

1. SISSEJUHATUS

1.1. Kursuse eesmärk ja struktuur

Käesolev ülevaatelise iseloomuga loengukursus on kaasaegsetest territoriaalse analüüsi meetoditest ning nende matemaatilistest eeldustest ja põhilistest lähtealgoritmidest. Ta on vaadeldav klassikalise kursuse "Matemaatilised meetodid geograafias" temaatilisele kartograafiale orienteeritud modifikatsioonina.

GIS-ide kasutamises on raskuspunkt kiiresti nihkumas pelgalt kaarditegemiselt geograafilisele analüüsile. Ka mõiste GIS ei tähenda oma kodumaal, USA-s, valdavalt enam mitte '*geoinformation system*' vaid '*geoinformation science*'.

Konkreetsete meetodite tarkvarapakettides realiseeritud hulk on suur ja kasvab väga kiiresti, samal ajal on paljud neist kasutatavad n.ö. üksnes 'nupule vajutamisega'. Seepärast tuleb nende õppimisel keskenduda üha rohkem üldistele küsimustele ja kasutusvõimalustele ning -piirangutele, üha vähem aga konkreetsetele tehnilistele üksikasjadele, mida on võimalik vajadusel kiiresti kätte saada tarkvara abiinfost ja mis muutuvad kiiresti.

Käesolev kursus eeldab, et õppijal on olemas mingisugune geograafilise analüüsi kogemus ja mingisugused algteadmised matemaatikast. Selle baasil püüame loengutes süstematiseerida põhilised ruumianalüüsil kasutatavad meetodid ja ideed, nii et tekiks mingisugunegi tervik. Kasulik oleks kõik loengul räägitud muidugi ise järele proovida, kuid praktiliselt pole see võimalik: iga meetodi rakendamine reaalsete andmete baasil tekitab sedavõrd palju tehnilisi pisiküsimusi, et nendele kuluv aeg oleks liialt suur; piirdumine aga üksnes mõnede silutud näidisülesannete ja detailsete tööjuhenditega arendaks eeskätt vaid jällegi seda 'nupule vajutamise oskust' (juhendite valmistamine teie endi poolt oleks väga kasulik tegevus, mida magistriõppele võiks soovitada). Seepärast teemegi nii, et igauks lahendab käesoleva kursuse käigus **ühe**, talle endale huvipakkuva või muidu kasuliku ülesande ja seminaris saame ülevaate, millised olid kellegi probleemid ja tulemused.

Temaatiliselt jaguneb kursus nelja ossa:

- Sissejuhatavas peatükis vaatleme kontseptsionaalseid aluseid, millel põhineb geograafia ruumikäsitlus ning matemaatiliste meetodite rakendamine geograafias.
- Ruumiliste andmete geomeetria (arvutusgeomeetria) on vaatluse all kursuse teises osas:
 - millised on need põhilised algoritmid, millele tugineb GIS-ide töö keerukamate ülesannete lahendamisel, ning millised võimalused annab arvuti ruumilisel analüüsil, kui me läheneme geograafilistele objektidele kui geomeetrilistele kujunditele;
 - millised ideed matemaatika mitmekesisest varasalvest on osutunud populaarsemaks (või efektssemaks?) ruumiliste andmete analüüsil;
 - millised on enamkasutatavad näitajad ruumilise struktuuri kvantitatiivsel

kirjeldamisel.

- Ruumiliste andmete statistika osas vaatleme neid põhilisi mõisteid ja probleeme, mis tekivad statistiliste meetodite rakendamisel ruumilistele objektidele, samuti hästi lühidalt mõningaid geograafias sageli kasutatavaid statistilise analüüsi meetodeid, mis statistika aluste kursuses käsitlemist ei leidnud.
- Viimases, neljandas osas vaatleme mõningaid geograafias kasutatavaid ruumimudeleid.

Kirjandus: kuna üksühest õpikut kursuse jaoks pole, on oluliseks õppevahendiks teie oma loengukonspekt.

Põhiõpikuks on **Taylor, P.J.** "*Quantitative Methods in Geography. An Introduction to Spatial Analysis*". Eestikeelseks raamatuks, millega tuleks tutvust teha ja kust tuleks õppida osa teemasid, on **Pragi, U.** "Matemaatilised meetodid geograafias".

Loengutes esitatud materjalid on võimalik leida ka erinevatest raamatutest ja ajakirjadest, loengute käigus ma osutan, kust üks või teine alapunkt on võetud. Siiski tuleb arvestada, et need, samuti teised **täiendavad allikad** (valikuliseks lugemiseks) on kättesaadavad sageli vaid ühes eksemplarid lektori enda käest ja kui konspektist selle lühiduse tõttu ei piisa, tuleks täiendmaterjalidest valmistada endale koopiad.

Osa materjale on kättesaadavad ka www-st või tarkvara abiinfost.

Tarkvara, millel lahendada ruumianalüüsi ülesandeid, algab *Excelist* ja *Idrisist*, mis võimaldavad teostada enamuse lihtsamatest meetodeist, ning seda võiks jätkata spetsialiseeritud analüüsipakettidega (*Fragstats* ja *GeoEAS* on vabavara). Lõpuks on kõigil suurte GISi (*Arc/Info*; *MGE*) või andmeanalüüsi pakettidel (*SAS*) olemas teatud moodulid või allosad, mis mitmeid meetodeid oma andmetel suudavad rakendada.

1.2. Aja ja ruumi üldiste käsitluste areng kui alus vastavate geograafiliste käsitluste arengule (aluseks Nunes, 1995)

Igal inimesel on olemas mingi (rohkem või vähem intuiitiivne) ettekujutus ajast ja ruumist. Kui püüda neist luua mingit kontseptsiooni, saame järgmise loetelu problemaatikast:

- objektide ja nähtuste ruumilised ja ajalised omadused näivad erinevat nende muudest olulistest omadustest, kirjeldades objektide ja nähtuste järjestust (paiknemist) mingis aja ja ruumi referentssüsteemis;
- kas aeg ja ruum (läheldes eeltoodud spetsiifikast) eksisteerivad teistest objektidest ja nähtustest sõltumatult või, vastupidi, eksisteerivad vaid suhted objektide ja nähtuste vahel ning muud ei midagi;
- kui aeg ja ruum eksisteerivad teistest objektidest ja nähtustest sõltumatult (absoluutse ruumi kontseptsioon), siis on nad ka ise mingid objektid või nähtused;
- kui nad iseseisvalt ei eksisteeri (relatiivse ruumi kontseptsioon), siis on nad vaid teiste objektide ja nähtuste teatav omadus;
- ruumi ja aja eksistentsi ja olemust saab käsitleda nii füüsilisest (ontoloogilisest) kui ka tunnetuslikust (mentaalsest) aspektist;
- füüsikaline käsitlus keskendub küsimusele, kuidas eristada ainet, aega ja ruumi; kuidas füüsikaline maailm on ehitatud ja kuidas ta muutub;
- tunnetuslik käsitlus esitab analoogsed küsimused tunnetuse seisukohast, eeldades seega teatud abstraktsiooni ja tuues sisse ka indiviidi, kes tunnetab;
- geomeetria (laias mõttes), mida vaatleme järgmisel loengul, pakub vahendid küsimuste formaalseks koostamiseks ruumi (ja teatud määral ka aja) kohta;
- geomeetrilisi süsteeme võib interpreteerida kui füüsikalise ruumi tegelikku kirjeldust;
- kuid seda võib tõlgendada ka kui abstraktset formaalset süsteemi, mis suudab esitada fakte ruumi kohta - eeldades, et tegelikud faktid on viidud geomeetria terminitesse ning geomeetria teoreemidest tulenevad väited on kooskõlas reaalses ruumis vaadeldavate faktidega.

Küsimuse detailsem vaatlus läbi filosoofia ja füüsika ajaloo on õpetlik; siin väga lühidalt.

Herakleitos - kõik asjad on ühe tervikliku protsessi osad.

Parmenides - deduktiivselt, et maailm on üks ja ühtne muutumatu tervik, seega ei saa olla midagi, ka ruumi, mis oleks väljaspool ja sõltumatult ainest /see on esimene füüsikaline maailmapilt, vaidlus mille ümber keskendub küsimusele, kas **tühe** (*void*) on olemas/.

Demokritos: kui liikumine on olemas, peab maailm koosnema osadest ja tühe peab eksisteerima; maailmal on väikseim algosake - aatom - ning aatomite vahel ongi tühe /siit tuleneb absoluutse ruumi kontseptsioon/.

Eelnevast järeldub, et peab olema ka ruumi ja aja algosake. Atomistlik teooria oli hästi

kooskõlas **Pythagorase** matemaatiliste traditsioonidega (aritmeetikale ja ratsionaalarvudele põhinev geomeetria).

Platon võttis kasutusele irratsionaalarvud (ja mõistis nende filosoofilist tähendust atomismile), näitas, et liikumine on võimalik ka Parmenidese maailmas (näiteks keerised vedelikus), arendas edasi geomeetrisi mudeleid.

Eukleides - eukleidilisel geomeetrial põhinev maailmapilt, mis oli füüsikuid rahuldav kuni 19. saj. ja on paljudel juhtudel täiesti piisav ka praegu.

Absoluutse ja relatiivse ruumi kontseptsioonid täpsustati vahepeal.

Aristoteles - ruum kui mahuti, kusjuures A. väldib küsimuse üldist püstitust, eelistades kõnelda paigast.

Newton - vastavalt tema füüsikaseadustele, asend saab olla üksnes suhteline (üht referentsüsteemi ei saa teisele eelistada), mis füüsikaliselt hoiab relatiivse kontseptsiooni poole; oma filosoofilistes positsioonides pooldas aga absoluutse ruumi kontseptsiooni, arvates et ruum on liikumiste immateriaalne keskkond (ruum on muutumatu, pidev ja lõputu).

Leibnitz - arendas korralikult välja relatiivse kontseptsiooni - ruum kui suhete süsteem.

Kant - absoluutne ruum, kuid mitte Newtoni füüsikalise ruumi mõttes, vaid aeg ja ruum kui süsteemid kui kirjeldada ja korrastada vaatlusi asjadest ja nähtustest; seega nad on tunnetuslikud vahendid. Kant jõudis sellele järeldusele, näidates et absoluutse aja ja ruumi rakendamine kogu universumile viib antinoomiateni.

Moodsa teoreetilise füüsika vaatevinklist on ruum, aeg ja aine - või energia - omavahel dünaamiliselt seotud ning kvantitatiivselt kirjeldatavad subatomaarsest kuni kosmoloogilise tasemeni. Mitte-eukleidiliste geomeetria avastamine tegi geomeetria uuesti 'puhta teaduse', mis ei pruugi vastata tegeliku ruumi kirjeldusele. Aja ja ruumi asemel on ühtse aegruumi kontseptsioon. Sama ajal on olemas mitu osalist teooriat, mida peetakse vaid osaliselt relevantseteks ja õnnestunud hüpoteesideks. Kolm sellist füüsikast lähtuvat tuginevad:

- väljateooriale

näiteks gravitatsiooni-, elektriväli; pidevate funktsioonide teooria (matemaatikas) rakendamine - igale ruumipunktile vastab teatud väärtus, mis sõltub aja ja ruumi koordinaatidest; esimene probleem - eetri olemasolu; teiseks - välja leviku piirkiirus; väljateooria sai aluseks relatiivsusteooriale; väljateooria ei suuda seletada gravitatsiooni (levib valguse kiirusega?);

- relatiivsusteooriale

erirelatiivsusteooria põhineb 2 Einsteini postulaadil (sh.: valguse kiirus vaakuumis ei olene valgusallika liikumisest ja on kõigis inertsaalsüsteemides ühesugune ja suunast sõltumatu) ning annab 4-mõõtmelise aegruumi käsitle, kus keha mass (ja mõõtmed) sõltuvad tema liikumise kiirusest jms.;

üldrelatiivsusteooria on eelneva üldistus, mis hõlmab ka gravitatsiooninähtusi ja kus aegruum allub Riemanni (elliptilisele) geomeetria - ruumi kõverus sõltub gravitatsioonijõududest, s.o. masside paigutusest; sellest teooriast pole selge, kas aine on aegruumi kõveruse põhjuseks, või põhjustab aegruumi kõverus aine;

- kvantmehhaanikale

seletab hästi subatomaarsel tasemel, tema aluseks on määramatuse printsiip - üheaegselt pole võimalik teada mikroosakeste kõiki mehhanilisi suurusi (näiteks korraga asendit ja kiirust); seega ei allu need osakesed klassikalisele mehhaanikale;

kvantmehaanika ruum on diskreetne. Nende kolme teooria valguses jääb küsimus sellest, kumb aja ja ruumi kontsptsioon (relatiivne või absoluutne) on õigem, ikkagi lahtiseks.

1.3. Geo-objektid kui hägused hulgad

Geograafiliste objektide eristamiseks tõmmatakse nende vahele piir. Näiteks administratiivüksuste vahel on see piir põhimõtteliselt joon, kuigi praktikas võib tema määramisel tekkida teatud viga. Selle vea kui mõõtmisvea uurimiseks on olemas tõenäosusteooria vahendid (võime näiteks rääkida tõenäolisest veast).

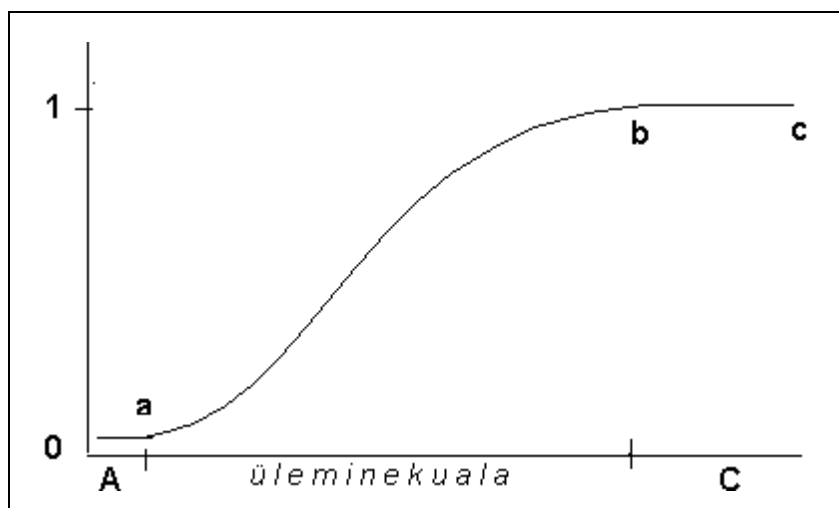
Teistsugune on olukord, kui me eristame

- merelise ja mandrilise kliimaga alasid,
- nõlva allosa ja jalamit,
- madalat ja kõrget veeseisu jms.

Siin on õigem rääkida mitte piirist, vaid üleminekuvööndist, mitte järsust, vaid sujuvast üleminekust, kusjuures piirijoone määramatus pole tingitud mitte mõõtmisvigadest, vaid on omane vaadeldavale nähtusele endale.

Kui esimesel juhul võib geograafilisi objekte vaadelda klassikalise hulgateooria järgi, mille kohaselt iga objekt kas kuulub või ei kuulu teatud hulka, siis teisel juhul tuleb kasutada nn. häguste hulkade (*fuzzy sets*) teooriat, mille kohaselt objekti iseloomustab tema kuuluvusfunktsioon

(*membership function*) antud hulga suhtes, mida võib tõlgendada kui tõenäosust, et objekt kuulub vaadeldavasse hulka (joonis 1.1).



Joonis 1.1. Sigmoidaalne kuuluvusfunktsioon, mis kirjeldab tõenäosust, et tegemist on alaga C. Abstsisseljele vastab territoriaalne mõõde, punktide a ja b vahel on tegemist üleminekuvalaga.

Häguste hulkade teooria tekkis 1960.aa. keskel (1965. a. L.Zaheh artikkel). Praeguseks on see eriti teadmiste ohjamisel väga oluline teooria.

Näiteks lingvistiliste muutujate kasutamine: andmaks sõnadele 'loll', 'juhm', 'arukas', 'väga taibukas' vms. vastet IQ arvuna, ei saa me piirduda ainult et $IQ('arukas')=120$.

Häguste hulkade teooria võimaldab ka kartograafilise andmestiku paindlikumat käsitlemist (*Idrisi*-s näiteks on olemas vastavad moodulid).

- Niisugused kaardid pole enam hästi silmaga haaratavad, on rohkem 'arvuti jaoks'.

- Häguste hulkadega saab teha häguse loogika tehteid:
 \mathbf{A} või $\mathbf{B} = \text{MAX} (\mathbf{A}, \mathbf{B})$;
 \mathbf{A} ja $\mathbf{B} = \text{MIN} (\mathbf{A}, \mathbf{B})$;
 mitte $\mathbf{A} = 1 - \mathbf{A}$.

1.4. Geograafiline ruum, selle kogemuslikud (experiential) ja formaalsed mudelid (Mark & Frank, 1990; Pequet, 1988 järgi)

Vaatleme hästi lühidalt, millised on

- kogemuslikud (tunnetusel baseeruvad) ruumi mudelid, mis mõjutavad inimeste käitumist ning mida väljendatakse sageli loomulikus keeles
- formaalses keeles väljendatavad mudelid, mis on aluseks formaalsetele analüüsi-meetoditele.

Asja vastu on huvi tuntud mitmelt poolt:

- cognitive science (tunnetuspsühholoogia)
- käitumisgeograafia
- katsed luua 'üldist ruumiliste süsteemide teooriat'
- geoinformaatika (NCGIA üks prioriteete tema algetapil).

Klassikalise kontseptsiooni järgi baseerub tunnetus kategooriatele, mis vastavad nn. hulga-teoreetilisele skeemile (lähedane hulga mõiste matemaatikas, eeldab sisemist homogeensust).

Teine skeem, mida loetakse praegu adekvaatsemaks, baseerub prototüübil (prototüüpidel) ja selle (nende) laiendamise reegli(te)l.

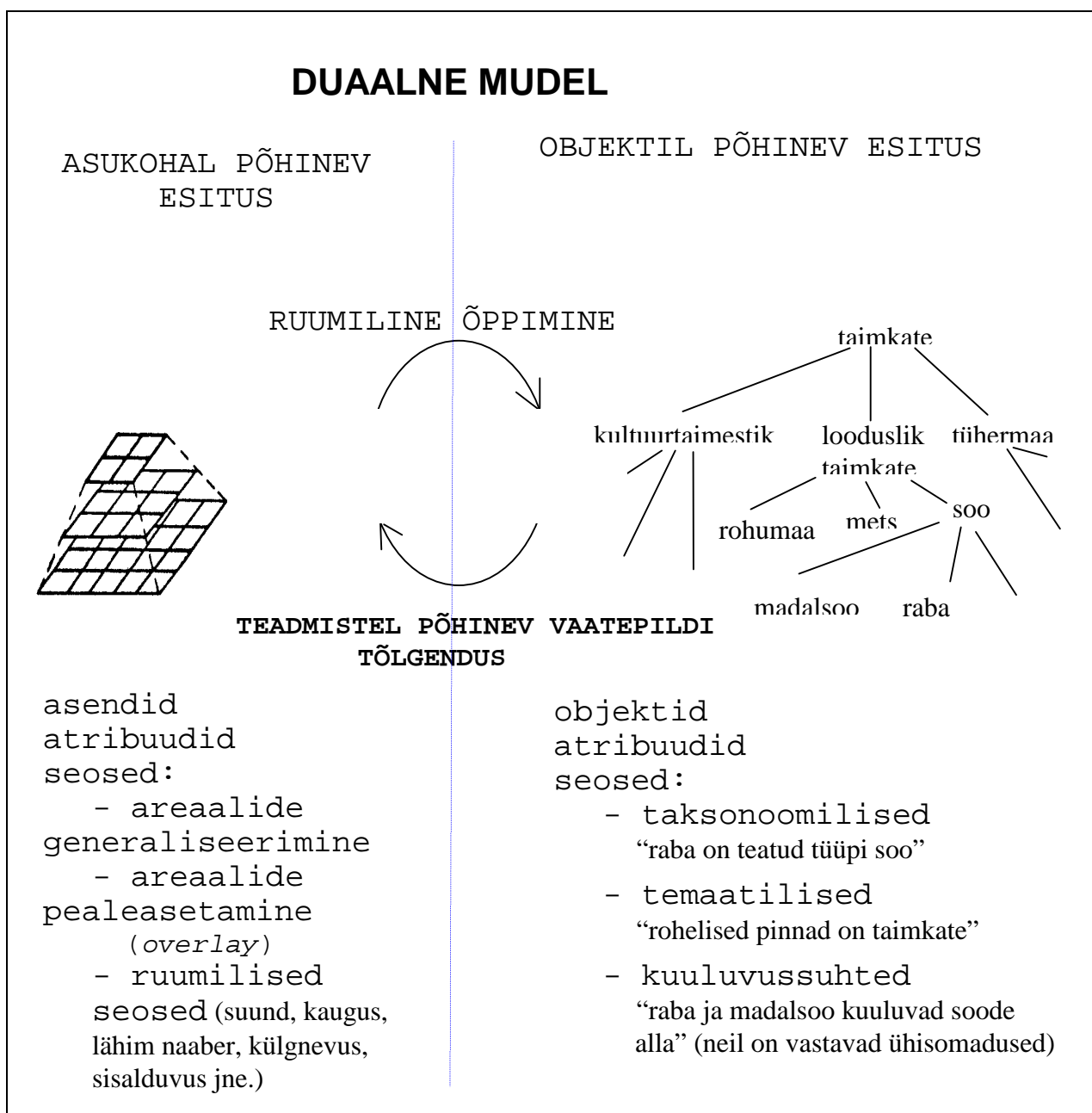
Kategooriad moodustavad n.ö. radiaalselt organiseeritud klasse, mille eri harudel on vähe ühist, v.a. pärinevus samast prototüübist.

Taju puhul (nägemine) ollakse ühel meel, et tuleb vahet teha sellel, 'mida nähakse' ja sellel, 'mida mõistetakse'. Nägemistaju aluseks on pilt (*image*), millest tekib *primal sketch* (ürgvisand, põhikavand), kust hakatakse eristama struktuurielemente (jooni, pindu, punkte) ning neid kategoriseerima, s.t neile tähendust ja tunnetuslikku struktuuri andma. Ürgvisandi aluseks on teatavad skeemid (ruumiliste näidetena: mahuti e. konteiner, platvorm e. pind, mis näiteks keeles väljenduvad käände (eesliite) valikus: "Saaremaal" vrs. "Ruhnus"; "heinamaal" vrs. "metsas".

Ruumi tajumine on **duaalne**: paiknemispõhine (*location-based*) ja objekti-põhine (*object-based*), geoinformaatika mõjul kasutatakse ka mõisteid 'raster-tüüpi' ja 'vektor-tüüpi' (joonis 1.2). Asukohal põhinevat (paiknemispõhist) esitust, millest ruumiline õppimine tavaliselt algab, iseloomustab:

- asendite kogumit vaadeldakse pidevana;
- nähtavat maailma vaadeldakse erinevates skaalades ja detailsuse astmetes;
- kõigi skaalade kõikmõeldavad asendid ei saa kunagi olla korraga teada ning paljud "tuntud" asendid on vaid osaliselt kirjeldatavad;
- ruumilised protsessid võivad sõltuda skaalast.

Objekti-põhist esitust iseloomustab:



Joonis 1.2. Duaalse kontseptuaalmudeli üldkuju (Pequet, 1988:384 järgi)

- sarnased objektid on sarnaste omadustega - moodustavad klasse;
- klassid on organiseeritud hierarhiliselt
- mitmed klassid pole teada või on puudulikult kirjeldatud; suhteliselt vähe on objektide eksemplare, mida käsitletakse nende oma spetsiifiliste omaduste alusel;
- objektile omistatavad omadused võivad varieeruda sõltuvalt kontekstist ja indiviidi vaadetest.

Tehakse vahet väikesemõõtmelise tajuruumi (*perceptual space*) ja suuremõõtmelise geograafilise ruumi vahel. Esimese aluseks on kogemused omaenda kehaga (alates

lapsepõlvest) ja nn. naiivne füüsika (keha kukub otse alla). Geograafilise ruumi tunnetamise aluseks on teeleidmine (orienteerumine). Kaarti kasutatakse väikesemõõtmelise tajuruumi reeglite järgi kui geograafilise ruumi mudelit, esitades kaks põhiküsimust:

1. kus asub **X**,
2. mis asub kohal **Y**.

Seega siis tunnetatakse geograafilist ruumi tavaliselt kaardi vahendusel eukleidilise geomeetria ja naiivse füüsika reeglite järgi. Milline on aga geograafilise ruumi 'objektiivne' geomeetria?

- kvaasieukleidiline - nii käsitleb seda geodeesia ja kartograafia;
- kindlate omadustega geograafiline ruum **on** olemas, selle geomeetria on keeruline;
- geograafilise ruumina käsitletakse abstraktset mudelruumi, mille geomeetria (ja sellest tulenevalt meetrika) määrab rakendatav mudel.

1.5. Matemaatika ja matemaatilised meetodid geograafias

Mis on matemaatika? Näiteid:

- kas 4 korda 4 on 16 või 20
 - kui arvutame kümnendsüsteemis, mis igapäevaelus võetakse aluseks **vaikimisi**, siis on 16
 - kui arvutame kuuteistkümnendsüsteemis, mis arvutisiseseks asjaajamiseks on hoopis loomulik arvusüsteem, siis on 20;
- kas jänes mahub nööri alt läbi?
 - ülesanne: loeme lihtsustatult Maa kerakujuliseks ja tõmbame suuringi tema ümber paela, mis siis on igalt poolt vastu maapinda. Suuringi puhul on paela pikkus ligikaudu 40 000 000 meetrit. Lisame nüüd paelale ühe meetri juurde ja jaotame lõtku ühtlaselt ära. Ilmselt pole nööri nüüd enam nii tihedalt ümber maapinna ja midagi mahub nööri ja maapinna vahelt läbi ("Kas jänes mahub?"). Kui suur on vahe maapinna ja nööri vahel?
 - intuitsioon ütleb, et 'väga väike'.
 - püstitades ülesande matemaatiliselt, näeme, et intuitsioon veab alt:

Kuipalju suureneb kera ümbermõõt (L), kui raadius (R) suureneb ühe meetri võrra?
Kehtib seos

$$L=2\pi R \quad (1)$$

peale meetri lisamist:

$$L+1 = 2\pi(R+x) \quad (2).$$

Lahendades võrrandid (1)-(2) x suhtes, saame $x= 1/2\pi \approx 1:6.28 \approx 0.16$ meetrit
 - saame ka teha üldisema järelduse, et nööri ja maapinna vahe (raadiuse suurenemine ümbermõõdu suurenedes) ei olenegi ringi raadiusest.

Lisaks loengule, vt. Taylor, 1977 lk.2-18 ja Pragi, 1988 lk.5-26:

- abstraherimine ja mudelid,
- deduktiivsus \leftrightarrow induktiivsus,

- matemaatika kui keel,
- rakendusmatemaatika
 - klassikaline rakendusmatemaatika (näit. matemaatiline füüsika, ookeanograafia, hüdrodünaamika),
 - operatsioonianalüüs,
 - arvutiteadus (arvutusmeetodid, simulatsioon ja numbrilised eksperimendid)
 - andmeanalüüs
- matematiseerumistasemed
 - “kui palju?”;
 - “millised on seosed?”
 - “milline on mehhanism?”
- geosüsteemid ja nende uurimise mudelid

1.6. Mudelruum ja selle meetrika

Lisaks loengule, vt. Taylor, 1977 lk.6-7 ja 10-12; Pragi, 1988 lk.110-118:

- Mudelruumi konstrueerimine (mudelruumi kõverus, telgedevaheline nurk, telgede nullpunktide vahekord, eri skaalade ühikute vahekord);
- taksonoomiline kaugus;
- Felix Klein ja “Erlangeni programm” (1871);
- afiinsed teisendused:
 - nihe,
 - mastaabi muutmine,
 - pööramine,
 - peegeldamine.
- Teisendused ei ole afiinsed, kui koordinaatide üleminekuvõrrandeid ei saa esitada lineaarsel kujul (pööramise kasutatakse tavaliselt trigonomeetrilisi võrrandeid, mis on aga iga konkreetse pööramisnurga puhul esitatavad lineaarsetena).

1.7. Täiendav lugemismaterjal

Taylor, 1977 lk. 13-18

Montello, D.R. Human Cognition of the Spatial World. - <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u006/u006.html>

Nunes, J. General Concepts of Space and Time. - In: Frank, A.U. (ed.) GIS - Materials for a Post-Graduate Course. V.1. Vienna, 1995, p.7-34.

Worboys, M.F. GIS. A Computing Perspective. Taylor&Francis, 1997, p.97-144.