

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja Maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö geoinformaatika ja kartograafia erialal 30 EAP

**Pilvepõhise GIS-serveri optimaalne tuumade arv ja RAM-i
maht**

Ken Böckler

Juhendajad: prof. Tõnu Oja
MSc Mati Tee

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2017

Pilvepõhise GIS-serveri optimaalne tuumade arv ja RAM-i maht

Lühikokkuvõte:

Antud magistritöö käsitleb GIS-serveri protsessori tuumade arvu ja operatiivmälu (RAM) mahu seost geograafilises infosüsteemis tehtavate ruumiliste päringute töötlusvõimekusega. Seoses suurenevate andmete hulgaga ja mahuga, suureneb vajadus andmete kiiremaks analüüsimiseks. Oluline tegur kiiruste mõjutamiseks on masina riistvara konfiguratsiooni valik, millel GIS paikneb. GIS-i serverilahendust luues ei osata valida ratsionaalselt tuumade arvu ja RAM-i mahu kombinatsiooni, arvestades selle maksumust. Tulemuste välja selgitamiseks ehitati GIS-server pilvepõhisesse virtuaalsesse masinasse, mõõdeti kahe erineva mahuga teenuste töötusaegasid erinevate tuumade arvu ja RAM-i mahu kombinatsioonidega. Tõesemate tulemuste saamiseks tehti kordusmõõtmisi üle kümne korra. Tulemuste arutelus selgus ligi miljoni ruumikuju teenuses, et RAM on olulisem kui tuumade arv. Ligi sajatuhande ruumikuju kasutamisel selgus, et suuremad konfiguratsioonid üle 4 tuuma ja 13 GB RAM-i oluliselt teenuse kiirust ei mõjuta. Antud töö toetab otsuseid, et valida ruumiandmeteteenuste serverile sobiva tuumade arvu ja RAM-i mahuga pilvepõhine virtuaalne masin.

Märksõnad:

GIS, GIS-server, GIS teenus, protsessori tuum, RAM, jõudlus, Pilvandmetöötlus

CERCS: P170 Arvutiteadus, süsteemid; P510 Füüsiline geograafia, kartograafia,

The optimal number of cores and RAM size in a cloud-based GIS server

Abstract:

This Master's Thesis examines the correlation of the number of cores and the random access memory (RAM) size in a GIS server with the processing capacity of spatial queries performed in a geographic information system. The need for faster data analysis is increasing due to increasing data quantities and volumes. The selection of hardware configuration for the machine where a GIS is located is an important factor in influencing its speed. The ability to rationally choose a combination of number of cores and RAM with regard to the cost is often lacking when designing a GIS server solution. In order to determine the results, a GIS server was built in a cloud-based virtual machine and the processing times of services with two different volumes were measured with different combinations of number of cores and RAM size. More than ten repeat measurements were performed in order to obtain more precise results. The discussion of the results showed that for a service with about a million geometries, the RAM was more significant than the number of cores. When applying approx. one hundred thousand geometries, the hardware had no significant effect on the speed of the service when increased to over 4 cores and 13 GB RAM. This thesis supports decision-making in selecting a cloud-based virtual machine with a suitable number of cores and RAM size for a server for spatial data services.

Keywords:

GIS, GIS-server, GIS service, processor core, RAM, performance, Cloud computing

CERCS: P170 Computer science, systems; P510 Physical geography, cartography

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teoreetiline olemus	5
1.1. GIS-i serveripõhine süsteem	5
1.1.1. GIS-server	7
1.2. GIS-server pilvepõhises virtuaalmasinas	7
1.3. Tuumade ja RAM-i maksumus Google pilveplatvormi näitel	9
1.4. Kasutajavajadustest tingitud riistvara konfiguratsioon teenustele	10
2. Katses kasutatud vahendid ja andmed	11
2.1. Virtuaalne server	11
2.2. Kasutatav serveripõhine GIS-i tarkvara	12
3. Põhilised operatsioonid	14
3.1. Testkeskkonna seadistamine	14
3.1.1. Spectrum Spatial 12	15
3.1.2. Enterprise Designer 12	16
3.1.3. PostgreSQL 9.6 / PostGIS Bundle 2.3.2	17
3.2. Andmete ja teenuste seadistamine	17
3.3. Teenuse kiiruse ja jõudluse määramise mudel	20
3.3.1. Võimalikud teenuse töötluskiiruse mõjutajad	21
4. Tulemused	23
4.1. Katsetuste üldise mudeli tulemused	23
4.2. Tuumade ja RAM-i kombinatsioonide võrdlused	26
4.3. Järeldused	28
5. Arutelu	29
Kokkuvõte	31
Summary	32
Tänuavaldused	33
Kasutatud kirjandus	34
Lisad	36

Sissejuhatus

GIS-i serverilahendust luues on esimeseks sammuks välja valida masina mõistlik riistvaraline konfiguratsioon. Valitud riistvara näitajate peal hakkavad tööle GIS-serverile vajalikud tarkvarad. Määravad parameetrid riistvara konfiguratsiooni valiku otsustamisel on protsessori tuumade arv ja muutmälu (RAM) maht. Antud töös jäetakse kõrvale erinevate tarkvarade ja riistvarade võrdlused. Keskendutakse tuumade arvu ja RAM-i mõjule. Töös kasutatavad tarkvarad on valitud efektiivse tööeesmärgi saavutamiseks, et selgitada RAM-i mahu ja tuumade arvu mõju ruumiandmeteteenuste serveri teenuse kiirusele. Finantsiliselt on riistvara konfiguratsioonist kõige kulukamaks tuumad ja seejärel RAM. Üldine arusaam on, et mida rohkem seda parem. See väide on õige, aga õige on ka väide, et mida rohkem, seda kallim. Töö eesmärgi saavutamiseks on vaja uurida tuumade arvu ja RAM-i hulga mõju GIS-serveris tehtavate tööde tegemisel. Antud töös kontrollitakse ressursinõudlikkust ruumiliste päringuteenustega, mis on teostatud piisavalt mahukate andmetega, et avalduks võrdlusmoment. Päringute teostamiseks kasutatakse levinud GIS-i platvormi *Pitney Bowes'i Spectrum Spatial server`it*, mis on töötama pandud Google pilveplatvormi virtuaalses masinas. Andmetena kasutatakse Eesti punkt- ja pindvektorandmeid. Vektorandmeid kasutatakse kahes erinevas koguses, et tuua juurde andmemahu mõju. Kasutades samu andmeid ja sama päringut, jälgitakse riistvara (tuumade arv ja RAM-i maht) mõju töökiirusele. Antud töö eesmärgiks on empiirilisel meetodil selgitada välja kuidas GIS-serveri riistvara konfiguratsiooni muutused avalduvad tehtavale ruumipäringu teenusele. Tulemuseks on hüpoteesi kohaselt ratsionaalseid otsuseid toetav graafik, mis aitab ratsionaalselt valida GIS rakendusserverile tuumade arvu ja RAM-i mahtu.

1. Teoreetiline olemus

Geograafiline infosüsteem (edaspidi GIS) on arvutipõhine süsteem, mis kogub, töötleb ja kuvab geograafilist informatsiooni [1 (lk 13)]. Aastal 1998 ei publitseerinud internetis ruumiandmeid küsitluse põhjal ükski vastanu [15]. Tänapäeval on ruumiandmete maht läinud väga suureks ja jagatakse ruumiandmeid kõikvõimalikul viisil. Ruumilisi päringuid tehakse suurte alade kohta, mis sisaldab korraga palju andmeobjekte [11]. Töökiiruse olulisemaks mõjutajaks on arvuti (hiljem masin) riistvaralised näitajad. Lisaks mõjutavad need teenusena pakutava veebikaardi kuvamise kiirust [2]. Erinevate teenuste ja andmete käitlemise vajadusest tulenevalt on vaja erinevatel huvirühmadel erineva võimekuse ja funktsionaalsusega GIS-i esinduskihi sisendeid [10]. Rakendusserveri valiku üks moment on selle hind. Tarkvara omandamishinnale lisanduvad veel mitmed kulud, millest üks on tuumade litsentsi hind. Tuumade litsentsi hind võib omandamishinda ületada mitmekordselt. Lisaks on mõjutav faktor ka süsteemi arhitektuuri keerukus, mis nõuab rohkesti töötunde ja tõstab suuremate süsteemide hinda [3]. Tarkvarale lisaks on vaja tõhusat riistvara, mille maksumus varieerub drastiliselt sõltuvalt komponentide valikust. Riistvara mõjutab suurte andmemahutudega ruumilisi töötlusprotsesse. Riistvara valiku määrab üldiselt kaks tegurit: esiteks selle võimekuse vajadus ja teiseks finantsiline otstarbekus. Antud peatükis käsitletakse GIS-i serveripõhise süsteemi olemust ja käsitletakse selleks vajamineva riistvara konfiguratsiooni olulisi komponente.

1.1. GIS-i serveripõhine süsteem

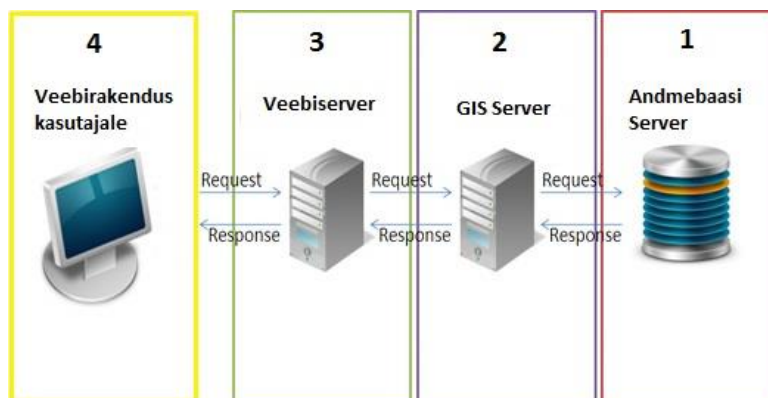
GIS-serveri põhilised ülesanded on samad, mis üldised GIS ülesanded. GIS üldiselt on arvutitel põhinev süsteem, mis kogub andmeid, haldab ja säilitab andmeid, otsib andmeid, analüüsib andmeid ja esitleb neid geograafilises perspektiivis. [4, 16] Ruumiliste andmete kuvamiseks on tihtipeale vaja näha suuri alasid ja mitut kihti korraga [11]. Kui sellisid andmeid failipõhiselt vaadata muutub „üks fail“ tohutult mahukaks. Seega on mõistlik vastavalt vajadusele määrata kuvatavad andmed. Tihtipeale on vaja andmeid kuvada laiale ringkonnale. Hea valik on selleks GIS-i serveripõhist lahendust kasutada, mis töötleb vastavalt kasutaja vajadustele

ruumiandmeid, teeb interaktiivseid päringuid määratud teenustega ja lubab mitmel kasutajal seda korraga tarbida. [3]

GIS kolmeosalise tarkvarasüsteemi arhitektuuri komponentideks on [1 (lk 187)]:

- Andmete haldus
- Töötlus protseduurid
- Tulemuste kuvamine (esituskiht)

Sama süsteem kehtib ka serveripõhisel lahendusel. Andmed, mis on kõige olulisem osa geograafilises infosüsteemis, hoiustatakse andmebaasides või failiserverites. GIS-serveri tarkvara teisendab, rikastab ja lõimib andmeid [7]. Viimane lüli sellest süsteemist on lõppkasutajale andmete kuvamine kasutajaliidestesse ehk esitusmudel. Esitusmudelisse kuvatakse andmeid tarbijale sobivas kujus [10]. Nende kolme süsteemi komponendi vahel edastatakse andmeid erinevate lihtsustatud standardsete failivormingute abil, mis on mahult vähendatud, et üle interneti neid kanda. [12] GIS rakendusserveri süsteemi lihtsustatud arhitektuuri näitab allolev joonis (Joonis 1.1).



Joonis 1.1. Geograafilise infosüsteemi lihtsustatud serveri arhitektuur. [17]
(Originaaljoonist on töödelnud, et kuvada vajalikku teavet antud tööks.)

Üleval joonisel (Joonis 1.1) on kujutatud GIS rakendusserveri süsteemi. Süsteem on jagatud neljaks osaks. Osad 1 ja 2 on olulised lülid süsteemist, mis tegeleb andmete töötamise, analüüsimise ja hoiustamisega. Osad 3 ja 4 on kasutajale tulemuste kuvamiseks. Antud töös keskendutakse selle süsteemi GIS-serverit puudutavatele osadele ja vähemal määral andmebaasi serverile ja esinduskihile.

1.1.1. GIS-server

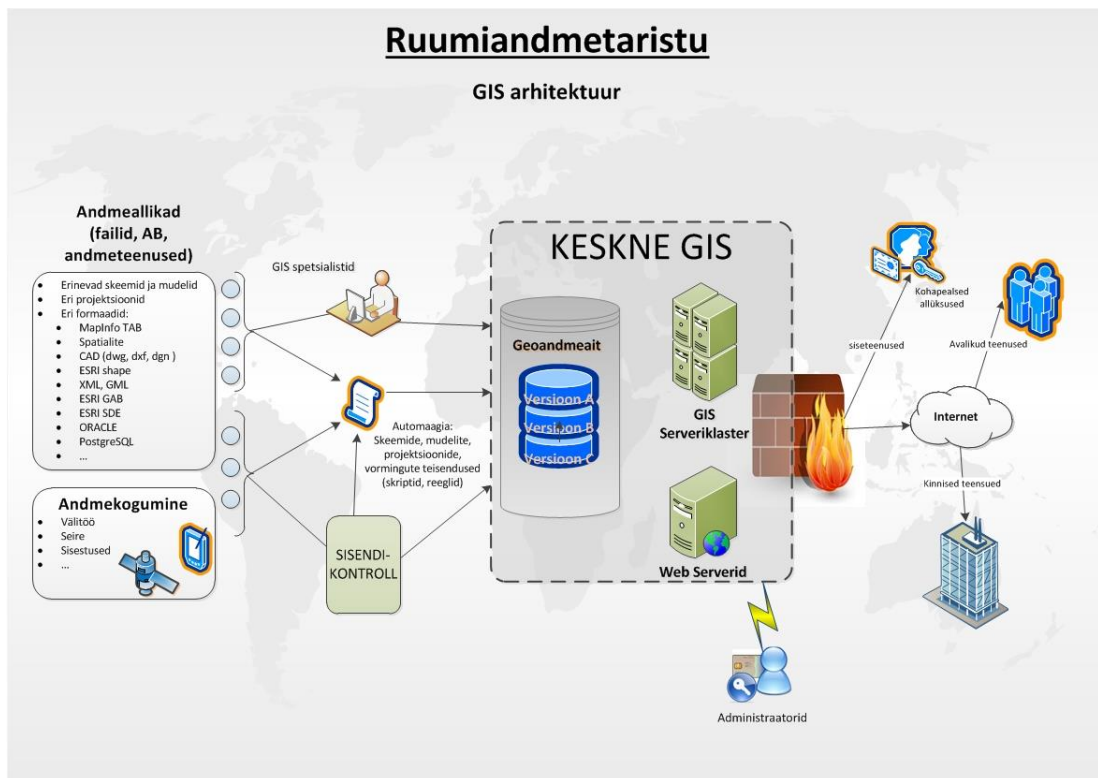
Lihtne selgitus geograafilise infosüsteemi serverile (edaspidi GIS-server) on, et GIS töötab servermasinas (edaspidi SM). SM-il peavad olema olemas kõik lahendused, et see oleks ühenduses kasutajate interneti ühendusega ja võimaldaks andmevahetust. [1 (lk198)] Samas SM-is võivad asuda ka teised GIS-i serverilahenduse süsteemi komponendid (andmebaasiserver, veebiserver jt.). Antud töös rakendatakse eelnevalt mainitud lahendust. GIS-serveri peamine eesmärk on laialdane GIS interneti vahendusel, ning andmevarude ühtses struktuuris hoidmine ja haldamine. Sellise süsteemi kasutajaid võib nimetada „kõhnadeks klientideks“ (*Client size: thin. Kõhn klient ei kogu palju andmeid endale kokku, tüse klient kogub kõik andmed enda personaalsesse arvutisse kokku*). [1 (lk 188)]

1.2. GIS-server pilvepõhises virtuaalmasinas

GIS-i kasutatakse laialdaselt firmades, riigiasutustes, koolides, teadustöodes jne.. Üha enam minnakse üle pilvelahendustele. Suuremateks pilveplatvormi pakkujateks on Google, IBM, Microsoft ja Amazon. [6] Need platvormid võimaldavad luua pilvevahendusel virtuaalse masina (edaspidi VM; *cloud computing*). Sisuliselt on VM sama mis on SM. Erinevus on selles, et VM-is on kasutatud jagatud riistvara ressursi, mis on muundatud virtuaalseks keskkonnaks.

On oluline teada pilvepõhisest GIS-i arhitektuurist, et selle põhjal teha katseid ja mõista sealseid nüansse. Pilvepõhise lahendusepakkujad võimaldavad laialdasi vahendid, mis aitavad süsteemi konfiguratsiooni lihtsalt ümber seadistada vastavalt vajadustele. GIS-i tarkvarasüsteem on lihtsasti pilveplatvormile paigaldatav, sest kõik eelduslikud komponendid on juba olemas ja need on üpriski paindlikud GIS-i kasutajatele (Joonis 1.2). [8, 6] Pilveplatvormid võimaldavad testida VM-i lahendusi proovikasutajatel, kuid seda piiratud võimalustega.

Pilvelahendus annab jõulise serverimasina ruumiteenuste publitseerimiseks. [6] GIS-serveri tarkvara tootjad annavad ette miinimumnõuded riistvarale, kuid optimaalse riistvara nõudmisi ei osata öelda ja tihti arvatakse mida rohkem seda parem. Seega on vaja teha katsed, mis näitavad erineva riistvaraliste konfiguratsioonide juures protsessi kiiruseid.



Joonis 1.2 GIS arhitektuuri süsteemi näidis [7]

Ülevaloleval joonisel (Joonis 1.2) on näidis, kuidas võib töötada GIS serveripõhiselt. Vasakul joonise osas on välja toodud andmeallikad ja nende formaadid. Andmeallikateks on failid, andmebaasid ja andmeteenused. Andmekogud võivad sisaldada geograafilisi ja mittegeograafilisi andmeid. GIS spetsialist tähistab GIS-i ja andmeallikate administreerivat poolt. „Keskne GIS“ pealdisega plokk sisaldab GIS-i serverilahenduse tarkvarasid, hoidlat (geoandmeait) ja veebiserverit. GIS-i tarkvarad teostavad toimingud andmetega, et rikastatud andmed kasutajatele läbi veebiserveri transportida. Täpsemalt võtab „keskne GIS“ joonisel kujutatud plokk vastu päringuid või teisi kasutajate sisendeid ja töötleb, kontrollib, parandab neid, kasutades olemasolevate teenuse arhitektuure. Geoandmeait tsentraliseerib andmeallika andmed ja võimaldab neid kasutada teenuses. Hoidlas on asutuse andmeallikatest pärit andmete koopia, mis struktureeritud vastavalt süsteemi arhitektuurile. Veebiserver loob *esinduskihis*[10] andmevahetuse veebiteenustele, mis võimaldab rakendustele saata ja vastu võtta geograafilisi andmeid. Esinduskihi lõppväljunditeks on asutussisene kuva, kinnised ja avalikud teenused läbi interneti. Väljundite kuvatavateks vahenditeks kasutajatele võivad olla töölaua-, veebi- ja mobiilirakendused. [7]

1.3. Tuumade ja RAM-i maksumus Google pilveplatvormi näitel

Antud peatükis võrreldakse VM-i maksumust riistvaraliste erinevuste suhtes. Võrdlus tehakse Google pilveplatvormi näitel. Selle võrdluse tegemiseks kasutatakse Google pilveplatvormi toodete hinnakalkulaatorit. [18] Antud võrdluse eesmärgiks on välja selgitada tuumade ja RAM-i maksumuse vahe kuuajalises perioodis. Tuumasid arvestatakse kahekaupa. Kalkulaatorit kasutades valiti muutumatuteks näitajateks:

- Üks virtuaalne masin
- Tasuta operatsioonisüsteem
- Regulaarne virtuaalse masina klass
- Ei lisatud graafikaprotsessorit (GPU)
- Ei valitud kõvaketast
- Regiooniks määrati Euroopa
- Töötamise sageduseks määrati iga päev 24 tundi

Muudetavateks näitajateks valiti protsessori (CPU) tuumade arv ja operatiivmälu (RAM) maht. Erinevaid hinnapäringuid näeb allolevas tabelis (Tabel 1).

Tabel 1. Google pilveplatvormi näitel tuumade ja operatiivmälu maksumus [autori loodud tabel]

Tuuma või operatiivmälu muutmine	Protsessori tuumade arv	Operatiivmälu suurus	Kuuajaline maksumus (\$)	Maksumuse vahe (\$)
Tuumade arv	2	10	62,29	37,29
	4	10	99,58	37,29
	6	10	136,87	37,29
	8	10	174,17	37,29
	8	20	199,16	25
Operatiivmälu maht	8	30	224,16	25
	8	40	249,16	25
	8	50	274,16	25
	8	50	274,16	25
	8	50	274,16	25

Eelnevast tabelist (Tabel 1) näeb, et kahe tuuma maksumus on 37,29\$ ja 10 GB operatiivmälu maksumus on 25\$ ühes kuus. Ühe tuuma maksumus on 18,64\$ ja ühe GB operatiivmälu maksumus on 2,5\$ ühe kuus. Aastas on ühe tuuma maksumus 223,68\$ ja ühe GB RAM-i maksumus 30\$.

1.4. Kasutajavajadustest tingitud riistvara konfiguratsioon teenustele

Al-Madinah Rahvusvahelises Ülikoolis, Malaisias, toodi konverentsi esitluses välja, et uued pilvepõhise platvormi kasutajad ei oska valida riistvara vastavalt enda vajadustele. Selleks tehti vahend, mis aitab riistvara valida. Tööriista aluseks võeti pilvepõhise teenuse pakkujad ja kasutaja erinevad vajadused. Kasutajate vajadusteks määrati usaldusväärsus, võimalused, turvalisus, hind, operatsioonisüsteemi toed, platvormi toed, vastete kiirus. Kõige olulisemaks toodi välja virtuaalse masina riistvara konfiguratsioon. Riistvaras käsitletakse kõvaketast, operatiivmälu (RAM), protsessorit (CPU), andmete kandmise kiiruse hinnangut bit/s ja nende maksumust. Antud katses, mis määrab teenuse pakkuja vajadused klientidele, hinnati, et RAM, CPU ja andmete läbilaske kiirus on olulisemad kui kõvaketas ja maksumus. Tuues välja RAM-i mahu eelistused, sai kasvavalt suurenev RAM-i maht kasvavalt rohkem eelistusi. Sama tulemuse andis ka protsessori tuumade arv. Mida rohkem tuumasid, seda eelistatum see oli. Vaadeldes RAM-i, tuumade arvu ja maksumust, sai kokkuvõttes ekspertide hinnangul kõige vajatumaks komponendiks RAM-i maht ja seejärel tuumade arv ja viimaseks maksumus. [9]

2. Katses kasutatud vahendid ja andmed

Antud peatükis räägitakse töös kasutatud vahenditest ja andmetest. Vahendid on suuremas osas erinevad tarkvarad. Töökeskkonnaks on Google'i virtuaalne masin (VM). Töö objektideks on ruumilised andmed. Ruumiandmete opereerimiseks kasutatakse *Spectrum Spatial 12 serverit* (SS12) ja SS12-ne päringuteenuste koostamisprogrammi *Enterprise Designer* (ED). Andmete formaatidest kasutatakse algandmeteks TAB failiformaati. Andmete reaalsajas hoiustamiseks kasutatakse *PostgreSQL* andmebaasi *PostGIS* laiendiga. Andmete sisult kasutatakse Eesti piires andmeid L-EST97 (EPSG:3301) projektsioonis. Tuumade ja operatiivmälu suuruste mõjutamiseks kasutatakse VM-i pakkuja konsooli.

2.1. Virtuaalne server

Arvutikasutajate laiem ringkond on harjunud kasutama personaalarvuteid (PC-*personal computer*). Lisaks kasutatakse ka virtuaalseid masinaid (VM-*virtual machine*). VM on mittefüüsiline virtuaalne keskkond, mis on kombineeritud füüsilistest riistvaradest. Virtuaalne masin on programmeeritud kasutama riistvaradest tulenevat ressursi. Virtuaalne keskkond võib riistvarast kasutada ära kogu võimekuse või mingi osa sellest. Tulemuseks on justkui arvuti eraldiseisvas virtuaalses keskkonnas. Virtuaalne keskkond võib olla loodud pilvehendusel kasutades vastavaid teenusepakkujaid. Pilvelahendusel VM-ide võimekuse võimalused on suuremad, kui on vaja kasutada testkeskkonda lühikesel perioodil. PC või SM-i peale VM-i tegemine on ajaliselt ja rahaliselt kulukam, kui pilvelahendustega. Antud töös valiti testkeskkonnaks VM, mis töötab kasutades *Google Cloud Platform* (Google pilveplatvorm) teenust. Testkeskkonda on valitud kõige kaasaegsem Microsoft Windows-i operatsioonisüsteemi (OP) tarkvara, *Windows server 2016*. Riistvaralised tuuma ja RAM-i näitajad on VM-ile valitud maksimaalsed, mis on lubatud proovikasutajale (Joonis 2.1). Joonisel on välja toodud ka teisi VM-i konfiguratsiooni näitajaid, millest lisaks *memory* (RAM) ja *CPU* (protsessor) on oluline mainida *volumes* (kõvaketta maht – 300 GB) ja tüüp (NTFS - *New Technology File System*).

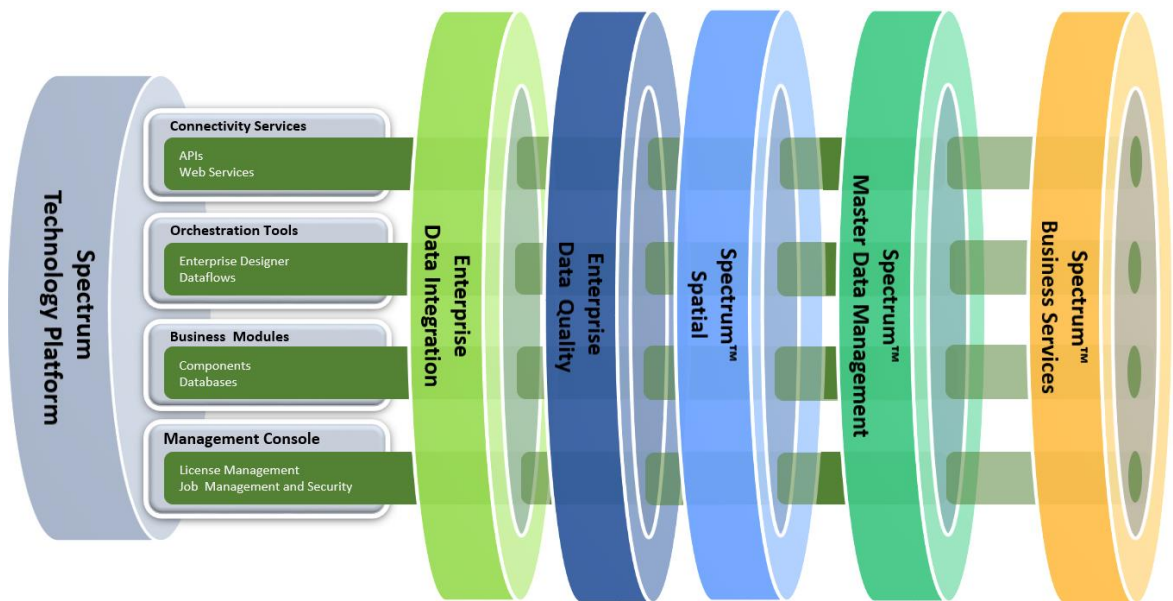
CPU:	Quad 2.50 GHz Intel Xeon(R) (Hyper-Threaded)
Free Space:	C:\ 257.74 GB NTFS
Machine Domain:	WORKGROUP
Memory:	53248 MB
Network Card:	Red Hat VirtIO Ethernet Adapter
Network Type:	Ethernet
OS Version:	Windows Server 2016
Subnet Mask:	255.255.240.0
System Type:	Server, Stand-alone, Terminal Server, DataCenter
User Name:	kenb
Volumes:	C:\ 300.00 GB NTFS

Joonis 2.1. Testkeskkonna maksimaalsed riistvaralised näitajad testkasutajale.
[autori loodud joonis]

Suuremate võimalustega keskkonna leidmiseks uuriti lisaks Google pilveplatvormile alternatiivset VM keskkonda. Ennetavalt ära mainides, et Google's loodud VM-i võimalused on testkasutajale tõhusamad kui alternatiivkeskkonnas. Proovikasutaja periood kestab ühe aasta ja vajaliku riistvara konfiguratsioonivalik on testkasutajale teistest oluliselt paremate näitajatega (Joonis 2.1). Alternatiivse VM pakujatest tutvuti Microsoft Azure pilveteenuse keskkonnaga. Selle maksimaalsed riistvara komponendid testkasutajale on 4 tuuma, 28 GB RAM-i ja 56 GB SSD-tüüpi kõvaketta mahtu. Plussiks peab märkima, et seal on kasutada interneti kiirus 1000/1000 Mb/sekundis üles- ja allalaadimisel. Antud töö raames ei ole oluline võimekas internetiühendus. Miinuseks on vähene tuumade arv, vähene operatiivmälu maht. Google'i VM osutus sobivaks keskkonnaks antud uurimustöö läbiviimiseks, seega ei ole vajadust rohkem alternatiive läbi testida, kuna Google pilveplatvorm sisaldab antud testiks kõiki olulisi vahendeid. Google VM riistvaralisteks näitajateks on 8 tuuma ja 52GB RAM-i (53248 MB).

2.2. Kasutatav serveripõhine GIS-i tarkvara

Serveripõhise GIS-i tarkvaraks kasutatakse *Spectrum Spatial 12 server`it*. Tarkvaradele on määratud minimaalselt vajalikud riistvaralised näitajad. GIS-serveri tarkvaradel on vaja üsna võimekat SM-i. *Spectrum Spatial server`il* on käivitumiseks vaja 30 GB vaba kõvaketta mahtu, RAM-i on vaja minimaalselt 16 GB. Lisaks olenevad miinimumnõuded moodulite valikust [19]. Tuumade arvu nõudmisi ei ole määratud. Järeldus on, et tuumade minimaalne arv on 1. Tarkvara lahti seletamiseks on välja toodud joonis (Joonis 2.2), mis kujutab selle arhitektuuri.



Joonis 2.2. Spectrum Spatial serveri arhitektuur [7]

Ülevaloleval joonisel (Joonis 2.2) on näha *Spectrum Spatial server* tarkvara arhitektuuri. Joonise vasakul ääres on kujutatud tarkvaralahenduse peamisi konfiguratsiooni komponente, mis lõimuvad erinevate teenuste moodulitega. Antud töös kasutatakse „*Spectrum Spatial*™“ moodulit, mis hõlmab endas kohateabe vahendeid (joonisel märgitud helesinisena). Konfiguratsiooniplokkide omadusi kirjeldades, tähistab *Connectivity Services* API (rakenduse programmeerimise liides [2]) ühenduvusi C, C++, COM, .NET, Java veebiteenustele ja XML vormingu tuge [7]. *Orchestration tools* tähistab teenuste tegemise osa, mis sisaldab valmiskujul teenuste haldamist ja teenuste loomist *Enterprise Designer* programmis (pikem kirjeldus peatükis 3.1.2). *Business modules* tähistab süstemikasutaja vajaduste konfiguratsiooni erisust ja kõige alumine, *Management Console*, tarkvara kasutuse administreerimis vahendeid (turvalisus, konfiguratsioon, teenuste haldus jt.). [21]

3. Põhilised operatsioonid

Antud peatükis kirjeldatakse katsete vahendite tegevusi. Kirjeldatakse eeltööd vahendite kasutamiseks. Kirjeldatakse teenuste töötluskiiruse mõõtmisviisi. Räägitakse kitsaskohtadest töötluskiiruse määramisel. Analüüsitakse katsetuste süsteemiarhitektuuri ja tehakse nendest järeldused. Vaadeldakse RAM-i mahu ja tuumade arvu muutmise mõjusid ruumipäringu teenustele. Kõik ülejäänud komponendid jäävad süsteemis puutumata, et selgitada välja kõikidest teenusekiiruse mõjutajatest eelkõige maksimaalne RAM-i ja tuumade mõju. Antud peatükis tehtud *Pitney Bowes tehnoloogia platvorm* tarkvaralahenduste seadistusteks on kasutatud selle administraatori juhendit [22] ja *PostgreSQL* andmebaasi seadistamiseks versioon 9.6.3 juhendit [23].

3.1. Testkeskkonna seadistamine

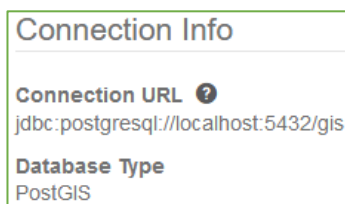
Testkeskkonnaks on Google pilveplatvormil töötav VM koos tarkvaralahendustega, et teostada katse, mis näitab tuumade arvu ja RAM-i mahu muutmisel mõju ruumiandmete teenusele. Masin töötab operatsioonisüsteemil Windows server 2016. Testi sooritamiseks paigaldatud tarkvarasid näeb tabelis (Tabel 2). Tarkvarade installeerimise failid ja andmed on toodud testkeskkonda läbi FTP serveri. FTP server on käsitsi loodud samasse testkeskkonna VM-i. Interneti vahendusel kättesaadavad andmed on saadud allalaadimisel. Peamiste tarkvarade seadistamine on kirjeldatud järgnevatel peatükkides.

Tabel 2. Testkeskkonda käsitsi paigaldatud tarkvarad [autori loodud tabel]

Tarkvara nimetus	Selgitus
Spectrum Spatial 12 server	Pitney Bowes loodud GIS server
Enterprise Designer ver. 12	Pitney Bowes teenuste loomise tarkvara
PostgreSQL 9.6 / PostGIS Bundle 2.3.2	Andmebaasi server ruumikujude toega
MapInfo Pro 16.0 (64-bit)	GIS töölaua tarkvara
Java SE Development Kit 8	Java programmeerimiskeele serveri komplekt
FTP server	Failiserver
psqlODBC juht	Juhtliides andmete andmebaasi sisse viimiseks
EasyLoader	TAB failide andmebaasi sisseviimise tarkvara

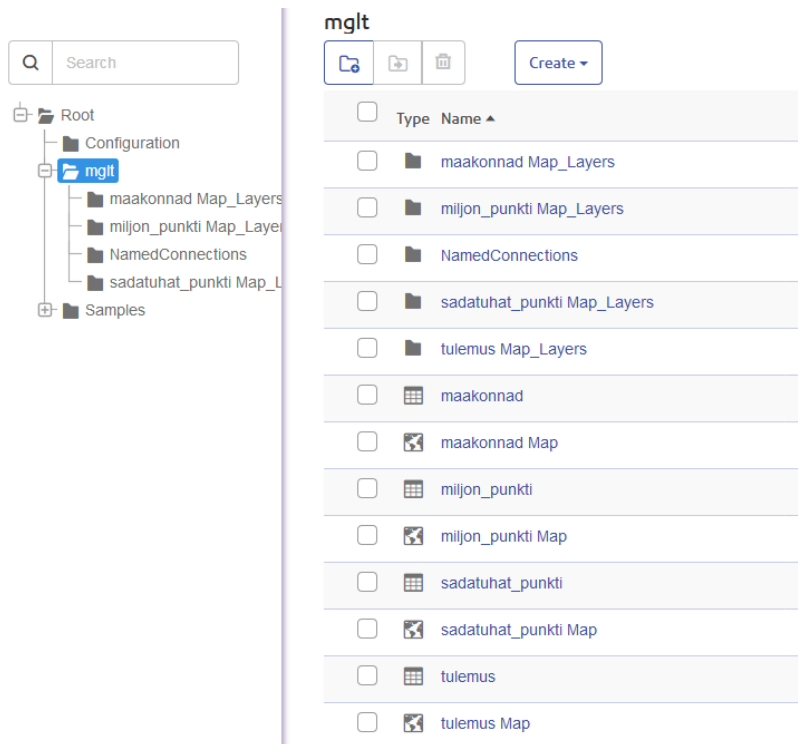
3.1.1. Spectrum Spatial 12

Spectrum Spatial 12 server töötab Java™ platvormi raamil. Sellest tarkvarast kasutatakse asukohapõhise teenuste moodulit. Serveri tarkvaras kasutatakse JDBC juhil andmebaasiühendust (Joonis 3.1), et kasutada reaajas redigeeritavaid andmeid. Teostati vajalikud tarkvara konfiguratsiooni seadistamised katse teostamise piirides. Peale installeerimist paigaldatakse litsentsifail õigesse kausta, et tarkvara kasutada saaks. Tarkvara juhtkonsoolist, mis on veebipõhise liidesega, lisati andmebaasiühenduse juhid, et kasutada konfigureeritud andmebaasiühendust.



Joonis 3.1. *Spectrum Spatial serveri* ühenduse loomine andmebaasiga [autori loodud joonis]

Andmebaasi ühenduse pidi looma hoidlaga (*repository*). Lisaks struktureeriti hoidlat (Joonis 3.2), et liigitada andmekihid. Hoidlas olevaid andmekihte on võimalik erinevate teenustena rakendustes kuvada. Näitena tuues, hoidlas olevate andmetega on võimalik pakkuda sisseehitatud WMS, WFS ja WMTS teenuseid. Antud katses kasutatakse hoidlasse toodud andmeid *Enterprise Designer*is, et teostada ruumiantmeteteenus. Hoidla andmed on viidatud andmebaasiandmetele ja ei sisalda peale viidete muud informatsiooni.



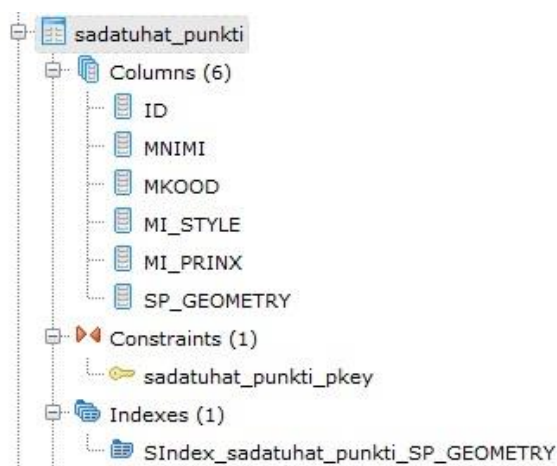
Joonis 3.2. Spectrum Spatial hoidla (*repository*) näidis [autori loodud joonis]

3.1.2. Enterprise Designer 12

Enterprise Designer on *Spectrum Spatial*’i alamprogramm töölaual. See võimaldab automatiseerida geograafiliste tööde tegemist tänu teenusteloomise graafilisele liidesele. Antud programm toetab mitmeid ruumiliste andmete transportimisformaate. Näiteks GeoJSON, KML ja WKT. Andmeid on võimalik lugeda failipõhiselt, andmebaasidest, GIS-serveri sisesest hoidlast või teistest andmeallikatest. Väljundina saab kasutada samasid võimalusi, mis sisse toomisel. Teenuseid on võimalik käivitada käsitsi, automaatselt või mingil muul moel. Antud töös kasutatakse hoidlast pärit ruumiandmeid ja testitakse teenuse visuaalset väljundit WFS teenusega. Antud vahendiga on loodud teenus, millega teostatakse katsed. Antud tarkvara on ühenduses *Spectrum Spatial server*’iga, mis võimaldab juhtkonsoolist koheselt teenuseid rakendada.

3.1.3. PostgreSQL 9.6 / PostGIS Bundle 2.3.2

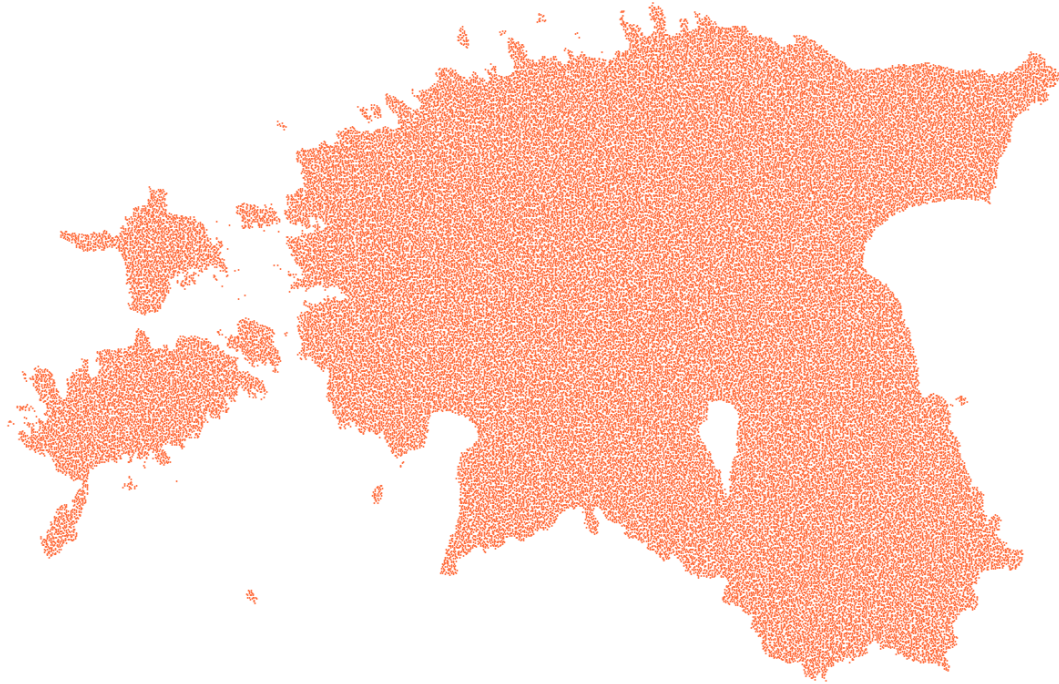
Tegemist on vabavaralise andmebaasiga, mis võimaldab antud töös kasutada reaalses redigeeritavaid andmeid. Andmebaasile on lisatud PostGIS laiendus, mis võimaldab kasutada ruumiandmeid. Failipõhiste andmetega ei ole võimalik ilma failiteisendusteta teostada *Enterprise Designer*is ruumiliste andmete töötlust. Andmebaasi on transporditud sisse punktide vektorfailid, kasutades *EasyLoader* tarkvara. Andmebaasi andmetega teostatakse antud katse. Struktuurinäidist andmebaasis näeb alloleval pildil (Joonis 3.3).



Joonis 3.3. Punktide vektorfail andmebaasis [autori loodud joonis]

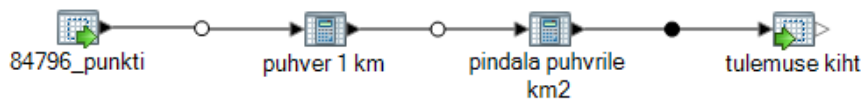
3.2. Andmete ja teenuste seadistamine

Andmeteks kasutatakse omaloodud 84796 punktobjekti (Joonis 3.4) ja lisaks kasutatakse ligikaudu miljon punktobjekti (964970). Juhuslikult genereeritud punktid on Eesti maismaa kontuuri piirides. Need on loodud *MapInfo* ver. 16 abiga, kasutades Reach-U AS loodud töövahendit. Salvestatud on need vektorandmetena TAB failiformaati. Punktifailid iseloomustavad teisi reaalseid kasutatavaid suure andmemahuga ruumikujusid.



Joonis 3.4. Töös kasutatavate 84796 punkti vaade [autori loodud joonis]

Vektorandmeid kasutades tehakse andmete töötlemiseks kaks teenust *Enterprise Designeris*. Kasutatava teenuse graafilist arhitektuuri näeb alloleval joonisel (Joonis 3.5), kus on kujutatud sisendfailiks 84796 ruumikuju sisaldavat andmefaili. Ligikaudu miljoni punkti kasutamisel teenuses, muudetakse vastavalt teenuse sisendi failtee. See teenus sobib kasutamiseks interaktiivsele reaalajas uuenevale veebikaardile. Kasutajavaatest avaldaks teenuse kiirus mõju sellisele veebikaardile. Üheks mõjuks on veebikaardi värskendamise kiirus. Antud töös ei käsitleta esituskihti, veebikaardi näide toodi teenuse selgitamiseks.



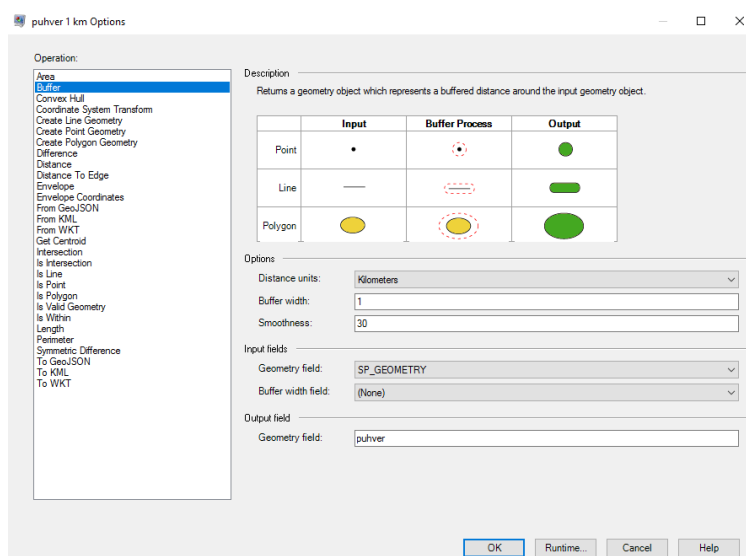
Joonis 3.5. Testi sooritamiseks kasutatav teenus [autori loodud joonis]

Teenus sisuliselt tähendab seda, et teostatakse päring, mis selekteerib andmed hoidlast teenusesse (Joonis 3.6), kui see käivitada. Ruumiandmeteks on punktikujud. Punktide ümber tehakse ühe kilomeetri raadiusega puhverpinnad (Joonis 3.7), millele arvutatakse pindala ruutkilomeetrites (Joonis 3.8) ja saadud tulemused salvestatakse tulemuste tabelisse (Joonis 3.9). Tulemuse tabelisse salvestatavateks atribuutideks on puhvrite ruumikuju kodeering, punktobjekti ID, MNIMI (maakonna nimi) ja MKOOD

(maakonna kood), olenevalt, millises maakonnas antud punkt paikneb. Antud teenus on loodud selline, et oleks andmete sisse- ja väljalugemine ning nende vahel olevad ruumitötluskalkulaatorid (Joonis 3.5) kasutaksid ruumilist töötlust.



Joonis 3.6. Punktiandmete päring hoidlast teenusesse [autori loodud joonis]



Joonis 3.7. Punktobjektile puhvri loomise seaded [autori loodud joonis]

Description: Returns the geographical area of a geometry object.

Options: Area units: Square Kilometers

Input field: Geometry field: puhver

Output field: Area size field: pindala

Joonis 3.8. Punktiobjektide puhvri pindala seeded [autori loodud joonis]

tulemuse kiht Options

Write Operation: Description: Insert Fields into a Named Table

Named Table: /mgt/tulemus

Delete existing records

Feature Attribute	Stage Field	Types	<input checked="" type="checkbox"/>	Include
MNIMI	MNIMI	string	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MKOOD	MKOOD	string	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ID	ID	integer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
pindala	pindala	string	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SP_GEOMETRY	puhver	Geometry	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

OK Cancel Help

Joonis 3.9. Punktiobjektide tulemuse tabeli seeded [autori loodud joonis]

3.3. Teenuse kiiruse ja jõudluse määramise mudel

Teenuse kiiruse hindamiseks vaadeldakse aega, kaua protsess töötab. Protsessi käivitamine toimub GIS-serveri konsoolist, mis võimaldab sama teenuse järjestikulist käivitamist automaatselt. Teenust käivitatakse üle kümne korra ja kasutatakse nende mõõtmiste töötluse keskmist aega. On teada, et mõõtmiste arvu kasv suurendab mõõtmiste tulemuse usaldusväärsust. Filosoofiliselt on mõõtmistingimused alati

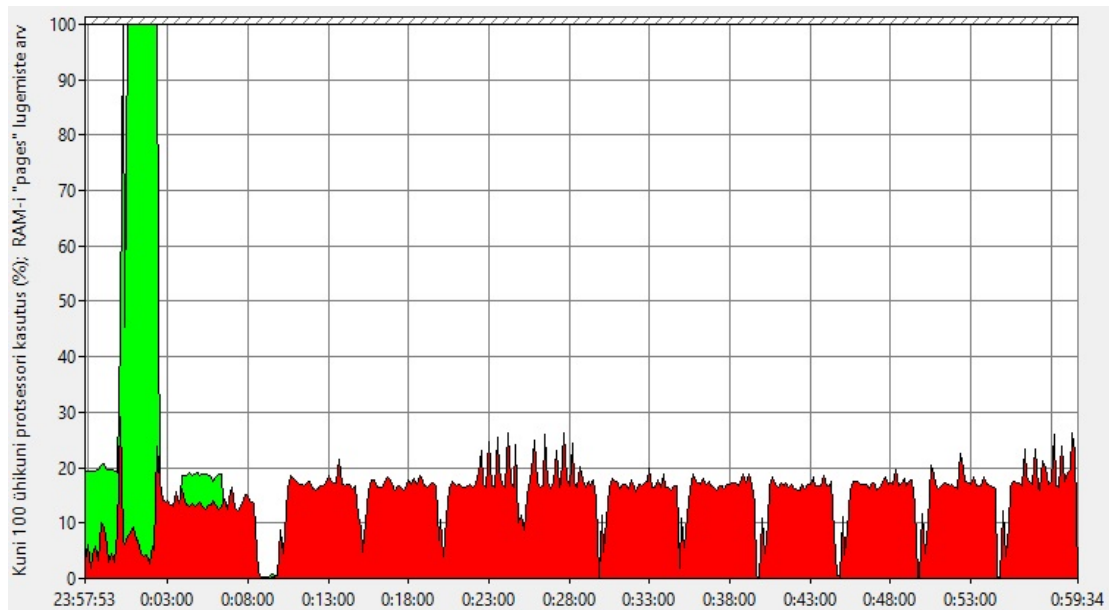
ebastabiilsed ja tegelik väärtus on teoreetiline [13]. Seega tehti mõõtmiste kordusi vähemalt üle kümne korra. Antud katses mõõtmistulemusi mõjutavatest teguritest tuleb juttu järgmises alapeatükis (3.1.1). Tulemused fikseeritakse automaatselt Java raamil töötava teenusega, mis salvestab teenuse erinevate protsesside ajad. Aeg määratakse sekundi täpsusega.

Testis kasutatakse kahte erinevat teenust, mille erinevus on algandmete mahus. Esmalt tehakse mõõtmised saja tuhande punkti teenusega ja hiljem miljoni punkti teenusega (Selgitused teenuste nimedele on peatükis 4.1).

Üldine mudel mõõtmistel on edasine. Esmalt märgitakse üles VM-i kasutatavate tuumade arv ja RAM-i maht. Seejärel teostatakse vähemalt üle kümne teenuse töötlust järjestikku ja salvestatakse tulemuste ajad. Algne tuumade arv on 8 ja RAM-i maht 52 GB ehk 53248 MB (1 GB = 1024 MB). RAM-i tuumade arvu reguleeritakse Google pilveplatvormi konsoolist. Tuumade või RAM-i muutmiseks tehakse taaskäivitus VM-ile. Järgnevalt hakatakse muutma RAM-i mahtu. RAM-i vähendatakse 13 GB võrra igal etapil kuni 13 GB RAM-ini. Sellele järgnevad tuumade arvu muutmise etapid, kus vähendatakse tuumade arvu 2 võrra kuni kahe tuumani. Tuumade arvu muutmise etappidel kasutatakse 13 GB RAM-i. 13 GB RAM-i on maksimaalne, mida Google pilve konsool lubab VM-ile määrata kahe tuuma valimisel. Üldine mudel sisaldab kokku 7 etappi. Lisamõõtmised tehakse kasutades 4 tuuma 26 GB RAM-i ning 6 tuuma 26 ja 39 GB RAM-i. Nende mõõtmiste tulemused lisatakse VM-i konfiguratsiooni komponentide võrdlusesse, tulemuste peatükki.

3.3.1. Võimalikud teenuse töötluskiiruse mõjutajad

Enne mudeli kasutamist tehti testkatsetused 8 tuuma ja 52 GB RAM-i mahuga. Testis kasutati töös eelnevalt koostatud teenust ligi miljoni andmepunktiga. Kokku tehti 11 järjestikulist automaatset teenuse käivitust. Välja on toodud joonis (Joonis 3.10), mis näitab antud parameetrite juures protsessori kogukasutust protsentides ja RAM-i lugemist lehtede arvuna. Nende näitajate saamiseks kasutati *Windows Server 2016* sisseehitatud jõudlusjälgimise programmi.



Joonis 3.10. Protsessori ja RAM-i mõjud teenusest (punane – protsessor, roheline – RAM, horisontaaltelg - kellaeg) [autori loodud joonis]

Joonise (Joonis 3.10) põhjal saab välja tuua, et muutmälu mõjutegurid pikendasid esimese teenuse töötusaega. Põhjuseks võib olla andmete lugemine RAM-i [14]. Protsessorikasutus on 11 teenuse töötlemisel enamvähem ühtlane ja kõikide teenuste töötamise käigus on protsessorikasutus alla 30%. Katsetuste käigus jälgides teenuse töötluskiirust, oli kõikide etappide (peatükk 3.3) esimene mõõtmise kõige aeglasem. Selline käsitlus võib olla üheks põhjuseks teenuse kiiruse mõjutusele. Lisaks võivad teenuse kiirust mõjutada pilveplatvormist tulenevad variatsioonid, tarkvara ja OP seaded jt..

4. Tulemused

Tuumade arvu ja RAM-i mahu mõju hindamiseks sai teostatud teenus, mis kasutab ligikaudu miljon ja sada tuhat vektorvormis punkti ruumikuju. Teenuse ülesehituse arhitektuur on sama, mis saja tuhande punkti ruumikujude teenusese joonisel (Joonis 3.5). Suuremahulisem teenus sai teostatud, et selgitada välja andmete suurenemisel mõju katsetulemustele. Selles peatükis tuuakse välja katsete tulemused ja selgitatakse neid. Katsetuste tulemuseks on erineval viisil RAM-i ja tuumade arvu mõju GIS-serveris töötavale teenusele.

4.1. Katsetuste üldise mudeli tulemused

Esmalt käsitletakse kahe erineva sisendiga teenuse seitsme etapi võrdlemist. Allolevas tabelis (Tabel 3) on koondatud kokku katsete tulemused. Töös on antud kahele kasutatavale teenustele nimed, et neid lihtsamalt liigitada. Ligikaudu miljonit punkti kasutatavat teenust nimetatakse *miljoni punkti teenuseks* (edaspidi MPT) ja ligikaudu sadat tuhandet punkti kasutatavat teenust *saja tuhande punkti teenuseks* (edaspidi STPT).

Tabel 3. Kahe teenuse protsessimise ajad erineva RAM-i mahu ja tuumade arvuga [autori loodud tabel]

Kaks erinevat teenust	8 tuuma, 52 GB RAM	8 tuuma, 39 GB RAM	8 tuuma, 26 GB RAM	8 tuuma, 13 GB RAM	6 tuuma, 13 GB RAM	4 tuuma, 13 GB RAM	2 tuuma, 13 GB RAM
Miljoni punkti teenuse töötamiseks kulunud aeg (s)	230	321	320	360	434	482	538
Saja tuhande punkti teenuse töötamiseks kulunud aeg (s)	27	28	27	29	27	30	39

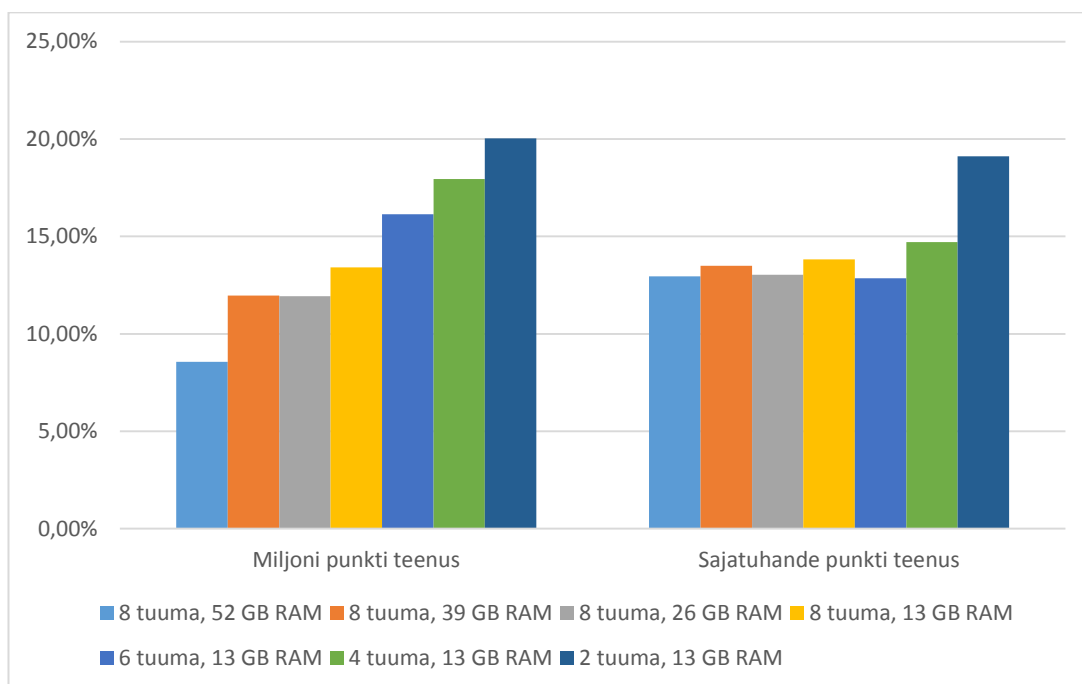
Ülevaolevas tabelis (Tabel 3) on näha MPT ja STPT keskmiseid teenuse töötuluse aegsid erinevate tuumade arvu ja RAM-i mahuga. Antud tabeli saab liigitada kaheks, 8 tuuma juures RAM-i mahu muutused ja 13 GB juures tuumade arvu muutused. MPT reas on näha, et kõige kiirem antud riistvara kombinatsioonist on 8 tuuma ja 52 GB RAM-i, 230 sekundit. Võrreldes omavahel ligikaudu sama tulemuse andnud 8 tuuma ja 39 GB RAM-i ja 8 tuuma ning 26 GB RAM-i kombinatsioonide, oli tulemuseks 320-321 sekundit. 8 tuuma ja 13 GB RAM-i on RAM-i muutuste liigitusest kõige aeglasem, 360 sekundit. Kõige aeglasem üldiselt MPT-s on 2 tuuma ja 13 GB RAM-i. Üldiselt on MPT tulemustest aeglasemad vähemate tuumadega töötanud teenused (6 tuuma – 434 sekundit, 4 tuuma – 482 sekundit ja 2 tuuma – 538 sekundit). Vaadates STPT rida on näha, et RAM-i maht ei mõjuta eriti teenuse keskmist aega. Teenuse keskmine protsessimise aeg jääb 27 kuni 29 sekundi vahele. Suuremat muutust on märgata tuumade arvu muutmisel ainult 2 tuuma ja 13 GB RAM-i juures (39 sekundit). 8, 6 ja 4 tuuma kasutades jääb teenuse keskmine töötulusaeg 27-30 sekundi vahele.

Välja tuues kahe teenuse, MPT ja STPT aja muutused üksteise suhtes, annab see võrdlustulemuse erinevate andmemahtude mõjust tuumade ja RAM-i erikombinatsioonidega. See käsitlus on vajalik, et saada paremat ülevaadet MPT-st ja STPT-st (Tabel 4). Teenuste protsendid on arvatud kahe teenuse kohta eraldi. Mõlema teenuse riistvara konfiguratsioonivaliku ajad on jagatud vastava teenuse (MPT ja STPT) aja summaga. Antud arvutused on tehtud kasutades MS Excel tarkvara.

Tabel 4. Kahe teenuse muutuste võrdlus erineva RAM-i mahu ja tuumade arvuga [autori loodud tabel]

Kaks erinevat teenust	8 tuuma, 52 GB RAM	8 tuuma, 39 GB RAM	8 tuuma, 26 GB RAM	8 tuuma, 13 GB RAM	6 tuuma, 13 GB RAM	4 tuuma, 13 GB RAM	2 tuuma, 13 GB RAM
MPT	8,57%	11,96%	11,93%	13,41%	16,15%	17,95%	20,04%
STPT	12,96%	13,50%	13,04%	13,82%	12,85%	14,72%	19,12%

Tabelis (Tabel 4) on teenuste ajad summeeritud ja jaotatud vastavalt tulemustele protsentideks. Mida suurem on protsent, seda kauem aega kulub antud riistvara näitajate juures teenuse protsessimiseks. Antud jaotus on väljendatud alloleval joonisel (Joonis 4.1).



Joonis 4.1. MPT ja STPT suhteline ajamuutuste võrdlemine erinevate riistvara näitajatega [autori loodud joonis]

Joonisel (Joonis 4.1) on välja toodud MPT ja STPT ajakulud protsentides. Vaadeldes MPT-d, näeb ühtlast mõju riistvara näitajate muutmisel teenuse protsessimise ajale. Erandiks saab välja tuua 8 tuuma 39 GB ja 26 GB, kus 13 GB vähendamisel ei ole olulist teenuse aja muutust. Vaadeldes STPT-d, näeb väiksemat mõju riistvara konfiguratsiooni muutmisel teenuse protsessimise aegadele. Suurem muutus on 2 tuuma ja 13 GB RAM-i juures, kus teenuse protsessimiskiirus on ligikaudu 4% aeglasem teistest väljatoodutest. Kuna STPT mõju kahe tuuma ja 13 GB-i RAM-i suurendamisel ei avaldu riistvara konfiguratsiooni muutusel piisavalt nende analüüsimiseks, tehakse järgnevad katsed MPT-ga ehk kasutatakse suuremat andmehulka teenuse sisendis.

4.2. Tuumade ja RAM-i kombinatsioonide võrdlused

MPT-ga sai teostatud kolm lisamõõtmist kasutades 6 tuuma 39 GB-ga ning 26 GB-ga ja 4 tuuma ja 26 GB-ga. Need lisamõõtmised annavad 6 ja 4 tuuma juures RAM-i muutuste mõju teenuse kiirusele. Täiendavalt sai lisatud tuuma ja RAM-i maksumused kümnele kombinatsioonile, mida antud töös käsitletakse (Tabel 5). Originaalmaksumuse kurss on dollarites, mis sai kogu tuumade ja RAM-i maksumuses välja toodud ka eurodes. Kursiks kasutati 0,892604 eurot ühe dollari kohta [20].

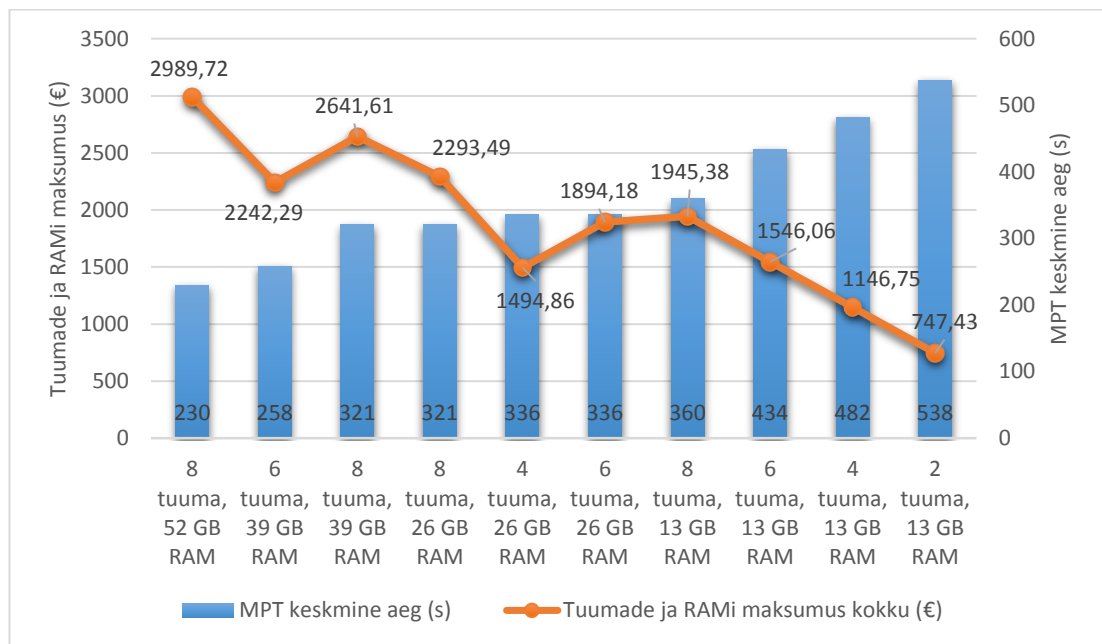
Tabel 5. MPT kasvavalt järjestatud keskmised protsessimise ajad erinevate riistvarade kombinatsioonidega ja nende maksumused [autori loodud tabel]

	8 tuuma, 52 GB RAM	6 tuuma, 39 GB RAM	8 tuuma, 39 GB RAM	8 tuuma, 26 GB RAM	4 tuuma, 26 GB RAM	6 tuuma, 26 GB RAM	8 tuuma, 13 GB RAM	6 tuuma, 13 GB RAM	4 tuuma, 13 GB RAM	2 tuuma, 13 GB RAM
MPT keskmine aeg (s)	230	258	321	321	336	336	360	434	482	538
Tuumade maksumus aastas (\$)	1789,44	1342,08	1789,44	1789,44	894,72	1342,08	1789,44	1342,08	894,72	447,36
RAMi maksumus aastas (\$)	1560	1170	1170	780	780	780	390	390	390	390
Tuumade ja RAMi maksumus kokku (\$)	3349,44	2512,08	2959,44	2569,44	1674,72	2122,08	2179,44	1732,08	1284,72	837,36
Tuumade ja RAMi maksumus kokku (€)	2989,72	2242,29	2641,61	2293,49	1494,86	1894,18	1945,38	1546,06	1146,75	747,43

Ülevalolevas tabelis (Tabel 5) on järjestatud MPT protsessimisajad kiiremast aeglasemani, vasakult paremale. Vaadates esimese rea pealdise rida, näeb et suurema RAM-i mahu kombinatsioonid annavad kiirema teenuse protsessimise aja. 6 tuuma ja 13 GB RAM-i kombinatsiooni ajaks on 434 sekundit, aga kui lisada sellele 26 GB RAM-i, kiireneb teenus 258 sekundini ehk on 176 sekundit kiirem. Vaadeldes tuumade arvu muutust kahekaupa 13 GB-i RAM-i juures, annab see nende keskmiseks teenuse kiiruse muutuseks 60 sekundit. Kui tõsta RAM-i 13 GB-i võrra kaheksa tuuma juures, annab see ebakorrapärasemaid tulemusi. Nagu ka eelnevates peatükkides käsitletud, et 8 tuuma 39 ja 26 GB-iga andsid sama teenuse aja. 8 tuuma ja 52 GB on kiirem 39 ja

26 GB-st 91 sekundit ja 13 GB on aeglasem 39st ja 26st GB-st 39 sekundit. Eriliseks võib veel lugeda, et 4 tuuma ja 26 GB RAM-i on sama kiire kui 6 tuuma ja 26 GB RAM-i.

Kui käsitletud riistvara konfiguratsioonid tuua joonisel (Joonis 4.2) välja koos nende maksumustega, saab selgitada välja teenuse kiiruse hinna suhte.



Joonis 4.2. Tuuma ja RAM-i maksumus võrreldes teenuste kiirusega

Ülevaloleval joonisel (Joonis 4.2) on näha, et kõige kiirem teenus on kasutanud 8 tuuma ja 52 GB RAM-i (230 sekundit) ja selle maksumus on aastas ligi 3000 eurot, mis on antud riistvara kombinatsioonidest kõige kulukam. Eelnevast ligi 750 eurot odavam on 6 tuuma ja 39 GB kombinatsioon (2242,29 eurot), mis on kiiruselt saavutanud muljetavaldava tulemuse (258 sekundit), kõigest 28 sekundit aeglasem kui 2 tuuma ja 13 GB RAM-i suurem kombinatsioon. Lisaks on eelnevast 2 tuuma suurem kombinatsioon, milleks on 8 tuuma ja 39 GB-i RAM-i (2641,61 eurot), andnud kehvema tulemuse, 63 sekundit aeglasema teenuse töötlusaja. Välja tasub kindlasti tuua 4 tuuma ja 26 GB kombinatsiooni, mille maksumus on 1494.86 eurot. See kombinatsioon on võrreldav 6 tuuma ja 26 GB RAM-iga, aga maksumus on ligikaudu 400 eurot vähem. Lisaks on see võrreldav ka 15 sekundit kiiremate kombinatsioonidega (8 tuuma, 39 ja 26 GB RAM-i), millest on see ligikaudu 800 ja 1100 eurot odavam.

4.3. Järeldused

Tulemustest on juba selgunud kasutatud riistvara kombinatsioonide juures, et RAM-i mahu mõju teenuse töötluskiirusele on suurema osakaaluga kui tuumade arvu mõju. Tuumade arvu paarikaupa muutmisel 13 GB-i juures saadi keskmiseks teenusekiiruse muutumisajaks 60 sekundit. Selle hinnangul võib otsustada, kas on 60 sekundit piisav võit, et suurendada tuumade arvu kahe võrra, arvestades hinnatõusu ligi 400 eurot aastas. Kasutatud erinevate tuumade arvu (8, 6, 4) ja 13 GB-i RAM-i juures tõstes RAM-i 13 GB-i, annab see keskmiseks ajavõiduks ligi 94 sekundit. 8, 6, 4 tuuma ja 13 GB-i RAM-i kombinatsioonides tõstes RAM-i 13 GB võrra on muutused teenuse ajas 39 sekundit 8 tuumaga, 98 sekundit 6 tuumaga ja 146 sekundit 4 tuumaga. Seega mida väiksem on tuumade arv, seda rohkem mõjutab RAM-i maht teenuse kiirust. Kahjuks ei olnud Google pilve platvormis võimalik valida kahte tuuma kasutades suuremat RAM-i hulka, kuid eelnevate tulemuste põhjal võib väita, et teenus oleks oluliselt kiiremaks muutunud. Kahe tuuma ja 13 GB-i hinnavahe on 51 eurot, millest kaks tuuma on kallim (2 tuuma – 399,32€ ja 13 GB-i RAM-i – 348,12€). Siit saab järeldada, et vähemalt kuni 6 tuumani on teenusekiirusele võit, kui 13 GB-i RAM-i kasutades lisada veel 13 GB-i juurde ehk 26 GB-ile, kahe tuuma võrra suurendamise ees.

Kui võrrelda tuumade muutusi 26 GB-i RAM-i juures, siis on teenusekiiruse mõjud olulisemalt väiksemad kui olid 13 GB-i juures. 8 ja 6 tuuma vahe on 15 sekundit ning 6 ja 4 tuuma saavutasid sama kiiruse. Keskmiseks teenusekiiruse muutuseks on ligi 8 sekundit. Sellest saab järeldada, et 26 GB-i RAM-i juures 4 kuni 8 tuumal ei ole teenusekiirusele olulist vahe. 4 ja 8 tuuma maksumuse vahe on ligi 800 eurot.

8 tuuma kasutatud riistvara kombinatsioonides muutub mõistlikuks valikuks alles 52 GB RAM-i juures, aga see on tunduvalt kulukam teistest lahendustest. Võrreldes 6 tuuma ja 39 GB-i RAM-i 8 tuuma ja 52 GB-i RAM-iga, on teenuse kiirusevahe 28 sekundit ja hinnavahe on üpris suur, 747,43 eurot. Suure hinnavõidu antud katsetuste põhjal annab 4 tuuma ja 26 GB-i RAM-i (798,63 eurot), arvestades teenusekiiruse vähest erinevust (15 sekundit) 8 tuuma ja 26 GB-i RAM-i ees. Kõige suurema hinnavõidu (1146,75 eurot) annab 4 tuuma ja 26 GB-i, samuti vähese teenusekiiruse erinevusega (15 sekundit), 8 tuuma ja 39 GB-i RAM-i ees.

5. Arutelu

Katsete käigus selgus, et esimene teenuse käivitamine ja protsess võtab järgnevatest oluliselt kauem aega. See võib tingitud olla andmebaasist andmete lugemisega muutmällu, kus järgnevad teenuse käivitused kasutavad juba andmeid RAM-ist. Sellest tingituna on keskmised väärtused teenuste aegadele oluliselt suuremad kui oleks alates teisest teenusekäivitusest keskmist aega määratud. Antud töös ei tahtud saavutada maksimaalset kiirust teenustele vaid riistvara konfiguratsioonist tulenevat kiiruse mõju. Kõik katse etapid tehti samamoodi, tehes alati enne etappi taaskäivitus virtuaalsele masinale. See tähendab, et enne igat etappi loeti andmed andmebaasist uuesti operatiivmällu. Vaadates tulemuste stabiilset muutust, mis tulenesid riistvara kombinatsioonide muutusest, võib väita, et mõõtmistel ei esinenud suuremal määral segavaid mõjutajaid.

Töö sai teostatud maksimaalselt 8 tuuma ja 52 GB RAM-iga. Suuremate riistvaraliste näitajate analüüsimiseks on vajalik tasuline pilvelahendus või mõni muu viis. Kasutatud võimaluste juures sai selgitatud tuumade arvu ja RAM-i osakaal ruumiandmete teenusele. Sellest tulenevalt, arvestades ka maksumust, määrati RAM olulisemaks kui tuumade arv. Pilvepõhise virtuaalse masina soovituslik valik on keskmistele GIS teenuste pakkujatele katsetes kasutatud kombinatsioonidest 4 tuuma ja 26 GB RAM-i. Edasiseks uurimiseks on siin 2 tuuma ja sellele RAM-i hulga lisamisega teenuse kiiruse hindamine. Kuigi Google pilveplatvorm ei võimalda 2 tuuma juures RAM-i mahtu üle 13 GB, võivad seda lubada teise pilveplatvormi pakkujad.

GIS-serveri erinevad tarkvarad käituvad erinevalt, sest neil on erinev ülesehitus. Kasutatud GIS-i serveritarkvara arhitektuur sai üles ehitatud, et oleks olemas kõik vajalikud komponendid, mis lubavad reaajas GIS-teenuseid kasutajatele läbi interneti pakkuda. Muutes arhitektuuri või tarkvarasid, võivad tulemused muutuda, aga eeldus on, et riistvara konfiguratsiooni kombinatsioonide vahekorrad jäävad ligikaudu samaks. Kuna GIS-i serverilahenduse süsteemiarhitektuuri mõju antud töös ei hinnatud, saab sellest tulenevalt teostada edaspidiseid uuringuid.

Rääkides lähemalt antud töös saadud tulemustest, milleks on ligi miljon vektorkujul punkti ruumilise töötlemise ajad, seda erinevate tuumade arvu ja RAM-i mahu juures. GIS teenuse pakkujad soovivad anda kasutajatele maksimaalset kiirust. Pakkujad ja

kasutajad tahavad minimaalset maksumust süsteemi kuludele, et pakkuja saaks rohkem tulu ja klient soodsama pakkumise. Teoriast tulenevalt [1.4] on teenuse kiirus olulisem kui süsteemi maksumus, eeldusel, et sellist süsteemi on vaja luua. GIS rakendusserveri loomisele lisanduvad teised riistvara ja tarkvarade kulud, mis kokkuvõttes võivad ületada antud töös käsitletud RAM-i ja tuumade maksumust mitmekümne kordselt. Kasutajal või kliendil on võimalik oma GIS-i teenus paigutada suurpakkuja GIS-i serverilahendusse, mis võimaldab eeldavalt kiiret testitud lahendust ja soodsamat maksumust.

Siiski neile, kes soovivad ise GIS teenusteks pilvelahendusel süsteemi ehitada, on antud töö heaks abivahendiks, et toetada otsuseid tuumade arvu ja RAM-i mahu valikul. Selleks soovitan peamiselt tähelepanu suunata selles töös tulemuste ja eriti järelduste peatükile.

Kokkuvõte

Antud töös sai ehitatud GIS-i serverilahendus pilvepõhisesse virtuaalsesse masinasse, et testida ruumiandmeteenuste töötamise tööaega erineva tuuma ja RAM-i konfiguratsiooni kombinatsioonidega. Teoorias uuriti antud teema vajalikkust, GIS-i serveripõhist lahendust ja pilveplatvormide keskkondasid. Töö põhiosaks oli toimiva süsteemi loomine, kus on võimalik teha katseid ruumipäringuteenustega. Kõige ajakulukamaks osaks kujunes teenuste töötusaegade mõõtmine. Tulemuste põhjal saab väita, et erinev RAM-i maht ja tuumade arv mõjutab oluliselt GIS-i teenuste kiirust ligi miljonit punktobjekti kasutades ja rohkemal määral mõjutab seda RAM-i maht. Võrreldes töös kasutatud vähemate ruumikujude sisendit, saab väita, et riistvara konfiguratsiooni valikut mõjutab andmehulga kasutamise vajadus. Universaalsem tõlgendus tulemustele on see, et riistvara konfiguratsiooni optimaalse valiku tegemisel on mõistlik valida, arvestades seejuures maksumust, vähem tuumasid ja selle arvelt rohkem RAM-i mahtu. Väiksemate andmemahtude teenuste riistvaralised vajadused ehk antud töös käsitletud „STPT-d“ kasutades, ei avalda riistvara enam mõju alates 4 tuumast ja 13 GB-ist RAM-i mahust. Seega, töös määratletud vähema andmehulga teenuste puhul on eelistatud valida vähemalt 4 tuuma ja 13 GB RAM-i. Tuumade arv ja RAM-i maht on antud töös määratud ühele korraga töötavale teenusele. Edasiseks uurimuseks antud tööle võib teostada mitme teenuse korraga kasutamist erinevate riistvara konfiguratsioonidega. Tulemuste osas on koostatud graafik koos selgitustega, mis toetab pilvepõhise GIS-i serverisüsteemi tuumade arvu ja RAM-i mahu valikut.

The optimal number of cores and RAM size in a cloud-based GIS server

Ken Böckler

Summary

For the purpose of this thesis, a GIS server solution was built in a cloud-based virtual machine in order to test the processing time in processing of spatial data services with different core and RAM configuration combinations. The relevance of the subject, the server-based GIS solution and cloud platform environments are examined in the theoretical section. The main part of the study involved creating of a functional system allowing to experiment with spatial query services. Measuring the service processing times proved to be the most time-consuming task. Based on the results, it can be argued that different RAM sizes and numbers of cores significantly affect the speed of GIS services when using approx. one million point features and that the effect of the RAM size is more pronounced. The comparison of an input with fewer geometries which was used in the study allows to argue that the choice of hardware configuration is affected by the data usage required. According to a more universal interpretation of the results, fewer cores and a larger RAM size at the expense of the number of cores would be a reasonable choice when selecting an optimal hardware configuration, with regard to the cost. As for hardware requirements of services with smaller data volumes, i.e. when using the „STPT“ examined in this thesis, the hardware ceases to have an effect from 4 cores and 13 GB RAM. Consequently, at least 4 cores and 13 GB RAM would be preferable for services with smaller data sets as defined in the thesis. For the purposes of this thesis, the number of cores and the RAM size are indicated for one service being run at a time. For further study of the subject of this thesis, several services could be run simultaneously with different hardware configurations. The results section includes a chart with explanations which helps to determine the number of cores and the RAM size for a cloud-based GIS server system.

Tänuavaldused

Täna oma juhendajaid, Matit ja Tõnu, kes aitasid mind nõuannetega töö valmimisel. Lisaks avaldan tänu Reach-U AS ettevõttele ja Tartu Ülikoolile. Eraldi avaldan tänu Pitney Bowes`i asutusele, et ma sain kasutada akadeemilist Spectrum Spatial serveri litsentsi oma katsete teostamiseks.

Kasutatud kirjandus

1. Longlay P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., & Rhind D. W. (2010). *Geographic Information Systems and Science*. USA: John Wiley & Sons.
2. Troškina O. (2015). *Veebipõhiste kaardirakenduste loomise rakendusliideste võrdlus*. Magistritöö. Tallinn: Tartu Ülikool.
3. Eltermann M. (2014). *Menetluspraktika aruanne*. Aruanne. Tartu Ülikool.
4. Siddiqui S. T., Alam M. S., Ubaidullah M. U. (2012). *Software tools required to develop GIS Applications: An Overview*. Rohtak, Haryana, India: IEEE.
5. Růžička J. (2016). *Comparing speed of Web Map Service with GeoServer on ESRI Shapefile and PostGIS*. Czech Technical University, Prague.
6. Bhat M. A., Shah R. M., Ahmad B. (2011). *Cloud Computing: A solution to Geographical Information Systems (GIS)*. India: ISSN. Vol. 3 No. 2.
7. Tee M. (2016). *Spectrumist, Mapinfost ruumiandmetest*. Konverents. Eesti
8. Nourjou R., Thomas J. (2016). *System architecture of cloud-based web GIS for real-time macroeconomic loss estimation*. Burlingame, California: ACM New York.
9. Moaiad Y. A., Bakar Z. A., Al-Sammorraie, Abbas N. (2016). *Prioritization Tool of Cloud Computing Service Provider Based on User Requirement*. Conference. Shah Alam, Malaysia: IEEE
10. Roosaare J. (2000-2016). *ANDMEBAASIDE LOOMINE JA KASUTAMINE*. Õppematerjalid. Tartu Ülikool. II.1.4.
11. Chan E. P. F., Ueda K. (2000). *Efficient Query Result Retrieval over the Web*. Iwate, Japan: IEEE
12. Roop E. (2014). *Kaardirakenduse loomine Leaflet`I teegiga*. Tallinn: Tallinna Ülikool
13. Aunap R. (2017). *Maa kuju ja suurus, selle määramise meetodid, mõõtühikud*. Õppematerjalid, esitlus. Tartu Ülikool.

14. Xuanhua S., Xiong Z., Ligang H., Hai J., Zhixiang K., Song W. (2017). *MURS: Mitigating Memory Pressure in Service-oriented Data Processing Systems*. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology, UK: Department of Computer Science, University of Warwick.
15. Oja T., Roosaare J., Aunap R., Jagomägi J. (1998). *Eesti ruumiandmete mudelid, I etapp*. [WWW] <http://www.geo.ut.ee/ruum/rmaru1.htm> (25.05.2017)
16. Jagomägi T. (1997). *GIS*. [WWW] <http://www.geo.ut.ee/gis2000/> (24.05.2017)
17. GEOSYS company, [WWW] <http://www.geosys.com.tr/eng/Default.aspx?tabid=123#> (20.04.2017)
18. Google Cloud Platform, [WWW] <https://cloud.google.com/products/calculator/> (21.04.2017)
19. Spectrum Spatial Installation Guide, [WWW] http://support.pb.com/help/spectrum/12.0/webhelp/en/InstallationGuide-Windows/index.html#InstallationGuide/source/SystemRequirements/system_requirements_server.html (24.04.2017)
20. X-RATES CURRENCY CALCULATOR, [WWW] <http://www.x-rates.com/calculator/?from=USD&to=EUR&amount=1> (20.05.2017)
21. Spectrum™ Technology Platform. *Documentation*. [WWW] <http://support.pb.com/help/spectrum/12.0/webhelp/en/DocumentationDirectory/index.html> (26.05.2017)
22. Spectrum™ Technology Platform. *Administration Guide*. [WWW] <http://support.pb.com/help/spectrum/12.0/webhelp/en/AdministrationGuide-WebUI/index.html#AdministrationGuide/source/WebUI/LandingPageForHelp.html> (26.05.2017)
23. PostgreSQL. *PostgreSQL 9.6.3 Documentation*. [WWW] <https://www.postgresql.org/docs/9.6/static/index.html> (26.05.2017)

Lisad

Tabel 6. Saja tuhande punkti teenuse mõõtmistulemused [autori loodud tabel]

8 tuuma, 52 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	22	26,7544745	22,4917715	68,6597327	588,5984387
Stage[sadatuhat_punkti]	22	26,3727184	22,1582027	67,6188002	580,1998042
Stage[tulemuse kiht]	22	22,0417208	18,0013123	58,2385958	484,9178584
Stage[pindala puhvrile km2]	22	3,0213144	2,9192981	3,2283487	66,4689173
Stage[puhver 1 km]	22	1,498207	1,4245283	1,9241972	32,9605532
8 tuuma, 39 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	22	27,8748971	21,8772668	88,6495736	613,2477357
Stage[sadatuhat_punkti]	22	27,4528508	21,5151827	87,6380585	603,9627169
Stage[tulemuse kiht]	22	23,0401615	17,5649699	78,5500476	506,8835536
Stage[pindala puhvrile km2]	22	2,9994018	2,911959	3,2365024	65,9868406
Stage[puhver 1 km]	22	1,5080081	1,4336013	2,0052164	33,1761785
8 tuuma, 13 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	22	28,5327588	22,4514016	91,7834962	627,7206937
Stage[sadatuhat_punkti]	22	28,1112858	22,1044822	90,6801067	618,4482883
Stage[tulemuse kiht]	22	23,6801038	18,050366	81,4662892	520,9622827
Stage[pindala puhvrile km2]	22	3,0314325	2,8960197	3,1379703	66,6915149
Stage[puhver 1 km]	22	1,5002977	1,3974905	1,8090831	33,0065505
6 tuuma, 13 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	23	26,530827	23,8604991	45,0298261	610,2090216
Stage[sadatuhat_punkti]	23	26,1265185	23,5870402	44,436658	600,9099263
Stage[tulemuse kiht]	23	21,7456589	19,6780381	34,2578648	500,1501542
Stage[pindala puhvrile km2]	23	3,345507	3,042084	3,8550901	76,9466606
Stage[puhver 1 km]	23	1,6880014	1,5207572	2,228625	38,8240318
4 tuuma, 13 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	22	30,3855302	27,2101225	42,6903298	668,4816636
Stage[sadatuhat_punkti]	22	29,7889691	26,670445	41,6718071	655,3573195
Stage[tulemuse kiht]	22	25,4265157	22,4448529	29,4884355	559,3833458
Stage[pindala puhvrile km2]	22	3,7352372	3,41265	4,3502656	82,1752182
Stage[puhver 1 km]	22	2,1013546	1,7729674	2,7062377	46,2298013
2 tuuma, 13 GB RAMi					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	22	39,4710188	29,0348137	100,1794337	868,3624144
Stage[sadatuhat_punkti]	22	35,8915534	26,8822894	95,8828725	789,6141741
Stage[tulemuse kiht]	22	29,2368112	22,4099728	82,748845	643,2098463
Stage[pindala puhvrile km2]	22	5,6400725	4,7213002	8,0061824	124,0815947
Stage[puhver 1 km]	22	3,2818768	2,3711759	4,8043602	72,2012901

Tabel 7. Miljoni punkti teenuse mõõtmistulemused [autori loodud tabel]

8T 52RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	230,0748497	219,5401037	240,3794399	2300,748497
Stage[964970_punkti]	10	228,2968831	217,7246293	238,6560251	2282,968831
Stage[tulemuse kiht]	10	187,6683087	177,2087239	198,0395631	1876,683087
Stage[pindala puhvrile km2]	10	28,4371852	28,1874006	28,6923912	284,3718522
Stage[puhver 1 km]	10	13,9426888	13,8297911	14,1338465	139,4268881
8T 39RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	11	321,2100623	302,5411994	412,0473899	3533,310685
Stage[964970_punkti]	11	318,6292494	300,0599188	409,3371845	3504,921743
Stage[tulemuse kiht]	11	262,3130168	245,3049985	347,5842197	2885,443185
Stage[pindala puhvrile km2]	11	33,1319128	32,5575652	33,6622802	364,4510407
Stage[puhver 1 km]	11	19,2132859	18,6979718	19,8403627	211,3461451
8T 26RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	320,5147375	299,9970644	410,2545461	3205,147375
Stage[964970_punkti]	10	317,9851851	297,5216559	407,5852516	3179,851851
Stage[tulemuse kiht]	10	261,5683857	242,5299551	344,4236454	2615,683857
Stage[pindala puhvrile km2]	10	33,4486213	32,6198255	36,8827526	34,4862132
Stage[puhver 1 km]	10	18,5166447	18,1034532	19,4336889	15,166447
8T 13RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	360,1718308	310,0779882	499,7430434	3601,718308
Stage[964970_punkti]	10	357,5631831	307,470754	497,1583841	3575,631831
Stage[tulemuse kiht]	10	298,1246339	251,2548194	439,5706293	2981,246339
Stage[pindala puhvrile km2]	10	32,7156173	32,2408164	33,2510566	37,1561729
Stage[puhver 1 km]	10	18,8071999	18,3690735	19,7630524	18,0719988
6T 13RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	13	433,7212897	365,8228463	628,8776224	5638,376766
Stage[964970_punkti]	13	430,8159476	363,0345356	625,5697046	5600,607319
Stage[tulemuse kiht]	13	356,426777	297,7557065	535,5789065	4633,548101
Stage[pindala puhvrile km2]	13	36,3173208	34,9270642	39,5895321	42,1251706
Stage[puhver 1 km]	13	21,4068792	20,4702978	23,7324155	28,2894292
4T 13RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	11	482,2213613	360,7711774	696,2628628	5304,434974
Stage[964970_punkti]	11	479,3329775	358,2734385	693,594034	5272,662753
Stage[tulemuse kiht]	11	409,3359358	295,0475888	610,538898	4502,695294
Stage[pindala puhvrile km2]	11	39,850552	38,5516084	41,3465258	438,3560716
Stage[puhver 1 km]	11	26,3040759	24,9145728	30,172957	289,3448352
2T 13RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	538,1906868	433,7847339	667,9817742	5381,906868
Stage[964970_punkti]	10	522,1629275	418,115343	647,1929834	5221,629275
Stage[tulemuse kiht]	10	442,8114747	340,7956372	581,7493179	4428,114747

Stage[pindala puhvrile km2]	10	67,565011	50,4276932	80,3211445	65,6501102
Stage[puhver 1 km]	10	42,6797779	26,93711	53,0492318	46,7977791
4T 26RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	11	336,4071563	313,0897877	418,5701614	3700,478719
Stage[964970_punkti]	11	334,0078608	310,8380006	415,475225	3674,086469
Stage[tulemuse kiht]	11	272,1867831	251,3906176	344,123173	2994,054614
Stage[pindala puhvrile km2]	11	42,3799571	41,321411	45,4160547	46,179528
Stage[puhver 1 km]	11	25,8848742	25,023507	27,882289	24,7336158
6T 26RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	336,4618127	307,2462891	411,4025077	3364,618127
Stage[964970_punkti]	10	334,0061785	304,8560882	408,8167089	3340,061785
Stage[tulemuse kiht]	10	274,3218827	252,5433392	349,6830073	2743,218827
Stage[pindala puhvrile km2]	10	36,3177696	31,7675251	40,8752726	33,1776963
Stage[puhver 1 km]	10	21,3714134	17,809953	23,7767272	23,7141335
6T 39RAM					
Monitor	Hits	Avg	Min	Max	Total
Dataflow	10	258,3681842	231,5000109	426,6332913	2583,681842
Stage[964970_punkti]	10	256,4884121	229,6529595	424,5393848	2564,884121
Stage[tulemuse kiht]	10	211,5608959	186,0211855	373,1504061	2115,608959
Stage[pindala puhvrile km2]	10	37,3867129	35,9557364	39,4025958	33,867129
Stage[puhver 1 km]	10	18,3103309	17,9355603	19,0591294	13,1033089

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ken Böckler,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pilvepõhise GIS serveri optimaalne tuumade arv ja RAM-i maht“, mille juhendajad on prof. Tõnu Oja ja MSc Mati Tee,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **22.05.2017**