

Tartu Ülikool
Bioloogia-geograafiateaduskond
Geograafia instituut

Magistritöö geoinformaatikas ja kartograafias

**Ruumilisi otsustusi toetav süsteem kui
keskkond Eesti üldhariduskoolide võrgu
planeerimisel**

Edgar Sepp

Juhendaja: dotsent Jüri Roosaare

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Instituudi juhataja:

Tartu 2007

SISSEJUHATUS.....	3
MÕISTED	4
1. ASUKOHA ÜLESANDED KIRJANDUSES	6
1.1. AJALUGU	6
1.2. ASUKOHA ÜLESANDED TÄNAPÄEVAL	7
1.3. ASUKOHA ÜLESANNETE TEOREETILISED ASPEKTID.....	9
1.3.1. Ruumimudel ja täisarvuline asukohe ülesanne	9
1.3.2. Planeeritavate rajatiste arv.....	10
1.3.3. Era- või avaliku sektori huvi ja rajatiste mõju.....	11
1.3.4. Piiratud- ja piiramatu mahutavusega rajatised	12
1.3.5. Kaugus nõudluspunktide ja rajatiste vahel	12
1.3.6. Enamlevinud asukohamudelid.....	13
1.3.6.1. Piiramatu mahutavusega rajatise asukohta ülesanne	13
1.3.6.2. p-keskmine ja p-mediaan ülesanne.....	13
1.3.6.3. Asukohtade katvuse ülesanne	14
1.3.6.4. p-dispersioon ülesanne	15
1.4. ASUKOHA ÜLESANNETE LAHENDAMINE – OPTIMEERIMINE	15
1.4.1. Lahendamise keerukus.....	15
1.4.2. Lihtsustamine nõudluspunktide liitmise teel.....	18
1.4.3. Heuristilised meetodid lahendamisel	19
2. KOOLIVÕRGU PLANEERIMINE	21
2.1. KOOLIVÕRGUGA SEOTUD ASUKOHA ÜLESANDED.....	21
2.2. GISi ROLL – ANDMETE PRODUTSEERIJAJA ETTEVALMISTAJA	25
2.3. ROTSILIK LÄHENEMINE	27
2.4. ROTSi VÕRDLUS ASUKOHA ÜLESANNETEGA	28
3. ANDMED JA METOODIKA	30
3.1. EESTI KOOLIVÕRGU ÜLEVAADE	30
3.2. ANDMETE KOONDAMINE ANDMEBAASI.....	32
3.2.1. Teeninduspiirkonnad	32

3.2.1.1.	Probleemid teeninduspiirkondade infoga	34
3.2.2.	<i>Koolide register</i>	35
3.2.2.1.	Andmetega tehtud operatsioonid ja tekkinud probleemid	35
3.2.2.2.	Koolide geokodeerimine	38
3.2.3.	<i>Õpilaste- ja rahvastikuregister</i>	39
3.2.3.1.	Andmetega tehtud operatsioonid ja tekkinud probleemid	39
3.2.3.2.	Õpilaste geokodeerimine	41
3.2.4.	<i>Rahvaloenduse andmebaas</i>	44
3.2.5.	<i>Pedagoogide register</i>	45
3.3.	ROTS KESKKONNA LOOMINE	46
4.	TULEMUSED	48
4.1.	ANDMEBAAS	48
4.1.1.	<i>Andmebaasi uuendamine</i>	49
4.2.	KAARDIRAKENDUS INTERNETIS	50
4.3.	ROTS KESKKOND	51
4.3.1.	<i>Teemakaartide generaator ja analüüs</i>	51
4.3.2.	<i>Rände analüüsid</i>	55
4.3.3.	<i>Koolihariduse kättesaadavus</i>	57
4.3.4.	<i>Koolide hindamine – ekspertsüsteem</i>	59
5.	ARUTELU	62
6.	KOKKUVÕTE	66
SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEM ENVIRONMENT FOR SCHOOL		
NETWORK PLANNING IN ESTONIA		68
TÄNUAVALDUSED		69
KASUTATUD KIRJANDUS		70

Sissejuhatus

Käesoleva magistritöö teema on suhteliselt praktiline ja välja kasvanud konkreetsest vajadusest ning tellimusest. 2004. aasta alguses käivitati Haridus- ja Teadusministeeriumi poolt projekt Eesti koolivõrgu igakülgseks arendamiseks. Suuremahulise programmi nimeks sai „21. sajandi haridus” ja selle põhieesmärk oli: „luua kõikidele õpilastele võimalused kvaliteetse hariduse omandamiseks sõltumata õpilase elukohast või sotsiaalsest taustast” (HTM, 2004).

Ühte osa sellest suurest programmist viis läbi Poliitikauuringute Keskus PRAXIS. Nendelt tellitud uuringu eesmärgiks võib nimetada koolivõrgu olukorra kaardistamist, selle kõige laiemas tähenduses: selgitada koolipiirkondade tõmbekeskused lähtudes demograafilisest situatsioonist ja arvestades ka olemasoleva infrastruktuuriga. Projekti suunatus tulevikku eeldas dünaamilist lähenemist, muutuste analüüsi ja tuleviku prognoose. Nii selgitati muutusi ja tekkivaid tõmbekeskusi koolivõrgus välja sel hetkel viimase 10 aasta (õppeaastad 1993/94 – 2003/04) koolide avamisi-sulgemisi ja õpilaste rännet uurides, analüüsiti arengukavasid ja riiklikku statistikat, mida kõrvutati andmetega andmebaasidest. PRAXIS kutsus omale appi ka AS Regio.

Regio pakkus antud projekti nendepoolseks eestvedajaks mind. Nõustunud ettepanekuga asusin tööle. Antud magistritöö kajastabki minu panust AS Regio meeskonnas selle projekti raames, mille nimeks sai “Geograafilise ekspertsüsteemi “Koolivõrk” loomine”. Projekti eesmärgid olid tunduvalt kitsamad, kui seda PRAXISE omad ja palju suurema rõhuasetusega probleemi geoinformaatilisele küljele. Tuli luua koolivõrgu planeerimiseks ja seal toimuvate protsesside analüüsiks mõeldud süsteem. Selleks tuli välja selgitada andmevajadus, olemasolevad andmed korrastada ja mõelda välja andmete uuendamise loogika. Ja ühe tingimusena tuli luua ka Eesti koolivõrku kajastav veebirakendus, mis pidi omakorda saama aluseks edasisele koolivõrgu planeerimisele ja muuhulgas ka optimeerimisülesande lahendamisele.

Miks koolivõrgu optimeerimisülesanne jäi lahendamata, selgub osaliselt ka käesolevas töös. Olgu siinkohal vaid mainitud antud teema suurt poliitilist aktuaalsust ja pidevaid muutusi ministeeriumi prioriteetides. Teiseks põhjuseks, miks matemaatilise optimeerimisülesande lahendamiseni ei jõutud, on reaalse probleemi liigne keerukus,

lahendust tõenäoliselt oluliselt mõjutavate andmete puudulikkus ja selle praktiline otstarbekus. Töös näidatakse, et koolivõrgu optimeerimine kujutab endast nn. halvasti struktureeritud probleemi (palju infot, palju hindamiskriteeriume, eesmärgid konfliktised ja ebamäärased), mille lahendamist ei saa infotehnoloogia vahenditega automatiseerida, vaid üksnes toetada (Roosaare, 2003); selleks loodud vahendeid tuntakse otsustusi toetavate süsteemidena (Sprague, Carlson, 1982).

Käesolev magistritöö ei piirdu ainult AS Regios tehtud praktilise tööga, vaid selle eesmärk on anda ülevaade tüüpilistest asukoha valiku ülesannetest erinevate lähenemiste valguses, et pakkuda teoreetilist alust koolivõrgu planeerimisele, sellele tuginedes vaadelda mujal tehtut koolivõrgu osas ning analüüsida erinevate lahenduste kasutusvõimalusi Eesti üldhariduskoolide võrgu seisukohalt. Niisuguselt aluselt lähtudes kirjeldatakse arvutipõhist keskkonda, mis abistab koolivõrgu kujundamist kui protsessi, keskendudes selle kompleksse ülesande ruumilisele aspektile. Eesmärgi praktilisel realiseerimisel tuli lahendada ka mitmeid tehnilisi ja meetoodilisi, eeskätt andmetega seotud küsimusi, mida käsitlen töö 4. peatükis. Loodud töövahendeid ja nende kasutamist vaatleb 5. peatükk.

Mõisted

Alljärgnevalt mõned tekstis sagedamini kasutatavad mõisted, mis teksti loetavuse huvides on koondatud siia ette.

Asukoha valiku ülesanne (asukoha ülesanne) – *Location (Allocation) problem*. Erinevat tüüpi ülesanded, kus püütakse leida mingi eesmärgiga vastavuses olevat optimaalset asukohta ühele või mitmele teenust pakkuvale rajatisele arvestades nõudluse paiknemist ruumis.

Koolivõrk. Sisaldab endas koolimaju, kui teenust pakkuvaid rajatisi, antud juhul haridust, mis põhihariduse tasemel on kohustuslik ja õpilasi, kes teiselt poolt esindavad nõudluse poolt. Oluline on siinkohal rõhutada mõlema osapoole paiknemist talle omases ruumpunktis (geograafilist asendit) ja teadvustada, et iga õpilane käib mingis koolis ehk moodustuvad seosed koolide ja õpilaste vahel.

Eesti koolivõrk. Antud töö kontekstis ei käsitleta kõiki Eesti koole ja nende õpilasi, vaid ainult päevase õppevormiga üldhariduskoole: algkoolid, põhikoolid ja gümnaasiumid ja nendes käivaid õpilasi. Välja jäävad koolid, mis on mõeldud hariduslike erivajadustega

lastele, vanglakoolid ja täiskasvanutele mõeldud koolid (õhtukoolid) ning nendes õppivad õpilased.

Geokodeerimine. ruumiandmete sidumine geograafilise ruumiga, kas neis sisalduvate koordinaatide või mõne muu atribuudi kaudu, mis seob nad juba olemasolevate ruumiandmete külge.

Koolivõrgu planeerimine. Koolivõrgu haldamist, analüüsimist ja ümberkorraldamist hõlmav tegevus, mis oma olemuselt on suunatud tuleviku nõudluse prognoosimiseks ja selle vastavalt võimalikult hea pakkumise korraldamiseks ja sobiva teostusviisi leidmiseks.

Nõudluspunkt – *Demand point*. Asukoha ülesande puhul on nõudluse paiknemine ruumis seotud teatud punktiga (teenuse tarbija), mida töös nimetangi nõudluspunktiks. Nõudluspunkt võib esindada üksikut tarbijat või ka mitut, sel juhul on toimunud üldistamine ehk nõudluspunktide liitmine (*aggregation*) ja nõudluspunkt esindab mingil alal olevaid tarbijaid, kuid ülesande seisukohalt võetakse seda edasi punktina.

Optimeerimine. Sobivaima võimaliku lahenduse leidmine (optimaalne lahend), vastavalt püstitatud eesmärgile – sihifunktsioonile. Optimaalse lahendi leidmine sihifunktsioonile toimub vastavate algoritmide abil.

Rajatis – *Facility*. Asukoha ülesandes tehasele, poele, laole, haiglale või mõnele muule hoonele või ehitisele, kust pakutakse mingit teenust ja millele otsitakse ülesandes asukohta nimetatakse rajatisteks.

Ruumiandmed. Andmed, mis on seotud või seotavad geograafilise ruumiga

Ruumilisi otsustusi toetav süsteem (ROTS) – *Spatial Decision Support System*. meetodid ja tehnikad, mis tegelevad ruumiandmetest meid huvitava faktori suhtes optimaalsemate asukohtade, teekondade või alade otsimisega (Jones, 1997).

1. Asukoha ülesanded kirjanduses

1.1. Ajalugu

Asukoha ülesannete uurimine on väga pika traditsiooniga, ulatudes vähemalt aastasse 1600, siis tegeleti punktide asukohaga eukleidilisel pinnal. Üks esimesi allikaid, kellele on viidatud, on Toricelli (1646, cit. Eiselt 1992), kes kirjeldas kolmnurgas asuvat punkti, kus kauguste summa selle punkti enda ja kolmnurga 3 tipu vahel on minimaalne (ReVelle, Eiselt, 2005). Põhimõtteliselt oli tema ülesandepüstituses kolm klienti ja üks rajatis ning eesmärgiks oli minimeerida eukleidiliste kauguste summa kõikidest klientidest rajatiseni. Tänapäeva seisukohalt on tegemist Weberi probleemi ühe erijuhuga (Eiselt, 1992; Greenberg, 2004). Klientide ja teenust osutava rajatise valguses puudutas seda probleemi esimesena aga Fermat 17. sajandil, mis tõttu on seda tihti nimetatud ka Fermat-Weberi probleemiks (Greenberg, 2004).

Hilisemal perioodil hakkasid geograafid asukoha mudeleid kasutama nende poolt jälgitud nähtuste ja fenomenide selgitamiseks: von Thüneni ringid (1826), Weberi uurimus tööstuse paiknemisest (1909), keskuskohtade teooria alguses Christalleri (1933) ja siis Löshi poolt (1944). Asukoha ülesannete arenedes ja küpsedes hakkasid sellest järjest enam huvituma ka muude alade esindajad peale geograafide (Eiselt, 1992). 20. sajandi algusest domineerisid sellel alal majandusteadlased, geograafid ja regionaalteadlased. Nende mudelid olid kas graafilised või siis matemaatilised ja väga arvutusmahukad.

Kuni 1960ndate keskpaigani domineerisid ruumi mõttes tasapinnalised (2D) mudelid, kus prooviti minimeerida mingit summeerivat funktsiooni, kas siis näiteks teepikkuseid või kogukulu (ReVelle, Eiselt, 2005). Kaasaegne asukohateooria ja -ülesanded on alguse saanud alates 1950ndatest, kuigi juba 1937 pakkus Weiszfeld välja esimese võimsa meetodi asukohaülesannete lahendamiseks. Esimene tõsiseltvõetav algoritm sellel alal pärinebki matemaatik Weiszfeldi (1937) sulest, kes lahendas *minisum* (summeeriva funktsiooni minimeerimine) tasapinnalise mudeli ühe rajatise ja eukleidiliste kaugustega (ReVelle, Eiselt, 2005). See aga taasavastati alles 1960ndatel. Sealt edasi on see valdkond järjest arenenud (Eiselt, 1992).

Enne 1950ndaid oli rajatistele asukoha leidmisega seoses võrkmodelid (graafe) kirjanduses suhteliselt vähe puudutatud. Tõsine tähelepanu sai alguse 1960ndate keskelt, kui Hakimi (1964; cit. Hakimi 1965) formuleeris p -mediaan ülesande ja kasutas viimase lahendamisel võrkmodelit ehk graafi. Samas tõestas ta, et on olemas vähemalt üks optimaalne lahendus, kus kõik p arv rajatise asuvad võrgu sõlmpunktides, kuid lahendusmeetodit ta sellele probleemile ei pakkunud. Asukoha ülesandeid on väga raske optimaalselt lahendada, kui läheneda neile matemaatiliselt. See on ka üks põhjus, miks suurem huvi ja areng nende vastu on lahti läinud alles kiirete arvutite saabumisega. Asukoha ülesanded sõltuvad paljuski uuritavast probleemist, mis määrab ära ülesandepüstituse struktuuri (eesmärgid, piirangud ja muutujad). Ei ole olemas ühte universaalset asukohamudelit kõigi probleemide jaoks (Current jt., 2002).

1.2. Asukoha ülesanded tänapäeval

Asukoha ülesannete üldine eesmärk on leida asukoht ühele või mitmele rajatisele selliselt, et minimeeritaks kulud, maksimeeritaks tulu, rajatised oleks maksimaalselt kättesaadavad või realiseeritaks veel mõni muu tarbimisega seotud optimeeritav eesmärk (Cornuejols jt., 1990). ReVelle ja Eiselt (2005) selgitavad asukoha ülesande olemust analoogselt, kuid natuke pikemalt: ülesande püstitamine, modelleerimine ja lahenduse leidmine ühe või mitme rajatise asukoha küsimusele etteantud ruumis, kusjuures viimane on piisavalt suur ehk asukoha ülesanded ei tegele ehitiste ja hoonete välimuse ja sobivusega üksteise vahele või naabrusse ja analoogsete küsimustega. Asukoha ülesanded on fokuseeritud nii algoritmide kui probleemide sõnastamisele väga erinevates võtmetes nii erasektori kui ka avaliku sektori seisukohalt. Asukoha ülesannetel on neli iseloomulikku komponenti:

1. tarbijad, kes tekitavad nõudluse – eeldatakse, et nad on seotud mingi asukohaga ruumis;
2. rajatised, millele on vaja leida asukoht ja mis osutavad teenust;
3. ruum, mille piires kliendid ja rajatised lokaliseeritakse;
4. mõõtesüsteem, mis viitab kaugusele (ajaline, distantsiline, kulupõhine) rajatiste ja klientide vahel ning millest lähtuvalt on defineeritud optimeeritav funktsioon.

Asukoha ülesannete spekter on lai, neid kasutatakse väga erinevate rajatiste puhul ja väga erinevate tingimustega. Ühine on aga alati püstitatud eesmärgile optimaalse lahendi

leidmine, mis toimub erinevate algoritmide abil. Selliselt püstitatuna on asukoha ülesanded omamoodi kombinatoorika ülesanded, kus eesmärgiks parima kombinatsiooni leidmine ja mille lahendamisel tulevad appi erinevad operatsioonianalüüsi meetodid (Kaasik, Kivistik, 1982). Mõneti teistsugune lähenemine on asukoha küsimustele vastuse leidmine ROTSi abil, kuigi eesmärk on mõlema puhul täpselt seesama – valida parim võimalik asukoht. Kuna ROTSi võib, erinevalt rahvusvahelises kirjanduses kasutatud asukoha ülesannete (*Location problem*) mõistest, kus parima lahendi leidmine toimub optimeerimisalgoritme lahendades matemaatiliselt, tõlgendada väga laialt, siis on seda käsitletud eraldi peatükis 3.

Asukoha ülesannete lahendamisel ei piisa ainult optimeeritava eesmärgi teadmisest. Juurde tuleb veel väga palju kriteeriume ja faktoreid: kas meie rajatis on piiratud mahutavusega või suudab ta rahuldada kõikide klientide vajadusi; kas me saame ehitada ainult ühe või mitu rajatist; kas meil on ette teada kohad, kuhu me saame rajatise juurde teha; kas me oleme huvitatud maksimaalsest kasust (erasektor) või peame jõudma kõikide tarbijateni (avalik sektor); kas rajatis on inimeste jaoks positiivse või negatiivse mõjuga; millises ruumis me modelleerime (võrkudel – graaf, tasapind, 3D ruum) ja kas see ruum on pidev või diskreetne.

Järgnevalt hästi põgusalt erinevatest asukoha ülesannetest (kuna põhiteemaks on koolivõrguga seotud asukoha ülesanded, siis sellel alal tehtust antakse põhjalikum ülevaade eraldi peatükis 4). Marianov ja Revelle (1995) tegelevad oma uurimustöös hädaabi teenuseid osutavatele rajatistele (politsei, kiirabi, tuletõrje) asukohtade leidmisega. Üks kriteeriume hädaabi teenuste toimimise kohta on reageerimise aeg, kui kiiresti jõutakse sündmuskohale, teiseks on juba teenuse osutamise kvaliteet kohapeal. Nende uurimustöös keskendutakse just sellele esimesele küsimusele. Oluline on siin rõhutada seda, et antud juhul sõidetakse nõudluspunkti kohale ja optimeeritava eesmärgi võib püstitada näiteks järgnevalt: leia minimaalne rajatiste (tuletõrjedepood, kiirabipunkti) arv, et katta teatud alal asuvad võimalikud nõudluspunktid. Faktoreid ja kriteeriume, mida selle puhul tuleb arvestada, on palju: ühendusteade läbilaskevõime, rajatiste võimalik asukoht ja võimsus, võimalik korraga toimuvate väljakutsete arv jne. Selge on see, et erinevate võimaluste hulk kasvab eksponentsiaalselt. Viimase kolme aastakümne jooksul toimunud kiirabibrigaadide asukoha ülesannete arengust seisukohalt, et kuidas olemasoleva ressursiga katta võimalikult suurt ala annab Brotcorne jt. (2003) poolt tehtud ülevaade. Sarnased on ka prügiveo marsruutide ja kogumispunktide planeerimise ülesanded. Taaskasutatava prügi kogumispunkte on planeerinud oma töös näiteks Flahaut jt. (2002). Üks natuke ebatüüpilisem näide on ohtlike jäätmete transpordiks kõige sobilikuma tee otsing ühest punktist teise, kus otseselt rajatisele

asukoha leidmist ei toimunud (Díaz-Báñez, 2005). Kui veel näiteid tuua, siis Malczewski ja Ogryczak (1990) leiavad asukohad lastehaiglatele Warssawis; Butterworth (1989) otsib asukohti panga harukontoritele; Kimes ja Fitzsimmons (1990) hotellidele. Robinsoni ja Bookbinderi (2007) töös otsitakse optimaalset turustamisahelat elektriseadmete firmale, kes Kanades toodab lähteosad, mis lähevad Mehhikosse ja sealt edasi USAsse, kus nad lõplikult kokku pannakse ja turustatakse.

1.3. Asukoha ülesannete teoreetilised aspektid

Tunnuseid, mille järgi võiks asukoha ülesandeid liigitada, on palju ja järgnevalt tuleb neist ka juttu. Üheks tunnuseks on, kas teenuse osutamine ehk nõudluse rahuldamine toimub rajatise kohapeal või mitte. Antud töö seisukohalt huvitavad meid rohkem esimest tüüpi ülesanded, mida kirjanduses nimetatakse ka paiknemise mudeliteks (*location-allocation models*). Teine tüüp kujutab endast ülesandeid, kus teenust osutatakse piki mingit teekonda ning neid saab nimetada teekonna mudeliteks (*location-routing models*). Sellisel juhul ei sõltu rajatiste paiknemise skeem ja selle efektiivsus ainult kaugustest iga üksiku nõudluspunkti ja rajatise vahel, vaid ka planeeritud marsruutidest. Teise grupi mudelid kui meile praegu ebahuvitavad jäetakse edasisest uurimusest välja.

1.3.1. Ruumimudel ja täisarvuline asukohe ülesanne

Asukoha ülesannete keerukus ja arvutusmahukus sõltub otseselt ruumimudelist, mida ülesande püstitamisel kasutatakse. Kõige üldisemalt võib eristada kahte eri ruumimudelit. Pidevad asukoha ülesanded, mis enamasti kasutavad tasapinnalist eukleidilist ruumimudelit, on enamasti mittelineaarsed optimeerimisprobleemid. Diskreetsed asukoha ülesanded, mis suuremalt jaolt kasutavad võrkmodeleid, on aga täisarvulise programmeerimise ja kombinatorikal põhineva optimeerimise ülesanded. Loomulikult on ka palju hübriidmodeleid (ReVelle, Eiselt, 2005). Pidev asukoht tähendab seda, et otsitavale rajatise asukohale ei seata muid piiranguid, kui ainult see, et ta peab jääma etteantud ruumi piiresse. Diskreetsete asukohamudelite puhul on aga rajatise asukoht ära määratud teatud hulga võimalike asukohtadega. Pidev ruumimudel muudab ülesande tunduvalt keerulisemaks ja enamasti kasutatakse diskreetses ruumi, samas on üleminekupiir nende vahel hägus (Avella jt., 1998).

Diskreetse ruumi puhul on mitmeid variante, näiteks võidakse kasutada tasapinnalise eukleidiliste kaugustega ruumi asemel hoopis Manhattani kaugusi. Teise variandina võidakse kasutada võrkmodelit, kas siis mingi regulaarse või ebaregulaarse tesselatsoonina. Võrkmodeli puhul on sisuliselt tegemist graafiga, kus sõlmed tähistavad nõudluspunkte ja ka võimalikke rajatise asukohti. Sõlmi ühendavad kaared näitavad võimalikke ühendusteid. Kaartel on atribuudina juures ka nende pikkust või “kulu” näitav arv, sest graaf iseenesest on topoloogiline mudel; keerulisematel juhtudel võib oluline olla ka kaarte suund. Kahemõõtmelise ruumi puhul võib kõne alla tulla ka mittehomogeenne kauguse mõõtmine. Erinevad alad on läbitavad erineva kiirusega ja ajaline kaugus muutub ning sellest tingituna ka lühim tee. Mittehomogeense ruumi korral on asukoha ülesanded palju keerulisemad. Enamasti on uuritud erinevaid liikumisbarjäre (Avella jt., 1998; Current jt., 2002).

Asukoha ülesandeid võib lahendada ka kolmemõõtmelises eukleidilises ruumis, kuid selle näiteid ma kirjanduses ei kohanud.

Täisarvuline planeerimine ja täisarvulised asukoha ülesanded on lihtsamad lahendada kui pidevad asukoha ülesanded sama arvu sisendandmetega. Sisuliselt tähendab see seda, et kõik muutujad võivad omada ainult täisarvulisi väärtusi või väärtusi ainult etteantud hulgast. Lisaks on selliselt võimalik kaasata asukoha ülesandesse loogilisi abimuutujaid, mille väärtused võivad olla kas 0 või 1 ehk siis mingi tingimusega arvestatakse või mitte (Karma, 1999). ReVelle ja Swain (1970) olid esimesed, kes formuleerisid p-mediaan ülesande kui täisarvulise programmeerimisülesande kasutades ka kriteeriume võimalike väärtustega 0 ja 1 (*zero-one programming problem*).

1.3.2. Planeeritavate rajatiste arv

Olenevalt asukoha ülesandest võib planeeritavate rajatiste arv olla enne teada, lihtsamad juhud otsivad sobivat asukohta ühele ja keerukamad rohkem kui ühele rajatisele. Keerukama võimalusena ei pruugi rajatiste arv aga täpselt teada olla – lihtsalt on olemas mingid eesmärgid, mida on vaja saavutada ja kui paljude rajatistega see õnnestub, selgub modelleerimise käigus. Hea näide siin on tehas(t)e avamine, nii et minimeerida summaarsed kulud, mis lähevad tehaste avamisele ja hilisemale tooraine ning kauba vedamisele (ReVelle, Eiselt, 2005). Ühel juhul võime kulutada vähem raha tehaste avamisele, aga hilisemad tooraine ja toodete transpordi kulud võivad olla seetõttu tunduvalt suuremad, ja vastupidi.

Mitmele rajatisele asukoha leidmine eeldab ka nõudluspunktide jagamist ehitiste vahel. Sellele saab läheneda kahest vaatenurgast: esiteks klient valib (kliente ahvatlev mudel), millisesse rajatisse ta läheb, ja teiseks tüübiks on see, kus rajatise valdaja valib, milliseid kliente ta teenindab.

Enamasti on kasutatud mudelites olukorda, kus nõudluspunktid on seotud just neile lähima rajatisega (lihtsaim lahendusvõimlaus: Thiesseni polügoonid), mis ei pruugi aga kehtida, kui rajatistel on näiteks mahutavuspiirang. Lähima rajatisega sidumine omab mõtet ainult sel juhul kui kehtivad järgmised tingimused (ReVelle, Eiselt, 2005):

1. igasse rajatisse minekuks teeb klient/tarbija eraldi reisi;
2. rajatise omavahelised omadused on kõik samad, näiteks ooteaeg;
3. tarbijad on ratsionaalsed (maksimeerivad kasuteguri).

1.3.3. Era- või avaliku sektori huvi ja rajatiste mõju

ReVelle ja Swain (1970) on asukoha ülesandeid iseloomustanud kui avaliku sektori ja erasektori omasid. Nende erinevusena tuuakse välja, et kui erasektor otsib asukohti tehastele, ladudele või muudele rajatistele ja püüab optimeerida mõnd asukohaga seotud rahalist funktsiooni (enamasti tulu maksimeerimine), siis avalik sektor otsib rajatistele asukohti maksimeerides inimeste ligipääsu viimastele ja võimaldades kõikidele teenuse kättesaadavust. Selles jaotuses on aga väga palju üleminekuid – pole võimalik selgelt ära jagada, mis täpselt mille alla läheb. Kui erasektor maksimeerib tulusid ja/või minimeerib kulusid ning eesmärgiks pole üldse olla kõigile inimestele kättesaadav, siis avalikus sektori puhul peab see reeglina just nii olema. Rajatise kättesaadavuse puhul on veel võimalik minimeerida keskmist kaugust või hoopis pikimat kaugust rajatiseni, kirjanduses on neid nimetatud vastavalt *minisum* ja *minimax* eesmärkideks (ReVelle, Eiselt, 2005).

Otsused on tehtavad erinevatel tasemetel, alates üksikisikute poolt ja majapidamises tehtavatest kuni korporatsioonide ja valitsusteni, kus tegemist väga strateegiliste otsuste ja suurte kapitalimahutustega, mis toovad kaasa erinevaid mõjusid piirkonnas. Traditsiooniliselt eeldatakse, et rajatav ehitise on soovitud ehk siis, mida lähemal klientidele seda paremini on täidetud eesmärgi funktsioon, näiteks piirkonna majanduslik areng. Tegemist on tõmbavate eesmärkidega (*pull objectives*). Teatud rajatiste puhul soovitakse, et nad oleks klientidest võimalikult kaugel, kuna nende mõju on kahjulik, ebaesteetiline või muul moel ebasoovitav põhjustades näiteks reostust. Selliste mõjudega asukoha ülesannet nimetatakse tõukuvate

eesmärkidega (*push objectives*) ülesandeks. Samas on siin ka mingi mõistlik piir, näiteks soovitakse prügimäge endast võimalikult kaugemale, kuid mitte liiga, et hilisemad transpordikulud väga suureks ei läheks, sest kliendid ei oleks nõus enam maksma. Seega on vähemalt üks eesmärk siin ka tõmbav ja lahenduseks on kompromiss. Kolmas klass on võrdsuse taotlusega ja seda nimetatakse balansseerivate eesmärkidega klassiks (*balancing objectives*). Rajatised peaks olema kõigist klientidest võimalikult võrdsel kaugusel. Selle klassi puhul on olemas suhteliselt tihti mingi kaugusega seotud nõue, et soovitud hoonete puhul ei tohi see olla ühestki kliendist kaugemal kui mingi üldaktsepteeritav nõue ja ebameeldiva rajatise osas on antud vastavalt miinimumnõue (Current jt., 2002; ReVelle, Eiselt, 2005).

1.3.4. Piiratud- ja piiramatu mahutavusega rajatised

Piiramatu mahutavusega rajatiste kasutamine asukoha ülesannetes on samuti üks kõige tavalisemaid ja enimkasutatud variante asukoha optimeerimisel. Kirjanduses esineb erinevate ingliskeelsete terminitega: *simple plant location problem*, *uncapacitated facility location problem*. Tähendab see seda, et 1 rajatis võib teenindada ükskõik kui paljusid nõudluspunkte. Piiratud mahutavusega rajatise asukoha mudel (*capacitated plant location model*) on analoogne eelneva ülesandega, kuid lisatingimusena on rajatisel kindel mahutavuse piirang kui palju nõudluspunkte ta suudab teenindada. Sellest tingimusest piisab, et ülesanne tunduvalt keerulisemaks muuta (Sankaran, 2007).

1.3.5. Kaugus nõudluspunktide ja rajatiste vahel

Maksimaalse kauguse mudelite (*Maximum distance models*) puhul loetakse ala rajatise ja selle poolt pakutava teenusega kaetuks siis, kui ala jääb mingi etteantud kauguse (max) piiresse. Näiteks õpilased ei tohi jääda koolist kaugemale kui 2 km või kiirabi asub maksimaalselt 10 minuti kaugusel. Samas ei pruugi rajatisele lähemal olemine tähendada, et teenus on parema kvaliteediga või nõudlust paremini rahuldav (Current jt., 2002). Seega maksimaalse kauguse mudelid optimeerivad nõudluspunktide ja rajatise vahelist maksimaalset kaugust.

Summaarse või keskmise kauguse mudelid (*Total or average distance models*) on sellised, kus asukoha planeerimisel ollakse huvitatud kõikidest nõudluspunktide ja rajatiste

vahelistest kaugustest. Näiteks mingi tootmisettevõtte, kes saab tooraine erinevatest punktidest, on huvitatud, et nende kauguste summa oleks minimaalne. Loomulikult on siin veel võimalik rakendada ka erinevaid kaale olenevalt konkreetse kauguse olulisusest (näiteks tooraine hinnaga kaalutud kaugus). Põhiline on aga see, et optimeerimisel lähtutakse kõikide tarbijate ja teenust osutavate rajatiste vahelistest kaugustest (Current jt., 2002).

1.3.6. Enamlevinud asukohamudelid

1.3.6.1. Piiramatu mahutavusega rajatise asukoha ülesanne

Kõige tavalisem ja enamlevinud asukoha ülesanne. Sarnane alljärgnevalt toodud p-mediaan ülesandele ehk siis keskendub summaarse funktsiooni optimeerimisele (nõudluspunktide keskmine kaugus rajatisest), selle erinevusega, et rajatiste arv selgub probleemist tulenevatest teguritest ja leitakse jooksvalt koos lahendusega (ReVelle, Eiselt, 2005). Rajatisel ei ole piiranguid, kui palju kliente see suudab teenindada, seega piisaks tegelikult ka ju ühest rajatisest, mis võiks teenust osutada kõikidele klientidele. Enamasti on aga mudelil veel teisigi kriteeriume, mis võivad olla abiks rajatiste arvu määramisel, näiteks ei tohi see ületada mingit maksimaalset kaugust tarbijast või on mingid eelarvelised piirangud ja ülesannet lahendades jõutaksegi ka optimaalse rajatiste arvuni.

1.3.6.2. p-keskmise ja p-mediaani ülesanne

P-mediaan ülesanne seisneb asukoha leidmises rajatistele arvuga p selliselt, et minimeeritakse summaarne (*minisum*), nõudlusega kaalutud kaugus rajatiste ja vastava rajatisega seotud nõudluspunktide vahel (Hakimi, 1965, Current jt., 2002). Meil on teada otsitavate rajatiste arv (p) ja nõudluspunktide kaaluks, mida summaarse kauguse leidmisel arvestatakse, võiks kõige lihtsamal juhul olla näiteks liidetud nõudluspunktide arv (Bowerman jt., 1999).

P-keskmise ülesanne minimeerib maksimaalse kauguse, iga nõudluspunkti ja rajatise vahel. Mõlemal juhul eristatakse veel kahte võimalust, kus rajatised a) saavad olla ainult kindlalt ettemääratud sõlmpunktides (*node centers*) või b) rajatised võivad olla ükskõik kus võrgustikus (*absolute centers*) (ReVelle, Eiselt, 2005). Mõlema eelpool nimetatud variandi

puhul on tegemist NP-raske ülesandega, kusjuures ka üldine p-mediaan ülesanne on NP-raske, mida näitasid oma uurimustes Kariv ja Hakimi (1979a, 1979b). NP-raske näol on tegemist ühe arvutuslikele ülesannetele omistatava raskusastme klassiga, mida on lähemalt lahti seletatud peatükis 1.4.1.

Tinglikult võiks öelda, et need kolm peamist mudelit asukoha ülesannetes: p-keskmine (*p-center*), p-mediaan (*p-median*) ja piiramatult mahutavusega rajatise asukoha mudel (*uncapacitated facility location problem*) pakuvad üldise kontseptsiooni, mis konkreetsete ülesandest tingitud aspektide lisandudes annavad palju erinevaid variatsioone.

Väikse muutuse abil võib tüüpilisest *minisum* eesmärgiga p-mediaan ülesandest teha ka *maxisum* eesmärgiga ülesande. See kujutab juhtu, kus vähemalt üks eesmärk nõuab, et rajatised oleks tarbijatest võimalikult kaugel – tõukavad eesmärgid (näiteks prügimäed, ohtlikud tehased jne.). Seega otsitakse asukohta p rajatistele, nii et nõudlusega kaalutud kaugus nõudluspunktide ja rajatiste vahel oleks maksimaalne.

1.3.6.3. Asukohtade katvuse ülesanne

Teatud juhtudel, näiteks kiirabi punktid, pole p-mediaan ega p-keskmine ülesanne sobiv, sest soovitakse katta/hõlmata kliente mingi piirava teguri tingimustes (ajaline või distantsiline kaugus). Just seda piiravat kriteeriumi algsed p-mediaan ja p-keskmine ülesanne ei arvesta. Sellist täiendusena saadud mudelit nimetatakse: asukohtade katvuse ülesandeks (*location set covering problem – LSCP*) ja selle eesmärgiks on leida minimaalne rajatiste arv, mis kataks kogu nõudluse. Ka see ülesanne on oma olemuselt NP-raske, aga paljud võrkudelil baseeruvad LSCP ülesanded on lahendatud lihtsalt lineaarse programmeerimise / planeerimise teel (ReVelle, Eiselt, 2005).

LSCP eeldab, et kõik tarbijad saaks kaetud, mis on range tingimus ja mudel võib väga laialipaiknevate nõudluspunktide korral anda tulemuse, mida ei ole rajatiste arvu tõttu majanduslikult võimalik teostada. Siin on jällegi palju võimalike probleemi ümberpüstitsi. Üks neist on maksimaalse katvuse ülesanne (*maximum covering location problem – MCLP*). Oma olemuselt sarnane LSCPga, aga selle vahega, et on teada rajatiste arvu ülempiir. See mudel otsib majanduslikult mõistlikule rajatiste arvule asukohta selliselt, et kaetav nõudluspunktide arv, arvestades rajatiste standardeid, oleks maksimaalne. Seda ülesannet on juba märksa keerulisem lahendada (ReVelle, Eiselt, 2005).

1.3.6.4. p-dispersioon ülesanne

Olgu veel ära mainitud üks tüüp asukohamudeleid: p-dispersioon mudelid (*p-dispersion model*). Antud juhul nõudluspunkte ei olegi ja lahendatavaks optimeerimisülesandeks on rajatiste endi vahelise kauguse miinimumi maksimeerimine. Näitena tuuakse sõjaväebaasid, põhjendusega, et nende eraldatus muudab nende ründamise raskemaks, samas peavad need baasid olema võimelised katma kogu territooriumi mingi kriteeriumi raames (ReVelle, Eiselt, 2005).

1.4. Asukoha ülesannete lahendamine – optimeerimine

1.4.1. Lahendamise keerukus

Ühe muutujaga funktsiooni ekstreemumülesanne on lihtsaim matemaatilise optimeerimisülesande kuju. Optimeerimisülesande matemaatiline mudel koosneb eesmärgi kirjeldavast sihifunktsioonist, millele võib lisanduda kitsendusi ja lisatingimusi esitav võrrandi ja/või võrratuste süsteem. Kui on palju lisatingimusi ja sihifunktsioon on mitme reaalmuutuja funktsioon, siis on klassikalised diferentsiaalarvutustel põhinevad lahendusmeetodid arvutustehniliselt keerukad. Appi tuleb operatsioonianalüüs ja selle erinevad matemaatilised meetodid, mida võib kokkuvõtvalt nimetada matemaatiliseks planeerimiseks. Lineaarseks nimetatakse planeerimisülesannet (lineaarne planeerimine – LP) siis, kui sihifunktsioon on lineaarne ja kitsenduste süsteem koosneb lineaarsetest võrrandite ja võrratuste süsteemist, mis määravad lahendite hulga. Lineaarse planeerimise ülesanded kuuluvad kumerate planeerimisülesannete hulka – nii sihifunktsioon kui ka kitsenduste süsteemi võrrandid ja võrratused moodustavad kumera lahendite hulga (Pungar, 2004).

Kumera planeerimisülesande iga lokaalne optimum, mis paikneb kumera hulknurga tippudes, on ka globaalne, seega on saadud sihifunktsiooni suurim või vähim väärtus, kitsendustega määratud tingimustes kindlasti parim võimalik lahend.

Ülesanded, kus lahendusvariante on väga palju – näiteks erinevad kombinatoorika-ülesanded, nende seas ka asukoha ülesanded – ei pruugi olla sisuliselt keerulised. Võimalike kombinatsioonide arv kasvab eksponentsiaalselt lähteandmete hulgaga, kui viimased on üksteisest sõltumatud. Tugineda saab siin kombinatoorika ülesannete kahest toodud postulaadist esimesele (Kaasik, 1978):

Korrutamisreegel: Kui objekti A saab valida m erineval viisil ja pärast iga sellist valikut saab objekti B valida n erineval viisil, siis nii A kui ka B valikuks leidub $m \cdot n$ erinevat võimalust.

Liitmisreegel: Kui objekti A saab valida m erineval viisil ja objekti B n erineval viisil, kusjuures A ja B valikud on teineteist välistavad (s.t. pole võimalik valida nii A kui ka B samal viisil), siis kas A või B valikuks leidub $m + n$ erinevat võimalust.

Kõige kindlam viis parima lahenduse leidmiseks on kõik kombinatsioonid järgi proovida. Selline ülesanne on iseenesest hästi lihtne ja arusaadav, aga tohutult arvutusmahukas ja selle sooritamine ei ole alati mõistlik.

Erinevate kombinatoorikaülesannete lahendamine sai hoo sisse 1940-50ndatel kui G. B. Dantzig avastas simpleksmeetodi lineaarsete kombinatoorikaülesannete optimaalse lahendamise tarvis (Andersson, 2000). Simpleksmeetod on üks peamisi lineaarse planeerimisülesande lahendusmeetodeid (Paas, 1998). Simpleks on n -mõõtmeline kumer hulktahukas $n+1$ tipuga. LP ülesannete lahendamiseks tuleb kanoonilisel kujul olevale kitsenduste süsteemile lisada sihivõrrand ja lahendamine toimub eeldusel, et lahend (optimaalne tulemus) paikneb ühes lahendite hulga tippudest, mis on lõplik, kui optimaalset lahendit ei leita, siis on sihifunktsioon tõkestamata (Pungar, 2004)



Joonis 1. Kumer ja mittekerk hulknurk.

Dantzig jt.. (1954) suutsid simpleks meetodiga ära lahendada lineaarse määramisülesande (*assignment problem*) ja maksimaalse voo ülesande (*maximum flow problem*), kuid rändkaupmehe ülesande (*traveling salesman problem*) lahendamine sellega ei õnnestunud. Neist esimene on üks fundamentaalsemaid kombinatoorika ülesandeid. Tavaliselt kujutatakse seda ülesannet kaheosalise graafina, kus sõlmpunktid paiknevad justkui kahes osas ja neid ühendavate kaarte otsad peavad asuma eraldi pooltes, ning eesmärgiks on kaarte kaalude summa minimeerimine või maksimeerimine (DADS, 2005). Kaasates simpleks meetodile lõikemeetodi (*cutting planes*) õnnestus Dantzig jt. (1954) lahendada ka rändkaupmehe ülesanne 49 linna näitel. Veel lisandunud meetodid, näiteks harude-tõkete meetod (*branch and bound*), kus toimub ülesande järjest väiksemaks osapiirkondadeks jagamine ja perspektiivsemate piirkondade valik, mis omakorda jaotatakse väiksemateks osadeks (Karma, 1999) – võimaldasid ka suuremate näidete puhul ülesande lahendada, kuid

süsteematilist meetodit, kus oleks kindlalt määratud aeg, mille jooksul lahendus leitakse, ei ilmunud (Andersson, 2000).

Rändkaupmehe ülesanne ja samamoodi asukoha ülesanded on raskesti käsitletavad just selles mõttes, et puuduvad algoritmid, mis lahendaksid need kõikidel juhtudel mõistliku ajaga. Üldine arusaam on, et realistlikud asukoha ülesanded mõnesaja sõlmpunktiga on lahendatavad mõistliku aja jooksul, kuid mis täpselt on mõistlik, seda ReVelle ja Eiselt (2005) ei täpsustata. Sellistele keerulistele ülesannetele, mille jaoks puuduvad üheselt määratud lahendusalgoritmid on omistatud erinevad keerukusklassid. Nende lahendamine toimub erinevate heuristiliste meetoditega ja parima lahenduse asemel peame leppima hea lahendusega. Mis on hea lahendus, sõltub aga defineerimisest – võimalikult lähedal parimale lahendusele (Andersson, 2000).

Ülesanded jagunevad kahte klassi – need, mille lahendamiseks leidub polünomiaalse ajakeerukusega algoritm, ja need, mille jaoks sellist algoritmi ei leidu. Esimesena mainitud nimetatakse klassiks P . On olemas ülesanded, mille jaoks pole teada polünomiaalse ajaga lahendusalgoritmi, kuid ei ole ka tõestatud, et sellist algoritmi ei leidu. Ülesannete hulgas, mis teadaolevalt ei kuulu klassi P (või $\sim P$), on alamklass nimega NP -täielik – ülesanded, mis on kas kõik polünomiaalse ajaga lahendatavad või ei ole ükski neist polünomiaalse ajaga lahendatav. Küsimus "Kas $NP = P$?" on lahtine, kuid enamus pooldab seisukohta, et NP -täielikud ülesanded on eksponentsiaalse ajakeerukusega (Littover, 2002; DADS, 2005).

"**NP**" (*non polynomial*) on selline ülesannete klass, mille õigsust saab kontrollida mittedetermineeritud Turingi masin (*nondeterministic Turing machine*) sisendi suhtes polünomiaalse tööajaga (*polynomial time*) algoritmi abil. See ei tähenda aga, et lahendi saaks leida kiiresti, vaid ainult seda, et eeldatavat lahendit saab kiiresti kontrollida ja tagasi lükata (Littover 2002; DADS, 2005). Kui võtta näitena kaubareisija ülesanne, siis lahenduse leidmine küsimusele, kas lühim tee on kõige rohkem 200 km, võib osutuda väga keeruliseks. Kuid kui see kord juba leitud on, siis on seda väga lihtne kontrollida läbides kõik etteantud punktid ja summeerides nende vahe. Ja eitava vastuse kontrollimine iseenesest pole võimalik lahendamata tervet ülesannet. See, et kuni 200 km teed pole leitud, ei tähenda ju, et seda ei pruugi olemas olla. Lahendusvariantide kontrollimise asümmeetria on üks NP võtmetunnuseid (Andersson, 2000).

"**NP-täielik**" (*NP-complete*) on ülesannete klass, mille lahendite õigsust saab kontrollida sisendi suuruse suhtes polünomiaalse tööajaga algoritmi abil ning ükski NP -ülesanne ei ole rohkem kui polünomiaalse teguri võrra raskem. Antud klass ülesandeid on keerukamad kui ülesanded klassis NP . Mitteformaalselt nimetatakse ülesannet NP -täielikuks,

kui lahendeid saab kiiresti kontrollida ja antud ülesande kiiret lahendusalgorithmi on võimalik kasutada kõigi teiste NP-ülesannete kiireks lahendamiseks.

“**NP-raske**” (*NP-hard*) on mitteametlik ülesannete keerukusklass, mis on sisemiselt raskemad kui need, mida saab lahendada Turingi masina abil mittedetermineeritud polünomiaalse ajaga. Tegemist on vähemalt sama raskete ülesannetega kui seda on NP ülesanded (Littover 2002; DADS, 2005).

1.4.2. Lihtsustamine nõudluspunktide liitmise teel

Asukoha ülesannete lihtsustamise enamkasutatud võimaluseks on mitte tegeleda iga kliendiga eraldi, vaid samas piirkonnas olevad kliendid liita üheks nõudluspunktiks. Selline klientide liitmine tekitab üldistuse ka optimeeritavas funktsioonis ja viib vigadeni ülesande lahenduses (Bowerman jt., 1999). Üks kõige keerulisemaid küsimusi sellise klientide liitmise juures ongi see, kuidas peaks kliente liitma, et ülesande saaks taandada eelnevalt soovitud suurusele, kontrollides samal ajal, mil määral üldistatakse optimeeritavat funktsioon (Sankaran, 2007).

Hillsman, Rhoda (1978) eristavad 3 tüüpi vigu, mis tekivad nõudluspunktide liitmisel: A, B ja C. Vead A ja B on tingitud ebatäpsest kaugushinnangust. A tüüpi vead tulenevad sellest, et liidetud nõudluspunkti kaalutud kaugus teenindavast rajatisest ei ole sama, mis iga algse nõudluspunkti arvestamise korral oleks. Viga B on A erijuht, kui liidetud nõudluspunkt asub samas kohas, kus ka teenindav rajatis. B tüüpi vead põhjustavad sihifunktsiooni alahindamist ja A tüüpi veavad võivad põhjustada nii ala- kui ülehindamist. C tüüpi vead tulevad sellest, et kõik ühte nõudluspunkti liidetud algsed nõudluspunktid määratakse ühe teenindava rajatise juurde, samal ajal kui algse seisu põhjal võiks mõnele nõudluspunktile mõni muu teenindav rajatis lähemal olla. Erinevates uurimustes on võimalikeks vigade suuruseks kokku saadud 8% ja ka üle 20% (Hillsman, Rhoda, 1978).

Goodchild (1979) toob aga välja, et palju enam sihifunktsiooni veast mõjutab nõudluspunktide agregeerimine aga neid teenindavatele rajatistele leitavaid asukohti. Ruumiline nõudluse liitmine üheks esinduspunktiks võib viia olulise asukohainfo kadumiseni ja parameetrite valede hinnanguteni, tulemuseks valesti omavahel seotud rajatised ja nõudluspunktid ning vale asukoha valik rajatistele. Enamasti baseeruvad asukoha ülesanded just kaugusele ja punktidevahelistele kaugusearvutustele. Vastupidiselt Goodchildile (1979) ja Daskin jt. (1989), leiab Casillas (1987, cit. Cromley, Mrozinski jr, 2002), et selline

nõudluspunktide liitmine mõjutab rohkem optimeeritava funktsiooni väärtust kui plaanitavate rajatiste asukohti. Igal juhul sõltub nõudluspunktide liitmine omakorda mõõtkavast ja seeläbi nõudluse erinevast liitmisest (Cromley, Mrozinski jr, 2002). Erkut ja Bozkaya (1999) väidavad aga, et kui nõudluspunktide liitmisega hoolikalt ja läbimõeldult tegeleda, siis vähemalt p-mediaan ülesannete puhul olulisi vigu ei teki. Kuidas neid vigu kontrollida ja vältida, selleks on olemas eraldi metoodikad, millel antud uurimustöös ei peatuta.

1.4.3. Heuristilised meetodid lahendamisel

Heuristilised meetodid ja lähenemised kujutavad endast sellist tehnoloogilist suunda, kus suur osa on nn katse-eksitusmeetodil ja üldistamisel. Läbi ei proovita kõiki variante, mida kombinatoorika pakub, vaid üritatakse lahenduseni jõudmist omakorda mingil moel optimeerida. Lahenduseni jõudmiseks läbitakse teatud sammud, iga sammu järel toimub tulemuse hindamine, millest sõltub edasine tegevus. Lahenduse leidmiseks kuluv aeg on sisendandmete suhtes polünomiaalne (Andresson, 2000). Heuristilisi meetodeid võib iseloomustada ka kui kindla formaalse struktureeritud reeglistiku läbimise asemel intuiitviseid valikuid tegevaid (Britannica, 2005). Leitud lahend ei pruugi lõppkokkuvõttes olla kõige optimaalsem, kuid garanteerib mingi lahenduse leidmise. Lahendi „headus” (lähedus parimale lahendile) oleks ka selle heuristilise meetodi tulemuse hinnang või kvaliteedinäitaja ning mida lähemal on see näitaja ühele seda parem (Andresson, 2000).

Asukoha ülesannete lahendamiseks on kasutatud erinevaid heuristilisi lähenemisi. Üks esimesi oli Kueheni ja Hamburgeri (1963, cit. Cornuejols 1990) poolt kasutusele võetud meetod piiramatu mahutavusega rajatiste ülesandes. See koosnes kahest paralleelselt jooksvast protsessist, neist esimene funktsioon avas rajatise järjekorras, mis maksimeeris igal sammul optimeeritava funktsiooni väärtuse kasvu; see peatus, kui järgmise rajatise lisamine vähendaks seda väärtust. Hiljem on see meetod nimeks saanud ablas meetod (*Greedy algorithm*). Teine protsess, mis samal ajal jookseb, eemaldab kõik rajatised, mis on muutunud ebaökonoomseks seoses apla meetodi poolt sinna kõrvale paigutatud rajatiste tõttu. Selliselt käivad need kaks paralleelset protsessi niikaua, kuni leitakse, et enam pole võimalik selliselt tulemust parandada. Kokku nimetatakse seda meetodit heuristiliseks vahetamiseks (*interchange heuristic*) (Cornuejols, 1990).

Heuristiline vahetamine ja ahne meetod on aluseks paljudele teistele sarnastele meetoditele. Tihti peale on heuristilised meetodid lihtsamad ja neid on kergem hallata ning nad

jõuavad optimaalse tulemuseni palju kiiremini. Lihtsam on kaasata ka erinevaid piiranguid, faktoreid ja alternatiive (Pizzolato jt., 2004).

Matemaatilises plaanimises (*Mathematical programming*) on heuristiline lähenemine tavaliselt protseduur, mis otsib parimat lahendit, kuid ei taga selle leidmist (Greenberg, 2004). Teise definitsiooni järgi on heuristilise lähenemise näol tegemist algoritmiga, mis annab tavaliselt tulemuseks peaaegu parima lahenduse, kuid mitte alati (Dictionary, 2005). Erinevalt teisest definitsioonist, kus öeldakse, et heuristiline lähenemine on ka algoritm, Greenberg (2004) vastandab neid ja toob välja mõiste heuristiline funktsioon.

Ainult mõnes artiklis on puudutatud asukohapõhiste mudelite juures ajalist aspekti. Nende puhul ei vaadata, kuidas võiks muutuda nõudlus ajas, kuid avalikus halduses ja teenuste pakkumises on just see külg väga oluline. Siiski ühe näitena võib siin tuua Davies ja Thomase (1976) uurimuse avalikku teenust pakkuva rajatise asukoha strateegia valikust ajas muutuva nõudluse korral. Churchi (2002) arvates on enamus mudeleid testitud „valge lehe” põhimõttel ehk arvestades nagu oleksid kõik ehitised uued. Ainult mõned heuristilised lähenemised on kujundatud ka juba olemasoleva süsteemi kohendamisele ja/või modifitseerimisele.

Olemas on veel ka mõiste metaheuristiline lähenemine, mis ühelt poolt tähendab kõrgema taseme algoritmide võrgustikku või lähenemist, mis on spetsialiseerunud optimeerimisülesande lahendamiseks. Teiseks tähenduseks sellel mõistel on kõrgtasemel strateegia, mis juhib teisi heuristilisi meetodeid optimeerimisülesande lahenduse otsinguil (Dictionary 2005).

2. Koolivõrgu planeerimine

2.1. Koolivõrguga seotud asukoha ülesanded

Kooli teeninduspiirkondadega tegelevad nii Holloway jt. (1975) kui ka Diamond ja Wright (1987). Esimeses uurimuses on probleemiks õpilaste vähenemine osades tiheasustusalades, mille tõttu majanduslikud ja hariduse kvaliteedi nõuded tingivad koolide sulgemise. Erinevate osapoolte huvid ja kaalutlused ei ole ühesugused. Holloway jt. (1975) peamiseks eesmärgiks ei ole optimaalse plaani leidmine, vaid pigem erinevate aspektide: majandusliku, haridusliku, poliitilised ja administratiivsed kvantifitseerimine ning mõõdetavaks muutmise, koolivõrgu planeerimisel erinevate kvantitatiivsete eesmärkide püstitamine ja siis neid rahuldavate lahenduste otsimine, mida kokku nimetataksegi interaktiivseks mudeliks. Selgelt on tegemist ROTS'iliku lähenemisega, kuhu kaasatakse ka ajaline aspekt kasutades enamasti 5 aasta kooli sisseastujate prognoosi.

Diamond ja Wright (1987) on oma uurimustöös eesmärgiks seadnud koolivõrgu ümberkorraldamise, lähtuvalt mitmest eesmärgist, nii et koolide ümber tekiks pidevad (ilma lahustükkideta) teeninduspiirkonnad. Nad koostavad mitme eesmärgiga mudeli, mis on abiks koolivõrgu ümberkorraldamisel: õpilaste kaugus koolist (ei arvestata koolibusside marsruute, kuna see muudaks mudeli liialt keerukaks); õpilaste koolitee ohutus – võimalikel kooliteedel loendati ohtlikud kohad ja püüti nende arv minimeerida; koolide efektiivne kasutamine (mahutavus); ja viimaseks, et ümberkorralduste tagajärjel peaks võimalikult vähe õpilasi ümber suunama uude kooli. Nende mudelil olid järgmised ranged piirangud: iga õpilane seostati ainult ühe kooliga; koolil oli mahutavus piirang, mida ei tohtinud ületada; avatud koolide arv; koolipiirkond ei tohi koosneda lahustükkidest. Modelleerimisel kasutavad rastermudelit ja proovivad tekitada koolipiirkondi. Praktiliselt proovisid nad oma mudelit aga ainult kolme kooli ja nende teeninduspiirkondade peal ning tulemusena pidi alles jääma kaks kooli.

Mattson (1986) kasutab piiratud mahutavusega rajatise asukoha leidmise ülesannet koolide asukohtade modelleerimiseks. Tema uurimisalaks on Rootsis asuv Uppsala omavalitsusüksus oma 150000 elanikuga. Erinevalt eelmistest töödest laste arv ja nõudlus koolihariduse järgi selles piirkonnas kasvas. Seega arvestatakse olemasolevate koolidega ja kaalutakse ka uute koolide rajamist. Kooliealised lapsed seostatakse koolidega nii, et

minimeerida selle koolipiirkonna kulud ja laste koolitranspordi kulud. Püstitatakse ka küsimus, kas on otstarbekas pidada vana kooli koos selle ülalpidamiskuludega või on otstarbekam uue kooli rajamine. Jõutakse välja täisarvulise planeerimiseni piiratud mahutavusega rajatise asukoha mudeli näol.

Sarnaselt Mattsoni (1986) uurimisega on ka Tewari ja Jena (1987) uurimuses, kus ta käsitleb India koole (8-10 klass) maapiirkondades, tegemist õpilaste arvu kasvuga, antud juhul on tegemist aga palju suuremahulisema protsessiga, mis tingib koolihariduse puudulik kättesaadavuse. Paljudele õpilastele on kool kaugemal kui 8 km (37% 1978), koolid on halva asukohaga, paljud liiga väiksed ja osad jälle liialt suured nende majandamiseks. Nende uurimuse eesmärk on hinnata otsuste tegemise protsessi ja selle tulemust. Vahemikus 1981-1982 avati 13 kooli, ettepanekud tulid kohaliku algatuse korras ja riigi poolt. Hindamaks nende koolide asukohtade valiku headust (optimaalsust), kasutasid Tewari ja Jena (1987) oma uurimuses tüüpilisi asukoha ülesandeid: minimeerida keskmine õpilaste koolitee kaugus lähimasse kooli ja maksimeerida rahvaarv, kes saab kaetud koolide maksimaalse 8 km laia teeninduspiirkonnaga.

Arvutustes kasutati 600 linna ja küla geokodeeritud asukohta 1971. aasta järgi ja 1981. aasta rahvaloenduse andmeid. Linnade ja küladevaheliste ühenduste põhjal arvutati nendevahelised lühimad teed ja saadi 600x600 kauguste maatriks. Ja nõudluse selgitamiseks kasutati rahvaloenduse andmeid. Tulemusena leiavad Tewari ja Jena (1987), et asukoha ülesannete poolt leitud optimaalsed tulemused on palju paremad ja efektiivsemad kui sealsete otsustajate poolt tehtud valikud. On küll välja töötatud hulk reegleid, kuidas ja millega koolide rajamisel arvestada (määratletud ligipääsetavuskriteeriumid), aga korraliku infosüsteemi puudumine, huvigruppide subjektiivsus, situatsiooni keerukus ja probleemi mastaapsus annavad ebatervikliku ja vale lähtekohe otsuse tegemiseks.

Elizondo jt. (1997) lahendasid ülesande, kus iga õpilane määrati ühte kooli nii, et piirkonna kulud oleksid minimaalsed ja lisaks arvestati koolide mahutavuse piiranguid. Mudel on selles mõttes paindlik, et kulud võivad olla määratud väga erinevalt ja mudeli tööd see ei mõjuta. Konkreetset ülesandepüstituses mõeldakse kulu all, kas ajalist, distantsilist või rahalist kulu. Iseenesest on see väga laialt aktsepteeritud ja praktiline mudel. Poliitiliselt ja majanduslikult keerukamaid kriteeriume võib siis arvestada juba optimeerimismudelil eraldi. Seega ei pea optimeerimismudel lahendama koolide mahutavuse ülesannet iga inimese kohta, vaid pigem olema üheks sisendiks lahendusprotsessil. Selline lihtne mudel on enamasti kõigi poolt aktsepteeritud ja planeerijad on alati palju vastuvõtlikumad programmile, mis pakub soovitusi konkreetse lahenduse asemel (Elizondo jt., 1997).

Rahvastiku prognoosi kaasamine koolide mahutavuse muutuste mudelitesse on praktilist väljakutset pakkuv ülesanne (Elizondo jt., 1997). Mitmete, majanduslikud ja poliitilised, omavahel konfliktsete faktorite tingimustes, koolide mahutavuse ja teeninduspiirkondade planeerimisel, on raske ette kujutada stsenaariumi, mis toimiks muutusteta nii optimeerimisülesande stsenaariumi püstitamisel, lahendamisel ja ka tulemuse rakendamisel (Elizondo jt., 1997). Modelleerimise ajavad keerulisemaks erinevad koolitüübid (ehk ühes koolis ei pruugi olla kõiki klasse) ja erinev minimaalselt vajalik õpilaste arv. Kui Dimond ja Wright (1987) ütlevad oma uurimuses, et koolibussi marsruutide kaasamine muudaks mudeli liialt keerukaks, siis Elizondo jt. (1997) leiavad, et enne peakski õpilased koolidesse määrama ja alles siis saaks hakata koolibussi liine planeerima.

$$\min C = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} c_{vxkm} x_{jkm} + \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} c_{fkm} (y_{km}^+ + y_{km}^-) + \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} c_{vzkm} (z_{km}^+ - z_{km}^-)$$

subject to:

$$\sum_{k \in K} x_{jkm} = 1, \forall j \in J, m \in M$$

$$\sum_{j \in J} u_{jm} x_{jkm} \leq q_{k0} (y_{km}^+ + y_{km}^-) + q (z_{km}^+ - z_{km}^-), \forall k \in K, m \in M$$

$$(q_{\min k} - q_{k0}) y_{km}^+ \leq q \cdot z_{km}^+ \leq (q_{\max k} - q_{k0}) y_{km}^+, \forall k \in K, m \in M$$

$$q \cdot z_{km}^- \leq (q_{k0} - q_{\min k}) y_{km}^-, \forall k \in K^1, m \in M$$

$$y_{km}^+ + y_{km}^- \leq 1, \forall k \in K, m \in M$$

$$y_{k, m-1}^+ \leq y_{km}^+, \forall k \in K^0, m \in M \setminus \{1\}$$

$$y_{km}^+ \leq y_{k, m-1}^+, \forall k \in K^1, m \in M \setminus \{1\}$$

$$y_{k, m-1}^- \leq y_{km}^-, \forall k \in K^1, m \in M \setminus \{1\}$$

$$z_{k, m-1}^+ \leq z_{km}^+, \forall k \in K, m \in M \setminus \{1\}$$

$$z_{k, m-1}^- \leq z_{km}^-, \forall k \in K^1, m \in M \setminus \{1\}$$

$$x_{jkm} \geq 0, \forall j \in J, k \in K, m \in M$$

$$y_{km}^+, y_{km}^- \in \{0, 1\}, k \in K, m \in M$$

$$z_{km}^+, z_{km}^- \geq 0 \text{ and integer}, \forall k \in K, m \in M$$

where:

J: set of centers ($j = 1, \dots, J$);
K: set of sites ($k = 1, \dots, K$);
 K^0 : set of initially closed sites;
 K^1 : set of initially opened sites;
M: set of periods ($m = 1, \dots, M$);
 x_{jkm} : fraction of users from center j assigned to a facility located at site k in period m ;
 $y_{km}^+ = 1$ if an expanding facility is located at site k in period m ; $y_{km}^+ = 0$ otherwise;
 $y_{km}^- = 1$ if a reducing facility is located at site k in period m ; $y_{km}^- = 0$ otherwise;
 z_{km}^+ : accumulated capacity expansion of the facility located at site k up to period m ;
 z_{km}^- : accumulated capacity reduction of the facility located at site k up to period m ;
 c_{vxkm} : discounted attendance-variable cost of a facility located at site k in period m per user of center j (includes transport costs);
 c_{fkm} : discounted fixed cost of a facility located at site k in period m (for initially opened facilities it includes the costs associated with a capacity of q_{k0});
 c_{vzkm} : discounted capacity-variable cost increase (or decrease) of expanding (or reducing) a facility located at site k in period m ;
 u_j : number of users located at center j in period m ;
 q_{k0} : initial capacity of the facility located at site k ;
 q : capacity of a module;
 $q_{\max k} (\geq q_{k0})$: maximum capacity of a facility located at site k ;
 $q_{\min k} (\leq q_{k0})$: minimum capacity of a facility located at site k .

Joonis 2. Koolivõrgu arendamiseks ja planeerimisettepanekute tegemiseks loodud mudel (Antunes, Peeters, 2000).

Antunes ja Peeters (2000) on välja töötanud dünaamilise optimeerimismudeli (joonis 2), mida kasutati Portugali koolivõrgu arendamisel erinevate planeerimisettepanekute väljatöötamiseks. Mudel lubab koole sulgeda, avada ja muuta ka koolide suurusi õpilaste arvu osas. Koolide kulud on jaotatud kahte ossa: fikseeritud ja muutuvad, viimased sõltuvad mahutavusest ja kooliskäijate hulgast. Avaliku sektori teenusena on eesmärgiks maksimaalne võimalik nõudluse rahuldamine. Piiravateks teguriteks on koolide puhul mahutavus, eelarve ja maksimaalne lubatav teeninduspiirkond. Mudeli sisu ja keerukust iseloomustab joonis 1, kus on ära toodud peamine minimeeritav funktsioon, selle lisatingimused ja muutujate seletused. Tegemist on keeruka täisarvulise planeerimisülesandega, mille lahendamiseks tuleb kasutada heuristilisi meetodeid.

Owoola (2002) väidab oma uurimuses, mille ta viis läbi Nigeerias, et teenindusettevõtete paiknemine on tasakaalust väljas, selle põhjuseks on valitsuse ebaõnnestunud regionaalpoliitika: nõrk ja ebajärjepidev asukohapoliitika teenindusettevõtete asukohtade leidmises ja teiseks puudulikud normatiivid rajatistele asukohtade otsimisel. Owoola (2002) kasutab oma töös ROTSi, leidmaks kui suures ulatuses on teenuste kättesaadavus rahuldatud ja modelleerimaks alternatiivseid mustreid ja paigutust teenuste pakkumiseks. Ta keskendub konkreetsemalt koolidele ja apteekidele ning leiab kvalitatiivse näitaja, kui suur hulk rahvast ei ole vastavate teenustega kaetud. Edasi teeb ka omapoolsed parandusettepanekud ja väidab, et ROTS on väga hea vahend regionaalse planeerimise töövahendina ja erinevatele teenustele asukoha planeerimisel.

Pizzolato jt. (2004) on oma töös analüüsinud olemas olnud koolivõrku ja teinud ettepanekuid koolide ümberpaigutuseks piirkondades, kus pakkumine ületab nõudluse või vastupidi, kus koolikohti on puudu. Koolide ümberpaigutamise soovitusel on saadud nii piiratud kui piiramatult mahutavusega asukoha ülesandeid kasutades. Optimeeritava funktsioonina kasutatakse maksimaalse kauguse minimeerimist ja teatud hoonete arvu juures maksimaalse ala/õpilaste arvu katmist. Enamasti on koolide kättesaadavus seotud ka mingi piirnormiga, kas distantsilise või ajalise kaugusega. Erinevad mudelid olenevalt ülesande püstitusest, kas kujundada näiteks täiesti uus koolivõrk või siis tugineda olemasolevale ja üritada seda optimeerida.

Uurimus on läbi viidud Brasiilias, umbes 300000 elanikuga Vitoria piirkonnas, kus kõrge sündimus alates 1950ndatest läbi 1980ndate ning linnastumine, mistõttu jääb haridus paljudele kättesaamatuks, kuna koolides ei ole piisavalt kohti. Koolide ja koolivõrgu näol on aga tegemist enamjaolt avaliku teenusega ehk siis koolid peavad olema võrdselt kättesaadavad kõikidele õpilastele (Pizzolato jt., 2004). Rahvastikuandmed on üldistatud rahvaloenduspiirkondade järgi aladesse ja ühte ala esindab seal paiknev tsentroid. Koostatakse graaf, kus ühendustee pikkus näitab kaugust koolist ja omistatakse ka kaal „koolitusnõudluse” kohta – õpilaste arv nõudluspunktis.

Pizzolato jt. (2004) meetod eeldab koolivõrgustiku kaardistamist ja mõne vajaliku parameetri kindlakstegemist: kooli mahutavus, antud hetke õpilaste arv koolis, pakutavad teenused, laiendamise võimalused jne. Veel eeldatakse ülesande lahendamisel, et õpilased eelistavad lähimat kooli, kui ei tule mängu lisatingimustena koolide erinev tase, erinev kontingent jne. Tingimused on hoopis erinevad maapiirkondades, kus õpilaste koolitee määrab ära paljuski ka transpordi võimalus (koolibussid). Seal ei ole nende metoodika rakendatav.

Pizzolato jt., (2004) pakuvad välja kolm etappi koolide asukohtade uurimisel:

1. olemasoleva koolivõrgu (koolide asukoha) hindamine;
2. ettepanek optimaalseks asukohaks;
3. võimalik lisauurimus piiratud mahutavusega mudel.

Kahe esimese puhul on mudel praktiliselt sama: p-mediaan ülesanne – esimesel juhul on sõlmed kooli asukohtadega ette antud ja ülejäänud sõlmed, seal kus asuvad õpilased, seotakse lähima kooliga. Teisel juhul on kõik sõlmed võimalikud koolisõlmed ehk siis koolidele on võimalik määrata uus asukoht ükskõik millisesse sõlme.

2.2. GISi roll – andmete produtseerija ja ettevalmistaja

GISi rolli sobib iseloomustama väga hästi ka üks enamlevinumaid GISi definitsioone: „geoinfosüsteem on automatiseeritud süsteem geograafilise ruumiga seotud andmete kogumiseks, haldamiseks, säilitamiseks, päringute tegemiseks, analüüsiks ja esituseks (Clarke 1990, cit. Jagomägi, 1999)”.

Goodchild (1998) toob välja 5 paradigmat GISi kohta, mis annavad GISile sobivuse töötada ja seob need transpordi modelleerimisega. Enamus neist sobivad väga hästi ka koolivõrgu seisukohalt vaadatuna. GIS on hea töövahend digitaalseks kaartide tootmiseks sisaldades endas kõiki põhilisi vajalikke tööriistu selleks. GIS on hästi kasutatav rajatiste haldamiseks ja inventeerimiseks. Veel suudab GIS integreerida erinevaid andmeid. Kuna seotus geograafilise asukohaga on GISi mõistes elementaarne omadus, siis seotakse paljud muidu üksteisega praktiliselt mittehaakuvad andmed võimaldades neid seostatult analüüsida. GIS toetab ruumianalüüsi meetodeid ja andmetöötlust võimaldades annab võimalusi saada uusi andmeid ja informatsiooni. Viimasena toob Goodchild (1998) välja GISi kui vahendi, mis toetab dünaamilist modelleerimist võimaldades prognoosida mõjusid ja hinnata erinevaid stsenaariume ning need kaartide, graafikute ja tabelitena esitleda.

Üks peamisi meetodeid sobiva asukoha leidmiseks GISides on erinevate variatsioonidega kihtide ülekatteoperatsioonid (*overlay*). Enamlevinud viisiks on erinevate sobivuskaartide üksteise peale asetamine ja siis kõige sobivamate alade leidmine. Keerukamatel juhtudel lisanduvad veel erinevad piirangualad, vajadus mitme sobiva asukoha leidmise järgi ja mitu erinevat eesmärki.

Eelneva lahenduskäigu juures ei saa Churchi (2002) sõnul rääkida optimeerimisest. Tegemist on mingite protseduuridega, mis läbitakse ning pärast eeldatakse, et kõige kõrgema

sobivusindeksiga kohad on ka optimaalsed. Kui nendesse kohtadesse planeeritavad rajatised on seotud erinevate nõudluspunktidega, mille vajadusi rahuldatakse nendes rajatistes või on oluline nende teenuste kättesaadavus, siis tõenäoliselt ei ole erinevate sobivuskaartide pealeasetamise ja liitmise teel saadud sobivusindeksi järgi kõige sobivam koht kõige optimaalsem. Selline väärarusaam on aga GIS alases kirjanduses Churchi (2002) sõnul suhteliselt levinud, et ühtegi formaalset optimeerimismudelit rakendamata kiputakse GISi tulemust samastama optimaalse lahendusega.

GIS kui asukohainfo talletaja ja erinevaid analüüsivõimalusi pakkuva töövahendina on aga asendamatu erineva sisendinfo kui ka väljundinfo salvestaja ja esitaja. Näiteks kaugus (distantssiline või ajaline) on üheks sagedasemaks kättesaadavuse näitajaks, mille arvutamiseks pakub GIS erinevaid võimalusi (Church, 2002).

Lisaks sisendandmete produtseerimisele ja väljundandmete esitamisele, võib GIS pakkuda veel ka teisi lisavõimalusi. Näiteks võimalust uurida, kuidas mõjutavad erinevas mõõtkavas andmed asukohamudelite tulemusi. Esimese sellealase uurimuse tegi Goodchild (1979) ning jõudis järeldusele, et see mõjutab tulemust piisavalt oluliselt. Võib uurida erinevate vigade summeerumist mudeli tööprotsessis, disainida mugava kasutajaliidese ja integreerida vastav asukohamudel GISi.

Asukohaga seotud probleemide lahendamise GISiliku lähenemise näitena, kus puudub konkreetne optimeerimisalgoritm, võib tuua Ritsema van Eck ja de Jong (1999) töö. Nad kasutavad oma töös praktiliselt ainult GIS vahendeid – genereerivad erinevate põhimõtete järgi juurdepääsu pindasid (*accessibility surface*) eesmärgiga leida parim asukoht poodidele. Konkreetselt oma näites leivad nad asukoha apteegile tingimustes, kus linnas on kaks apteekide ketti ja üks kettidest tahab avada uue poe. Tutvustatakse erinevaid viise, näiteks läheduse loend (*proximity count*). Põhimõtteliselt tähendab see seda, et iga asukoha jaoks arvutatakse välja kui paljudele inimestele oleks selles kohas asuv pood/apteek lähim. Lisaks saab panna ka mingi maksimaalse kauguse, kui kaugelt on inimesed nõus sinna apteeki tulema. Oluline ei ole siin arvestada ainult ühe rajatava poe seisukohast, et sellel oleks võimalikult suur kliendibaas, vaid otsustada terve kaupluseketi põhjal. Seega tuleks eemaldada eelnevast läheduse loendist need inimesed, kes tõenäoliselt juba käivad sama kaupluseketi poodides (näiteks 1200 meetri raadiuses selle kaupluseketi poodide ümbruses), tulemusena saadakse läheduse loend konkurentsi tingimustes (*proximity count in competition*).

Antud uurimustöös käsitletakse koolivõrku ja põhilisteks küsimusteks on ikkagi koolihariduse kättesaadavus, koolivõrgu planeerimine muutuvates oludes, rände analüüsimine

ja koolide kvaliteedi hindamine. GIS on siinkohal abiks eelkõige kui ruumiandmebaas ja analüüsivahendite pakkuja.

2.3. ROTSilik lähenemine

Otsustusi toetavad süsteemid (OTS) on oma olemuselt väga laiatähenduslikud mõiste ja põhimõtteliselt võiks sinna alla panna igasuguse mudeli, meetodi või vahendi, mis automatiseerib otsuseni jõudmist. Esimesed uurimused sellel teemal said alguse 1960ndatel kui hakati uurima arvutite ja kvantitatiivsete meetodite rakendamise võimalusi otsuste tegemisel (Power, 2007).

OTSe võib jagada erinevalt ühe näitena võib tuua Alter'i (1980, cit. Power, 2007) tehtud liigituse, kes koondab erinevad otsustusi toetavad süsteemid 7 gruppi, mis varieeruvad skaalal täielikult mudelipõhised kuni täielikult andmepõhised. Neist ühe klassina toob ta välja analüüsi ja informatsiooni süsteemid (*Analysis information systems*), mis on mõeldud juurdepääsu tagamiseks erinevatele otsustamisele orienteeritud andmebaasidele ja väikestele mudelitele. Ühelt poolt sobib see väga hästi kirjeldamaks ka praeguses uurimustöös kasutatavat lähenemist. Meil on suur hulk andmeid, mis koondatakse andmebaasi ja hiljem hakates neid analüüsima kasutades mõningaid juba etteantud mudeleid andmetöötluseks ja analüüsiks, toodetakse infot, mis peaks aitama otsuste tegemisel ja planeerimisprotsessil. Samas võib OTSe jagada hoopis teise aspekti alt, nagu näiteks isiklikke, grupi ja organisatsioonilisi vajadusi rahuldavad OTSid (Hackathorn, Keen, 1981).

Antud juhul huvitab meid aga mõneti teine aspekt, nimelt andmete ruumiline aspekt. Me tegeleme andmetega, mis paiknevad konkreetsetes ruumis konkreetsetel kohal ja see on meie seisukohalt oluline. Siinkohal on hea viidata Jonesile (1997), kes väidab et just GIS on see, mille võimaluste kasutamine koos otsustusi toetavate süsteemidega annab meile ruumilisi otsustusi toetava süsteemi (ROTS). ROTSi mõiste oli kirjanduses tekkinud 1980ndate lõpus. Üheks oluliseks tööks, kui ROTSi oli juba kirjanduses kinnistunud on Crossland'i jt. (1995) poolt tehtud uurimus ROTSi tehnoloogiast ja efektiivsuse testist. Oma töös leiavad nad, et ROTSi võimaldab otsustajal oma ülesanded kiiremini lahendada, suurema kasuteguri ja parema arusaamisega läbi probleemi visualiseerimise. Visualiseerimise aspekti olulisust ja abi otsuste tegemisel rõhutab ka Scheibe (2003) oma doktoritöös. Samas tulles tagasi selle mõiste väga laia tähenduse juurde, siis võime ROTSide alla paigutada ka asukohaülesanded, kui

modelipõhised lähenemised ja näitena nimetab Power (2007) veel mitme-eesmärgilist planeerimist, optimeerimist ja modelleerimist.

Kui eelnevalt oli toodud üks näide puhtalt GISiliku lähenemisest asukoha ülesande lahendamisel, siis ROTSiliku näitena võiks tuua Partovi (2006) töö. Seal otsitakse asukohta ühele suurele tööstusettevõtte tehasele – arvestatakse konkurentide paiknemist ja erinevates alternatiivsetes asukohtades tehase rajamise kulusid, tootmiskulusid ja turustamiskulusid. Sellise sisendi ja väljundi vaheliste keeruliste seoste modelleerimiseks kasutatakse meetodit QFD (*Quality Function Deployment*) ja lisaks veel Saaty (2003) välja mõeldud analüütiliste hierarhiate meetodit.

Erinevalt toodud näitest kasutatakse antud töös rohkem andmetel baseeruvat ROTSi, mille olulisteks omadusteks on erinevate analüüsivõimlauste rakendamine, kaasa arvatud pisikesed andmetöötluse mudelid, mille tulemuste esitamisel kasutatakse hästi palju visuaalseid võimalusi. Erinevate stsenaariumite ja võimaluste läbimängimine on üks ROTSi omadusi, mis teeb ta planeerimisel hästi kasutatavaks.

2.4. ROTSi võrdlus asukoha ülesannetega

Asukoha ülesannete lahendamiseks on vaja püstitada eesmärk, mis eeldab vastavalt sellele optimaalse lahendi leidmist. Koolivõrgu puhul saaks selleks olla koolide asukohad, sest õpilased elavad just seal, kus nemad või nende vanemad tahavad. Esiteks ei tähenda koolivõrgu planeerimine ainult kooli asukohtadega mängimist. Kedagi ei huvita, kas koolihoone peaks olema 500 meetrit ühes või teises suunas ja pealegi on uute koolihoonete rajamine, kui selleks vajadus tekib, sotsiaalsete, ohutusnõuete ja olemasoleva maa ning muude tingimustega suhteliselt piiratud ja võimalik vähestesse kohtadesse.

Tewari ja Jena (1987) väidavad, et asukoha ülesannete kasutamine annab palju parema ja efektiivsema tulemuse uute koolide rajamisel, kui seda teevad subjektiivsed otsustajad kuskil ametkonnas, kes lähtuvad teatud kriteeriumidest ja võivad eksida. Eesti kontekstis on siin küsimus ka juba olemasolevas koolivõrgus ja hoonetes, mida vaevalt kolima hakatakse – see lihtsalt ei oleks enam optimaalne ning üldse on küsimus Eesti koolivõrgu puhul pigem õpilaste arvu vähenemises ja koolide sulgemises kui nende juurde ehitamises.

Teiseks on tüüpiline optimeerimisülesanne oma probleemipüstitusega, kus on suur eelduste hulk, reaalsest olukorrast kaugenev ja minnakse enam matemaatilist „ideaalset” ülesannete suunas. Ilma selle suure eelduste hulcata ja muutujate määratlemiseta pole

võimalik neid ülesandeid lihtsalt lahendada. Näiteks järgmised uurimused (Davies, Thomas, 1976, Antunes, Peeters 2000). Optimaalne tulemus on seega parim antud tingimustes võimalik lahendus, arvestades kõiki eeldusi ja muutujad, aga selleks peame teadma optimeerimise eesmärki ning tuleb täpsustada, mis tingimustel on optimum võimalik (Pungar, 2004). Ja tegelikult on koolivõrgu planeerimise seisukohalt palju olulisemad võib-olla just need faktorid, mis asukoha ülesande optimeeritavast funktsioonist välja jäävad, nagu näiteks sotsiaalsed faktorid ja üldine hariduspoliitika. Sel juhul ei ole optimaalsel lahendil reaalsuses mõtet, sest koolivõrk ei pea olema planeeritud matemaatiliselt ideaalselt, vaid peab seda olema inimeste jaoks.

ROTS on selles mõttes teistsuguse lähenemisega. Tulemusena ei saada ühte võimalikku lahendust, vaid pigem on see erinevate andmete ettevalmistamine otsuste tegemist toetavale kujule ja erinevate otsustuste läbimängimine ja mõjude analüüs. Oma uurimuses väidab ka Elizondo (1997), et paremini aktsepteeritakse planeerijate poolt soovitusi kui konkreetseid lahendusi andvaid mudeleid. ROTS just sellist otsuste tuge pakubki. Eriti on ROTSi puhul oluline tema visuaalne külg, mis ainuüksi sellega teeb probleemid palju selgemaks (Crossland jt., 1995, Scheibe, 2003).

Asukoha ülesandeid lahendades tulevad mängu veel ebakindluse ja riski faktorid hindamaks võimet rajatise teenindusvõimekuse kohta antud piirkonnas. Veel võivad ruumis olla liikumisbarjäärid, mida ei saa ületada ja mis raskendavad oluliselt asukoha ülesannetega modelleerimist (ReVelle, Eiselt, 2005). Lisaks laialt kasutatav nõudluspunktide liitmine asukoha ülesannete puhul toob sisse vea, mille suurust on raske hinnata.

Kui rääkida ROTSi võimalikest negatiivsetest külgedest, siis ühelt poolt võib selleks olla just paindlikkus. Võimalus väga erineval moel andmetega manipuleerida, neid klassifitseerides ja üldistades. Olenevalt huvigrupist võib soovitud suunas kallutatult esitada ka ROTSist saadavat otsustust toetama mõeldud andmed. Samas on ROTS avatud kõigile kasutajatele ja peamiseks eesmärgiks on koolivõrgu headus, siis ei saa erinevate huvigruppide pakutavad lahendused olla kardinaalselt erinevad ja mõistlikud variatsioonid otsivadki parimat lahendust ja kompromissi.

Kokkuvõtteks võib öelda, et asukoha ülesannete pakutava lahenduse optimaalsus ei ole kuigi kindel – raske on hinnata selle viga. Teiseks kerkib küsimus selle mõttekuses kahest aspektist. Esiteks kui oluline on meile teave, et „ideaalsel” juhul peaks koolihoone asuma selle praegusest asukohast 400m eemal. Vana kooli ju ei hakata ümber tõstma. Teiseks on Eestis situatsioon, kus koole jääb tõenäoliselt vähemaks. Lisaks kooli asukohtadele huvitavad meid veel õpilaste ränne, koolide kvaliteet ja kättesaadavus, mille osas asukohaülesanded

erinevalt ROTSist meile teavet ei anna. Seetõttu on valitud Eesti koolivõrgu planeerimiseks ROTS keskkond.

3. Andmed ja metoodika

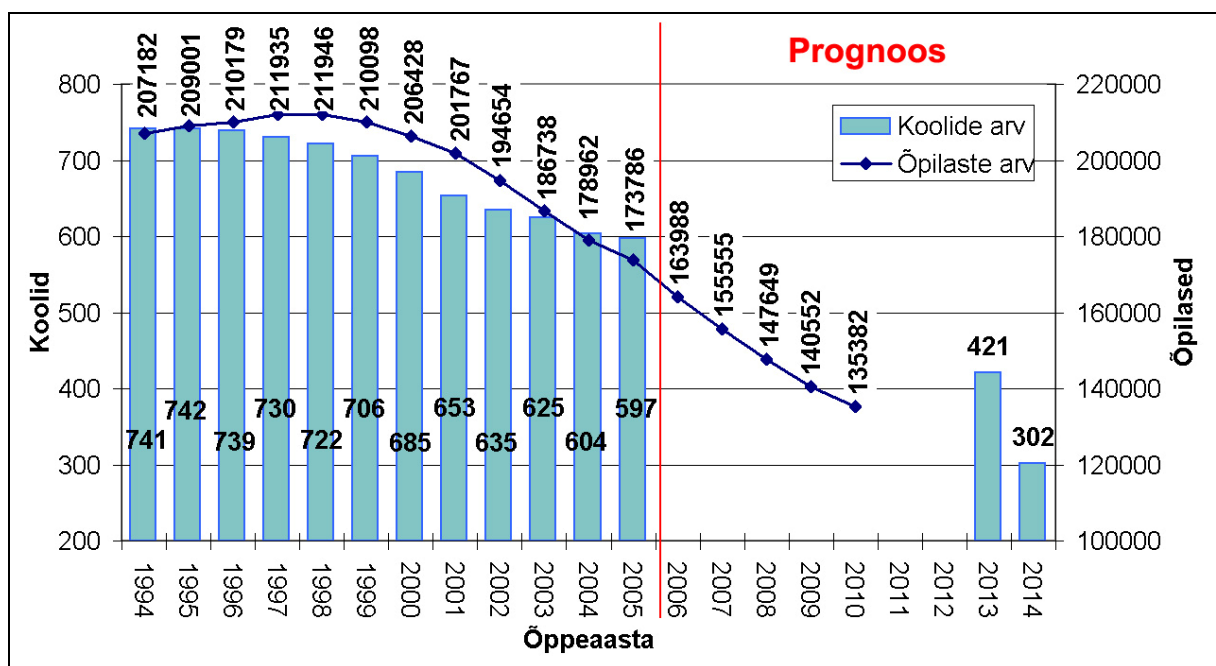
3.1. Eesti koolivõrgu ülevaade

Muutused Eesti koolivõrgus on põhjustatud kolmest peamisest tegurist: demograafilised, inimeste ümberpaiknemine ruumis (eeslinnastumine) ja hariduspoliitika. Demograafiline olukord muutub lainetena praegusel perioodil on õpilaste arvu langus, mis on tingitud Eestis toimunud mineviku sündmustest. Nõukogude liidu lagunemine, kolhoosisüsteemi kokku kukkumine, majanduse struktuuri muutused ja areng on põhjustanud inimeste koondumise linnadesse. Järgnenud eeslinnastumise protsess on omakorda põhjustanud inimeste ümberpaiknemise ruumis, mis loomulikult mõjutab ka õpilasi. Praeguseks trendiks on õpilaste arvu jätkuv vähenemine. Samas on huvitav, et teatud kohtades on olukord lasteaia laste puhul vastupidine, et kui koolides ei ole piisavalt õpilasi, siis lasteaia kohti ei jätku. See on tüüpiline eeslinnade situatsioon, kuhu on kolinud palju noori peresid ja nende lapsed on põhjustanud senisest suurema nõudluse lasteaiakohtade järgi. Kuna antud küsimused ei puutu otseselt siia uurimustöösse, siis pikemalt nende tekkepõhjustel ja analüüsil ei peatuta.

Langus õpilaste arvus (joonis 3) on põhjustanud väiksemate koolide sulgemist. Koolide rahastamine toimub riigi eelarvest pearaha alusel, mis antakse kohalikele omavalitsustele, kelle ülesandeks on koolide üleval pidamine. Vanemad viivad oma lapsed kahaneva õpilaste arvuga koolist ära suurematesse koolidesse, kus õpilaste arv on vähemalt stabiilne ja eelistatud on ka koolid, kus õppimisvõimlaus on tagatud kuni 12nda klassini, et lapsed ei peaks uuesti kooli vahetama (PRAXIS 2005).

Vanemad tahavad, et nende lapsed vahetaks kooli võimlaikult harva, seega valitakse tugevaid koole nii lähedal kui võimalik. Ühelt poolt majanduslikud kaalutlused: liiga vähe õpilasi tähendab, et kool satub raskustesse ja samal ajal kooli mahutavus piirab õpilaste maksimumi. Administratiivsed küsimused – eelistatud on, et õpilased ei sõidaks pikki vahemaid kodust kooli ja tagasi ning et nad käiksid koolis, mille teeninduspiirkonda nad jäävad. Kooli teeninduspiirkonnad järgivad enamasti administratiivseid piire. Juhul kui õpilane lähebki kooli mujale omavalitsusse, siis liigub temaga kaasa ka pearaha.

Peamine protsess Eesti koolivõrgu arengus või arendamises on iseregulatsioon. See tähendab, et tugevamad ja paremad koolid, kes toime tulevad jäävad avatuks. Enamasti asuvad need koolid tugevamate ja edukamate kohalikes omavalitsustes. Majanduslikult nõrgemad koolid, enamasti äärealadel, on suurtes raskustes ja kui puudub tugev lastevanemate ja kohaliku elu aktiivi toetus, siis need enamasti ka suletakse. Kooli sulgemine põhjustab aga olulise tagasilöögi kohalikus arengus, sest tegemist on oluliste kohaliku kultuurielu kandjatega, mille juures tegutsevad huviringid ja on tihtilugu ka raamatukogu. Teine väga oluline protsess on püüd säilitada olemasolevat olukorda. Riigipoolseid ühtseid arengukavasid koolivõrgu arendamiseks ei ole (PRAXIS 2005).



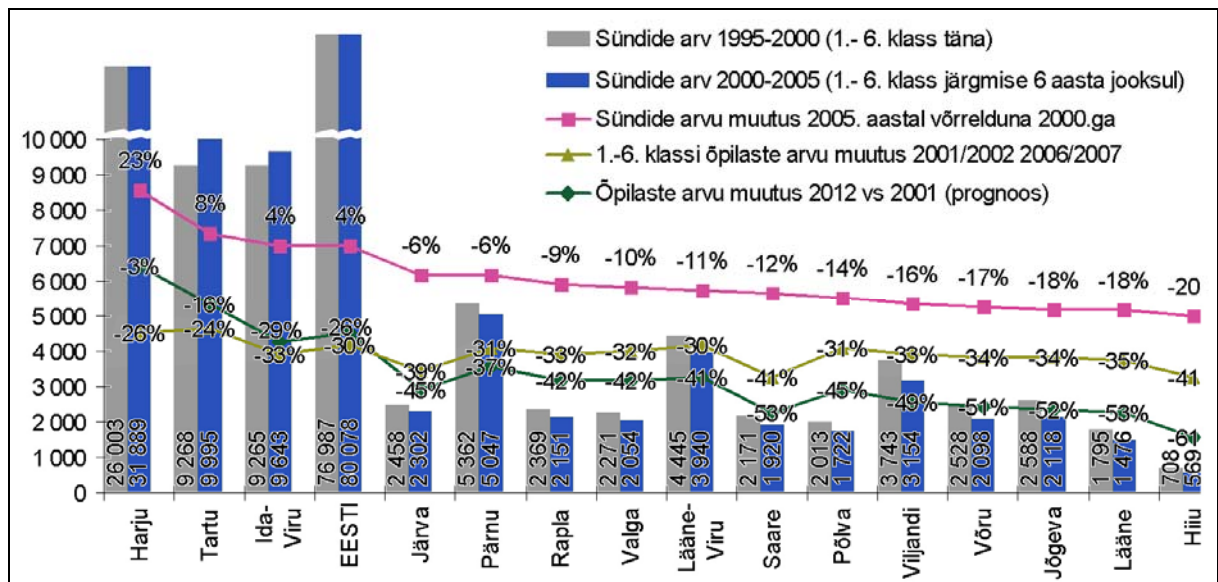
Joonis 3. Koolide ja õpilaste arvu muutus 1994-2014. Õpilaste arvu prognoos 2006-2010 (HTM, 2005) ja koolide arvu prognoos õppeaastal 2014/2015 erinevate mudelite järgi minimaalselt ja maksimaalselt (PRAXIS, 2005).

2005. õppeaasta alguses oli Eestis 613 üldhariduskooli (kaasa arvatud õhtukoolid), neis õppis 180 963 õpilast, keda õpetas 15 845 õpetajat. 1990. aastast on sündide arv vähenenud 24 017 lapselt 14 302 lapseni 2005. aastal. 6 aasta jooksul on üldhariduskoolide õpilaste arv vähenenud enam kui 41 tuhande võrra. Aastaks 2010 võib võrreldes 2005/06. õppeaastaga prognoosida õpilaste arvu vähenemist veel ca 38 tuhande õpilase võrra (HTM, 2006).

Lisaks õpilaste arvu vähenemisele Eestis tervikuna on muutused regiooniti väga erinevad (erinevused sündimuses joonis 4). Kui õpilaste arvu muutus ajavahemikul 2001 – 2006 kirjeldab tänaseks toimunud protsesse ja õpilaste koguarvu muutus 2001 – 2006 suhtelist hariduse konkurentsivõime muutust maakonniti, siis sündide arvu võrdlemine

illustreerib 5 aasta pärast tõenäoliselt kujunevat olukorda õppeaastaks 2011/12, kus tänased algkooliõpilased on jõudnud põhikooli III astmesse ja gümnaasiumisse ning ajavahemikul 2000 – 2005 sündinud õpilased käivad põhikooli I ja II astmes Kohalikesse ja üleriigilistesse tõmbekeskustesse suunduvat õpilasrännet arvestamata on ilmne, et õpilaste arvu langusest tingituna seisab paljudel omavalitsustel ees koolivõrgu ümberkorraldamine, mis ei tähenda koolide, vaid eelkõige kooliastmete sulgemist (HTM, 2006).

PRAXISE (2005) prognoosi järgi on 2014/15 õppeaastaks erinevate mudelite korral Eestis kokku minimaalselt 302 ja maksimaalselt 421 kooli. Mis tähendaks praegusest seisust (2005. a alguses 609 kooli) langust veel u 200 kooli võrra ehk siis koolivõrgu planeerimise teema on jätkuvalt väga aktuaalne.



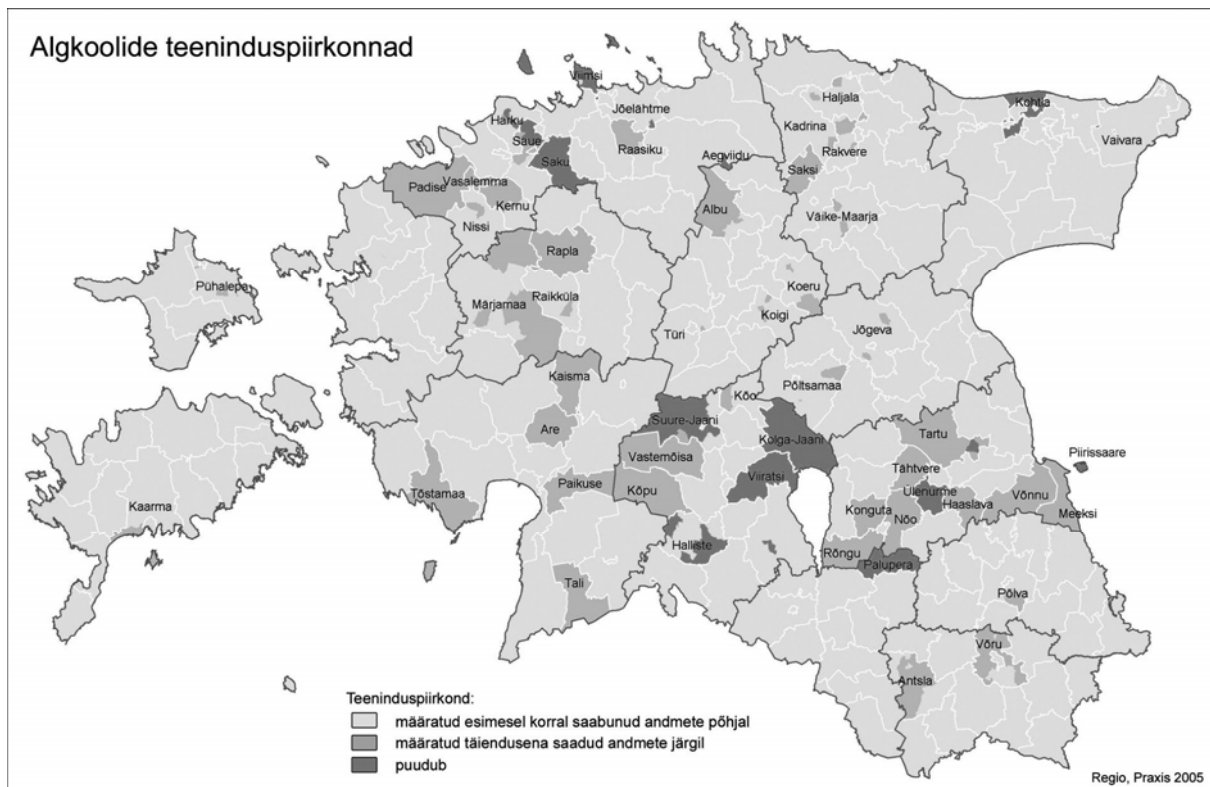
Joonis 4. Munitsipaal- ja eraüldhariduskoolide 1.-6. klasside (sünniaastad 1995 – 2000) õpilaste arvu muutus õppeaastatel 2001/02 – 2006/07 õppeaastal ja võimalik õpilaste arv 1.-6. klassis õppeaastal 2011/12 (HTM, 2006).

3.2. Andmete koondamine andmebaasi

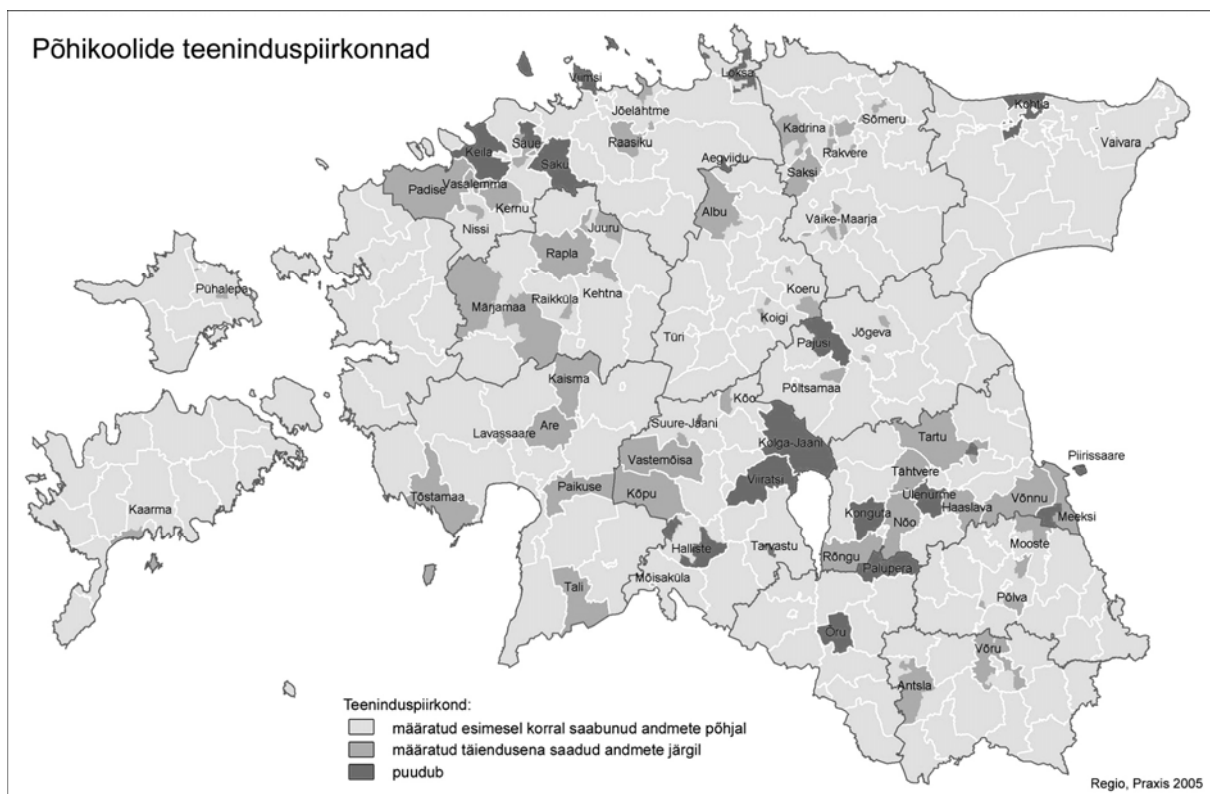
3.2.1. Teeninduspiirkonnad

Teeninduspiirkonnad on esitatud 515 algkooli ja 436 põhikooli osas. Paberkoopiate ja elektrooniliste dokumentide näol edastatud algmaterjal on digitaliseeritud ja ühendatud teiste andmestikega ühtseks andmebaasiks. Üle vaadati andmete sisestamisel tekkinud küsimused ja lõpetati ka Tallinna koolide teeninduspiirkondade vektoriseerimine, mis viidi läbi Regio

poolt. Alljärgnevalt kahelt jooniselt on näha, millistel aladel on määratud algkoolide (joonis 5) ja põhikoolide (joonis 6) teeninduspiirkonnad.



Joonis 5. Algkoolide teeninduspiirkonnad.



Joonis 6. Põhikoolide teeninduspiirkonnad.

Kuna andmete laekumine teeninduspiirkondade osas oli väga visa, siis on teeninduspiirkonnaga kaetud alad jagatud kaheks. Jagamise põhimõtteks on omavalitsusest saadetud teeninduspiirkondi puudutavate materjalide esitamise tähtaeg. Heledamas toonis on selleks tähtjaks laekunud teeninduspiirkondade info. Tumedama tooniga on pärast tähtaega ja teistkordse päringu ning puuduolevate alade nimekirja esitamist laekunud info. Vallanimed on kaardile kantud nende valdade kohta, kus valla territooriumi osas teeninduspiirkond osaliselt või tervikuna puudub või on andmed edastatud peale teist päringut.

3.2.1.1. Probleemid teeninduspiirkondade infoga

Koolide teeninduspiirkondade andmeid ei ole esitatud täies mahus. Üheks põhjuseks oli see, et teeninduspiirkondi lihtsalt ei ole omavalitsuste poolt määratud. Oluline on eraldada saadud teeninduspiirkondade andmed selle järgi, kas need on saadud peale esimest või teist päringut. Põhjus on selles, et sageli hakati otsuseid teeninduspiirkondade kohta tegema alles siis, kui neid andmeid kohalike omavalitsustelt teistkordselt küsiti.

Soovisime koolide teeninduspiirkonnad eraldada kooliastmete kaupa. Siin tekkisid aga mitmed probleemid. Nimelt on enamus andmeid esitatud just algkoolide ja põhikoolide osas, kuna aga algkool võib olla nii 4, 5 või ka 6-klassiline, siis on esiteks väga aeganõudev ja tülikas otsida iga kooli puhul, mis astmeid see sisaldab. Teiseks kerkib küsimus, kuidas täita tabel siis, kui algkoolis on ainult osa teisest kooliastmest. Kolmandaks oleks 1. ja 2. kooliastme teeninduspiirkonnad suures osas kattunud. Neljanda kooliastme puhul ei ole teeninduspiirkondade määramine kohustuslik, mis tõttu laekus ka andmeid nende kohta suhteliselt vähe. Nii kujuneski kokkuleppel PRAXIS'ega töö käigus välja, et koolide teeninduspiirkonnad on otstarbekas eraldada vaid algkooli ja põhikooli tasemel.

Kooliastmeid on kokku 4 ja iga aste katab kolme klassi alustades esimesest. Ehk siis 1. kooliaste on 1.-3. klass, 2. kooliaste on 4.-6. klass, 3. kooliaste 7.-9. klass ja 4. kooliaste 10.-12. klass.

Koolide teeninduspiirkondade sisestamine oli väga töömahukas. Enamasti saadi informatsioon paber kandjal või elektroonilises dokumendis lihtsa teeninduspiirkonda kuuluvate haldusüksuste loeteluna. Eriti töömahukas oli Tallinna teeninduspiirkondade vektoriseerimine, mis viid läbi Regio poolt, kus loetletud olid koolide kaupa tänavad ja

majanumbrid, mis antud kooli teeninduspiirkonda kuulusid. Ainsa omavalitsusena õnnestus juba kaardifailina koolide teeninduspiirkonnad saada Tartu linnavalitsuselt.

3.2.2. Koolide register

Koolide 10 aasta andmed on koondatud ühte *MicroSoft Accessi* andmebaasi. Kirjeid on kokku 787 kooli kohta, mis läbi 10 aasta (1994-2003) kajastavad 7007 kirjet. Detailsemad andmed klasside kohta on koondatud teise *Accessi* tabelisse, kus on kokku 60445 kirjet. Algsetes lähteandmetes esineb segadusi kooli koodidega, mistõttu on nii koolide kui ka klasside tabelisse juurde tekitatud uus unikaalne identifikaator (kooli_ID), mis seob omavahel klassid vastavate koolidega kindlal aastal. Koolide geokodeerimiseks leiti kõik erinevad koolid ja ühtlustati nende nimekuju, aadress ja kood viimase aasta seisuga. Edasi koolid geokodeeriti ja praeguseks on kõigi nende aadress ja asukoht ükshaaval maja täpsusega üle kontrollitud. Geokodeeriti ka Eestis olevad kutsekoolid 2003. aasta seisuga. Koolide avamiste, sulgemiste ja ühendamiste kindlaks tegemisega tegeles PRAXIS (2005), kelle poolt kogutud andmed imporditi samuti andmebaasi.

3.2.2.1. Andmetega tehtud operatsioonid ja tekkinud probleemid

Esmalt olgu tabelis 1 ära toodud koolide registrist saadud andmetabelite veergude pealkirjad. Sellisel kujul esitati andmed, mis kajastasid seisu ajavahemikus 1994-2003.

Tabel 1. Koolide registri andmetabelite veergude nimetused.

KOOD	Klassiruumide pindala	klassikomplektide arv (eesti õk)
nimi	SAAL	tüdrukud (vene õk)
ülalpidaja - kood	Saali(de) pindala	poisid (vene õk)
ülalpidaja nimi	UJULA	klassikomplektide arv (vene õk)
omandivorm -kood	internaatide/ õpilaskodude arv	õpilaste arv 1.vahetuses (eesti õk)
omandivorm - nimi	mahutavus	õpilaste arv 1.vahetuses (vene õk)
tüüp - kood	õppurite arv	õpilaste arv 2.vahetuses (eesti õk)
tüüp - nimi	Sööklakohtade arv	õpilaste arv 2.vahetuses (vene õk)
õpetajate kasutuses	Raamatute arv	õpilaste arv 3.vahetuses (eesti õk)
õpilaste kasutuses	Õpikute arv	õpilaste arv 3.vahetuses (vene õk)
üldkasutatavad (raamatukogus, internetipunktis jms)	Katseaia pindala	õpilaste arv kokku
kooli haldamiseks	Klass	jäeti klassikursust kordama
kokku	tüdrukud (eesti õk)	pikapäevarühmas
Klassiruumide arv	poisid (eesti õk)	

Palju segadust tekitasid koolide koodid (KOOD). Unikaalsed identifikaatorid (edaspidi ID), kas siis tekstilised, numbrilised või kombineeritud, on relatsioonilise andmebaasi pidamise aluseks. Lisaks sellele, et igas tabelis oleks igal andmebaasi kirjel unikaalne ID, on väga oluline ka selle identifikaatori järjepidevus läbi aja.

Käesoleval juhul kasutati koolide eristamiseks kooli koodi. Teatud juhtudel koolil kood muutus ja mis veel tülisem, see oli antud teisele koolile. Andmebaasi seisukohalt on see põhimõtteline viga ja muudab relatsioonilise andmebaasi vigadeta funktsioneerimise võimatuks. Tabelis 2 ongi näha koolid, millel on muutunud kood ja kõigil on see toimunud ühel ajal. Olukorra muudab keerulisemaks asjaolu, et osa koodid on omistatud teistele koolidele. See sundis antud koodidesse suhtuma ettevaatusega ja nendega eraldi tegelema. Kokkuvõttes tuli klasside ja koolide tabeli sidumiseks luua uus unikaalne kood, milleks on kooli_ID. Lisaks tehti ära ka suur töö kooli koodi ühtlustamiseks kõigi 10 aasta lõikes. Selle aluseks võeti sel hetkel viimase aasta (2003) koodid, kontrolliti, et need ei korduks ja omistati siis need ka eelnevate aastate lõikes samadele koolidele.

Tabel 2. Koolid, millel on muutunud kooli kood.

Kooli nimi	kuni 1996. aastani	alates 1997. aastast
Hageri Lasteaed-Algkool	61002585	61018287
Harmi Põhikool	71005969	71063725
Johannese Kool Rosmal	54008423	54026585
Jõhvi Vene Gümnaasium	13005832	48020710
Kolga Keskkool	71005998	71005969
Kuri Külakool	73002062	80011029
Lehmja Põhikool	71047070	71047040
Lohusalu Lasteaed-Algkool	71047040	99999001
Nõo Põhikool	64000010	64043159
Paldiski Gümnaasium	71006222	71052934
Püüsi Põhikool	71047077	71064050
Vilisuu Erapõhikool	01100471	01386384

Selline kooli koodide ühtlustamine saab toimuda praktiliselt ükshaaval kontrollides, sest ainus kindel vahend andmete muutmiseks tabelis automaatsel teel ongi just seesama kood, mis nüüd ise parandamist nõudis. Seega tuli muuta esialgseid kooli koode 766 juhul. Sellest 742 olid koolide 1994. aasta koodid, mis siis olid 5 kohalised, erinevalt uuematest, mis olid 8 kohalised. Andmebaasis säilitati ka koolide koodid nende esialgsel kujul, et oleks võimalik tuvastada tehtud muudatused.

Suurt segadust põhjustas ka teistes registrites (õpilaste ja õpetajate register) kooli identifitseerimiseks kasutusel olnud kooli registreerimisnumber. Esines juhtumeid isegi koolide registris kus oli kooli kood ja registreerimisnumber vahetuses. Mõlemad on täpselt

ühiepikkused (8 kohalised) ja seetõttu väga sarnased numbrilised koodid. Erinevuseks on see, et kui kooli registreerimisnumber algab 7ga (va paar erandit), siis kooli kood võib alata ükskõik mis numbriga, kaasa arvatud 7. Seega võib need tunnused väga lihtsalt segamini ajada ja on keeruline öelda kumb on kumb. Selline viga tuli koolide registris välja kolme kooli osas (tabel 3). Analoogetest probleemidest üle saamiseks on andmebaasis ka tabel, kuhu koondati üksteisega vastavuses olevad kooli koodid ja kooli registreerimisnumbrid.

Tabel 3. Koolid, kus koolide registris oli koodi asemel registreerimisnumber.

Kooli nimi	kood	registreerimisnumber
Haanja-Ruusmäe Põhikool	38001663	75013078
Valga Põhikool	33003841	75009786
Kunda Ühisgümnaasium	59005912	75027695

Probleeme tekitas kooli kood ka seetõttu, et tihti algas ta numbriga 0 (null). Nii oli see 787 koolist 108 puhul. Probleem on selles, et kui hoida koodi numbrilisel kujul, siis kaotavad osad andmebaasid selle 0 eest ära, kuna loogiliselt ei saa number hakata nulliga. Sama võib juhtuda ka andmete tõstmisel ühest programmist teise. Seetõttu tuleb sellist numbrilist koodi hoida hoopiski tekstilisel kujul. Tekstilisel kujul hoidmiseks on vaja tunduvalt rohkem mälu, mis suurte andmebaaside korral muutub asjatult koormavaks faktoriks. Suureneb andmebaasi maht, see aeglustab aga töötamist ning erinevate päringute tegemist.

Järgmine probleem oleks aga olemata, kui andmeid oleks järjepidevalt seostatud vastava ID'ga. Nimelt on vaja koolide geokodeerimiseks nende aadresse, aga aadressid esitati aastate kaupa eraldi väljavõtetena Exceli töölehtedel koos kooli nime ja postiindeksi, kuid ilma ID'ta. Seega tuli kasutada aadresside sidumiseks kooli nimesid. Olukorra tegi keeruliseks asjaolu, et peale selle, et kooli nimi ise võis olla 10 aasta jooksul palju muutunud, esines ka sama nimega koole ning juhtumeid, kus ühe ja sama kooli nimi kirjutati erinevalt. Kokkuvõttes tuli siin palju erandeid, mis kontrolliti ükshaaval üle.

Relatsioonilise andmebaasi puhul on üheks oluliseks aspektiks andmete liiasuse vältimine. Näiteks, kui koolide tabelis on 7007 kirjet, igaühe juures ka aadress, kuigi erinevaid koole on 747 ja aadresse umbes 800 ringis, siis on suur vahe, kas hoida andmebaasis 7007 aadressi kirjet või 800. Ühelt poolt on see oluline andmebaasi mahu vähendamiseks ja teiselt poolt erinevate vormiliste- ja kirjavigade ärahoidmiseks. Näiteks praeguses andmebaasis on kokku 2364 erineval kujul aadresside kirjet, mis väga paljudel juhtudel tähendavad ühte ja sedasama, sellekohased 2 näidet on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Näiteid erinevatest andmebaasis esinevatest aadressi kirjetest.

aadress	aadress
Ida-Viru maakond, Sillamäe, Tskalovi 25	Harju maakond, Saue vald, Ääsmäe, Kasesalu 16
Ida-Viru maakond, Sillamäe, Tskalovi 6/25	Harjumaa, Saue vald, Ääsmäe, Kasesalu 16
Ida-Viru maakond, Sillamäe, TSKALovi TN. 25	Harjumaa, Saue vald, Ääsmäe, kasesalu 10
Ida-Virumaa, Sillamäe, Tskalovi 25	Harjumaa, Saue vald, Ääsmäe, Kasesalu 10a
Ida-Virumaa, Sillamäe, TSKALovi TN. 25	Harjumaa, Saue vald, Ääsmäe, Kasesalu 10a

Sama loogika kehtib ka kooli nimede puhul. Ei ole vaja hoida kooli nimesid andmebaasis 7007 korda, kui piisab ainult erinevate nimekujude säilitamisest, mis siis seotakse kooliga vastava ID abil. Samadel põhjustel on koolide tabeliga ID abil seotud ka omandivormi, koolipidajat ja koolitüüpi näitavad tabelid. Õpilaste tabeliga on seotud emakeelt ja õppekeelt näitavad tabelid. Õpetajate tabeliga on ID abil ühendatud õpetajate haridustase, nende poolt õpetatav aine ja kooliaste.

Palju vaeva tuli näha kooli ülalpidajate tabeli koostamisega, sest esines hästi palju samu ülalpidaja koode, kus ülalpidaja nimi oli erinev. Enamasti oli see tingitud igasugustest väikestest kirja pildi erinevustest (näit. Võru Maavalitsus ja võru Maakonnavalitsus või siis Kolga-Jaani vallavalitus ja Kolga-Jaani vallavalitsus), mis sisuliselt tähendasid sama. Palju esines ka olukordi, kus üks ülalpidaja oli andmetabelis mitme erineva koodiga. Sellisel juhul jäeti tabelisse alles uuema seisu kood.

3.2.2.2. Koolide geokodeerimine

Pärast aadresside sidumist koolidega selgus, et ka aadressid ei ole standardsed. Erinevatel aastatel on aadressi kirja pilt antud erinevalt, kuigi tegelik asukoht koolil ei ole muutunud. Nii tuli ka aadressid enne geokodeerimist korrastada. Kõiki aadresse geokodeerimiseks korrektsele kujule viia oleks olnud liialt töömahukas, seega leiti koolidele aadress viimase seisu järgi, mis andmetabelites kajastus. Sama tehti ka kooli nimega. Peamiseks tunnuseks, mille alusel koolid läbi 10 aasta tuvastati, oli kooli kood, selle puhul pidi arvestama eelnevalt kirjeldatud probleeme.

Koolide geokodeerimise käigus, mis viidi läbi Regio poolt, omistati enamusele koolidest asukohta näitav x- ja y koordinaat. Geokodeerimine viidi läbi Regio aadresside andmebaasi kasutades. Andmete kontrollimiseks ja uute aadressidega sidumiseks, kontrolliti kõikide koolide asukohad uuesti hoone täpsusega üle. Maapiirkondades ei ole sageli kasutusel tänavaid ja majanumbreid (tihti on täpsemaks viiteks küla nimi), siis kasutati asukoha täpsustamiseks erinevaid aluskaarte, vajadusel ka helistamist koolidesse.

3.2.3. Õpilaste- ja rahvastikuregister

2003. aasta õpilaste registri andmed on koondatud ühtsesse andmebaasi ja juurde on tekitatud igale õpilasele klassi_ID, mis seob õpilased andmebaasis oleva klasside tabeliga ja seeläbi ka kooliga. Selle saavutamiseks asendati õpilaste registris olev kooli registreerimisnumber kooli koodiga. Õpilaste eristamiseks on tekitatud juurde ka teine unikaalne kood opil_ID (õpilase_ID). 2003. aasta õpilased on rahvastikuregistrist saadud aadressi järgi geokodeeritud ja MapInfos on tekitatud ka õpilaste kaardikiht. See kõik annab võimaluse siduda õpilased koolidega ja uurida õpilase ja kooli vahelisi ruumilisi seoseid, eelkõige õpilaste rännet.

3.2.3.1. Andmetega tehtud operatsioonid ja tekkinud probleemid

Tabelis 5 on ära toodud õpilaste registri ja rahvastikuregistri ühendamisel saadud andmetabeli veerud esialgsel kujul nagu need Haridus- ja Teadusministeeriumist edastati.

Tabel 5. Õpilaste- ja rahvastikuregistri andmetabelite veergude nimetused.

Aasta	synnikuu	synniaasta	emakeel	oppekeel	klass	oppeasutus	kaugus	elukoht
Maja	tänav	Asula/küla/linnaosa	Kylakd	Vald/linn	KD	Maakond	MK	

Esimese operatsioonina tekitati iga õpilase juurde õpilase_ID, kuna see alguses tabelis puudus. Edasi tõsteti Exceli failis 3-l erineval töölehel olev õpilaste register koos rahvastikuregistri aadressiga Accessi tabelisse. Järgmise sammuna asendati klassi veerus olevad kirjed G1, G2 ja G3 vastavalt kirjetega 10, 11 ja 12. Seejärel otsiti koolide registreerimisnumbri juurde ka vastav kooli kood ning registreerimisnumbrid eemaldati, kuna viimane on olemas kooli koodi ja registreerimisnumbrit siduvas tabelis. Õpilaste sidumiseks klasside ja seeläbi ka koolidega, tekitati juurde klassi_ID. Selleks liideti üheks stringiks järgmised tunnused: õppeaasta, kooli kood ja klassi number. Kooli koodide leidmist ei saanud teha automaatselt, kuna koodid võisid olla muutunud või üle läinud teisele koolile. Seetõttu leiti kõigepealt igale õpilasele kooli kood kolme erineva tabeli järgi (Regios varasemast projektist olnud kooli koode ja registreerimisnumbreid siduv tabel, antud projekti raames koostatud üleminekutabel ja HTMist saadud andmed), kui need omavahel klappisid, siis omistati see ka vastava kooli juurde. Sellisel moel jäi kood leidmata 56-le registreerimisnumbrile. Edasise päringuga tehti kindlaks, et 26 kooli puhul, millele õpilaste

register viitas, oli registreerimisnumber segamini aetud koodiga. Ülejäänud 30 registreerimisnumbri puhul leiti vastav kood nende ükshaaval üle kontrollimisel.

Kontrollides, kas kõikidele õpilastele on koolide registrist leitav ka kool (sidumiseks kasutatakse klassi_ID'd ja kooli_ID'd), olid tulemused järgmised. Õpilastele leiti kooli vaste 187 189 juhul, ehk ilma koolita jääb 5336 õpilast, mis on 2,8% kogu õpilaste arvust (õpilaste arv 2003. aasta õpilaste registris 192 525). 5336-st õpilasest 4226 õpib koolides, mida koolide registris toodud ei ole (tabel 6). Tegemist on täiskasvanute-või erikoolidega, mis jäävad uurimusest välja ning seega endast probleemi ei kujuta.

Tabel 6. Koolide registrist puuduvad koolid, millele viidatakse õpilaste registrist.

Kooli kood	õpilasi	kooli nimi
01050000	984	Tallinna Täiskasvanute Gümnaasium
01053702	466	Tallinna Vanalinna Täiskasvanute Gümnaasium
13005855	252	Kohtla-Järve Õhtukeskkool
15008757	227	Narva Õhtukeskkool
18002407	380	Pärnu Täiskasvanute Gümnaasium
24007314	579	Tartu Täiskasvanute Gümnaasium
35006105	56	Viljandi Erikutsekool
38021393	230	Võru Täiskasvanute Gümnaasium
41023378	139	Jõgeva Täiskasvanute Keskkool
45003444	224	Kuressaare Õhtukeskkool
51000830	180	Paide Täiskasvanute Gümnaasium
61007447	219	Rapla Õhtukeskkool
69001852	149	Haapsalu Täiskasvanute Gümnaasium
71014900	141	Rummu Erikutsekool
Kokku	4226	2,2% kõigist õpilastest

Järele jääb veel 1110 õpilast, keda ei õnnestu kooliga siduda. Osalt seetõttu, et õpilastele on märgitud klass, mida koolide registri andmetel selles koolis 2003. aastal ei ole. Kolmel juhul ilmnes, et kool oli 2003. aastaks suletud (täpsemalt vaata tabel 7). Ilma koolide või õpilaste registrit täiendamata neid õpilasi koolidega siduda ei saa, nii et esialgu jäävadki need õpilased uurimusest välja. Täiendamine tähendaks, et osa koolide andmed tuleks koolide registris üle kontrollida, sest seal ei ole kirjas klasse, millele viidatakse õpilaste registris.

Tabel 7. Koolide registri ja õpilaste registri (2003 a. seis) vahelised ebakõlad.

Kooli kood	Õpilaste arv	Kooli nimi	Võrreldes õpilaste ja koolide registrit
01251508	450	Vana-Kalamaja Gümnaasium	Koolide registrist puudu klassid 10, 11 ja 12
35002461	192	Viljandi Täiskasvanute Gümnaasium	Koolide registrist puudu klassid 8, 9, 11 ja 12
01053688	146	Mustamäe Üldhariduskool	Koolide registrist puudu klassid 10, 11 ja 12
59004826	122	Rakvere Õhtukeskkool	Koolide registrist puudu klassid 10, 11 ja 12
33003686	84	Valga Kaugõppegümnaasium	Koolide registrist puudu klassid 10, 11 ja 12
01101884	22	Akadeemia Nord õigusgümnaasium	Suletud 2003ndal aastal

24007308	15	Tartu Kroonuaia Kool	Koolide registrist puudu 10nes klass
35012137	14	Saarepeedi Põhikool	Õpilaste registris märgitud 0 klass
01204667	9	Erakommertsgümnaasium	Koolide registrist puudu 11nes klass
56003708	9	Tõstamaa Keskkool	Õpilaste registris märgitud 13nes klass
59006363	9	Rakvere Vene Gümnaasium	Koolide registrist puudu 12nes klass
01345267	7	Tallinna Kurtide Kool	Koolide registrist puudu 12nes klass, aga on 13nes
35009836	7	Viljandi Vene Gümnaasium	Koolide registrist puudu 11nes klass
13005861	5	Ahtme Kool	Õpilaste registris märgitud 0 klass
18009999	5	Pärnu Toimetulekukool	Koolide registrist puudu 4jas klass
69003928	5	Haapsalu Ühisgümnaasium	Õpilaste registris märgitud 0 klass
01309923	3	Fouette Balletikool	Suletud 2003ndal aastal
33106357	2	Ritsu Lasteaed-Algkool	Koolide registrist puudu 5es klass
56003602	2	Massiaru Algkool	Koolide registrist puudu 6es klass
24007293	1	Tartu Puiestee Kool	Suletud alates 2002st aastast
41001365	1	Tiheda Algkool	Koolide registrist puudu 1ne klass
Kokku	1110		

3.2.3.2. Õpilaste geokodeerimine

Järgmiseks probleemseks kohaks oli õpilaste elukoha sidumine kaardiga. Teatud informatsiooni andis rahvastikuregistri ja õpilaste registri elukohtade võrdlemine. Võrdluse teeb võimalikuks omavalitsuse kood, mis on nii õpilaste kui ka rahvastikuregistri andmetes olemas. Samas on nende andmete tekkelugu kindlasti erinev. Seega on järgnev statistika huvitav võrdlus. Nimelt erinevusi, kus rahvastikuregistri elukoht ei lange kokku õpilaste registris kajastuva elukohaga, on 12304, mis on õpilaste arvust 6,4% (tabel 8). Järgnevas tabelis on suuremad erinevused ära toodud.

Tabel 8. Õpilaste arv, kes rahvastikuregistri järgi elavad toodud omavalitsustes, aga õpilaste registri järgi hoopis mujal.

Vald/linn EHAK (rahvastikuregister)	Õpilasi	Vald / linn
Erinevad Tallinna linnaosade koodid (176, 298, 339, 387, 482, 524, 596, 614)	1474	Tallinn
795	1096	Tartu linn
625	319	Pärnu linn
727	307	Saue vald
728	211	Saue linn
Erinevad Kohtla-Järve linnaosade koodid (120, 265, 340, 553, 747, 893)	206	Kohtla-Järve
890	203	Viimsi vald
446	190	Maardu linn
198	185	Harku vald
653	160	Rae vald
296	157	Keila linn
897	157	Viljandi linn
...	...	...
Kokku	12304	

Tabeli 9 annab ülevaate õpilaste geokodeerimise täpsusest. Arvestatud on 2003. aasta õpilasi, keda registri järgi oli 192 525. Liites kokku koolide registri andmetes oleva õpilaste arvu, saame 43 õpilast rohkem (192 568 õpilast). Õpilaste registri ja koolide registri erinevus õpilaste arvu osas on toodud tabelis 10. Erinevused tulevad sellest, et osa koole, mis kajastuvad õpilaste registris ei ole kirjas koolide registris saadud andmetes. Osaliselt on tegemist erikoolidega, mis antud uuringus kajastuma ei peagi. Samas näitab see fakt, et registrite eesmärk ja pidamine ei ole päris ühesugune ning kooskõlas. Erinevused tulevad võibolla ka registrite erinevate haldajate ja täitjate tõttu. Geokodeerimise tulemusena saadud õpilaste paiknemine on toodud joonisel 7 oleval kaardil.

Tabel 9. 2003. a. õpilaste nimekirjade geokodeerimise täpsus.

Õpilaste arv	Protsent	Geokodeerimise täpsusklass
137296	71,31%	Hoone
1125	0,58%	Lähim hoone
34	0,02%	Tänav
331	0,17%	Lähim tänav
50171	26,06%	Asula
3568	1,85%	Vigane – geokodeerimata
192525	100,00%	

Tabel 10. Õpilaste registri ja koolide registri vaheline õpilaste arvu võrdlus.

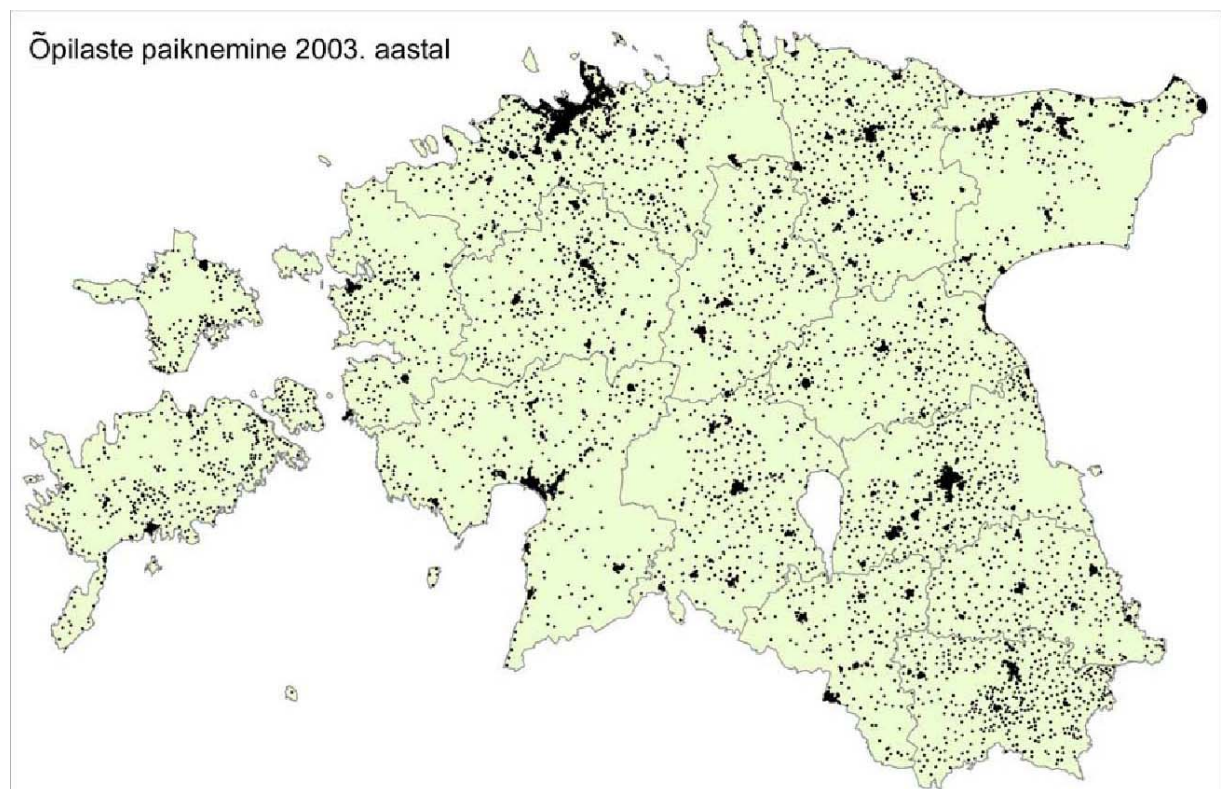
	2001	2002	2003
Õpilaste arv õpilaste registri järgi	191602	199122	192525
Õpilaste arv koolide registri järgi	207612	200478	192568
erinevus	16010	1356	43

Geokodeerimise täpsusklass näitab, et 71,3% õpilastest on geokodeeritud hoone täpsusega, suhteliselt väike osa lähima hoone ja tänava täpsusega. Natuke üle veerandi on geokodeeritud asula täpsusega, see tähendab, et õpilase elukohaks on võetud asula tsentroidi koordinaadid. Enamusel juhtudest, hinnanguliselt üle 90%, tähendab see seda, et tegemist on küla tsentroidiga. Teades, et koolide teeninduspiirkonnad ühelgi juhul ei poolita küla, võib seda lugeda täiesti piisavaks täpsuseks. Olulist rolli hakkab mängima õpilase ja küla tsentroidi võrdsustamine siis, kui on tarvis leida näiteks õpilaste kaugust koolist või kui tegemist on suhteliselt suure külaga, kus õpilase tegelik elukoht võib küla tsentroidist päris kaugel asuda. Täpsemat geokodeerimist ei ole praegusel juhul aga otstarbekas teha, kuigi maapiirkondades võiks õpilaste geokodeerimisel arvestada nende tegelikku elukohta, mitte kasutada selleks küla tsentroidi. Geokodeerimata jäänud õpilastest 1,85% (3568 õpilast) on need, kelle kohta rahvastikuregistris puudusid elukoha andmed ja ka need, kelle kohta andmed olid esitatud ainult valla tasemel (186 õpilast).

Võrreldes omavahel õpilaste arvu koolis koolide registri ja õpilaste registri järgi, siis 576st 2003.a. tegutsevast üldhariduskoolist on õpilaste arvus erinevus 320-nel juhul. 67 juhul on õpilaste arv suurem õpilaste registris ja ülejäänud 253 juhul on õpilaste arv suurem koolide registri järgi. 13-nel juhul on erinevus 100 või rohkem õpilast (tabel 11).

Tabel 11. Suuremad erinevused õpilaste ja koolide registri õpilaste arvudes kooli kohta.

Kooli kood	Kooli nimi	õpilaste register	koolide register	erinevus
15008835	Narva 6. Kool	45	735	690
45003415	Kuressaare Vanalinna Kool	1	503	502
01251508	Vana-Kalamaja Gümnaasium	648	149	-499
41001253	Mustvee Vene Gümnaasium	1	295	294
15008792	Narva Kesklinna Gümnaasium	899	1139	240
10306970	Audentese Erakool	824	651	-173
64003013	Elva Gümnaasium	1236	1067	-169
24007231	Tartu Kunstigümnaasium	832	996	164
71005892	Keila Gümnaasium	1072	928	-144
01043661	Maardu Gümnaasium	1233	1090	-143
01053688	Mustamäe Üldhariduskool	502	377	-125
01053547	Gustav Adolfi Gümnaasium	906	1006	100
01043572	Lasnamäe Gümnaasium	1211	1311	100

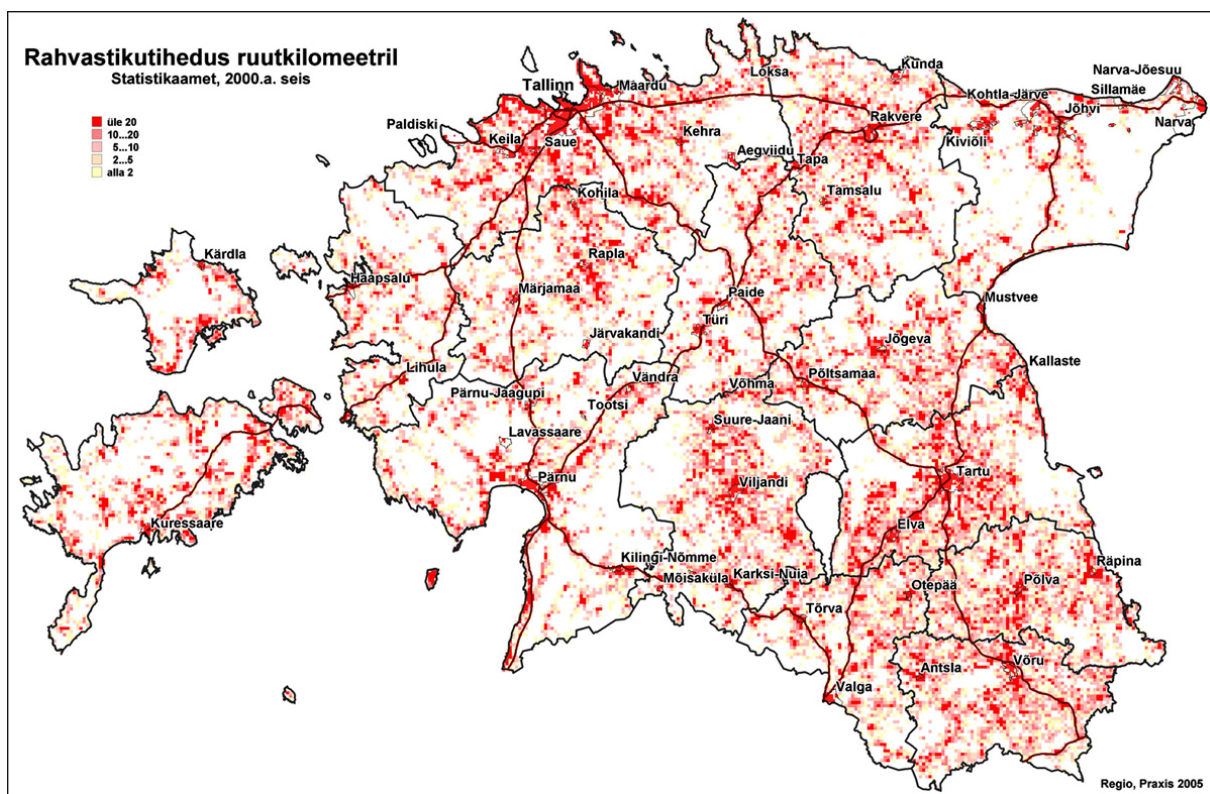


Joonis 7. Õpilaste paiknemine 2003. aastal (rahvastikuregistri elukoha järgi).

3.2.4. Rahvaloenduse andmebaas

Algandmestike loetellu lisati töö käigus Statistikaameti poolt 2000.a. rahva ja eluruumide loenduse käigus kogutud rahvastiku vanuselise jaotuse andmestik, andmed kajastavad tavaleibkondades ja tavaeluruumides elavaid isikuid. Andmed on koostatud ruudustikupõhiselt järgmise struktuuriga (RL, 2000):

- Kogurahvastiku asustustihedus (elanikku km² kohta).
- Rahvastiku ühe-aastane vanuseline struktuur, vanuse vahemikus 0 kuni 24 aastat.
- Andmed vormistatud kogu Eestimaa ulatuses 1x1 km ruutude kaupa, sh linnad ja alevid 0,5x0,5 km ruutude kaupa.
- Andmete formaat: ASCII-fail (*comma separated* - CSV).



Joonis 8. Rahvastikutihedus ruutkilomeetrite kaupa 2000. a rahvaloenduse põhjal.

Rahvastiku andmeid kasutati taustakaardina koolivõrgu paiknemise analüüsil, mis annab täiendava info koolide praegusele paiknemisele ning paiknemise võimalikele arengusuundadele tulevikus. Esialgses formaadis esitatud andmed seoti MapInfo kaardifailidega, mis võimaldavad kaardipildina kujutada näiteks teatud vanusgruppide kaupa rahvastiku tihedust ja

näha nende diferentseeritust Eesti eri piirkondades. Joonisel 8 on näha rahvastiku tihedus 2000. aasta rahvaloenduse andmete järgi.

Projekti käigus sai selgeks, et rahvastikuproгноosi maakondade tasemel Eestis ei tehta. Probleemiks on maakondadevahelise rände arvestamine, viimase mahu kindlakstegemine on keeruline ja tulemus oleks liialt ebatäpne. Mõningat leevendust pakub rahvaloenduse andmetel baseeruv õpilaste arv aastaste vanusgruppide lõikes, mida saab interpoleerida tulevikku. Kõige lihtsamaks viisiks on kasutada sündide ja surmade riiklikku statistikat ja lihtsalt vanusgruppe nihutada.

3.2.5. Pedagoogide register

Pedagoogide register ei olnud esialgse plaani kohaselt käesolevasse töösse kaasatud. Kuid mitmed õpetajatega seotud näitajad (mees ja naisõpetajate suhtarv, kõrgharidusega õpetajate osakaal, õpilaste arv õpetaja kohta jms) pakkusid huvi koolide hindamiskriteeriumite vallas ja nii otsustati ka pedagoogide registrit kasutada. Esialgne väljavõtte pedagoogide registrist osutus poolikuks, sest paljud kirjed jäid mingil põhjusel edastamata. Järgmine väljavõtte sisaldas juba palju enam kirjeid, kokku 31 994. Pedagoogide registris sisaldunud andmeid kajastab järgnev tabel 10, kus on toodud veergude pealkirjad.

Tabel 12. Pedagoogide registri andmetabelite veergude nimetused.

kood	dbo_class_step_name	maakond	ametikoha suurus	sugu	tase_reg	õppeaine
erialane haridus	vald	õppeasutus	haridustase	pedagoogiline	asutuse kood	

Andmeväli “kood” sisaldas endas õpetajat identifitseerivat tunnust, mis võeti edaspidi õpetajate arvu leidmise aluseks. Eeldati, et iga kood tähendab erinevat õpetajat. Meid huvitasid pedagoogide registri puhul eelkõige järgmised andmed: õpetajate arv koolis, kõrgharidusega õpetajate osakaal, õpetajate töökoormus, mees- ja naisõpetajate suhtarv ning õpetajate keskmine vanus koolis.

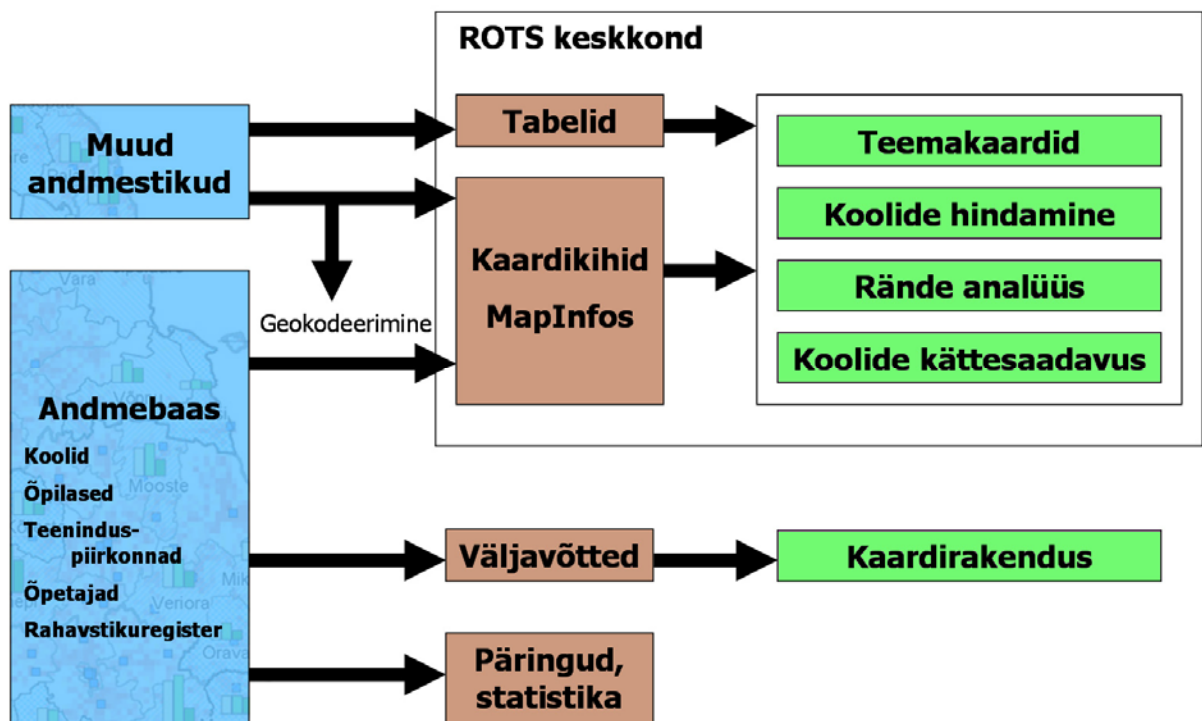
Oluline on siinkohal märkida, et pedagoogide registri väljavõttest puudusid väljavõtte saamise hetkel täielikult Tallinna koolide õpetajad. Tegelikult puudub praegusel juhul üldse võimalus kontrollida, kuivõrd on õpetajaid sellest väljavõttest puudu, sest mingit võrdlusmomenti teise andmestikuga ei ole. Võrrelda sai seda, kas on koole, mille kohta puuduvad registris õpetajate andmed. Pedagoogide registri väljavõtte sidumisel koolide

registriga tuligi välja, et puudu on õpetajate andmed 125 2003. aastal töötanud kooli osas. Kui siit välja jätta vangla- ja erikoolid, õhtukoolid ja Tallinna koolid (85 kooli, mille kohta andmete puudumine oli teada), siis jäi ilma õpetajateta veel 24 kooli.

Näitajates vajamineva õpetajate arvu leidmiseks on kaks viisi: võib leida õpetajate arvu neile antud ID järgi, mis andis tulemuseks 11467 õpetajat 508 koolis. Teine võimalus on leida õpetajate arv koolide kaupa, see tähendaks summeerida 1 õpetaja kaks korda, kui ta töötab kahes koolis korraga. Sellisel moel saame õpetajate arvuks 11927. Põhimõtteliselt on võimalik arvutada ka täiskoormusega õpetajate arv ehk summeerida lihtsalt töökoormused, nii oleks tulemuseks 10246,6 õpetajat.

3.3. ROTS keskkonna loomine

Pärast andmebaasi valmimist toimus ROTS keskkonna loomine. ROTS keskkond hõlmab endas kõiki projekti käigus loodud rakendusi: teemakaartide genereerimise, rände analüüsi, koolide kättesaadavuse ja hindamise vahendid ning erinevad andmestikud. Sissejuhatuses nimetatud geograafiline ekspertsüsteem “Koolivõrk” on sisuliselt ROTS keskkonna üks osa – koolide hindamine koos kõigi oma võimalustega.



Joonis 9. Metoodika ja tegevuste üldine skeem.

ROTS keskkonna loomist alustati juba varem räägitud andmete kogumisest ja korrastamisest ning geokodeerimise abil kaardikihtide loomisest. Selleks kasutati ka muid andmestikke nagu Regio aadresside andmebaas, lisaks on muude andmetike näol vaja kaasata ka haldusjaotus, teedevõrk, rahvastiku andmed, koole puudutavad regulatsioonid, eksperthinnangud, ühistransport jne. Et teha andmed kättesaadavaks kasutajale on järgmiseks sammuks kasutajaliidese loomine.

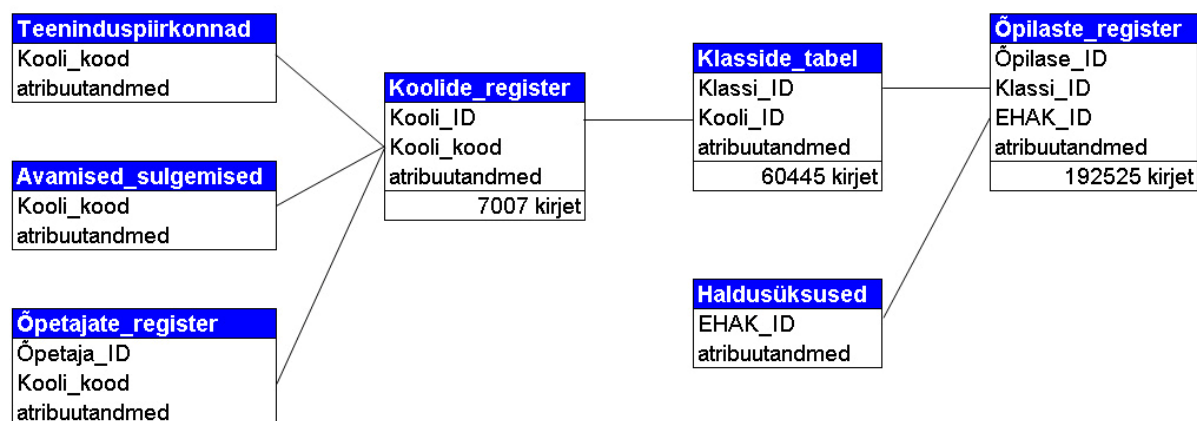
ROTS keskkond kujutab endast mõnevõrra erinevaid rakendusi ühendavat menüüd, kust saab valida erineva rakenduse vahel (teemakaardid, rände analüüs jne), misjärel avaneb vastav dialoogiakende süsteem. ROTS keskkonna põhiplatvormiks sai MapInfo ja kasutajaliidese programmeerimine viidi läbi Regio poolt kasutades MapBasic ja C++ programmeerimiskeeli. Interneti kaardirakenduse jaoks tehti väljavõtte Accessi andmebaasist, mis imporditi veebipäringuid võimaldavas MySQL andmebaasi. Minu rolliks oli siin veebirakenduse funktsionaalsuse väljamõtlemine ja praktiline realiseerimine toimus jällegi Regio poolt, siinkohal kasutati ka Regio kaardiserverit ja Macromedia Flash'i

4. Tulemused

ROTS keskkonna kasutajaliidesest on valminud MapInfo kaardiprogrammile tuginev dialoogiakende süsteem, mis võimaldab tegeleda erinevate andmehulkadega andmebaasis: koolid, õpilased, õpetajad ja kooli teeninduspiirkonnad. Erinevate andmete kompleksne analüüs ja esitamine teemakaartide ja tabelandmetena koos rände ja koolide kättesaadavuse analüüsiga kombineerituna koolide hindamise võimalustega on peamine tulemus, mis pakub võimaluse paremaks otsuste tegemiseks koolivõrgu planeerimisel.

4.1. Andmebaas

Projekti käigus saadud erinevatest registritest (õpilaste register, rahvastikuregister, pedagoogide register, koolide register) saadud andmed koondati ühte relatsioonilisse andmebaasi võimaldades nimetatud registrite riskasutuse. Loodud andmebaasi üldistatud struktuur on toodud joonisel 10. Andmebaas on omakorda seotud unikaalsete identifikaatorite abil MapInfo formaadis kaardipildiga, võimaldades erinevate päringute tulemusel saadud informatsiooni seal teemakihina kaardipildis visualiseerida. Relatsiooniline andmebaas, mis seob erinevad registrid, on väga võimas tööriist ja antud juhul on siin juures ka ruumiinfo, mis on aluseks ROTS keskkonna tööks.



Joonis 10. Andmebaasi üldine skeem.

Andmebaasi süsteemselt ja analüüsiprogrammidega tööle rakendamiseks tekitati andmebaasis juurde mitmeid erinevaid identifikaatoreid (ID). Siinkohal on välja toodud olulisemad nendest ning lisatud ka mõne muu olulisema lihtsa andmevälja kirjeldus:

Kooli_ID – unikaalne kood, mis eristab kõik kirjed koolide tabelis ehk siis koolid ka aastate kaupa, sest andmebaas sisaldab koole üle mitme aasta.

Kooli_kood – unikaalne kood iga kooli kohta. On võetud kooli kood viimase aasta seisuga ja juhul kui mingil varasemal aastal on olnud teistsugune kood, siis on see asendatud viimase aasta koodiga;

Klassi_ID – unikaalne kood iga klassi kohta läbi erinevate koolide ja aastate. On saadud kooli_ID'le klassi numbri lisamisega;

Opil_ID – unikaalne kood iga õpilase kohta, on saadud lihtsalt õpilasi järjest numbrdades. Alates 1st kuni 192525-ni.

Sellise relatsioonilise andmebaasi eelised lihtsate tabelandmete ees on andmete optimeerimine. Välditakse samade andmete kordamist erinevates tabelites, mis hoiab kokku andmebaasi mahtu ja võimaldab vabaneda erinevatest vormilistest vigadest andmete hoidmisel. Tüüpilisem näide ongi erinevad aadressid ja nimed. Relatsioonilise andmebaasi korral säilitatakse aadresse ühekordse kirjena põhitabelist eraldi ja põhitabeliga seob teda ühendus vastava ID abil. Ja kuskil aadressis esineb viga, siis piisab selle parandamisest ühes tabelis.

Samas eeldab selline andmebaas väga korrektset andmete pidamist, sest kui aadress on tabelis vale, siis on see vale kõigil kirjetel, mis sellele ID abil viitavad. Enam ei piirduks viga ühe kirjega nagu see oleks tavalise lameda andmetabeli korral. Täpselt peab olema paigas ka erinevate ID'de pidamine, vead ID's (nagu antud juhul oli kooli koodidega) ei võimalda sellise andmebaasi pidamist, mis sundiski andmetega nende kasutatavaks muutmisel palju vaeva nägema.

Eelnevas lõigus kirjeldatud aspekte ei saa aga kuidagi pidada relatsioonilise andmebaasi negatiivseteks külgedeks võrreldes lameda andmebaasiga. Otse vastupidi, see peaks olema iga registripidaja esmane huvi ja eesmärk, et tema andmed on korras. Relatsioonilises andmebaasis tulevad sellised vead palju lihtsamalt välja kui tavalistes andmetabelites.

4.1.1. Andmebaasi uuendamine

Loodud andmebaasi uuendamiseks tuleb väga selgelt paika panna edasised arengusuunad andmete kogumisel. Milliseid andmestikke kogutakse ja kuidas neid kogutakse? Kui soovitakse koguda mingeid uusi andmeid, mida varem ei ole kogutud, siis

tuleks mõelda, kuidas tahetakse nad andmebaasiga siduda. Üldiselt on selline andmebaas uutele andmetele avatud ja ID kaudu saab neid siduda andmebaasiga. Peamiseks ID-ks jääb arvatavasti kooli kood. Seega tuleks kohe läbi mõelda, kas praegune kooli kood on edaspidiseks andmekogumiseks sobiv või mitte. Kui on ette näha, et koode on vaja muuta, tuleks need muutused korrektselt dokumenteerida ja paika panna, kuidas saab vanad koodid uude süsteemi üle viia.

Kui muutusi plaanis ei ole ja andmekogumine jätkub samadel alustel on andmete uuendamine andmebaasis lihtne. Loomulikult tuleks täpselt jälgida, et kooli kood püsiks unikaalse tunnusena ja seda ei omistataks vahepeal teistele koolidele. Käesoleva projekti raames kasutatud andmebaasi formaat (Accessi mdb fail) võimaldab uusi andmeid importida paljudest erinevatets andmeformaatidest. Samas peab arvestama ka turvalisusega, andmete eeldatava kogumahu ning andmebaasi kasutamise kiirusega, mille osas Access teatud hetkel enam sobida ei pruugi.

4.2. Kaardirakendus internetis

Interneti kaardirakendus annab ülevaate Eesti koolidest, sisaldades peaaegu kõiki koolide kohta kogutavaid andmeid. Praeguse seisuga on seal andmed alates õppeaastast 1993/94 kuni õppeaastani 2005/06 ja näeb andmeid ka vahepeal suletud koolide kohta. Koolide kaardirakenduse kasutajaliides on toodud joonisel 11 ja asub see internetiaadressil <http://kaardid.regio.ee/koolid/>.

Koolide kaardirakenduses on võimalik teha lihtsamaid päringuid, otsida koole nime ja haldusüksuse järgi ning kuvada koole, aasta, koolitüübi, kooliastme ja õppekeele järgi. Infonupuga koolile osutades näidatakse selle nime ja vajutades kuvatakse üldine info, kus on nupp ka detailsema info jaoks (kooli aadress, omandivorm, koolipidaja, tüüp, astmete olemasolu, õppekeel, eesti ja venekeelsete õpilaste arv, tüdrukute ja poiste arv, pikapäevarühmas ja klassikursust kordamajäänute arv, õpetajate arv, kooli avamis- ja sulgemisaastad, õpilaste arv klasside kaupa).

Koolide veebirakenduses on kasutatud väljavõtte käesoleva projekti tulemusena loodud andmebaasist, mis on tõstetud Accessi andmebaasist veebipäringuid võimaldavasse MySQL andmebaasi. Rakendus baseerub Regio kaardiserveril, milles asuvat kaardiandmebaasi uuendatakse pidevalt. Kaardiserverist päritud kaardil kuvatakse vastavalt kasutaja poolt veebirakenduses tehtud valikutele MySQL andmebaasist võetav koolide info.



Joonis 11. Koolide interneti kaardirakenduse kasutajaliides <http://kaardid.regio.ee/koolid/>.

4.3. ROTS keskkond

4.3.1. Teemakaartide generaator ja analüüs

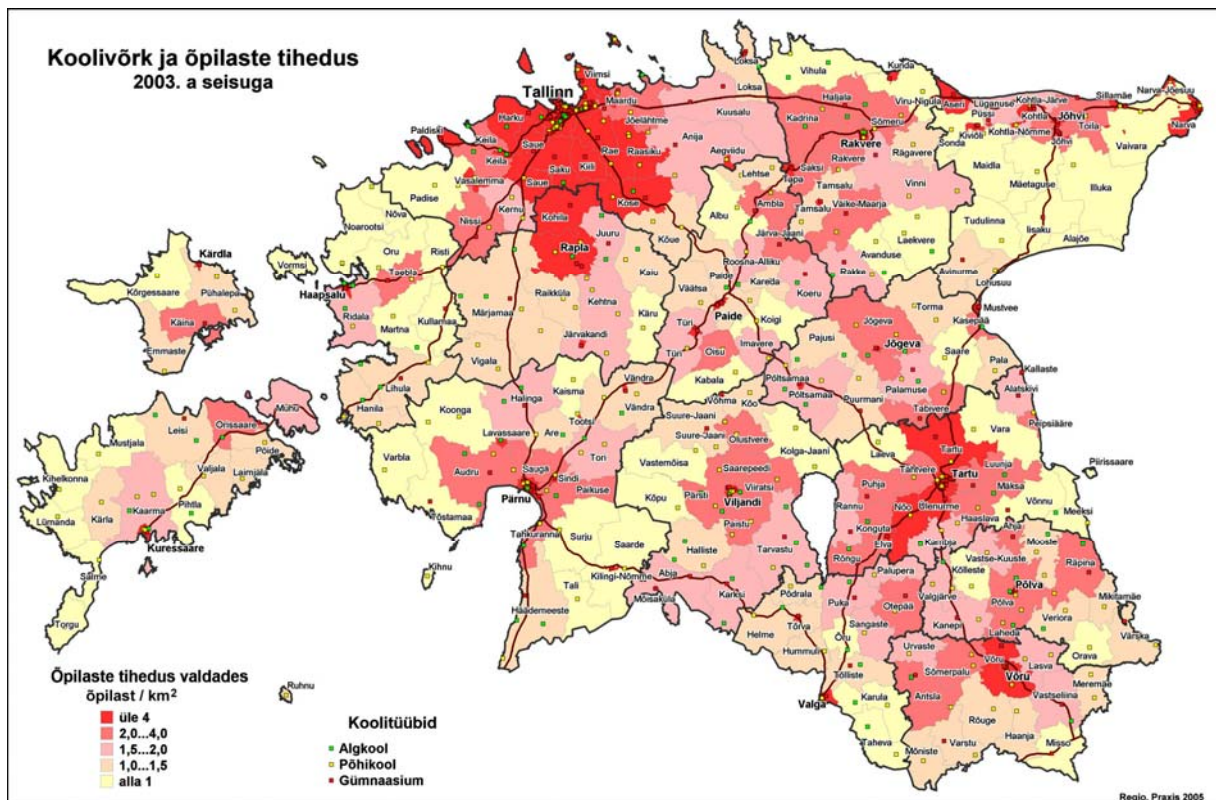
Projekti käigus loodi mitmeid teemakaarte, mida on võimalik näha ka koolide kaardirakenduse juurest (<http://kaardid.regio.ee/koolid/rasterid/>) ja võimalus kasutajal endal teemakaarte luua. Teemakaartide tegemine saab alguse vastava kasutajaliidese käivitamisel, mille peamiseks dialoogiakendeks on koolide valimine, teemakaardi valmimine ja teemakaardi seadistused (joonis 12 ja 13).

Joonis 12. Koolide valiku dialoogiaken.

Olenevalt valitud teemakaardist saab valida ka taustakaarte, mis võivad olla teised varem valmis tehtud teemakaardid. Näiteks tehes teemakaardi kõrgharidusega õpetajate osatähtsuse kohta koolides saame valida taustakaardiks kohalikus omavalituses klassikursust kordamajäänute osatähtsuse. Teemakaartide koostamine käib loodud andmebaasi ja kaardikihtide abil. Järgnevalt näidatena mõned teemakaardid.

Joonis 13. Teemakaardi valiku ja teemakaardi seadete dialoogiaken.

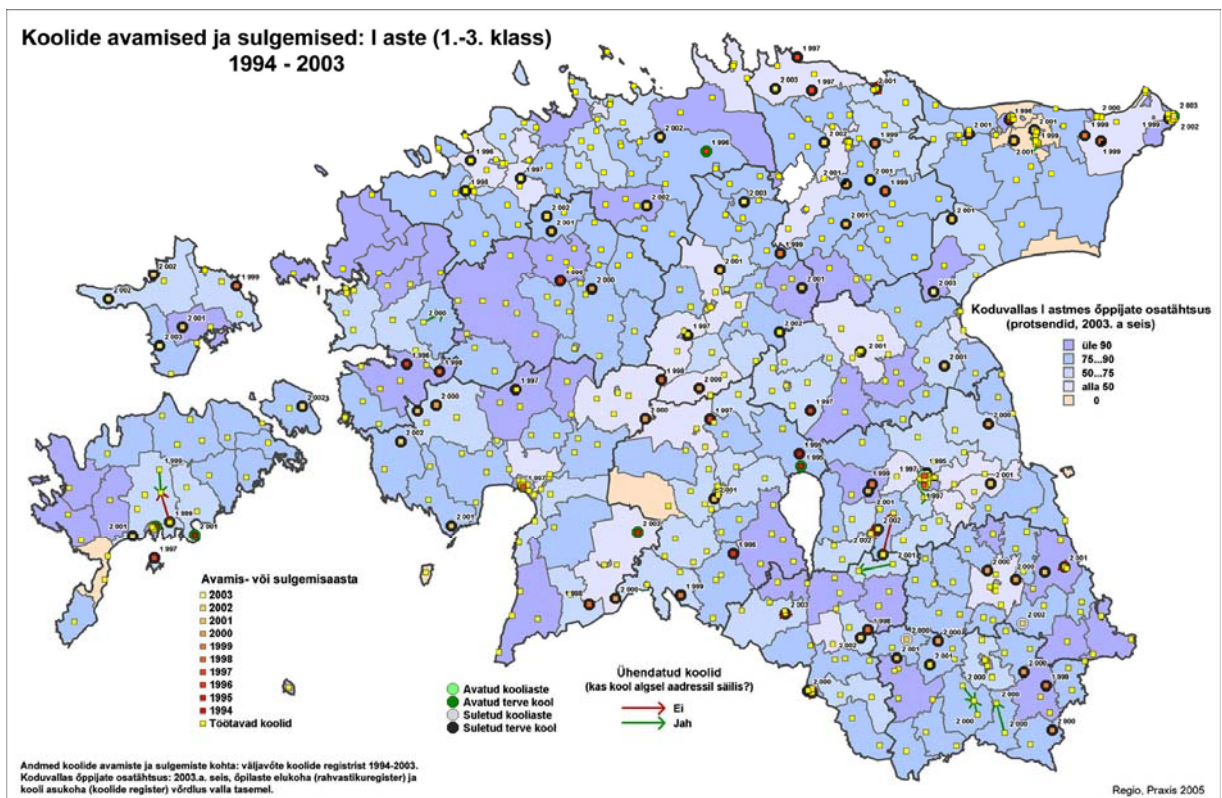
Joonisel 14 on Eesti koolivõrku kajastav kaart 2003.a. seisuga ja 576 kooli andmetega. Välja on jäetud kõik vangla- ja erikoolid ning kaardilt puuduvad õhtukoolid, kaugõppekoolid ja koolid, mille juures puuduvad üldhariduskassid. Õpilaste tihedus on saadud õpilaste registris olnud elukohta näitava valla koodi järgi. Iga valla õpilaste arv on summeeritud ja jagatud vastava valla pindalaga.



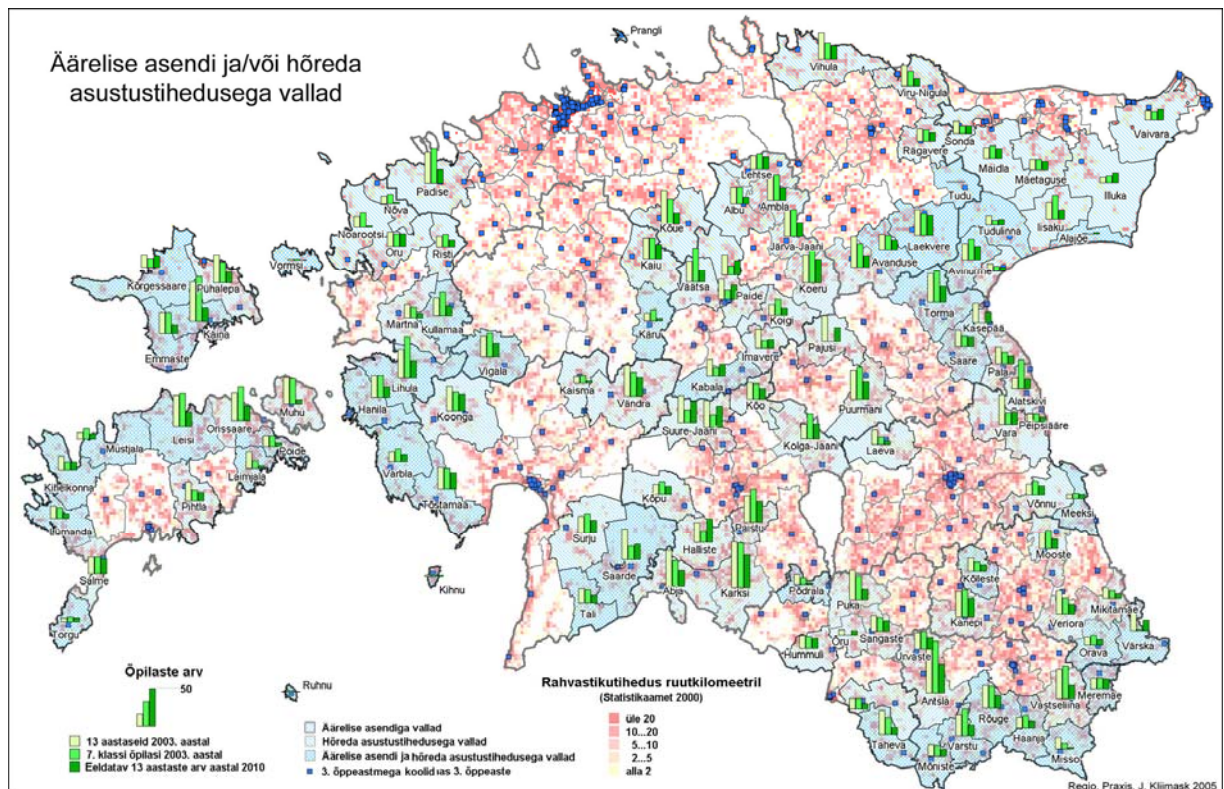
Joonis 14. Õpilaste tihedus ja üldhariduskoolide tüübid 2003.a. seisuga.

Koolide avamisi ja sulgemisi kajastavate kaartide näiteks on toodud 1. kooliastme kaart (joonis 15), kus on 621 erinevat kooli läbi 10 aasta. Taustaks on valitud koduvallas õppijate osatähtsus 2003.a. seisuga. Vastav protsent (koduvallas õppijad) on saadud rahvastikuregistris oleva õpilaste elukoha andmete ja kooli asukoha võrdlemisel. Leiti igas omavalitsuses elavate õpilaste arv ja seoti koolidega. Samas omavalitsuses elavate ja ka omavalitsuse piires õppijate suhtarv kõikidesse selles vallas elavatesse õpilastesse näitab koduvallas õppijate osatähtsust. Kuna koduvallas õppijate osatähtsuse arvutamine sõltub mitmest andmetabelist ja andmete omavahelisest sidumisest, siis ei saanud arvutamisel kasutada kõiki õpilaste registris olevaid õpilasi juba ka varem loetletud põhjustel:

- osade õpilaste puhul ei suudetud leida rahvastikuregistrist elukoha andmeid;
- osad õpilasi ei olnud võimalik siduda kooliga kuna vastav kooli kood puudus õpilaste registrist;
- arvestati ainult üldhariduskoolide õpilastega;
- kokku on kaardi koostamisel arvesse võetud 1. kooliastmes – 38 260 õpilasega.



Joonis 15. Koolide avamised, sulgemised ja ühendamised 10 aasta jooksul (2. kooliaste).

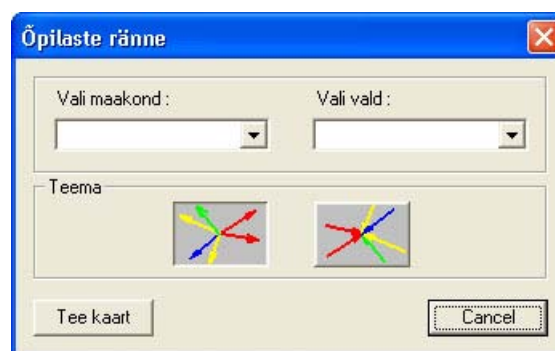


Joonis 16. Äärelise asendi ja/või hõreda asustustihedusega vallad.

Äärelise asendiga ja/või hõreda asustustihedusega omavalitsused on välja toodud Jaak Kliimaski uurimuse põhjal. Temalt saadud tabelandmed sisaldasid lisaks valdade äärelisele asendile ja/või hõredale asustustihedusele ka vallas elavate 13 aastaste laste arvu, 7-ndas klassis õppivate laste arvu ja prognoositavat 13-aastaste laste arvu aastal 2010. Vastav info seoti kaardiga ja koostati teemakaardid neljas erinevas versioonis, millest ühte kokkuvõtvat teemakaarti näeb joonisel 16, kus on toodud nii äärelise asendi, kui ka hõreda asustustihedusega vallad (alla 8 inimese km² kohta)

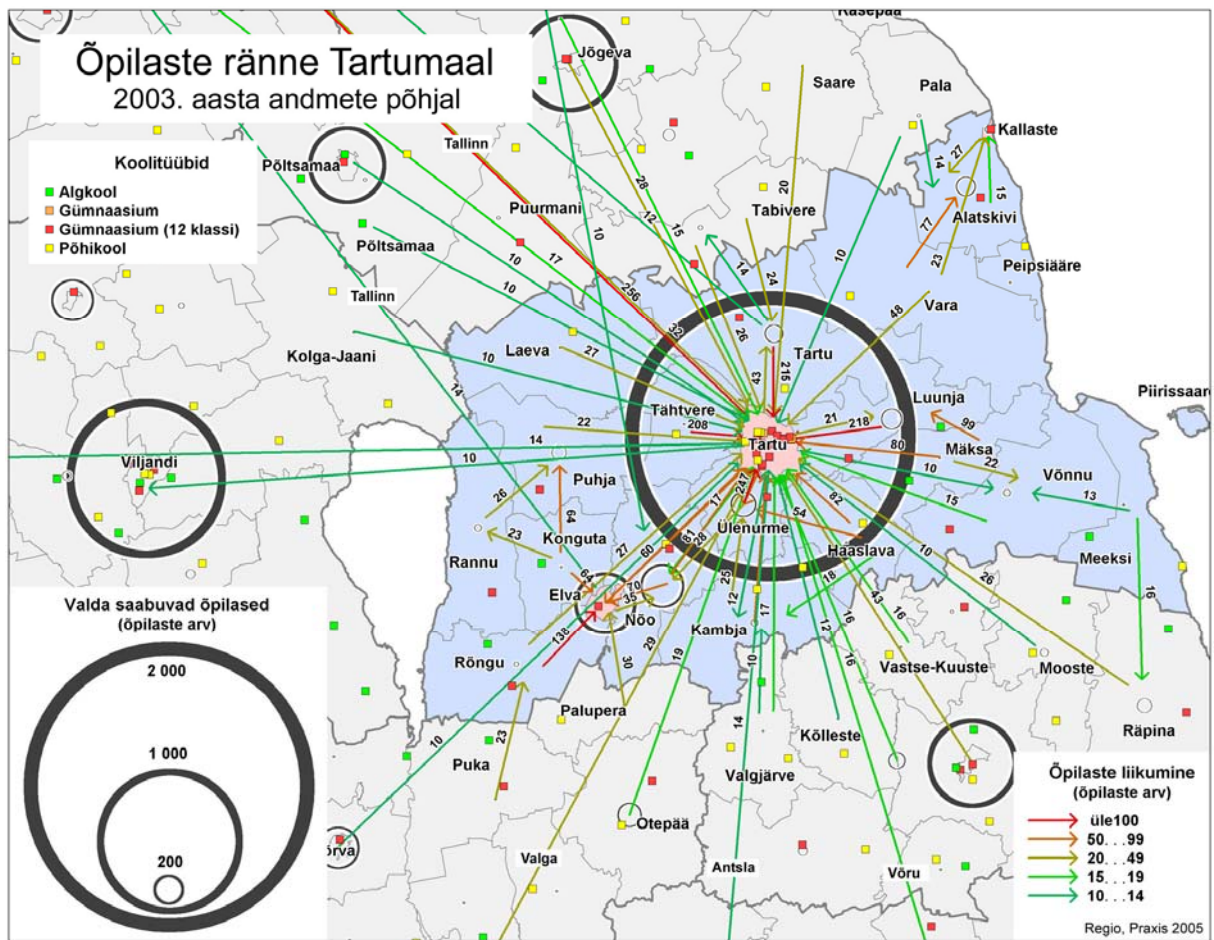
4.3.2. Rände analüüsid

Koolide rahastamisskeemis mängib olulist rolli pearaha süsteem, mistõttu õpilaste ränne pakkub suurt huvi. Selle illustreerimiseks koostati iga maakonna kohta õpilaste rände kaart, rahvastikuregistrist saadud õpilase elukohta andmete alusel. Ka õpilaste registris oli õpilase elukoht valla koodi näol olemas, nende omavahelist võrdlust kajastas tabel 8, mille järgi leiti erinevus 12 304 õpilase osas. Kui siia juurde liita veel ka need õpilased (3382 õpilast), kellele elukohta rahvastikuregistrist juurde ei leitud, siis saame kokku 15 686 õpilast, mis on 8,1% kogu õpilaste arvust. Võib arvata, et rände kaartide puhul tuleb arvestada analoogse veaprotsendiga.



Joonis 17. Rände kaartide koostamise dialoogiaken.

Rände kaardi tegemiseks tuleb valida rippmenüüst moodul 'Õpilaste ränne' (joonis 17). Valides teemaks õpilaste väljarände näidatakse valitud omavalitusest õpilaste liikumist teiste omavalitsuste koolidesse. Valides teemaks õpilaste sisserände, näidatakse millistest valdadest liigutakse valitud omavalitusesse õppima. Kaardil iseloomustab rände intensiivsust joone värv, mis on toodud ka lisatud legendis.



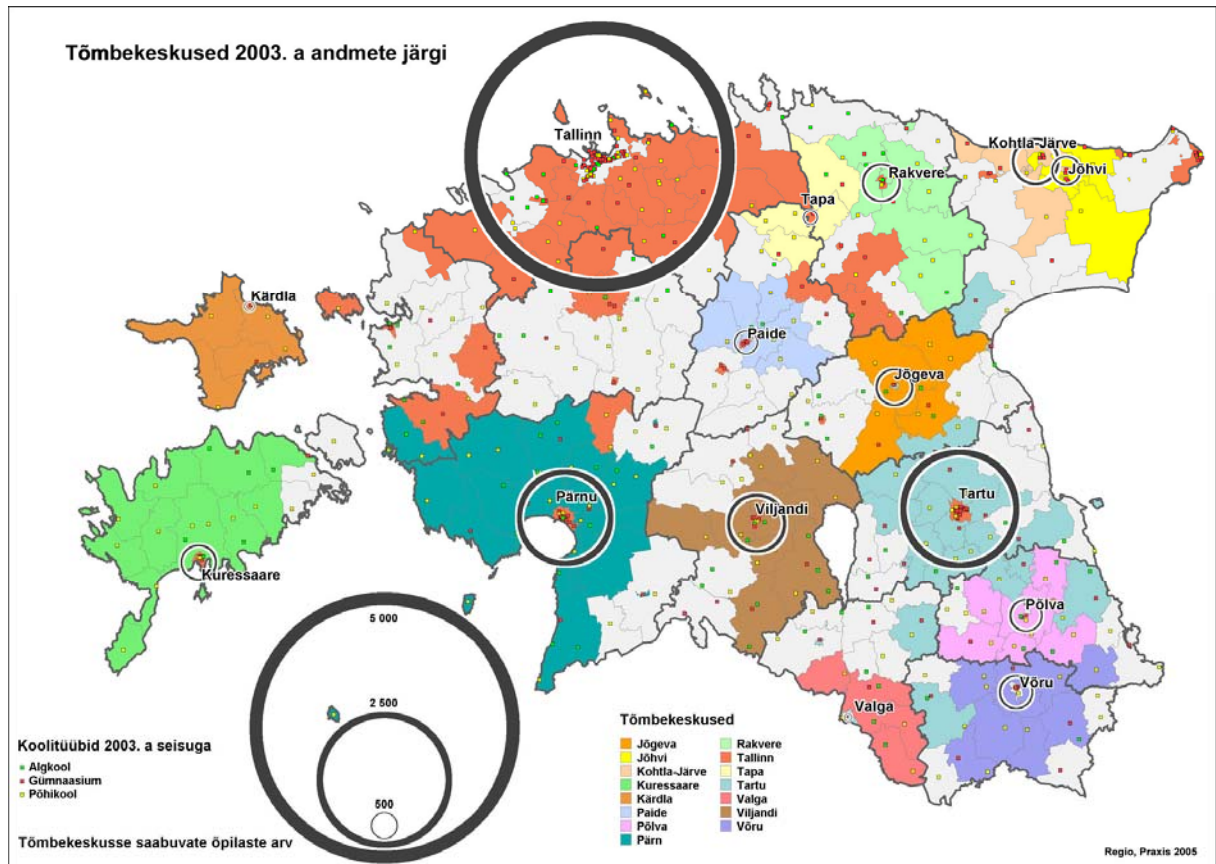
Joonis 18. Õpilaste ränne Tartumaal 2003. aasta andmete põhjal.

Eelnevalt oli leitud koduvallas õppijate osatähtsus, st kui palju õpilasi käib koolis oma koduvallas. Tehti ka kindlaks, millised on suuremad tõmbekeskused ja milline on nende suhteline osakaal üksteisega võrreldes. Projekti käigus loodud andmebaas võimaldas visualiseerida erinevates registrites sisalduva informatsiooni. Nii koostati iga maakonna kohta õpilaste rändekaart, millest ühte näidet Tartumaa kohta võib näha joonisel 18.

Rände kaartidel kujutatud ringid näitavad õpilaste absoluutarvu, kes saavad teisest omavalitsusest. Terve Eesti kohta on välja toodud 15 tõmbekeskust, mis eristati järgmisi põhimõtteid järgides (joonis 19):

- Värvitud on omavalitsused ehk tõmbekeskuste juurde kuuluvaks on määratud ainult need omavalitsused, kust lahkub üle 20% õpilastest;
- iga omavalitsus on toonitud selle tõmbekeskuse järgi, kuhu läheb kõige rohkem õpilasi;
- tõmbekeskust ei ole eristatud, kui see hõlmab endas vähem kui nelja omavalitsust;

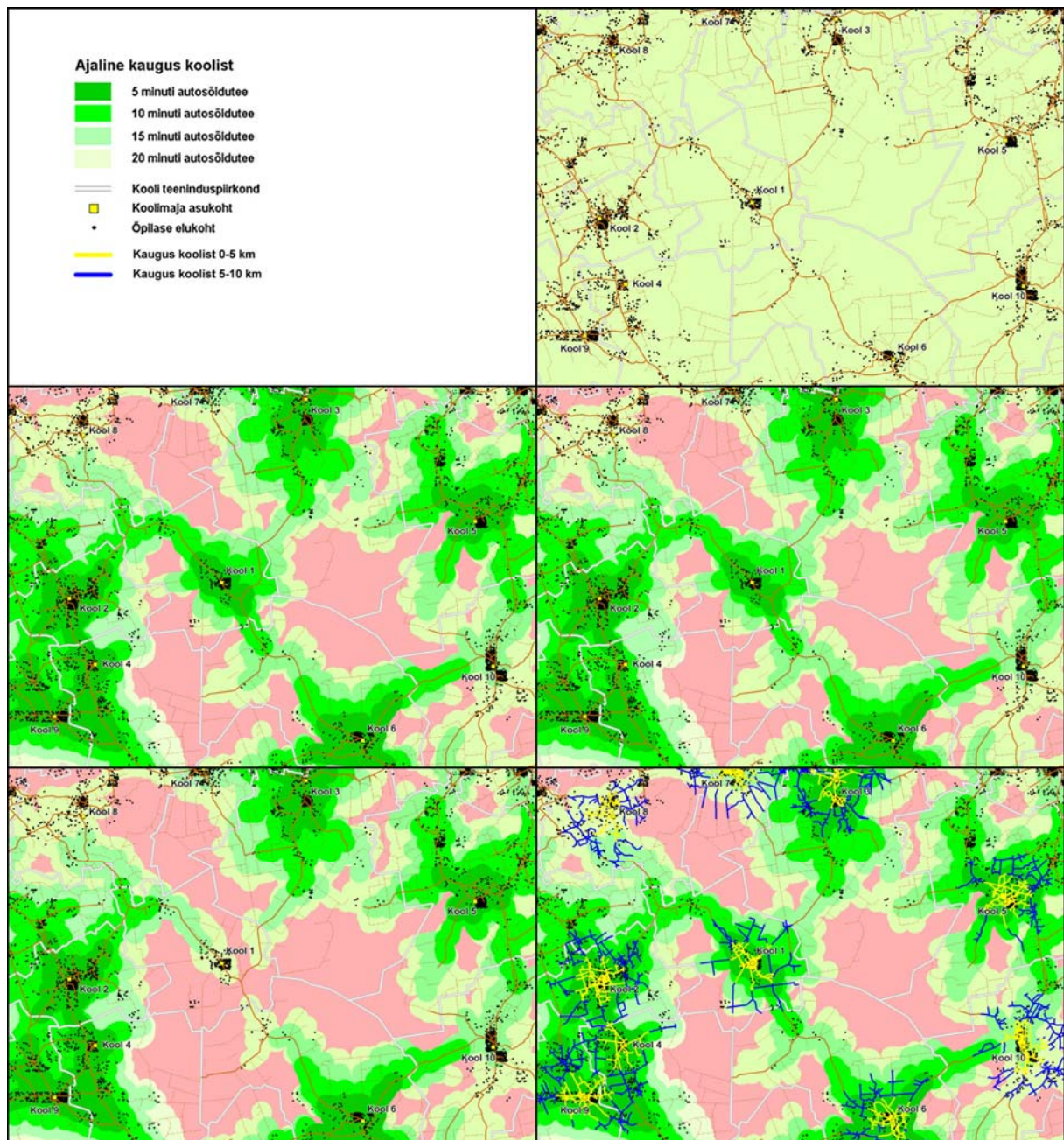
- arvestatud on kõikide õpilaste rännet, hoolimata kooliastmetest.



Joonis 19. Õpilaste rännet arvestades koostatud tõmbekeskuste kaart.

4.3.3. Koolihariduse kättesaadavus

Koolihariduse füüsiline kättesaadavus. Eesti koolivõrgu olukorda tutvustades sai tõdetud, et jätkuv koolide vähenemine on aktuaalne küsimus. Teiselt poolt on olemas teatud nõuded koolitee pikkusele, mida see ei tohi ületada. Sellest kriteeriumist lähtuvalt saabki modelleerida koolide kättesaadavust õpilastele. Õpilaste koolitee jalgsikäimise maksimaalseks pikkuseks on tervisekaitse nõuete järgi 3 km, maksimaalse piirina on toodud 15 km. Samal ajal on lisaks kaugusele kehtestatud ka ajalised piirid, et 1. kooliastmes ei tohiks edasi-tagasi kooliskäigu pikkus ületada 1 tundi ja 2. ning 3. kooliastmes 1,5 tundi (PRAXIS 2005).



Joonis 20. Autoga kooli jõudmiseks kuluv ajaline- ja distantsiline kaugus

Distantsilise kauguse puhul on kõige lihtsamaks viisiks linnulennuline kauguse mõõtmine koolihoonete ümber. Põhimõtteliselt on tegemist 15 km raadiusega puhvrite genereerimisega ümber koolihoonete. Tegelikult minnakse kooli aga mööda teid, mis teeb olukorra natuke keerulisemaks, kuid siingi pakub GIS piisavalt abivahendeid. Kui arvestada koolide kättesaadavust aga ajalise kaugusena, siis on vaja teada teedevõrgu erinevate teede olukorda, millest lähtuvalt saab arvutada või eeldada keskmise läbimiskiiruse erinevatel lõikudel erinevate transpordivahenditega. Sellisel kujul info on Regio teedemaatriksi näol

olemas ja vastavad analüüsid seega võimalikud. Joonisel 20 on toodud vastav näide teedemaatriksit kasutades ja seda sõiduauto tingimustele kohandatult.

4.3.4. Koolide hindamine – ekspertsüsteem

Koolide hindamise rakendus on mõeldud koolide hindamiseks ja võrdlemiseks ning otsuste toe pakkumiseks. Eesmärgiks ei ole halbade või halvemate koolide väljaselgitamine ja sulgemine, vaid pigem probleemsetele kohtadele osutamine ja nende teadvustamine ning ajalise muutuse ning erinevate huvigruppide arvamuse teada saamine. Koolide hindamise rakendus võimaldab koole võrrelda ka kvalitatiivsete näitajate alusel, selleks on appi võetud Saaty meetod kui eksperthinnangute kvantifitseerimist võimaldav meetod.

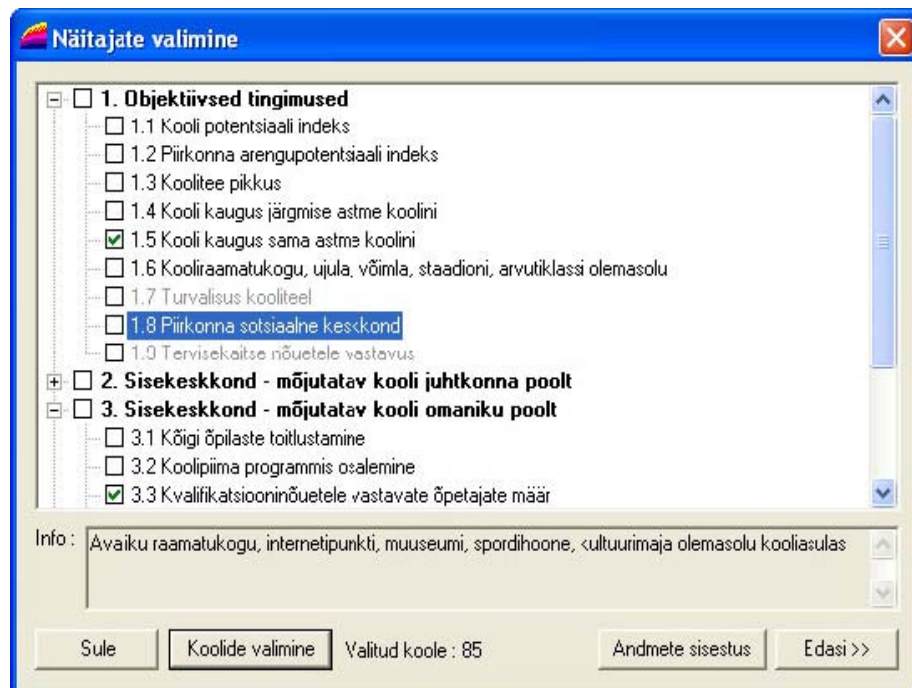
Ekspertsüsteem baseerub andmetel ja sellel, kuidas me neid andmeid tõlgendame ja sealt informatsioonini jõuame. Terve rida tõlgendusi (näitajate arvutusreeglid) on juba eelnevalt defineeritud ja kasutaja saab nende seast valida, näiteks alljärgnevad:

- õpetajat õpilase kohta
- arvuteid õpilase kohta
- klassiruumide pindala õpilase kohta
- väljastpoolt teeninduspiirkonda tulnud õppijate osatähtsus
- kooli kaugus järgmise sama astme koolini
- kvalifikatsiooninõuetele vastavate õpetajate määr
- klassikursust kordama jäänute osatähtsus
- jne...

Näitajate valimine on ka koolide hindamise rakenduse ehk ekspertsüsteemi käivitamisel avanev esimene dialoogiaken (joonis 21). Siit võib edasi minna koolide valikusse (joonis 12), kui soovitakse kaasata ainult mingi osa koolidest.

Käesoleva ekspertsüsteemi eesmärk on eksperdi töövahendi loomine, mis aitaks erinevaid otsuseid teha. Teiselt poolt võib see olla ka lihtsalt tavakasutaja töövahend koolide hindamiseks, abivahend kooli valikuks või tagasiside saamiseks. Siin on mõeldud seda, et kui lasta samade näitajate põhjal ja samu koole hinnata erinevatel subjektidel nagu lapsevanemad, õpilased, õpetajad ja haridusametnikud, siis võivad välja tulla erinevad suhtumised. Samamoodi võib lapsevanem kasutada varem tehtud hinnanguid oma lapsele kooli valimiseks

ja aegreas on need hinnangute muutused oluliseks informatsiooniks kooli olukorra paranemisele või halvenemisele.



Joonis 21. Ekspertsüsteemi näitajate valimine.

Erinevatele valitud näitajatele saab anda kaalu (joonis 22), kui oluline on see näitaja koguhinde moodustamisel. Iga näitaja kohta saab eraldi määrata, kuidas toimub üleminek näitaja väärtustel punktisüsteemile. See ongi see koht, kus tuleb mängu ka eksperthinnangute kaasamise ja kvalitatiivsete näitajate kasutamise võimalus. Kui enne sai räägitud erinevate subjektide poolt koolide hindamisest siis ei ole küsimus ainult erinevate hinnete panekus, vaid tegelikult ka hinnatavate kriteeriumide valikus ja nendele erinevate kaalude seadmises.

Kui valida teemakaardi tegemine, siis tuleb ette vastav teemakaardi tegemise dialoogiaken (joonis 13), kus saab täpsustada legendi, taustakaarti või väljastada tulemused tabelandmetena.

Ekspertsüsteem kasutab oma tööks täpselt neidsamu andmeid, mida eelnevadki rakendused. Andmetest üksi jääb muidugi ekspertsüsteemi töös väheks, on vaja nendega ka midagi peale hakata ja andmeid uuendada. Andmete uuendamisest räägiti andmebaasi osas. Andmetest informatsioonini jõudmiseks ongi aga ekspertsüsteemis võimalik valida juba eelnevalt defineeritud näitajad, mida võiks tõlgendada kui andmetöötluse reeglistikke, sest näitajad arvestatakse pärast valikuid välja jooksvalt andmebaasi viimase seisuga põhjal. Andmebaas asub Accessis ja MapInfo oskab küll sealseid tabeleid avada, aga ei oska kasutada

sealseid tabelite vahelisi relatsioone, siis on tabelid omavahel seotud vastavate SQL päringutega, nii et andmebaasi uuendused on kättesaadavad kohe ka kaardiandmetes.

Näitajate valimine

Valitud näitajad

Näitaja	Kaal
1.5 Kooli kaugus sama astme koolini	50 %
3.3 Kvalifikatsiooninõuetele vastavate õpetajate määr	50 %

Vahemikud/Punktid

>= Min	< Max	Punkte
0	2	1
2	6	2
6	12	3
12	24	4
24	82	5

Näitaja kaal: 50 %

Algseis Kinnita

Sule Tee teemakaart << Tagasi

Joonis 22. Koolide hindamise rakenduse näitajate kaalude seadmine ja väärtustelt punktisüsteemile üleminek.

5. Arutelu

Muutused koolivõrgus: õpilaste vähenemine ja õpilaste ümberpaiknemine ruumis on põhjustanud muutusi koolivõrgus. Eelkõige õpilaste vähenemist ja sellest tingitud koolide vähenemist ennustatakse ka edaspidiseks (HTM, 2005, PRAXIS, 2005), mis tähendab probleemi jätkuvat aktuaalsust. Varasema ühtse riigi hariduspoliitika puudumine on ühelt poolt tingitud koolivõrgus toimuvatest protsessidest konkreetse ülevaate puudumisest ja teiselt poolt muutuvast hariduspoliitikast, mistõttu on välja kujunenud püüd säilitada olemasolevat olukorda ja teiselt poolt isereguleeruv süsteem, kus tugevamad koolid jäävad püsima. Nõrgemad koolid, kust õpilased lahkuvad või neid lihtsalt enam ei ole piisavalt suletakse majanduslike raskuste tõttu (PRAXIS, 2005)

Sellest lähtuvalt on Haridus- ja Teadusministeerium tellinud erinevaid uuringuid, millest ühte kajastatakse ka antud töös. Käesoleva töö peamiseks eesmärgideks oli luua süsteem koolivõrgus toimuvate protsesside analüüsiks ja koolivõrgu planeerimiseks. Välja tuli selgitada andmevajadus, siis need andmed kokku koguda ja kasutamiseks korrastada. Ühe eesmärgina tuli lahendada ka koolivõrgu optimeerimise ülesanne.

Kirjanduse põhjal võis eristada kaks peamist lähenemist asukoha ülesanded ja ROTS. Tunduvalt enam võis leida kirjandust just teoreetiliste asukoha ülesannete vallast ja praktilisi töid oli tunduvalt vähem või on need ülimalt lihtsustatud nagu näiteks Tewari ja Jena (1987) töö, kus minimeeritakse keskmine õpilaste koolitee kaugus lähimasse kooli ja maksimeeritakse rahvaarv, kes saab kaetud koolide maksimaalse 8 km laia teeninduspiirkonnaga. Võib tuua ka palju keerukamaid näiteid, nagu Davies ja Thomas (1976) ning Antunes ja Peeters (2000). Üheks põhjuseks on suhteliselt lihtsate probleemide käsitlemine, mida saab matemaatiliselt hästi formuleerida ja edasi keskendutaksegi matemaatiliste meetodite täiustamisele ja viimistlemisele (Eiselt, 1992). Praktilised probleemid osutuvad liialt keerukaks, sisaldavad palju erandeid ja tihtilugu on kriteeriumid konfliktised.

Praktilisemate tööde vähesus on tingitud ka sellest, et planeerijad ja konsulteerijad, kes sageli sellega tegelevad, ei ole eriti motiveeritud esitama oma tulemusi teaduskirjanduses. Erasektoris välja töötatud uued meetodid on pealegi neile konkurentsieeliseks teiste ees ja neid uurimusi laiale ringkonnale ei jagata (Eiselt, 1992).

Koolivõrgu näol on tegemist just sellise väga keeruka süsteemiga, kus on mitu osapoolt: erineval tasemel ametnikud, õpilased, õpetajad ja lapsevanemad ning konfliktised eesmärgid. Lisaks sellele on koolivõrk suur süsteem, Eesti puhul umbes 200000 õpilase ja 600 kooliga. Ilma andmeid üldistamata on asukoha ülesande lahendamine sellisel juhul väga arvutusmahukas. Peamiseks üldistusmeetodiks on nõudluspunktide liitmine (Erkut, Bozkaya (1999, Cromley, Mrozinski jr, 2002)). Samas pole täpselt teada, kuidas see mõjutab tulemust – Hillsman ja Rhoda (1978) eristavad 3 tüüpi kaasnevaid vigu, mis mõjutavad planeeritavate rajatiste asukohta. Erinevalt Goodchild'ist (1979) peab aga Casillas (1987) palju olulisemaks ja suuremaks mõju optimeeritava funktsiooni väärtusele.

Matemaatilise planeerimise valdkonda kuuluv asukoha ülesanne ei saa sisaldada endas konfliktseid eesmärke, küll aga võib sisaldada mitut eesmärki. Ilma oluliselt lihtsustamata ei saaks Eesti koolivõrgu puhul asukoha ülesannet lahendada eelkõige just erinevate konfliktsete eesmärkide tõttu. Näiteks liiga väike õpilaste arv koolis on majanduslikult ebaotstarbekas, samas regionaalpoliitiliselt ja sotsiaalsest aspektist lähtuvalt on see kool seal kohaliku kultuurielu kandjana väga oluline. Kõikidele koolidele ei saa läheneda ühe mõõdupuuga. Selles mõttes muutub asukoha ülesande matemaatiliselt optimaalne lahend mõttetuks, sest võib-olla on just mitte-majanduslikud faktorid need olulisemad. ROTSilik lähenemine on selles mõttes tunduvalt paindlikum, võimaldades kaasata erinevaid faktoreid, kaasa arvatud kvalitatiivseid, nagu seda teeb näiteks ka Partovi (2006).

Asukoha ülesannete lahendamine taandub enamasti kombinatoorikale ja optimaalse kombinatsiooni leidmine toimub kombinatsioonide suure hulga tõttu heuristilisi meetodeid kasutades (Andersson, 2000). Enamus heuristilisi meetodeid töötavad aga Church (2002) sõnul „valge lehe” põhimõttel ehk siis sobivad nad enam just täiesti uue koolivõrgu leidmiseks. Kõiki koole uuesti ehitata ja või 500 meetrit eemale nihutada ei ole aga kindlasti enam optimaalne, mis siis et mudeli tulemus võib nii öelda. ROTS on siin jällegi natuke erineva lähenemisega, kus ei pakuta konkreetset lahendust, vaid pigem otsuste tegemise tuge.

Church (2002) väitel jätavad enamus asukohaülesandeid kõrvale ka dünaamilise aspekti, mis muudaks need ülesanded jällegi kordi keerulisemaks. Samas on üks hea näide, kus ajaline aspekt on kaastaud just Antunes'i ja Peeters'i (2000) töö. Dünaamiline aspekt on aga koolivõrgu planeerimisel väga oluline, sest planeerimine kannab tulevikule suunatud eesmärke. Seetõttu on vajalik ka demograafiliste prognooside kaasamine, et hinnata koolitusvajadust tulevikus. ROTSi puhul pole põhimõtteliselt oluline, mis aasta andmeid kasutatakse analüüsiks ja kas algandmed, millest lähtutakse on prognoos tulevikku või mitte.

Samasugused andmetöötlusreeglid erinevate näitajate leidmiseks kehtivad mõlemal juhul (õpilaste arv õpetaja kohta; koolis käivate õpilaste arv jne).

OTSid on suhteliselt laia tähendusega, näiteks Alter (1980, cit. Power, 2007) liigitab nad seitsmesse erinevasse klassi skaalal täielikult mudelipõhised kuni täielikult andmepõhised. Selles mõttes kuuluvad OTSide hulka ka asukoha ülesanded, viimased toovad aga juurde midagi väga olulist – ruumilise aspekti. Ehk siis tegelikult võib samasugusele skaalale paigutada ka ROTSid, mis Jonesi (1997) järgi on GISi ja OTSi ühendamisel saadud süsteem. GIS pakub siin omalt poolt andmebaasi kasutamise, rakendamise ja töötluse võimalusi. Crossland'i jt. (1995) poolt tehtud uurimus kasutatakse samuti ROTSi ja testitakse viimase efektiivsust, kokkuvõttes leiavad nad, et ROTS võimaldab otsustajal oma ülesanded kiiremini lahendada, suurema kasuteguri ja parema arusaamisega läbi probleemi visualiseerimise, viimast rõhutab oma doktoritöös ka Scheibe (2003).

Arvestades eelnevat on käesolevas töös peetud sobilikumaks variandiks Eesti koolivõrgu planeerimisel just ROTS lähenemist vastava keskkonna kujundamise näol, mis oleks mõeldud erinevatele kasutajatele. Tegemist oleks otsustuste toe pakkumisega planeerijale, kes saab visualiseerida erinevaid stsenaariume ja seeläbi teha otsuseid.

ROTSilik lähenemine oleks kasutu ilma eeskujulike andmeteta. Käesolevas töös tuli olude sunnil ka väga palju panustada just andmete kogumisele ja nende kasutuskõlblikeks muutmisega. Erinevad probleemid seoses andmete täielikkuse ja ID koodidega kerkisid üles, millest esimest ei saanudki täielikult rahuldatud. Veel ka erinevused koolide ja õpilaste aadressides, viimaste puhul vasturääkivused erinevates registrites. Ilmselgelt on rahvastikuregistri ja õpilaste registri andmebaasis andmete kogumine natuke erineva põhimõttega, mis kajastub ka nende ebakõlas ja mille korda tegemine oleks edasiseks prioriteediks.

Käesoleva uurimustöö tulemusena on valminud ROTS keskkond, mida saab kasutada Eesti koolivõrgu planeerimiseks nelja põhilise rakendusega: teemakaartide generaator, rände ja koolide kättesaadavuse analüüs ning koolide hindamine. Õpilaste ja koolide geokodeerimine võimaldab uurida rännet. Ränne on väga oluline omavalitsuste jaoks koolide rahastamise seisukohalt, mis toimub pearaha süsteemi alusel. Kui õpilane läheb kooli mujale omavalitsusse, siis võtab ta kaasa ka osa pearahast ja tema kohalik omavalitsus saab selle võrra vähem raha. Miks õpilased teatud juhtudel ei taha käia enda teeninduspiirkonna koolis on seega oluline küsimus. Rände visualiseerimine võimaldab selle ruumilisest muustrist hankida lisateavet ja leida lahendust küsimustele, et kuhu õpilased lähevad ja miks?

Koolide hindamise mooduli peamine eesmärk on võimaldada koolide hindamist ja võrdlemist erinevatest aspektidest lähtuvalt ning erinevate huvigruppide seisukohalt ja ka läbi aja. Hindamisel kasutatavaid erinevaid näitajaid saab omavahel kombineerida andes neile ka erinevad kaalud. Hinnangute summeerimine toimub lähtuvalt Saaty (2003) meetodile. Koolide kättesaadavuse analüüs näitab, kas mingis piirkonnas ei ole koolivõrk jäänud liiga hõredaks või hoopis katmata, nii et õpilaste koolitee ületab lubatud norme. Teemakaartide genereerimine võimaldab aga pilku heita üldistele küsimustele. Kõik need rakendused on mõeldud koolivõrgu planeerimisel tehtavate otsuste lihtsustamiseks.

6. Kokkuvõte

Õpilaste arvu vähenemine on tinginud mitmete koolide sulgemise, viimase 10 aasta jooksul on suletud üle 100 kooli. Õpilaste arvu vähenemine jätkub. Seda prognoositakse vähemalt aastani 2010 ning järgnevateks aastateks kuni esimesse klassi minevad õpilased jõuavad gümnaasiumi lõpuni. Lisaks erinevad Eestis toimuvad protsessid nagu eeslinnastumine ja inimeste ning seega ka õpilaste ümberpaiknemine tingivad koolivõrgu ümberkorraldamise. PRAXISE hinnangutel võib koolide arv Eestis langeda praeguselt 600 umbes 400 õppeaastaks 2014/15. See kõik näitab probleemi jätkuvat aktuaalsust ja vajadust sellega tegeleda. Seda enam, et praegusel juhul puudub ühtne hariduspoliitika ja peamiseks protsessiks on olemasoleva situatsiooni säilitamine ja koolide iseregulatsioon ehk põhimõte „tugevamad jäävad alles”.

Antud uurimustöö on ühe Haridus- ja Teadusministeeriumi poolt tellitud projekti tulemus, mille peamiseks eesmärgiks on luua abivahend Eesti koolivõrgu planeerimiseks. Selleks uuriti erinevaid kirjanduses välja pakutud meetodikaid ja leiti kaks peamist suunda. Esimene baseerub matemaatilise planeerimise valdkonda jäävatel asukoha valiku ülesannetel ja teine ruumilisi otsustusi toetavate süsteemide kasutamisel.

Esimesed kujutavad endast väga arvutusmahukaid ülesandeid, mis kalduvad kombinatoorikasse, kus püütakse leida optimaalset lahendit vastavalt püstitatud eesmärgile. Erinevad muutujad peavad olema väga täpselt matemaatiliselt määratud ja kirja pandud, moodustades võrrandite ja võrratuste süsteemi, mis kitsendavad siis optimeeritava funktsiooni lahendit. Tulemuseks saadakse võimalikult optimaalne lahend. Koolivõrgu planeerimisel on aga väga palju subjektiivseid ja matemaatiliselt otseselt mitte väljendatavaid kriteeriume, mis tihtipeale on palju olulisemad kui matemaatiliselt optimaalne lahend, mis neid kriteeriume ignoreerib. See tõstatab küsimuse optimeerimisülesande otstarbekuses Eesti koolivõrgu planeerimise seisukohalt.

Autor jõuab veendumusele, et palju sobivamaks lahenduseks on ruumilisi otsustusi toetavad süsteemid. Viimased ei ole mõeldud automatiseeritult valmisotsusteni jõudmiseks, vaid rõhuasetus on otsustuste toetamisel erinevate vahenditega. See annab võimaluse arvestada planeerimisel sotsiaalsete faktorite, hariduspoliitika ja erinevate huvigruppidega.

Uurimistöö tulemusena esitletakse ROTS keskkonda, kui võimalikku Eesti koolivõrgu planeerimise vahendit, nelja põhilise allrakendusega: teemakaartide valmistaja, õpilaste rände analüüs, koolide kättesaadavuse analüüs ja koolide hindamine.

ROTS keskkonna tööle rakendamiseks kogutakse kokku erinevates registrites olevad andmebaasid, mis korrastatakse ja seotakse omavahel relatsioonilisse andmebaasi. Andmete geokodeerimise käigus luuakse võimalus ruumipõhisteks analüüsideks. Edasi töötatakse välja ROTS keskkonna põhilised funktsioonid ja sellest lähtuvalt programmeeritakse kasutajaliides. Lisavõimalusena luuakse ka Eesti koolivõrgust ülevaate saamiseks internetipõhine kaardirakendus.

Käesolev metoodika ROTS keskkonna näol on igati sobiv vahend Eesti koolivõrgu planeerimiseks. Erinevad võimalikud kompleksanalüüsid, erinevaid aspekte siduvad teemakaardid, ülevaatlised rändekaardid, koolide hindamine ja võrdlemine ning kättesaadavuse analüüsid pakuvad erinevat otsustusi toetavat informatsiooni.

Spatial decision support system environment for school network planning in Estonia

Summary

Changes in Estonian demographical situation and people reallocation have caused declining enrolments in schools. At the moment there is no overall state policy or guidelines considering changes in school network and education system. Self-regulation and keeping the existing state are two main characteristic processes. The main problem is to maintain the accessibility to compulsory education in the condition where lack of pupils is causing economic difficulties and possible closure of schools. Purpose of this study is to introduce GIS and spatial decision support system (SDSS) as planning and decision making tools in school network consolidation process. SDSS environment for school network planning in Estonia is introduced in this research.

Theoretical and mathematically unambiguous optimization problems are in one hand too specific and at the same time ignoring many important aspects replacing them with assumptions. Different interest groups and changing education policies make planning and decision process in school network very complicated. It is shown that SDSS approach is much more beneficial than solving Locational optimisation problem when considering Estonian school network.

As a result SDSS environment for Estonian school network planning with four different applications: thematic maps generator, analysis of pupils migration, school evaluation module and school accessibility analysis is presented. Its' possibilities are orientated towards locational analyzes and help in the decision process by supporting it and not to make the decisions by itself. SDSS environment is meant for school network planning and for all levels of education policy makers and interest groups. Data quality is very important and forms the basis for all kind of information and decision support systems. Cross usage of different registers that are united into one database and SDSS environment enables to analyze problems in more detailed aspects. Creating the database and SDSS helps to critically review the existing data and data needed in the future, assess datasets' accuracy and credibility.

SDSS environment does not produce one result as it is the case with solving location allocation optimisation problems. So it is important to track possible data aggregation errors and possibilities in data classification and representation when presenting the result.

Tänuavaldused

Autoril on väga hea meel, et talle pakuti võimalust osaleda antud projekti raames AS Regio töökas kollektiivis. Tänan Tõnu Randaru, kes vastava ettepaneku tegi. Tänan Andres Ideoni, kellega koos sai mitmeid kordi antud teemal arutletud. Meie ühistel nõupidamistel osales tihti ka Jüri Jagomägi, kelle lennukad ideed on samuti oma panuse siia andnud. Erilised tänud kuuluvad veel Mart Keldrile, kes nägi vaeva ROTS keskkonna programmeerimise ja meie ideede realiseerimisega ning minu kursusekaaslasel Margus Tirule, kes tegeles kaardirakenduse ülespanemisega.

Tänan ka kõiki PRAXISE poolt osalenud inimesi, et nad AS Regio sellesse projekti kaasasid ja meie ühiste koosolekute eest, kus sündisid mitmed head mõtted.

Eriti suur tänu minu juhendajale, Jüri Roosaarele, kes on jätkuvalt minusse süstinud eneseusku ja oma suunavate märkuste ning juhistega mind sellel raskel teel aidanud. Tema taganttõukavate märkusteta ei oleks see töö veel niipea valminud ja mina nii kaugele jõudnud.

Tänan ka oma kolleege töö juures mõistva suhtumise eest minu magistritöö kirjutamise ajal.

Toetust on pakkunud ka ETF grant nr 6995, aitäh!

Kasutatud kirjandus

- Alter, S. L., 1980.** Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenge. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Andersson, G., 2000.** Some New Randomized Approximation Algorithms. Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm.
<http://radagast.se/thesis.pdf>, 01.04.2007.
- Antunes, A., Peeters, D., 2000.** A dynamic optimization model for school network planning. Socio-Economic Planning Sciences 34, 101-120.
- Avella, P., Benati, S., Cfinovas Martinez, L., Dalby, K., Di Girolamo, D., Dimitrijevic, B., Ghiani, G., Giannikos, I., Guttmann, N., Hultberg, T. H., Fliege, J., Marin, A., Munõz Mfirquez, M., Ndiaye, M. M., Nickel, S., Peeters, P., Perez Brito, D., Policastro, S., Saldanha de Gama, F. A., Zidda, P., 1998.** Some personal views on the current state and the future of Locational Analysis. European Journal of Operational Research, 104, 269-287.
- Bowerman, R. L., Calamai, P. H., Hall, G. B., 1999.** The Demand partitioning method for reducing aggregation errors in *p*-median problems. Computers & Operations research 26, 1097-1111.
- Brimberg, J., Chen, R., Chen, D., 1998.** Accelerating convergence in the Fermat-Weber location problem. Operations Research Letters 22, 151-157.
- Britannica, 2005.** Encyclopedia Britannica Online.
<http://www.britannica.com/>, 20.05.2007.
- Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F., 2003.** Ambulance location and relocation models. European Journal of Operational Research 147, 451-463.
- Butterworth, N. J., 1989.** Giving up 'the smoke': a major institution investigates alternatives to being sited in the city. Journal of the Operational Research Society, 40, 711-717.
- Casillas, P., 1987.** Data Aggregation and the p-Median Problem in Continuous Space. In: Ghosh, A., Rushton, G. (Eds.), Spatial Analysis and Location-Allocation Models. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 327-344.
- Church, R. L., 2002.** Geographical information systems and locaion science. Computers & Operations Research 29, 541-562.
- Clarke, K. C., 1990.** Analytical and Computer Cartography. Englewood Cliffs, NJ, 290 lk.
- Cornuejols, G., Nemhauser, G. L., Wolsey, L. A., 1990.** The uncapacitated facility location problem. In: Mirchandani, P.B., Francis, R.L. (Eds.), Discrete Location Theory. Wiley-Interscience, New York, 119-171.

- Cromley, R. G., Mrozinski JR, R. D., 2002.** Analyzing Geographic Representation Error in Capacitated Location-Allocation Modeling. *Networks and Spatial Economics*, 2, 65-78.
- Crossland, M. D., Wynne, B. E., Perkins, W. C., 1995.** Spatial Decision Support Systems: An overview of technology and a test of efficacy. *Decision Support Systems*, 14(3), 219-235.
- Current, J., Daskin, M., Schilling, D., 2002.** Discrete network location models. In: Drezner, Z., Hamacher, H. (Eds.), *Facility Location: Applications and Theory*. Springer-Verlag, Berlin, 81-118.
- DADS, 2005.** Dictionary of Algorithms and Data Structures. National Institute of Standards and Technology.
<http://www.nist.gov/dads/>, 10.05.2007
- Dantzig, G. B., Fulkerson, R., Johnson, S. M., 1954.** Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Operations Research*, 2, 393-410.
- Daskin, M., Haghani, A., Khanal, M., Malandraki, C., 1989.** Aggregation Effects in Maximal Covering Models. *Annals of Operation Research* 18, 115–140.
- Davies, O., Thomas E. A. C., 1976.** Facility Location with Changing Demand Levels. *Geographical Analysis*, Vol. VIII, 376-394.
- Diamond, J. T., Wright, J. R., 1987.** Multiobjective analysis of public school consolidation. *Journal of Urban Planning and Development* 113(1), 1-18.
- Díaz-Báñez, J. M., Gómez, F., Toussaint, G. T., 2005.** Computing shortest paths for transportation of hazardous materials in continuous spaces. *Journal of Food Engineering* 70, 293-298.
- Eiselt, H. A., 1992.** Location Modeling in Practice. *American Journal of Mathematical and Management Sciences* 12, 3-18.
- Elizondo, R., Boyd, E. A., Beauregard, M., 1997.** Evaluateing School Facility Capacity and Attendance Boundaries Using a Large-Scale Assignment Algorithm. *Economics of Education Review* 16(2), 155-161.
- Erkut, E., Bozkaya, B., 1999.** Analysis of aggregation errors for the p-median problem. *Computers & Operations Research* 26, 1075-1096.
- Flahaut, B., Laurent, M. A., Thomas, I., 2002.** Locating a Community Recycling Center within a Residential Area: A Belgian Case Study. *The Professional Geographer* 54(1), 67-82.
- Goodchild, M. F., 1998.** Geographic information systems and disaggregate transportation modeling. *Geographical Systems* 5 (1-2), 19-44.
<http://www.geog.ucsb.edu/%7Egood/papers/294.pdf>, 07.05.2007.
- Goodchild M. F., 1979.** The aggregation problem in location-allocation. *Geographical Analysis* 11, 240-255.
- Greenberg, H. J., 2004.** Mathematical Programming Glossary.
<http://carbon.cudenver.edu/~hgreenbe/glossary/index.php>, 23.09.2005
- Hackathorn, R. D., Keen, P. G. W., 1981.** Organizational Strategies for Personal Computing in Decision Support Systems. *MIS Quarterly* 5(3), 21-26.
- Hakimi, S. L., 1965.** Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research* 13, 462-475.

- Hillsman, E. L., Rhoda, R., 1978.** Errors in measuring distance from populations to service centres. *Annals of Regional Science* 12(3), 74-88.
- Holloway, C. A., Wwhrung, D. A., Zeitlin, M.P., Nelson, R. T., 1975.** An Interactive Procedure for the School Boundary Problem with Declining Enrollment. *Operations Research*, 23(2), 191-206
- HTM, 2004.** Minister Maimets tutvustab "21. sajandi hariduse" tegevuskava.
<http://www.hm.ee/index.php?045962>, 15.05.07
- HTM, 2005.** Ülevaade üldharidusest 2001-2005. Haridus- ja Teadusministeerium.
<http://www.hm.ee/index.php?044827>, 24.01.07.
- HTM, 2006.** Üldharidussüsteemi arengukava aastateks 2007-2013. Haridus- ja Teadusministeerium.
<http://www.hm.ee/index.php?popup=download&id=5676>, 15.05.2007
- Jagomägi, T., 1999.** Geoinfosüsteemid praktikule. Tartu: Regio, 191 lk.
- Jones, C., 1997.** *Geographic Information Systems and Computer Cartography*. Longman, 319 lk.
- Kaasik, Ü., Kivistik, L., 1982.** Operatsioonianalüüs. Tallinn, Valgus.
- Kaasik, Ü., 1978.** *Kombinatorika*. Tartu Riiklik Ülikool, Matemaatilise statistika ja programmeerimise kateeder.
- Kariv, O., Hakimi, S.L., 1979a.** An algorithmic approach to network location problems. Part I: The p-centers. *SIAM Journal of Applied Mathematics* 37, 513-538.
- Kariv, O., Hakimi, S.L., 1979b.** An algorithmic approach to network location problems. Part II: The p-median. *SIAM Journal of Applied Mathematics* 37, 539-560.
- Karma, O., 1999.** *Determineeritud mittelineaarsed otsustusmodelid*. Tartu Ülikool, Majandusteaduskond, Rahvamajanduse instituut.
- Kimes, S. E., Fitzsimmons, J. A., 1990.** Selecting profitable hotel sites at la Quinta inns. *Interfaces* 20, 12-20.
- Littover, M., 2002.** Graafiteooria sõnastik.
http://www.cc.ioc.ee/jus/gtglossary/gtglossary_est.htm, 20.05.2007.
- Malczewski, J., Ogryczak, W., 1990.** An interactive approach to the central facility location problem: locating pediatric hospitals in Warsaw. *Geographical Analysis*, 22(3), 244-258.
- Marianov, V., ReVelle, C. 1995.** Siting emergency services. In: Drezner, Z. (Ed.), *Facility Location*. Springer-Verlag, 203-227.
- Mattson, L. G. 1986.** Residential location and school planning in a tightening urban economy. *Annals of Operations Research* 6, 181-200.
- Owoola, M. A., 2002.** Between policy and practice: a spatial decision support system-based assessment of facility location planning in Nigeria.
<http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdfpapers/086.pdf>, 12.05.2007
- Paas, T., 1998.** *Kvantitatiivsed meetodid majanduses (Majandusmatemaatika)*. Tartu Ülikool, Majandusteaduskond, Rahvamajanduse instituut.
- Partovi, F. Y., 2006.** An analytic model for locating facilities strategically. *The International Journal of Management Science*, Omega 34, 41-55.

- Pizzolato, N. D., Barceloas, F. B., Lorena, L. A. N., 2004.** School location methodology in urban areas of developing countries. *International Transactions in Operational Research* 11, 667-681.
- Power, D. J., 2007.** A Brief History of Decision Support Systems. DSSResources.COM, version 4.0, March 10, 2007.
<http://DSSResources.COM/history/dsshistory.html>, 20.05.2007.
- PRAXIS, 2005.** Poliitikauuringute Keskus PRAXIS. Üldhariduskoolide võrgu korraldamine. Lõpparuanne. Koostajad: Annus, T., Kanep, H., Kraut, L., Kliimask, J., Noorkõiv, R., Paabut, A., Paulus, A.
http://www.praxis.ee/data/YLDH_KOOLIVQRK_lopparuanne4.pdf, 07.05.2007.
- Pungar, E. T., 2004.** Teatmik majandusmatemaatika õppijale IV. Lineaarne planeerimine. Tallinna Tehnikaülikool, Rahvamajanduse instituut, Majandusmatemaatika õppetool.
- Regio, 2005.** Geograafilise ekspertsüsteemi "Koolivõrk" loomine. Lõpparuanne. Koostajad: Randaru, T., Jagomägi, J., Sepp, E., Ideon, A., Kelder, M., Tiru, M.
<http://www.hm.ee/index.php?popup=download&id=3995>, 17.04.2007.
- ReVelle, C. S., Eiselt, H. A., 2005.** Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research* 165, 1-19.
- ReVelle, C. S., Swain, R. W., 1970.** Central Facilities Location. *Geographical Analysis* 2, 30-42.
- Ritsema van Eck, J.R., de Jong, T., 1999.** Accessibility analysis and spatial competition effects in the context of GIS-supported service location planning. *Computers, Environment and Urban Systems* 23, 75-89.
- Robinson, A. G., Bookbinder, J. H., 2007.** NAFTA supply chains: facilities location and logistics. *International Transactions in Operational Research* 14, 179–199.
- Roosaare, J., 2003.** Materjalid valikkursuse "Ruumilisi otsustusi toetavad süsteemid" õppimiseks. Tartu, 49 lk.
- Saaty, T. L., 2003.** Decision-making with AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145, 85-91.
- Sankaran, J. K., 2007.** On solving large instances of the capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research* 178, 663-676.
- Scheibe, K. P., 2003.** A Spatial Decision Support System for Planning Broadband, Fixed Wireless Telecommunication Networks. Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 108 lk.
<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-04102003-105503/unrestricted/ScheibeDissertation.pdf>, 20.05.2007.
- Sprague, R. H., Carlson, E. D., 1982.** Building Effective Decision Support Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 304 lk.
- Tewari, V. K., Jena, S., 1987.** High school location decision making in rural India and location – allocation models. In: Gosh, A., Rushton, G. (Eds.), *Spatial Analysis and Location – Allocation Models*. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., New York, 137-162.

Töös kasutatud andmebaasid (väljavõtted nendest):

EHIS, 2004. Eesti Hariduse Infosüsteem. Väljavõtted järgmistest alamregistritest seisuga 2004.

Õpilaste register – väljavõte õpilaste kohta Õpilaste, üliõpilaste ning arst-residentide alamregistrist

Koolide register – väljavõte üldhariduskoolidest Õppeasutuste alamregistrist

Õpetajate register – väljavõte õpetajatest Pedagoogide alamregistrist

Nimetatud andmekogude kohta saab täpsemalt lugeda: <http://ehis.hm.ee/>, 14.05.2005

Rahvastikuregister, 2005.

Regio aadresside andmebaas, 2005.

RL, 2000. 2000. aasta rahva ja eluruumide loendus.

<http://www.stat.ee/129014>, <http://www.stat.ee/files/eva2003/RV200101.pdf>,
14.05.2007.