo heterogeenne ja paljuparameetriline.

Antakse *keskkonnainfo* üldiseloomustus ja peatatakse selle tootmise iseärasustel. Keskkonnainfo on väga heterogeenne info. Keskkonnainfot tarbivad peasjalikult mitmesugustest evolutsiooni- ja seosevõrranditest koosnevad keskkonnamudelid. Need mudelid lubavad heita pilgu tulevikku ja otsida lahendusi eluliste probleemide jaoks.

Rõhutatud on keskkonnauuringute sotsiaalset kõlapinda. Inimkonna arvestatava osa elutingimused on väga tundlikud elukeskkonna muutustele. Seepärast on keskkonnauuringute maht ja tähtsus kiiresti kasvanud. Elukeskkonna ja selles esinevate nähtuste keerukus ja ulatus tingib keskkonnateaduste suure teabemahukuse. Vajadus varustada keskkonnateadusi uute andmetega nõuab keskkonnainfo pidevat juurdetootmist¹.

Töö teises osas vaadeldakse *keskkonnainfo lõimimisprotsessi* kui infovahetuse alust. Tuginedes ideaalse infosüsteemi mudelile on kirjeldatud vaatleja kaemuse kui spetsiifilise infoobjekti esituse erinevates tunnetusmudelites ja muutumisi üleminekul ühest mudelist teise. Reaalsus on materiaalse maailma subjektiivne peegeldus teadvuses, suhtluse seisukohalt on reaalsus kokkulepe.

Analüüs näitab *inimest* ühe peamise infolõimimise mõjutajana. Osutub, et inimene on infosüsteemi lahutamatu komponent ja paradigmad omavad määravat tähtsust infosüsteemide toimimise aluseks olevate tunnetusmudelite konstrueerimisel. Infolõimija oma personaalse reaalsusega, vaadetega organisatsiooni eesmärkidele ja suhetele selles, omistab tähenduse informatsioonile. Nõnda sünnivad erinevaid reaalsus-, info-, andme- ja esitusmudelid.

Infolõimimisel tuvastatakse vastavused paradigmade kategooriate vahel. Tõlkimine toimub lähtudes maailma ühesusest. Samal põhimõttel põkatakse kokku ka reaalsusmudelid, põkkamisel tehakse kindlaks nähtuste teisenemisreeglid üleminekul ühest mudelist teise. Palju probleeme infolõimimisel tekitab vaade reaalsusmudelile kui andmemudeli üldistusele.

Kadude ja moonutuste vältimiseks lõimimisel on hädavajalikud *eeluuringud*, mille käigus tuvastatakse integreeritava informatsiooni struktuuri määravate mudelite omadused. Eelanalüüsi tulemusena skitseeritakse võimalikud põkkamisvariandid ja antakse esialgne hinnang kvaliteedile. Eeluuringud peavad ühtlasi välja selgitama riskifaktorid ja võimalikud piirangud. Näiteks IT-platvorm oma tehniliste võimalustega limiteerib integreerimise võimalusi peaaegu alati. Valesti planeeritud konverteerimisel võivad infoobjektid laguneda komponentideks ja nende taastamine või ümberorganiseerimine on väga töömahukas.

¹ Loomulikult pole tegu mingi keskkonnateaduste unikaalse omadusega, analoogiline olukord on ka teistes teadusharudes.

Elust võetud näidetena on tutvustatud mõnda tüüpse ruumiinfo lõimimisel ja tunnetusmodelite kasutamisel. Üheks näiteks on põhiliste 2-mõõtmelise vektorgraafika objektide: teksti, punktide, joonte ja pindade käitumine konverteerimisel. Lihtsad graafilised objektid, sisuliselt geomeetriselid primitiivid, teisenevad kergesti. Raskused algavad neist moodustatud liitobjektide ja keerulise matemaatilise struktuuriga objektide, nagu näiteks funktsiooniga esitatud jooned, konverteerimisel. Soovituslik on selliseid struktuure oma infosüsteemis vältida. Kindlasti tuleb need enne teisenduste alustamist lõhkuda lihtsateks objektideks.

Infosüsteemi mudeli *matemaatilis-loogilise aluse* olemust on selgitatud ruumiandmete matemaatilise aluse näitel. Ruumiandmete matemaatilise aluse elemendid: ühikud, täpsuse ja mõõtkava seos, kaardilehtede nomenklatuur, geodeetiline daatum, koordinaatsüsteemid ning kaardi-projektsioonid on lahti seletatud GISist lähtuvalt. See tagab ühtsuse infosüsteemi kontseptuaalmudeli ja ruumiandmete digitaalesituse vahel. Mudeli töökõlblikust demonstreerivad infolõimimise praktika vallast toodud näited erinevatest võimalustest raster- ja vektorkaartide matemaatilise aluse teisendusteks.

Üsna levinud eksimusteks ruumiinfoga töötamisel on infosüsteemi matemaatilis-loogilise aluse teadvustamatu valik. Arvuti ise “ei tea” ju midagi, kui seda pole ette öeldud. Tulemusena jääb infosüsteem maailmaga kas üldse sidumata või lähevad käiku vaikimisi etteantud parameetrid¹.

Eelöeldu põhjal on selge millist tähtsust kaasaegse infosüsteemi jaoks omab *teadliku kasutaja kasvatamine*. Teadlik kasutaja on osa infosüsteemi orgvarast, mõistab süsteemi vajadusi ja kannab endas selle kultuuri. Arusaamine infolõimimisest kui mõõdapääsmatust osast igasuguses juhtimises ja planeerimises, informaatiku kui tõlgi ja vahendaja rollist aitab edasi infotöötuse efektiivsuse tõstmisel. Iseenesest see ei tule, inimesi on vaja harida.

Üldiselt ei ole IT-d ja keskkonnainfot käsitlevatest teostest puudust. Tarvitusel on mitmesugused tarkvara ja infosüsteemide kasutamishendid ning semantika, informatsiooniteooria, informaatika, arvutitehnika, metroloogia, keskkonnaseire ja matemaatilise kartograafia alased õpikud. Samas on puudus ülevaatlikust õppematerjalist infolõimimise protsessi kui terviku kohta. Sellist koolitusvahendit on keskkonna-informaatikute kui tõlkide ja vahendajate koolitamiseks väga vaja. Loodetavasti aitab käesolev töö selgitada infolõimimise olemust ja täita mõne lünga koolitusmaterjalides.

¹ Kahjuks kohtab nn. “keskmise kasutaja” infolõime probleemiga nii nagu “Titanic” jäämäega.

4. KOKKUVÕTE

Informatsiooni saab käsitleda õige mitmest aspektist: kvantitatiivsest, semantilisest, pragmaatilisest. Infotehnoloogias on viimase poolsajandi kestel tooniandvaks arvutustehnika ja tarkvara loojad, kelle jaoks informatsioon on signaalide kogum, mis koormab sidekanaleid või täidab mälumahtu. Informatsiooni semantilised ja pragmaatilised aspektid aga jäeti peamiselt humanitaaride ning filosoofide pärusmaaks. See olukord on muutumas. Infotöötlus peab järjest rohkem tegelema informatsiooni tähendusega, info, kui otsustuste alusega.

Käesoleva töö eesmärgiks on anda infosüsteemi käsitlus lähtudes informatsiooni tähenduslikkusest. Autori töö- ja teadusalase suunitluse tõttu on rõhuasetus pandud ruumiga seotud keskkonnainfole.

Informatsioon on käsitletav kui edasikanduv struktuursus, iseloomustab võimet indutseerida sarnast struktuursust teistes objektides. Osutub, et maailma tunnetamisel inimteadvuses kujunevad formalismid on infosüsteemis manipuleeritavad reaalsust modelleerivate infoobjektidena. Selleks tuleb need esitada füüsilise signaali variatsiooniga teatud kodeeringus – märkide ja sümbolitena. Signaalimustriga esitatud infoobjektide töötlemiskeskonda infosüsteemis nimetatakse virtuaalsuseks. Tehnikavahenditega loodud virtuaalsus moodustab inimesest ja infosüsteemist ühtse terviku.

Infosüsteemi saab defineerida ka sõnumite ja konteksti mõistete kaudu. Sõnumil on tähendus antud kontekstis. Sõnumite sobivus kontekstiga määrab infosüsteemi käitumise infovahetusel. Sõnum võib juba konteksti kuuluda ja võib sellest puududa. Infovahetusel sõnum kas lülitakse konteksti või ei, kriteeriumiks on sobivus kontekstiga ehk sõnumite süsteemiga. Konteksti mõistete tuginedes on konstrueeritud käesoleva töö seisukohalt keskne infosüsteemi kontseptuaalne mudel. Viimase põhjal on selgitatud infosüsteemi kolme põhikäitumist infovahetusel: sõnumite selekteerimist, genereerimist ja fraktsioneerumist.

Selekteerimine tähendab sõnumite valikulist lõimimist kontekstiga. Genereerimise hakanud infosüsteem võib täita lüngad oma kontekstis ainult siseloogika alusel, väljastpoolt sõnumeid saamata. Fraktsioneerumisel killustub infosüsteem sisemiste või välimiste mõjutuste tulemusena allsüsteemideks ja võib täielikult lakata toimimast ühtse süsteemina.

Loodud mudelis määrab infosüsteemi sisestruktuuri ära sõnumite konteksti struktuur. Infolõimimisel toimub infosüsteemi kontekstis muutus, mis omakorda tähendab muutust struktuuris. Selle kontseptuaalse mudeli rakendamine infosüsteemide analüüsiks annab hea ülevaate infovahetusel, -tootmisel ja töötlemisel toimuvast. Selgelt joonistub välja inimese kui otsustaja ja väärtushinnangute allika roll reaalsust peegeldavate tunnetusmudelite koostamisel.

Informaatika vaatenurgast on keskkonnainfo omapäraks heterogeensus ja parameetrite rikkus. Keskkonnainfo on pärit ajas ja ruumis ebaühtlaselt jaotunud eritäpsuselistest vaatlustest, mille kvaliteet võib olla üsna varieeruv. Sageli on tegu suurte infomahtudega, mida töödeldakse operatiivselt või isegi reaalsajas, see seab omad nõudmised infolõimimisele.

Keskkonnainfo lõimimisel on põhiprobleemideks paradigmade ja tunnetusmudelite erinevused, vaatlustehnika ja IT-platvormi võimalustest tulenevad piirangud. Igal mudelil keskkonnainfosüsteemis on oma matemaatilis-loogiline alus. Käesolevas töös on selle olemust ja käitumist lõimimisel selgitatud ruumiandmete matemaatilise aluse näitel. Mudelite kokkupõkkamise probleemidest on pikemalt on peatunud tähtsamate geomeetriliste primitiivide: punktide, joonte ja pindade käitumisel konverteerimisel.

Ruumiandmete matemaatilise aluse elemendid: ühikud, täpsuse ja mõõtkava seos, kaardilehtede nomenklatuur, geodeetiline daatum, koordinaatsüsteemid ning kaardi-projektsioonid on lahti seletatud GISist lähtuvalt. See tagab ühtsuse infosüsteemi kontseptuaalmudeli ja ruumiandmete digitaalesituse vahel. Mudeli töökõlblikust demonstreerivad infolõimimise praktika vallast toodud näited erinevatest võimalustest raster- ja vektorkaartide matemaatilise aluse teisendusteks.

Infosüsteemi kontseptuaalmudel (nn. ideaalne infosüsteem) annab mugava esituse info lõimimise olemusest, mis sobib nii infovahetuse analüüsimiseks kui infosüsteemi põhifunktsioonide selgitamiseks. Mudeli tugevus on terviklikkus, mis seob ühte tunnetusteooria filosoofilise tausta ja informaatiku igapäevased töömured. See muudab hõlpsamaks suhtluse infolõimijate vahel parandab vastastikust arusaamist.

Tarvitusel on mitmesugused tarkvara ja infosüsteemide kasutamishendid ning semantika, informatsiooniteooria, informaatika, arvutitehnika, metroloogia, matemaatilise kartograafia alased õpikud. Samas on puudus ülevaatlikust õppematerjalist infolõimimise protsessi kui terviku kohta. Sellist koolitusvahendit on keskkonnainformaatikute kui tõlkide ja vahendajate koolitamiseks väga vaja.

Loodetavasti aitab käesolev töö lähendada mõtteviise infolõimimise alal ja täita mõned lüngad koolitusmaterjalides.

SUMMARY

The current MSc. thesis “*Information integration*” describes the information processing cycle in information systems, arising from the conceptual model of an ideal information system constructed for analysis of information integration.

The main goals of the current study are:

- 1) to elaborate a conceptual model for information systems;
- 2) to analyze the information change processes in information systems;
- 3) to compile professional learning material for informatics and environmentalists.

This research focusses on constructing a conceptual model for information systems and for information integration. *Information integration* in the context of the current research is regarded as an integral part of the information processing in the information systems.

In general, information is a fundamental characteristic of material objects. Information can be described as a structural form which can be transferred from one object to another. The main characteristic of information is the possibility of inducting similar structures in other objects. Information can also be described as knowledge concerning objects - facts, events, things, processes, or ideas – at the same time also including concepts that have a particular meaning within a certain context.

The information is not data. The words, *information* and *data*, are used interchangeably in many contexts. This may lead to their confusion. However, they are not synonyms. Data is a reinterpretable representation of information in a formalized manner suitable for communication, interpretation, or processing.

An information system should be taken as a set of messages, where each message has meaning only within its context. If the message matches the context, it is integrated into the system - the context determines the meaning of the message. The conceptual model of the information system was built up by extending the concept of message context as dynamic infostructure. On the basis of the conceptual model, which can also be named as the *ideal information system*, a model for information exchange is constructed. It is important for the ideal information system to take care of the following three actions things while integrating information:

- Selection;
- Generation;
- Fractioning.

These three main aspects give an understanding about the basics of information integration. Selection here means selectively integrating information into the context. Generation of the information system fills empty spaces only by using its own inner logic and without getting any messages from outside. During fractioning the information system is fragmentized into smaller sub-systems due to inner or outer influences, potentially causing it to completely cease operating as a unified system.

The inner structure of the created model is defined by the structure of the context of the messages. Basically, while integrating information, the structure of the information system changes due to the changing context. The effectuation of this conceptual model gives us a great overview of what is happening during integration, producing and editing the information. The important role of people as decisionmakers and sources of different values is clearly visible.

From an informational point of view, environmental information is heterogeneous with a lot of parameters. It usually comes from different sources, often of variable quality. This means dealing with a large amount of information which is being operatively edited, sometimes even in real-time.

While integrating environmental information, problems arise when paradigms differ from cognitive models. Diverse remote sensing technologies and infotechnological platforms have their limitations. Each model in the environmental information system has a mathematical-logical base, the behavior of which in the current research on information integration is explained by showing the mathematical base of spatial data. Derived from problems relating to joining different models, research is focussed on converting geometric primitives, such as points, lines, areas.

The elements that form the mathematical base of spatial information - units, map sheet nomenclature, relationship between accuracy and map scale, geodetic datum, coordinate systems and map projections – are covered from the geoinformation systems (GIS) point of view. In this way, the unity between the conceptual model and spatial data digital presentation is achieved.

The conceptual model of information systems ensures a convenient rendition of the essence of information integration. It is appropriate for analyzing and explaining the main functions of information systems. The greatest strength of the model is its completeness, uniting the philosophical background of cognitive theories with the everyday problems of an average person dealing with informatics.

There are many different manuals that explain how to use software and information systems. On the other hand, there is a lack of compendious learning material about integrating information in basic. There is a need to educate environmental specialists, which is one of the objectives of research such as this.

The major problem of information integration lies in combining information from different sources and providing users with a unified view of the required data. The need for integrating information appears to increase with time as producing environmental information is becoming more and more important for each and every one of us. The increasing amount of information has led to a real information explosion – it has been the focus of countless extensive theoretical works. Yet, there are numerous problems that still remain open and unsolved.

ALLIKAD

SÕNASTIKUD JA TEATMETEUSED

- ENE 1, 1985** *ENE 1. Kirjastus "Valgus", Tallinn, 1985*
- ENE 3, 1988** *ENE 3. Kirjastus "Valgus", Tallinn, 1988*
- ENE 4, 1989** *ENE 4. Kirjastus "Valgus", Tallinn, 1989*
- EE 5, 1990** *EE 5. Kirjastus "Valgus", Tallinn, 1990*
- EE 7, 1994** *EE 7. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 1994*
- EE 8, 1995** *EE 8. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 1995*
- EE 9, 1996** *EE 9. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 1996*
- EE 10, 1998** *EE 13. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 1998*
- EE 13, 1999** *EE 13. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 1999*
- Eesti Entsüklopeedia III** *Eesti Entsüklopeedia III. k/ü "Loodus", Tartu, 1934*
- Eesti Entsüklopeedia VIII** *Eesti Entsüklopeedia VIII. k/ü "Loodus", Tartu, 1937*
- Eesti kirjakeele..., 1992** *Eesti kirjakeele seletussõnaraamat. Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn, 1992*
- EIK, 1998** *Infotehnoloogia terministandardid.
<http://www.eik.ee/standard/terminid/>*
- EIS, 2005** *Eesti infotehnoloogia standardid. 2005,
<http://www.riso.ee/et/it-standardimine/eesti-infotehnoloogia-standardid>*
- EJK, 2005** *Märksõnade register. Eesti juhtimiskvaliteedi keskus, 2005,
<http://www.ejk.info/pages.php/011602,107>*
- e-Teatmik, 2004** *e-Teatmik. <http://www.vallaste.ee/> 2000-2006*
- IS, 1993** *Eesti standard EVS-ISO/IEC 2382. Infotehnoloogia. Sõnastik.(Lõppkavand). Eesti Standardikeskus, 1993*
- Jagomägi, 1997a** *Terminid (Kaardid ja GIS 2000. aasta rahvaloendusel).
<http://www.geo.ut.ee/gis2000/terminid.html>, Tartu 1997*
- Keelveeb** *Keeleveeb, <http://keelveeb.edu.ee/>*
- Kuus et al., 2002** *Geoinformaatika standardid (ülevaade). Hanno Kuus, Peep Krusberg, Raivo Rebane, 2002,
<http://ats.riik.ee/amphora/home/projektid/gis/Standardid/HTML/index.html>*
- ÕS, 1999** *Eesti keele sõnaraamat ÕS 1999. Eesti Keele Sihtasutus, Tallinn, 1999*
- Tavast, Hanson, 1998** *Arvutikasutaja sõnastik. <http://ee.www.ee/AKS/>, KeeleWeb, 1998*
- TEA Võõrsõnastik, 1998** *Võõrsõnastik. TEA Kirjastus, Tallinn 1999*
- TEA1, 1997** *Teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat. TEA, 1997*
- Wikipedia, 2006** *en.wikipedia.org*
- Wikipedia, 2006** *et.wikipedia.org*

KASUTATUD KIRJANDUS

- Adam, Gangopadhyay, 1998** Adam, N.; Gangopdhyay, A. „*Database Issues in Geographic Information Systems*”. Kluwer Academic Publishers, 1998
- Alberts et al., 1999** Alberts, David S.; John J. Garstka and Frederick P. Stein. "Network Centric Warfare - 2nd Edition". CCRP, 1999, 284 p.
- Alberts et al., 2001** Alberts, David S.; Garstka, John J.; Hayes, Richard E.; Signori, David A. „*Understanding Information Age Warfare*”. CCRP, 2001, 312 p.
- Briggs, 2003** Ron Briggs. „*Data Quality*”.
<http://www.utdallas.edu/~briggs/poec6381.html>,
Dallas, Dallas University, 2003
- Callaos, B., Callaos, N., 2002** Callaos, B., Callaos, N. „*Toward a Sytemic Notion of Information: Practical Consequenses*”. *Informing Science*, Volume 5 No 1, 2002, pp. 10
- Carson, 1962** Carson Rachel. „*Silent Spring*” (e.k. „*Hääletu kevad*”, 1968, 251 lk.). Houghton Mifflin, Boston, 1962
- Dana, 1999-2003** Dana. P. H. „*Geodetic Datum Overview*. 1999-2003.
http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum_f.html
- Dent, 1990** Dent, Borden D. „*Cartography: Thematic Map Design*”, 3rd Edition. Wm. C. Brown Publishers, Georgia State University, Georgia, 1990, 427 p.
- DMA 8358.1** „*Datums, Ellipsoids, Grids, and Grid Reference Systems. Defense Mapping Agency technical manual 8358.1.*”
<http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/toc.html>
- Eerme, 1996** Kalju Eerme. „*Keskkonnaõpetus*”. Konspekt. Tartu, 140 lk.
- Engelbrecht, 2002** Jüri Engelbrecht. „*Teadmispõhisest ühiskonnast. Academia ettekande "Teadmispõhise ühiskonna võimalikkusest" lühivariant.*” Tartu, *Universitas Tartuensis*, 2004, lk.2
- EVS-EN ISO 9000:2001** „*Kvaliteedijuhtimissüsteemid*”. Kogumik (trüki ja CD). Eesti Standardikeskus, 2001
- Füüsikaliste... 2001** „*Füüsikaliste mõõtmiste alused*”, 2001
<http://www.aabits.com/konspektid/fyysika.htm>
- Geodesy Tutorial, 2003** „*Geodesy Tutorial*”
http://www.qgsi.com/geodesy_tutorial/geodesy.shtml ,
Quest Geo Solutions Ltd., 2003
- Gratton et al., 2004** Lynda Gratton, Alison Donaldson, Sumantra Ghosal. „*Nokia: The challenge of continuous renewal*” London Business School, 2004
- Gratton, 2005** Lynda Gratton. 2005. <http://www.lyndagrattton.com/>
London Business School

- Haak, 2003** Haak. H. „*Digitaalkommunikatsioon*” (Loengukonspekt). 2003
<http://www.lr.ttu.ee/side/digikomm/DIG.KOMM1-03.pdf>
- Hager et al., 1990** Hager, J. W., Fry, L. L., Jacks, S. S., Hill, D. R. „*Datums ellipsoids and grid reference systems (unclassified)*” Defence Mapping Agency, 1990
- Haud, 1997** Urmas Haud. „*Universum inimeste ettekujutuses*” Horisont 1997, Kogumikus "*Universum*" (toimetajad Peep Kalv ja Rein Veskimäe)
- Heim, 1993** Michael Heim. „*The Metaphysics of Virtual Reality*” p. 160; cf. also p. 132. Oxford University Press, Oxford 1993
- ISO 19113:2002** „*Geographic information - Quality principles*” Technical committee / subcommittee: *ICS, TC 211*; ISO Standards, 2002
- ISO/IEC 2382-17, 2001** ISO/IEC 2382-17. „*Information Processing Systmes – Vocabulary*” - Part 17: Databases, 2001
- ITK, 2006** Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. „*Ettepanek Eesti keskkonna ruumiandmete strateegia loomiseks*”
Versioon 2.1, 07.04.2006.
- Jagomägi, 1991** Priit Jagomägi. „*Kartograafilised projektsioonid suure- ja keskmisemõõtkavalistele kaartidele*” Käsikiri AS Regios. Tartu Ülikool, Tartu 1991.
- Jagomägi, 1997b** „*Rakendused*” (Kaardid ja GIS 2000. aasta rahvaloendusel).
<http://www.geo.ut.ee/gis2000/rakendused.html>, Tartu 1997
- Jagomägi, 1999a** Teet Jagomägi. „*Eesti Maa-ameti poolt püstitatud lähteülesanne Eesti Ruumiandmete mudelite koostamiseks*” Tartu 1999.
LIB Development Project - Estonia, Project No. 975364.00 käigus
<http://www.geo.ut.ee/ruum/ylesanne.htm>
- Jagomägi, 1999b** Teet Jagomägi. „*Geoinfomaatika praktikule*” Regio 1999, 191 lk.
- Jagomägi, 2001** Jüri Jagomägi. „*Territoriaalplaneerimine kui geograafilise ruumi organiseerimine. Teoreetilisi seisukohti ja rakendusi*” Magistritöö TÜ geograafiainstituut 2001.
- Jagomägi, 2006** Jüri Jagomägi. „*Ruumiandmete dokumenteerimine*” (VKARIT3022).
Loeng Viljandi Kultuurikolledžis. 2006
- Johnson et al. 2006** Neil F. Johnson, Mike Spagat, Jorge A. Restrepo, Oscar Becerra, Juan Camilo Bohorquez, Nicolas Suarez, Elvira Maria Restrepo, Roberto Zarama. „*Universal patterns underlying ongoing wars and terrorism.*” 2006, <http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0605035>, Physics, abstract physics/0605035
- JRC, 2005** Joint Research Centre. „*Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*”, *Ispra*, Issue 2.4, 04th april 2005
- Kaasik, 1992** Ülo Kaasik. „*Matemaatikaleksikon*”, ISBN 5-89900-024-4, 1992 a. trükk, 296 lk.

- Kanõgin, 1983** Юрий Каныгин. „Информатика сегоднешие проблемы и завтрашние возможности”. *Техника Молодёж* 1983 nr 11, Москва, сс. 17-21
- Kasak, 2003** Enn Kasak. „*Lidne tähetarkus*” Tallinn, Argo 2003, 335 lk.
- Kavraiski, 1958** Каврайский. В. В. „*Избранные труды. т2, Математическая картография. выпуск 1. Общая теория картографических проекций*”. Издание Управления начальника Гидрографической службы ВМФ, 1958, 319 с.
- Kees, 1978** Paul Kees. „*110 mõtlemisülesannet*” Eesti Raamat, Tallinn 1978, 92 lk.
- Kelin, 2001** Jüri Kelin. „*Общая теория систем: к вопросу о системообразующих признаках*.” 2004, <http://www.eabc.edu.ee/~jurikelin/OTS.htm>
- Keskkonnaseire seadus, 1999** „*Keskkonnaseire seadus*”, RT 1999, 20. jaanuar, <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=192239>
- Knippers, 2000** Knippers, R. A. „*Geometric Aspects of Mapping*” 2000, <http://kartoweb.itc.nl/geometrics/index.asp>
- Koppel, 1988** Aare Koppel. „*Vektor- ja tensoranalüüs*” (konspekt). 1988
- Krassovski, 1955** Красовский, Ф. Н. „*Избранные сочинения. т3, Математическая картография*. Геодиздат, Москва 1955, 812 с.
- Krusberg, 1997** Peep Krusberg. „*Ruumiandmete töötlemise võimalusi, Eesti baaskaardi näitel*” (magistritöö). Tallinna Tehnikaülikool, 1997
- Lanier, 2004** Jaron Lanier. „*Homepage of Jaron Lanier*. 2004” <http://www.advanced.org/jaron/>
- Lem, 1964** Stanislaw Lem. „*Summa Technologiae*” Krakow 1964, "Сумма Технологий", "Мир" 1968
- Levinson, 1991** Paul Levinson. „*Review of Harvey Wheeler's The Virtual Society*” *Journal of Social and Biological Structures* 1991, 14[3], pp. 363-366
- Liba, 2005** Natalja Liba. „*Fotogramm-meetria alused*” (dokoritöö) Tartu, Metsandus- ja maaehitusinstituut, 2005
- Lindoja, 2002** Maris Lindoja. „*Digitaalne ruum*” (magistritöö) <http://e-media.artun.ee/inimesed/magistritood/MarisLindojaMA.pdf>, Kunstiakadeemia, e-meedia keskus, 2002
- Lippus, 1997a** J. Lippus. „*Tallinna koordinaatide teisendustest*” (20. mail 1997). Abobase Systems
- Lippus, 1997b** J. Lippus. „*Koordinaatide teisendustest*” (27. veebruaril 1997). Abobase Systems
- Lõhmus, 2003** Jaak Lõhmus. „*Püüd lihtsusele. Aine ehituse lugu atomosest aatomini*”. Kogumikus "Universumi mikromaailm", OÜ Reves Grupp 2003, lk.21-47

- Loodla, 2005a** Kaja Loodla. „GIS ja andmehaldus”. *Geodeet* 31/2005, lk.18-20
- Loodla, 2005b** Kaja Loodla. „Maa-aluste kommunikatsioonide andmehaldus” Magistritöö geoinformaatikas ja kartograafias. Tartu 2005. Käsikiri Tartu Ülikooli raamatukogus.
- Maling, 1992** Maling, D. H. „*Coordinate Systems and Map Projections*” Second edition. Pergamon Press 1992, 459 p.
- Mättas, 2003** Werner Mättas. „Mis on kvaliteet?” <http://www.eaq.ee/kasulik/kkk2.html>, Eesti Kvaliteediühing 2005
- Mesarovitš, 1978** Месарович М., Тахакара. Я., 1978. „Общая теория систем: математические основы” Мир, М., 312 с.
- Metzler, 1996** Metzler, M. „*How Measure Information: An Introduction To Information Theory*” 1996 <http://www.physics.ucla.edu/~chester/CES/august/index.html>
- Nelson, 1980** Nelson. „*Interactive Systems and the Design of Virtuality*” *Creative Computing* 6(11 & 12) 1980.
- NIMA, 2006** National Imagery and Mapping Agency. „*These Warfighters are ready for combat*” 2006, <http://earth-info.nga.mil/GandG/coordsys/datums/datum.html>
- Ohvril, 2002a** Hanno Ohvril. „*Füüsikaliste mõõtmiste alused*” Tartu 2002
- Ohvril, 2002b** Hanno Ohvril. „*Keskkonna- ja meditsiinifüüsika alused. Molekulaar ja termodünaamika*” Tartu 2002
- Oja, 2000** Tõnu Oja. „*Keskkonnaseire - milleks?*” *Loodus* 2000, <http://www.loodus.ee/el/vanaweb/0012/seire.html>
- Oja et al., 1998** Tõnu Oja, Jüri Roosaare, Raivo Aunap, Jüri Jagomägi. „*Eesti ruumiandmete mudelid, I etapp*” 1998, <http://www.geo.ut.ee/ruum/rmaru1.htm>
- Peterson, 2005** Mario Peterson. „*Sissejuhatus semantilisse veebi, 1-2; Ontoloogiad ja semantilise veebi keeled*” <http://vana.am.ee/15966> *Arvutimaailm*, 2005
- Plank, 2001** Toomas Plank „*Füüsikaliste mõõtmiste alused*” (loengukonspekt), 3. trükk. Tartu 2001
- Ploompuu, 2002** Tõnu Ploompuu. Refereering (T.P.) Teoreetilise Bioloogia Kevadkoolis 2002. a. Schola Biotheoretica XXVIII, Tartu 2002 arendatud mõtetest.
- POSC Ver. 2.2** „*Coordinate Systems. Section 3*” POSC Specification Version 2.2. POSC. 1998-2000 http://www.posc.org/Epicentre.2_2/DataModel/ExamplesofUsage/eu_cs.html
- Potter, 2002** Heikki Potter (koostaja). „*Kaitseväe topograafia käsiraamat*” Esimene väljaanne. Kaitsejõudude Peastaap, Tartu 2001-2002, 94 lk.
- Randjärv, 1997** Jüri Randjärv. „*Geodeesia I osa*” Eesti Põllumajandusülikool, Tartu 1997 360 lk.

- Randjärv, 1999** Jüri Randjärv. „*Geodeesia III osa. Geodeetiliste võrkude tasandamine*” Eesti Põllumajandusülikool, Tartu 1999, 126 lk.
- Randjärv, 2002** Jüri Randjärv. „*Geodeesia IV osa. Kohalik geodeetiline põhivõrk*” Eesti Põllumajandusülikool, Tartu 2002, 243 lk.
- Roosaare, 2000** Jüri Roosaare. „*Andmebaaside loomine ja kasutamine*” (loengukonspekt). Tartu Ülikool 2000, <http://www.geo.ut.ee/kartool/geoinfo/gg01008.html>
- RTL 2004, 17, 267** „*Geodeetilise süsteemi kehtestamine*” Keskkonnaministri 5. veebruari 2004. a. määrus nr 4. *Riigi teataja*, 2004 nr 17
- Rõõm, 2002** Rein Rõõm. „*Atmosfääridünaamika I (Dünaamilise Meteoroloogia Alused)*”. Tartu 2002
- Sena, 1985** Lev Sena. „*Füüsikaliste suuruste mõõtühikud ja nende dimensioonid*” Tallinn, 1985, 224 lk.
- Skagestad, 1998** Peter Skagestad. „*Peirce, Virtuality, and Semiotic*” <http://www.bu.edu/wcp/Papers/Cogn/CognSkag.htm>, University of Massachusetts – Lowell, 1998
- Stanek, Frank, 1993** Stanek, Frank. „*GIS Based Decision Making Must Consider Data Quality*” In *Proceedings of EGIS'93*, in Genoa, Published by EGIS Foundation 1993, pp: 685-692
- Szafranski, 1995** Richard Szafranski. „*A Theory of Information Warfare: Preparing for 2020*” *Airpower Journal*, 9 (Spring 1995) pp.58-59, 62
- Zakatov, 1954** Закатов, П. С. „*Курс высшей геодезии*” Геодиздат, Москва 1954, 399 с.
- Tamme, et al., 1997** Tõnu Tamme, Tanel Tammet, Rein Prank. „*Loogika: mõtlemisest tõestamiseni*” ISBN 9985-56-231-3, Tartu Ülikooli Kirjastus 1997, 412 lk. <http://cs.ttu.ee/kursused/itv0010/various/lrttyld.html>,
- Tammet, 2005** Hannes Tammet. *DataDiurna* andmehõivesüsteemi kirjeldus, 2005
- Tammet, 1971** Hannes Tammet. „*Füüsika praktikum. Metroloogia*” Kirjastus “Valgus”, Tallinn 1971, 329 lk.
- Tammet, H., 1996** Hannes Tammet. „*Soojusõpetus*” (konspekt), 1996
- Tennisberg, 2000** Targo Tennisberg. „*Objekt-orienteeritud süsteemianalüüs ja selle meetodikad*” <http://www.targotennisberg.org/kirjad/targosem/TARGOSEM.html>
- Tiits, 1999** Külli Tiits. „*Ruumiandmed Eestis*” Geograafia instituut, Tartu 1999, <http://lepo.it.da.ut.ee/~ktiits/alamaste.html>
- Tognazzini, 1993** Bruce "Tog" Tognazzini. „*Principles, Techniques, and Ethics of Stage Magic and Their Application to Human Interface Design*” *Proceedings of INTERCHI*, 1993 (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993). ACM, New York, pp 355-362.]. <http://www.asktog.com/papers/magic.html>, pp.0

- Uus, 1991** Undo Uus. „*Teispool materialismi*” *Tähetorni kalender* 1991, lk.25-58
<http://www.aai.ee/muuseum/Motle/HTML/index.html?teispoolmaterialismi.htm>
- Wilson, 1949** Mitchell Wilson. „*Elu täis äikest*” Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn 1960, 628 lk. („*Living with lightning*” Boston 1949)
- Õiglane, 1979** Harry Õiglane. „*Füüsika nagu ta on*” Valgus, Tallinn 1979, 161 lk.
- Õiglane, 1997** Harry Õiglane. Kogumikus "Universum" (toimetajad Peep Kalv ja Rein Veskimäe), Horisont 1997