

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Maria Torop 185085IAAB

# **Analüüs TalTech'i ICT maja arvutiklasside virtualiseerimisest**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Siim Vene  
Magistrikraad

Tallinn 2022

## **Autorideklaratsioon**

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Maria Torop

21.04.2022

## **Annotatsioon**

Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja senist arvutiklasside kasutust ning selle tasuvust, senist töökohtade virtualiseerimise lahendust ning leida võimalusi virtualiseerimise edendamiseks ning kokkuhoide teha.

Töös käsitletakse virtuaalse töölaua infrastruktuuri tähendust ning vajadust, tänaseid virtualiseerimislahenduste nõudeid Tallinna Tehnikaülikooli õppejõudude vaatest, senise lahendust, arvutiklasside ning virtuaaltöölaua funktsionaalsust õppetöös kasutatavate tarkvarade ja kasutusmugavuse vaatest ning senise lahenduse ja virtuaalse töölaua kasutamise tasuvust.

Töö olulisemateks tulemusteks on avaldada, kuidas virtuaalsete töölaudade kasutamine saab aidata Tallinna Tehnikaülikoolil pakkuda oma tudengitele paindlikkust ning seejuures teha kokkuhoide alautiliseeritud arvutiklasside masinate rendi osas.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 35 leheküljel, 8 peatükki, 5 joonist, 5 tabelit.

## **Abstract**

### **Analysis of Virtualizing TalTech ICT Complex Computer Classes**

The purpose of this work is to analyse the current use of computer classes in the ICT house of Tallinn University of Technology and its profitability, the current desktop virtualisation solution and to find ways to further develop the virtualisation and make savings.

The work addresses the purposes of virtual desktop infrastructure, the requirements of today's virtualization solutions from the view of the lecturers of Tallinn University of Technology, the current solution, the functionality of computer classes and virtual desktops from the view of the software and ease of use used in teaching, and the cost-effectiveness between the current solution and of using the virtual desktop.

The most important results of the work are to publish how the use of virtual work desks can offer flexibility to the Tallinn University of Technology to its students, while making savings on the rental of machines for under-utilised computer classes.

The thesis is written in Estonian and contains 35 pages of text, 8 chapters, 5 figures, 5 tables.

## Lühendite ja mõistete sõnastik

Active Directory	Microsofti poolt välja töötatud kataloogiteenus ehk infohoidla, mis on mõeldud Windowsi domeeni võrkudele.
App-V Server	Keskne juhtimiskoht, mis vastutab rakenduste edastamise eest App-V töölaua- ja kaugtöölauateenuste klientidele.
Aveva Edge	AVEVA Edge võimaldab algseadmete valmistajatel, paneelide ehitajatel, süsteemiintegraatoritel ja lõppkasutajatel luua intuitiivseid, turvalisi ja väga skaleeritavaid HMI- ja SCADA-rakendusi mis tahes tööstusharu jaoks.
BYOD	<i>Bring your own device.</i> Tehnoloogia, mis lubab kasutajatel kasutada enda isiklikku seadet ametlikult pakutava asemel.
Connection Broker	Ressursihaldur, mis haldab ühenduste kogumit ühendusepõhiste ressurssidega, nagu andmebaasid või kaugtöölaudad, võimaldades nende ühenduste kiiret taaskasutamist lühiajaliste protsesside abil, ilma et iga kord oleks vaja luua uus ühendus.
DAAS	<i>Desktop-as-a-service.</i> Pilveandmetöötlus, kus teenusepakkuja pakub lõppkasutajatele interneti kaudu virtuaalseid lauaarvuteid, mis on litsentseeritud kasutajapõhise tellimusega.
GPU	<i>Graphics processing unit.</i> Spetsialiseeritud protsessor, mis kiirendab graafika renderdamist.
HMI	<i>Human Machine Interface.</i> Kasutajaliides või armatuurlaud, mis ühendab inimese masina, süsteemi või seadmega.
Hüperviisor	<i>Hypervisor.</i> Tarkvara, mis loob ja käivitab virtuaalmasinaid.
IT	<i>Information Technology.</i> Arvutite, salvestus-, võrgu- ja muude füüsiliste seadmete, infrastruktuuri ja protsesside kasutamine kõigi elektrooniliste andmete loomiseks, töötlemiseks, säilitamiseks, turvamiseks ja vahetamiseks.
JVM	<i>Java Virtual Machine.</i> Virtuaalne masin, mis võimaldab arvutil käivitada nii Java programme kui ka teistes keeltes kirjutatud programme, mis on koostatud ka Java baitkoodile.
Microsoft Azure Virtual Desktop	Süsteem Windowsi operatsioonisüsteemide virtualiseerimiseks, pakudess virtuaalseid töölaudu ja rakendusi turvaliselt pilves.
RDP	<i>Remote Desktop Protocol.</i> Microsofti poolt välja töötatud konfidentsiaalne protokoll, mis annab kasutajale graafilise

	liidese teise arvutiga ühenduse loomiseks võrguühenduse kaudu.
Siemens TIA Portal	Tarkvara, mis võimaldab integreerida automatiseerimisprojekti kõik vajalikud põhikomponendid.
Terminal Server	Riistvaraseade või server, mis võimaldab ühendada jadaseadmeid üle võrgu.
VDI	<i>Virtual Desktop Infrastructure</i> . Tehnoloogia, mis viitab virtuaalsete masinate kasutamisele virtuaalsete töölaudade pakkumiseks ja haldamiseks.
Virtuaalne töölaud	Võimaldab kasutajatel pääseda oma töölauale ja rakendustele ligi kõikjalt mis tahes lõpp-punkti seadmes ning IT-organisatsioonid saavad neid töölaudu juurutada ja hallata keskselt asuvast andmekeskusest.
Visual Studio	Microsofti integreeritud arenduskeskkond, mida kasutatakse arvutiprogrammide, samuti veebisaitide, veebirakenduste, veebiteenuste ja mobiilirakenduste arendamiseks.
VM	<i>Virtual Machine</i> . Arvutisüsteemi virtualiseerimine või emulatsioon.
VMware Horizon	Kaasaegne platvorm virtuaalsete töölaudade ja rakenduste käitamiseks ja edastamiseks kogu hübriidpilves.
VPN	<i>Virtual Private Network</i> . Krüpteeritud ühendus seadme ja võrgu vahel, mis aitab tagada tundlike andmete turvalise edastamise.

## Sisukord

1 Sissejuhatus .....	11
2 Probleemikirjeldus .....	12
3 Metoodika .....	13
4 Virtuaalse töölaua infrastruktuur .....	14
4.1 Virtuaalmasinad ja nende kasutusala .....	14
4.2 Virtuaalse töölaua infrastruktuur .....	15
4.2.1 Hüperviisor .....	15
4.2.2 Virtuaalmasinad .....	16
4.2.3 Ühenduse vahendaja .....	18
4.2.4 Töölaua virtualiseerimise protsess .....	18
4.3 Virtuaalmasinate kasutamise eelised füüsiliste masinate ees .....	18
4.4 Virtuaalmasinate puudused füüsiliste masinate ees .....	19
5 Analüüs .....	21
5.1 Küsitlus TalTech'i õppejõudude seas .....	21
5.1.1 Nõuded VDI lahendustele TalTech'i IT teaduskonna õppetöö vaatest .....	22
5.2 Olemasolevad õppetöökäsitatavad kaugtöölahendused .....	23
5.2.1 Senise lahenduse puudused .....	25
5.2.2 Senise lahenduse võrdlus VDI parimate praktikatega .....	27
5.2.3 Virtuaalse töölaua lahendus Kaunase Tehnikaülikoolis .....	27
5.3 Õppeainete tüüprofiili kaardistamine .....	29
5.3.1 Äriinfotehnoloogia tarkvaraarenduse õppeained .....	29
5.3.2 Inseneriteaduskonna õppeained .....	30
6 Teostus .....	32
6.1 TalTech'i arvutiklasside masinate ja VDI masinate funktsionaalne test .....	32
6.1.1 ICT arvutiklassi masin .....	32
6.1.2 VMware Horizon masin .....	36
6.1.3 Tulemus .....	38
7 Tasuvusanalüüs .....	40
7.1 Senise lahenduse tasuvuse hindamine .....	40

7.2 Analüüs teenuse sisse ostmise ja iseinstallimise vahel.....	42
8 Kokkuvõte .....	45
Kasutatud kirjandus .....	46
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks .....	48
Lisa 2 – Küsitlus TalTech'i IT teaduskonna õppejõudude seas .....	49
Lisa 3 – VMware Horizon tellimuse arve 1 aasta kohta.....	51
Lisa 4 – Azure Virtual Desktop hinnakalkulaator .....	52



## Jooniste loetelu

Joonis 1. <i>Process Virtual Machine</i> [10] .....	17
Joonis 2. <i>System Virtual Machine</i> [10] .....	17
Joonis 3. <i>VDI scheme at Kaunas University of Technology</i> [16] .....	28
Joonis 4. TalTech'i IT-osakonna Windowsipõhiste arvutiklasside masinate kasutamise statistika(kuvatõmmis meilisuhtlusest TalTech Infotehnoloogia osakonna Talitluse juhataja Edgars Žigurs'ga).....	41
Joonis 5. Indikatiivne kuluarvutus Azure Virtual Desktop teenuse kohta 200 kasutaja ja 700 kasutustunni puhul aastase maksega[19] .....	43

## **Tabelite loetelu**

Tabel 1. ICT arvutiklassi masinate funktsionaalne test .....	34
Tabel 2. Funktsionaalne test ICT arvutiklassi masinates .....	35
Tabel 3. VMware Horizon masina funktsionaalne test .....	36
Tabel 4. Funktsionaalne test Horizon masinas .....	37
Tabel 5. Investeeringute võrdlus .....	43

## 1 Sissejuhatus

Tallinna Tehnikaülikool pakub suurepäraseid võimalusi noorte tudengite arendamiseks ning voolib neist tulevikutehnikajad. Üks neist on näiteks arvutite ja tarkvara kasutamise võimalus mitmetes arvutiklassides üle ülikooli hoonetekompleksi. Selline võimalus on suureks toeks näiteks õpilastele, kellel on keeruline enda isiklikku arvutit kaasas kanda, parasjagu ei ole isiklikku masinat või ei ole isiklik masin piisavalt võimekas.

Kuid toetuda vaid arvutiklasside lahendusele jääb väheks, eriti kuna maailm liigub üha rohkem kaugtöö suunas, mida on suuresti mõjutanud koroonapandeemia. Viimasel paaril aastal on õppetöö suures osas toimunud distantsilt ning on olnud ka perioode, mil füüsiliselt kohapeal õppetööd läbi viia ei olnud võimalik, on vajadus ülikooli poolt pakutavate füüsiliste masinate järele tunduvalt vähenenud ning vajadus virtualiseerimise järele on hüppeliselt suurenenud.

Kui Tallinna Tehnikaülikool laiendab arvutiklasside virtualiseerimist ning eritarkvara kasutamist virtuaalmasinates võimaldaks see suuremat paindlikkust tudengitele, kes elavad ülikoolilinnakust kaugemal või hoopis teises linnas. Sellisel juhul ei teki vajadust puhtalt tarkvara kasutamise eesmärgil füüsiliselt ülikooli kohale tulla ning lisaks aja kokkuhoiule oleks ülikooli arvutiklasside ruume võimalik mõnel muul eesmärgil kasutada.

Käesolevas diplomitöös uuritakse, milline lahendus arvutite kasutamiseks on kõige mõistlikum arvestades nii finantsilist aspekti kui ka TalTech õppeainete vajadusi tarkvara kasutamise osas, mis tudengitele endale ilma arvutiklassi masina või virtuaalmasina abita kättesaadav ei ole. Lisaks hinnatakse senist arvutiklasside masinate tasuvust ning analüüsitakse, kas ja kuidas oleks kõige mõistlikum füüsilised masinad virtuaalseks viia, võrreldes erinevusi nii füüsiliste arvutite ja virtuaaltöökohtade vahel ning teenuse iseinstallimise ja sisse ostmise vahel.

## 2 Probleemikirjeldus

Seoses aina levinuma distantsõppe mudeliga ja koroonapandeemia tulemusena on TalTech'i füüsilised arvutiklassid alautiliseeritud. Pandeemiaga kaasnevatest nõuetest tulenevalt (2 + 2 reegel) ei saa arvutiklasse täies mahus kasutada. Tallinna Tehnikaülikool teeb iga-aastaseid investeeringuid, mille tasuvus on kasutatavuse vähenemisega oluliselt kukkunud.

IT osakonna arvutiklasside seadmete eest tasub Tallinna Tehnikaülikool iga aastaselt ligikaudu 120 000 eurot rendikulu ning samas on ülikoolis veel arvutiklasse, mille eest ei tasu küll TalTech'i IT osakond vaid teatud konkreetne üksus.

Arvestades arvutiklasside masinate järele vähenenud nõudlust, peaks ülikool kulutuste vähendamiseks ning õppetöö paindlikkuse suurendamiseks, kaaluma võimalusi füüsiliste masinate virtuaalseks viimist. Eriti arvestades eritarkvara kasutamist õppetöös, mida tudengid tulenevalt litsenseerimisest või muudel põhjustel enda masinasse installida ei saa, võiks kindlasti olla kättesaadav läbi virtuaalse töölaua.

Töö skoobis käsitletakse tarkvara, mida tudengid enda masinatesse paigaldada ei saa ning millised kasutusjuhud tänaste teadmiste pealt eeldaks endiselt arvutiklasside olemasolu ülikoolis ning kas ja kuidas oleks võimalik seda virtualiseerida. Töös võrreldakse funktsionaalse testimise abil ICT arvutiklasside masinate ja ülikooli tänase VMware Horizon lahenduse masinate kasutajakogemust eritarkvara kasutamise aspektist. Tulenevalt õppeainete eripäradest ja nõutetest peaks virtuaalse töölaua infrastruktuur olema agnostiline ehk toetama nii Windowsi kui ja Linuxi platvormide kasutamist.

### 3 Metoodika

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatakse metoodikaid nagu küsitlus õppejõudude seas, parimate praktikate analüüs, eksperimentide korraldamine ning võrdlev analüüs.

Tallinna Tehnikaülikooli õppejõudude seas, kelle kohta on teada, et nende õppeainetes kasutatakse või võidakse kasutada õppetöö eesmärgil eritarkvarasid, viiakse läbi küsitlus kaardistamiseks, millist eritarkvara õppetöös kasutatakse, millised oleksid nõuded eritarkvara kasutamiseks virtuaalmasinates, kuidas on seni eritarkvara kasutamine tudengitele kättesaadavaks tehtud, millised on nõuded virtuaalse töölaua lahendusele õppetöö vaatest ning kas õppejõud oleksid valmis enda ainete õppetöös kasutama virtuaalseid töökohti.

Parimate praktikate analüüsi osas uurib autor, milliseid aspekte tuleks virtuaalse töölaua infrastruktuuri loomisel silmas pidada, et implementatsioon oleks edukas ning kas ja kuidas on Tallinna Tehnikaülikool täna neid aspekte silmas pidanud. Lisaks uuritakse, kuidas toimib virtuaalse töölaua lahendus Kaunase Tehnikaülikoolis.

Eksperimentide korraldamise osas, korraldatakse nii valitud ICT maja arvutiklasside masinates kui ja VMware Horizon keskkonnas funktsionaalseid teste kaardistamiseks eritarkvara kasutatavust ja üldist kasutusmugavust tudengite vaatest.

Võrdleva analüüsi osas hinnatakse eelnevalt läbi viidud funktsionaalsete testide põhjal füüsiliste ja virtuaalsete masinate erisusi ning eritarkvara kasutamise kogemust. Lisaks hinnatakse täna kasutusel olevate arvutiklassi masinate ja VMware Horizon lahenduste tasuvust vastu Azure Virtual Desktop lahenduse tasuvust ning ka seda, kas on mõistlikum lahendus sisse osta või koos riistvarainvesteeringutega ise installida.

## 4 Virtuaalse töölaua infrastruktuur

### 4.1 Virtuaalmasinad ja nende kasutusala

VDI (*Virtual Desktop Infrastructure*) on virtualiseerimislahendus, mis võimaldab kasutada füüsilise arvuti funktsionaalsusi ilma, et kasutaja peaks sama masina juures füüsiliselt asuma. Kasutajal on võimalik virtuaalmasinasse ühenduda olenemata tema asukohast[1]. Seetõttu on virtuaalmasinate kasutamine eriti efektiivne kaugtööl, kui organisatsioon soovib hoida andmetele piiratud ligipääsu.

Virtuaalsed töölauakeskkonnad on majutatud tsentraliseeritud serveris, mis tähendab, et üks server ning käsitleb keskkondade juhtimist ja andmetöötlust. Virtuaalseid töölauakeskkondi on võimalik mugavalt skaleerida ehk virtuaalseid töölauakeskkondi luuakse vastavalt nõudmisele, Virtualiseerimislahendused võimaldavad organisatsioonidel kasutada mitmesuguseid rakendusi ja operatsioonisüsteeme ühes füüsilises serveris[2]. Virtuaalmasinad on juurdepääsetavad üle võrgu kasutades lõpp-seadet, milleks on näiteks kasutaja isiklik masin[3].

Virtuaalseid töölauid jagunevad kaheks - püsivad ja mittepüsivad. Püsiv virtuaalne töölaud võimaldab kasutajatel enda töölauda sarnaselt tavalisele töölauale, kohandada endale mugavaks ning salvestada sobivad sätted ka edaspidi kasutamiseks. Kasutaja loob sisse logides ühenduse ühe ja sama virtuaalmasinaga. Selline lahendus on populaarne näiteks töö- ja koolikeskkondades[4].

Mittepüsiv virtuaalne töölaud kujutab endast ühtsete töölaudade kogumit, mis ei ole mõeldud personaalseks kohandamiseks ja ei salvesta kasutaja valitud sätteid järgmiseks korraks. Mittepüsivad virtuaalsed töölauid naasevad peale kasutaja sessiooni algusesse olekusse. Sellist lahendust kasutatakse peamiselt keskkondades, kus kasutajad ei vaja isikupärastamise ning ei soovi, et nende teavet talletataks nagu näiteks kõnekeskuses, avalikud raamatukogud[4].

## 4.2 Virtuaalse töölaua infrastruktuur

Virtuaalne töölaua infrastruktuur võimaldab kasutajatel oma tööd teha ja teenuseid kasutada väljaspool kooli või kontorit. Selline lahendus võimaldab organisatsioonidel kasutada rakendusi ja operatsioonisüsteeme ühes füüsilises serveris andmekeskuses.

Organisatsioonidel on võimalus virtuaalse töölaua infrastruktuur üles seada luues sisemise andmekeskuse. See eeldab ulatuslikku olemasolevat infrastruktuuri - servereid, andmesalvestus lahendusi, võrgulahendusi ning juhtimistarkvara - või selle täiendamist VDI lahendustele vastavaks koostöös organisatsiooni IT toega või palgates selleks virtuaalse töölaua infrastruktuuri lahendusi pakkuva ettevõtte.

Teine võimalus, kuidas organisatsioonid saavad virtuaalse töölaua infrastruktuuri üles seada, on kasutada juba väljatöötatud VDI lahendusi ehk DAAS teenuse pakkujat (*Desktop-as-a-service*), mis on esimese variandiga võrreldes kiirem ja muretum protsess[5].

VDI arhitektuur koosneb hüperviisorist, virtuaalsetest masinatest ja ühendusvahendajast, mis võimaldab kasutajatel virtuaalsetele töökohtadele ligi pääseda.

### 4.2.1 Hüperviisor

Hüperviisor loob ja käivitab virtuaalseid masinaid selleks ettenähtud füüsilistel masinatel. Selle ülesanne on jagada füüsilised arvutiressursid igale samaaegselt jooksvale virtuaalmasinale, millel igaühel on oma operatsioonisüsteem, konfiguratsioon ja rakendused. Hüperviisor loob virtuaalsete töölauade instantsid vastavalt nõudlusele[6].

On olemas kahte tüüpi hüperviisoreid - tüüp 1, mida nimetatakse ka "*bare metal*" ja tüüp 2, mida nimetatakse ka "*hosted*". Esimest tüüpi hüperviisor on paigaldatud otse füüsilisele riistvarale ning puudub vahepealne operatsioonisüsteem puudub, on sellist tüüpi hüperviisorid kui stabiilse ja kõrge jõudlusega[6].

Teist tüüpi hüperviisor jookseb võõrustaja masinale paigaldatud operatsioonisüsteemi, mille tõttu on latentsus tunduvalt suurem võrreldes "*bare metal*" tüüpi hüperviisoriga, sest suhtlus riistvara ja hüperviisori vahel peab käima läbi operatsioonisüsteemi kihi[7].

#### 4.2.2 Virtuaalmasinad

VM (*Virtual Machine*) kasutab rakenduste käivitamiseks füüsilise arvuti asemel tarkvara ning käitub kui tegelik arvuti. Iga virtuaalmasin kasutab eraldi operatsioonisüsteemi ning toimib teistest sama füüsilise peremees masinal töötavatest virtuaalmasinatest eraldi[8].

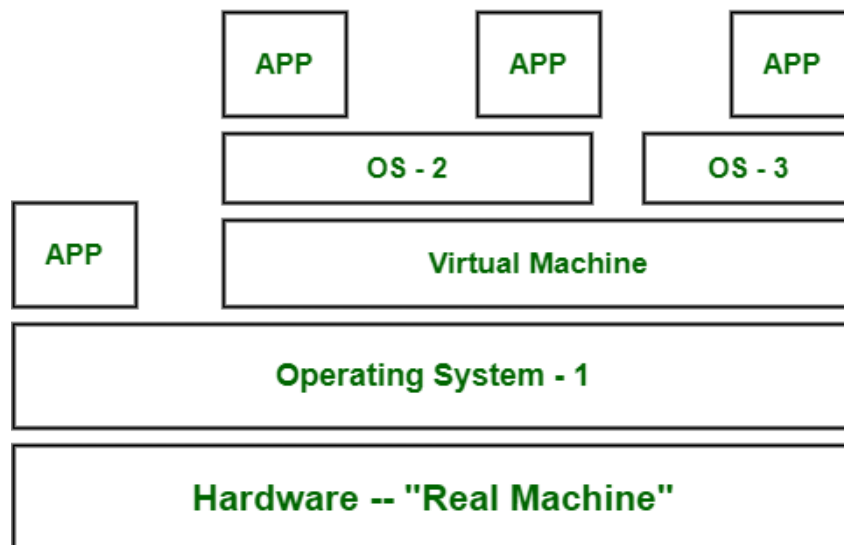
Virtuaalmasinale on ette nähtud kasutamiseks teatud hulk protsessori, mälu ja salvestusruumi ressurssidest, mis on niiõelda laenatud füüsiliselt peremeesarvutilt või -serverilt. Virtuaalsel masinal on võimalik käivitada erinevaid operatsioonisüsteeme ning tulenevalt virtuaalmasina eraldatusest ülejäänud süsteemist, ei mõjuta selles paiknev operatsioonisüsteem ja tarkvara ühenduva lõppmasina enda seadeid ega operatsioonisüsteemi talitlust[9].

On olemas kahte tüüpi virtuaalmasinaid - virtuaalmasinad, mis võimaldavad ühte protsessi rakendusena käivitada ning virtuaalmasinad, mis on loodud asendama füüsilist masinat, pakkudes pea kõiki funktsionaalsusi, mida tavaline arvuti[9].

Esimest tüüpi virtuaalmasinad pakuvad sõltumatut programmeerimiskeskonda, varjates operatsioonisüsteemi või riistvara teavet. Üheks selliseks näiteks on JVM (*Java Virtual Machine*), mis võimaldab igal operatsioonisüsteemil käivitada Java rakendusi[9]. Sellist tüüpi virtuaalmasinad ei võimalda operatsioonisüsteemi täielikku installimist vaid loob virtuaalse keskkonna koos vajalike eeldustega mõne rakenduse või programmi kasutamise ajaks, mis hävitatakse kui rakendusest väljutakse. Alltoodud joonis (Joonis 1) illustreerib, kuidas mõned rakendused töötavad operatsioonisüsteemil ning mõned töötavad loodud virtuaalmasina peal[10].



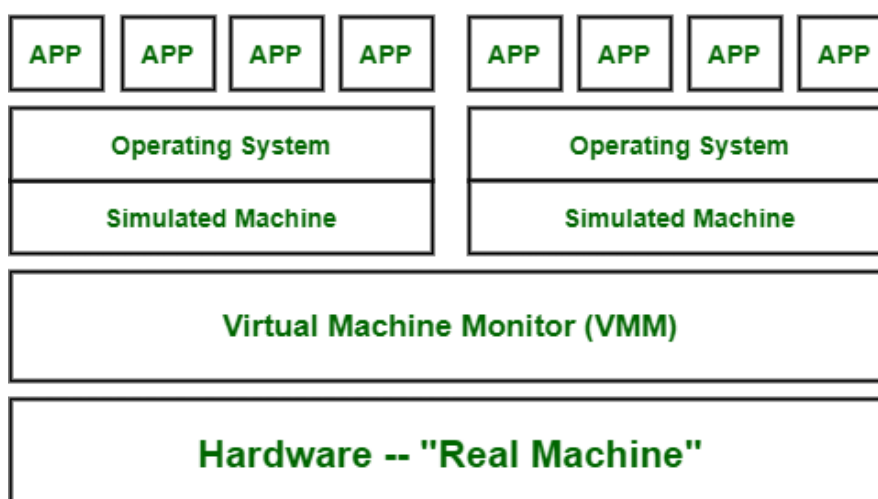
## Process Virtual Machine



Joonis 1. Process Virtual Machine[10]

Teist tüüpi virtuaalsed masinad pakuvad täielikku süsteemiplatvormi, mis toetab hostarvuti füüsiliste ressursside jagamist mitme virtuaalmasina vahel, mida korraldab hüperviisor. Igale virtuaalmasinale on võimalik installida soovitud operatsioonisüsteem ning sinna peale soovitud rakendusi (vt Joonis 2)[10].

## System Virtual Machine



Joonis 2. System Virtual Machine[10]

### **4.2.3 Ühenduse vahendaja**

Ühenduse vahendaja VDI lahendustes võimaldab lõppkasutaja seadmetel ühenduda VDI süsteemi ning pääseda ligi virtuaalsetele töölaudadele. Ühenduse vahendaja pakub sidepunkti lõppkasutaja seadme ja organisatsiooni võrgu vahel ning vastutab turvalise kaugjuurdepääsu võimaldamise eest valideerides lõppkasutaja isiku ning määrab kindlaks, millistele virtuaalsetele töölaudadele ja tarkvaradele lõppkasutajal õigus ligi pääseda on ning suunab nad vastavatesse virtuaalsetesse masinatesse[6].

### **4.2.4 Töölaua virtualiseerimise protsess**

Töölaudade virtualiseerimine toimub hüperviisori, virtualiseeritud infrastruktuuri ja ühenduse vahendaja koostöös ning see protsess kulgeb järgmiselt:[5]

1. Hüperviisor loob virtuaalmasinad ning jagab neile füüsilise masina ressursse ja skaleerib neid vastavalt vajadusele[5].
2. Administraatorid loovad, haldavad, konfigureerivad virtuaalmasinates asuvaid töölaudu ja määravad nende kasutamiseks reegleid, kasutades VDI haldustarkvara[5].
3. Kasutaja paigaldab enda personaalsesse masinasse kliendi, mis on vastava virtuaalse töölaua lahenduse pakkuja ja organisatsiooni poolt ette nähtud[5].
4. Ühenduse vahendaja (connection broker) autentib ja töötleb kasutaja taotlust virtuaalsele töölauale ligi pääseda ning seejärel suunab kasutaja ette nähtud virtuaalsele töölauale[5].

## **4.3 Virtuaalmasinate kasutamise eelised füüsiliste masinate ees**

VDI lahendused pakuvad ettevõtetele ja koolidele mitmeid eeliseid. Näiteks pakuvad VDI lahendused võimalusi vähendada füüsiliste masinate ostmist või renti ning vähendavad füüsiliste masinate riistvaranõuded, mille tulemusel vähenevad ettevõtte või kooli investeeringud kasutajatele füüsiliste masinate pakkumisel[3].

VDI aitab kaitsta organisatsiooni tundlikke rakendusi ja andmeid, lubades lõppkasutajatel kasutada enda seadmeid, muretsemata, et kasutaja isiklikud andmed organisatsiooni andmetega seguneksid ja vastupidi[4].

Virtuaalmasinate kasutamine tuleb kasuks kaugtöötamisel, mis koroonapandeemia tulemusena on jõudsalt levinud. Virtuaalsetesse töölaudadesse on võimalik ühenduda olenemata ajast ja asukohast, mis on eriti mugav lõppkasutajale. Lisaks vähendab virtuaalsete töökohtade kasutamine IT toe koormust füüsiliste seadmete haldamisel, mis omakorda tähendab, et tekib võimalus kuludelt kokku hoida.

Võttes arvesse tehnoloogia pidevat uuenemist ning vajadust kontori ja õppetöö seadmete välja vahetamise järele, võimaldab virtuaalsete töökohtade kasutamine organisatsioonis lisaks tehnilise toe ressursidele kokku hoida ka uute masinate soetamise või rentimise arvelt. Virtuaalmasinaid saab ka skaleerida vastavalt vajadusele. Kui vajadus kasvab, saab kas ajutiselt või püsivalt luua masinaid juurde ning vajaduse vähenedes neid taas sulgeda.

Oleneb muidugi ka kui suurel hulgal virtuaalseid masinaid organisatsioon vajab ning millistele nõuetele peavad need vastama. Et täpsemat tasuvust virtuaaltöökohtade kasutamisel arutada, tuleb vaadata ühe organisatsiooni vajadusi lähemalt ning leida neile vajadustele sobivaim virtuaalse töölaua lahendus.

Tallinna Tehnikaülikoolile tuleks virtuaalsete töökohtade kasutamine kasuks ka õppejõudude töökoormuse aspektist. Virtuaalsete masinate laialdasem kasutamine füüsiliste asemel tähendaks seda, et samaaegselt saaks ühel kursusel osaleda hulga rohkem tudengeid kui seni ning õppeaine, mis tulenevalt suurest hulgast tudengitest on varasemalt olnud ehk nii kevad- kui ka sügissemestril avatud, saaks sellist lahendust kasutades olla ühel neist semestritest.

#### **4.4 Virtuaalmasinate puudused füüsiliste masinate ees**

Kuigi virtuaalmasinad hoiavad füüsiliste masinate ees mitmeid eeliseid, on neil ka puuduseid. Üheks puuduseks võib olla virtuaalse töölaua infrastruktuuri lahenduste juures selle üles seadmine ja haldamine, kui VDI lahendus kasutab organisatsiooni lokaalseid servereid. Sellisel juhul kulub ka rohkem inimressurssi lahenduse vastavuse nõuetele ja töökindluse tagamisele[12]. Tulenevalt sellest, kui kvaliteetselt on infrastruktuur üles seatud, sõltub ka kui stabiilne on mitmeid virtuaalmasinaid kandva füüsilise masina jõudlus[8].

Teiseks puuduseks on virtuaalmasinate väiksem kiirus ja tõhusus võrreldes füüsilise arvutiga, mis tuleneb sellest, et nad pääsevad riistvarale juurde kaudselt. Seetõttu kasutab suur osa organisatsioone virtuaalmasinate eeliste ja puuduste tasakaalustamiseks füüsilise ja virtuaalse infrastruktuuri kombinatsiooni[8].

Kolmandaks puuduseks virtuaalmasinate puhul on internetiühendusest sõltumine. VDI lahendus nõuab pidevat, madala latentsusega ühendust vastavasse andmekeskusesse. Ideaalne latentsus oleks alla 15 millisekundi[13]. Ilma piisava internetiühendusega ei ole võimalik virtuaalmasinatesse ühenduda, ning sellel on potentsiaal kasutaja tööd pärssida. See omakorda tähendab, et mingil määral on kaugtöö asukoht limiteeritud, näiteks maapiirkondades, kus internetiühendus on nõrgem või katkendlik.

## 5 Analüüs

### 5.1 Küsitlus TalTech'i õppejõudude seas

Autor korraldas TalTechi IT teaduskonna õppejõudude seas küsitluse kaardistamiseks, kas ja millist eritarkvara õppetöös kasutatakse, millised oleksid nõuded eritarkvara kasutamiseks virtuaalmasinas, kuidas seni on eritarkvara kasutamine tudengitele kättesaadavaks tehtud, millised on nõuded virtuaalse töölaua lahendusele õppetöö vaatest ning kas õppejõud oleksid valmis enda ainete õppetöös kasutama virtuaalseid töökohti. Küsitlusel osales 13 Tallinna Tehnikaülikooli infotehnoloogia teaduskonna õppejõudu.

Läbiviidud küsitlusest selgus, et TalTech's kasutatakse infotehnoloogia teaduskonnas õppetöö läbiviimisel lisaks vabavaralistele ja tudengitele litsenseeritud rakendustele (näiteks JetBrainsi tooted) ka tarkvara, mis tudengitele endale litsentseerimise aspektist või muudel põhjustel kättesaadav ei ole. Küsitluses osalenud õppejõududest kasutab 16,6% enda aines sellist eritarkvara.

Üheks selliseks on näiteks Visual Studio Enterprise täisversioon, mida kasutatakse aines Infosüsteemide arendamine II, ning mis hetkel on installitud arvutiklasside masinatesse. Arvutiklassis kõnealuse tarkvara kasutamise võimalus on eelkõige vajalik neile õpilastele, kelle enda masinad on vanemapoolsed ja ei paku kvaliteetset tarkvara kasutuskogemust. Virtuaalse töölaua kasutamiseks antud õppeaines on õppejõud esitanud nõude – VDI lahenduses peab olema virtuaalmasinatesse eelnevalt vajalik Visual Studio klient installitud ning igal tudengil on võimalik tarkvara kasutada, olenemata tema isikliku masina võimekusest.

Teiseks selliseks TalTech infotehnoloogia õppetöös kasutatavateks eritarkvaradeks on tööstuslike kontrollrite programmeerimisel ja seadistamisel kasutatavad Siemens ACS Tool, ABTSite, Siemens TIA Portal, ABB PLC ja Aveva Edge tarkvarad, mida kasutatakse ainetes Arukad Hooned, Arukate hoonete automaatika, Protsesside Automaatjuhtimine. Seni on kõnealuseid eritarkvarasid kasutatud arvutiklassides ning COVID' tingimustes kaugühendusega Tallinna Tehnikaülikooli praktikumiklassides ICT-356 ja ICT-312. Antud tarkvara pakett on mahukas erinevate moodulite poolest ning neid ei ole mõistlik iga paari-kolme praktikumi tegemiseks tudengitel enda masinatesse

installida või on selle installimise erialane kogemus puudu. Seetõttu on õppejõud esitanud eritarkvara aspektist üheks nõudeks, sarnaselt eelnevale näitele eritarkvara kasutamisele õppetöös, eritarkvara eelnev olemasolu virtuaalmasinates.

Küsitluses osalenud õppejõududest 38% leidsid, et virtuaalmasinate efektiivseks kasutamiseks õppetöös vajab teatud nõuetele vastavust. Mõneks selliseks on lisaks ülaltoodule ka võimalus õppejõudude poolt virtuaalmasinaid ning tarkvara paindlikult semestri käigus seadistada või uuendada ning kasutuslihtsus peab olema suurem kui vajaliku tarkvara isiklikku masinasse installimine. Lisaks peab virtuaalmasin olema tudengile kättesaadav igal pool ja igal ajal. Vastanud õppejõududest ~24% ei leidnud, et õppetöö virtuaalmasinate kasutamisele nõudeid seab. Üheks põhjuseks siin võib olla asjaolu, et antud ainetes virtuaalseid töölaualahendusi nõudvat eritarkvara ei kasutata. Vastanutest 38% ei osanud küsimusele vastata.

Valmisolek õppejõudude seas virtuaalse töölaua kasutamiseks õppetöös on 54% vastanute seast. Valmisolekut virtuaalse töölaua kasutamiseks õppejõudude seas mõjutavad vajadus tarkvara järele, mida tudengitele jagada ei saa või selle installeerimine on keerukam kui virtuaalse töölaua kasutamine ning virtuaalse keskkonna pädev olemasolu koos kasutusjuhendiga enne semestri algust. Vastanud õppejõudude seast 31% ei oska öelda või pole seni õppetöös virtuaalse töölaua lahenduse vajadust näinud.

Ülejäänud 15% vastanud õppejõududest ei kasuta enda õppetöös sellist tarkvara, mis ilma arvutiklasside või VDI lahenduseta tudengitele kättesaadav ei oleks. Üheks põhjuseks, miks eritarkvara õppetöös ei kasutata, on vabavaralise tarkvara eelistamine või eritarkvarale vajaduse puudumine, tudengid saavad enda masinates kasutada kõike, mida aine õppetöök on vaja. Teiseks põhjuseks on õppetöös seadmete kasutamine, mille eelduseks on klassis füüsiline kohalolu.

### **5.1.1 Nõuded VDI lahendustele TalTech'i IT teaduskonna õppetöö vaatest**

Läbi viidud küsitlusest ning Tallinna Tehnikaülikooli infotehnoloogia osakonna talitluse juhi Edgars Žigursi poolt antud ülevaatest selgusid ka nõuded virtuaalse töölaua lahendustele ning need jagunevad funktsionaalseteks ja mittefunktsionaalseteks nõueteks.

Funktsionaalsed nõuded on kirjeldatud järgnevalt:

- Töökindlus – õppetöö ajal tehniliste tõrkeid ei esine
- Virtuaalmasin on tudengile kättesaadav olenemata asukohast ja kellaajast
- Virtuaalmasinad on võimalikult lühikese reaktsiooniajaga
- Üks pöörduspunkt, mille kaudu tudeng virtuaalmasinale ligi pääseb
- Kasutaja ei pea ise vaba masinat otsima, vaid antakse esimene vaba masin
- Õigusi saab jagada vastavalt Active Directory gruppidele ning iga tudeng näeb vaid neid ressursse, kuhu tal on õigus ligi pääseda

Mittefunktsionaalsed nõuded:

- Lihtne kasutada, tudeng ei pea ise tarkvara installima, vaid vajalik tarkvara on virtuaalmasinas eelnevalt olemas
- Lihtne seadistada - õppejõul on võimalik virtuaalseid töölaudu semestri käigus seadistada, uuendada või neile uut tarkvara installida
- Võimalik kasutada tarkvara nii nagu füüsilises arvutiski
- Lahendus võimaldab kasutada mitut monitori korraga
- Kui tudeng sulgeb ressursi, toimub automaatne arvutist väljalogimine ja ressursi vabastamine vastavalt kehtestatud reeglitele
- Klient on olemas kõigile enamlevinud platvormidele, olemas on ka veebiklient.
- Tudengi masinat ei pea üle VPN'i (*Virtual Private Network*) ligi laskma sisevõrgule, jagatav ressurss peab olema nähtav ainult Horizonsi sissepääsule.

## **5.2 Olemasolevad õppetöökäsitatavad kaugtöölahendused**

Hetkel on IT Kolledžis kasutusel mitu erinevat virtuaaltöölaua lahendust, mille kohta andis autorile ülevaate TalTech'i IT Kolledži infosüsteemide juht Siim Kruusmaa.

TalTech IT osakond hankis 2021. aasta kevadel VMware Horizon litsentsid, mis on jagatavad ning mille alusel on IT Kolledži enda ressurssidele rajatud virtuaaltöölaua lahendus. Tudengil on võimalik aadressil <https://horizongate.itcollege.ee> enda Uni-ID abil sisse logida ja kasutada IT Kolledži arvutiklassi virtuaalseid arvuteid. Peale sisse logimist on võimalik valida Windows ja Ubuntu operatsioonisüsteemi vahel ning on ka võimalus kasutada arendusrakendust Visual Studio.

Teise lahendusena on tudengitel võimalik arvutiklasside arvutitesse kaugelt ligi pääseda. IT Kolledži arvutiklasside arvutid on alates Covid pandeemia algusest muudetud eemalt ligipääsetavaks kasutades IT Kolledži VPN'i ühendust koos tudengi Uni-ID'ga ning RDP'd (*Remote Desktop Protocol*).

Kolmanda lahendusena pakub IT Kolledž õppejõududele võimalust mõni aasta tagasi loodud riistvara labori ressursi baasil provioneerida suures koguses virtuaalmasinaid, mida tudengid saavad kasutada ühe semestri jooksul kindlas õppeaines ning peale semestri lõppu kustutatakse. Selline õppeaine on näiteks ICA0009 Windowsi administreerimine, mille käigus luuakse 120 virtuaalmasinat ehk 30 komplekti, mis koosnevad kolmest serverist ja ühest kliendist. Nendele virtuaalmasinatele pääseb ligi kasutades samuti IT Kolledži VPN'i ühendust ja RDP rakendust.

Neljandaks on IT Kolledžil võimalus kasutada Rangeforce'i poolt välja töötatud virtuaallaborite süsteemi, mis töötab kolledžis kohapeal oleva riistvara alusel ning millele pääseb ligi aadressilt <https://labspace.itcollege.ee>. Täna on antud lahendusele Rangeforce toe pakkumise lõpetanud, sest on arendamas veebis vastavat süsteemi, millele pääseb ligi aadressilt <https://portal.rangeforce.com/>. Kuigi mitmed ained on viimase peale ümber kolinud, on IT Kolledžis kohapeal oleva riistvara alusel töötav lahendus on endiselt kasutusel tema teatud funktsionaalsete eeliste poolest, mis pole veel arendatavas keskkonnas realiseeritud.

TalTech'i IT-osakonna lahendustest andis autorile ülevaate Infotehnoloogia osakonna Talituse juhataja Edgars Žigurs. TalTech'i IT-osakond pakub oma kasutajatele VMware Horizon lahendust, mis kasutab ülikoolis olemasolevaid riistvara ressursse. Lahendus pakub nii Windowsi kui ka Linuxi virtuaalmasinaid ning neile pääsevad kasutajad ligi aadressilt <https://horizongate.taltech.ee>. Iga õppeaine tarbeks loob IT-osakond eraldi virtuaalmasinate mallid. VDI masinaid on täna loodud 2-3 õppeaine jaoks vastavalt õppejõudude tellimustele. Rakendusi pole eraldi virtualiseeritud.

Lisaks pakub TalTech'i IT-osakond VMware Horizon lahenduse abil ligipääsu Windowsi operatsioonisüsteemiga füüsilistele klassi tööjaamadele, mis vastavad täpselt ICT maja klasside tarkvara pildile. Lahendus on hetkel kasutusel peamiselt lisavõimalusena juhaks kui kasutajal puudub klassi arvutile füüsiline ligipääs või mingil põhjusel ei ole tal



võimalik tarkvara isiklikus masinas kasutada. IT-osakonna puhul kustutatakse virtuaalmasin pärast kasutaja väljalogimist automaatselt.

Tallinna Tehnikaülikooli poolt pakutud virtuaalse töölaua lahendus pakub täna tarkvara näol järgnevaid ressursse – Microsoft Visual Studio, Microsoft Office, Enterprise Architect, Rational Rose, pgAdmin, Oracle SQL Developer, Suse Linux Enterprise Desktop. Lisaks on virtuaalse töökoha keskkonda ühendamine ja selle kasutamine ning saadaolevad ressursid tudengitele mugavalt kirjeldatud Tallinna Tehnikaülikooli Confluence keskkonnas[14].

Lisaks virtuaalse töölaua lahenduse kasutamise ja saadaolevate ressursside kirjeldusele, leiab ka samast Confluence keskkonnast kirjelduse, juhendi, kuidas Tallinna Tehnikaülikooli arvutiklassidele edukalt kaugelt ligi pääseda ning arvutiklassi kasutamise piirangud “Arvutiklassid” alapeatüki alt. SOC, ICT ja EMERA arvutiklassides pakutav tarkvara on kirjeldatud alapeatükis “Tarkvara arvutiklassides”. Mõned näited pakutavatest tarkvaradest on Bizagi Modeler 2.9 (64 bit), Axure RP Pro 9, Arduino IDE 1.8.12 (32-bit), ArcGIS Pro 2.6.0, AutoCAD 2021, Matlab Full Suite R2019b (TAH license) ja SQL Server Management Studio. Korraga saab ühte arvutisse olla sisse logitud üks kasutaja.

Eelmainitud lahendused on erinevatel viisidel õppetöös kasutusel. Nende lahenduste kasutamine sõltub oluliselt sellest, kuidas on konkreetne õppejõud enda aine läbiviimist planeerinud. TalTechi IT-osakond juhib õppejõudude seas tähelepanu olemasolevatele lahendustele ning võimalusel ka arendavad neid arvestades õppejõudude soove ja vajadusi.

### **5.2.1 Senise lahenduse puudused**

Hetkel on Tallinna Tehnikaülikoolis kasutusel mitu erinevat kaugühenduse lahendust. See aga võib tudengites segadust tekitada, kuidas ja millistele ressurssidele on tal võimalik õppetöö eesmärgil ligi pääseda. Puudub konkreetne, üheselt mõistetav ülikooli ülene virtuaaltöölaua lahendus.

Ligipääs arvutiklasside arvutitesse üle VPN’i on tingimata hea funktsionaalsus, kuid sellel on ka puudusi. Ühte masinasse saab korraga ühenduda üks õpilane, seega korraga

saab arvutiklasside masinaid kasutada nii palju tudengeid kui on arvuteid. Täna on arvutiklasside kaugkasutus õppetöök korraldatud selliselt, et Infotehnoloogia teaduskonna dekanaadist saadetakse õppejõududele kirjeldav email, millal üks või teine õppejõud üht või teist arvutiklassi õppetöök kasutab. Arvutiklasside kaugkasutus on kellaajaliselt ja nädalate lõikes broneeritud ühele õppejõule tema õppeaines kasutamiseks. Email sisaldab ka palvet teatud perioodidel kõnealuse arvutiklassi masinaid mitte kasutada, et vältida distantsõppi sessiooni katkemist. Needsamad arvutiklassid on tegelikkuses tühjad, õpilasi füüsiliselt klassis ei ole, kuid masinad on töös ja hõivatud. Füüsiliste arvutiklasside eesmärk on pakkuda tudengitele võimalust kohapeal masinat kasutada ja seal toimetada. Siinkohal oleks mõistlikum kasutada distantsõppeks pigem VDI lahendust.

Rangeforce lahendus töötab täna nii IT Kolledžis kohapeal oleva riistvara baasil kui ka Rangeforce' poolt arendatud veebisüsteemis. Siinkohal on puuduseks Rangeforce' poolt arendatavas keskkonnas teatud funktsionaalsuste puudumine, mistõttu kasutatakse paralleelselt ka kohalikul riistvaral töötavat lahendust.

Senises lahenduses kasutatav VMware Horizon on arhitektuuriliselt mõeldud töötama selliselt, et olemasolevaid litsentse kasutavad erinevad ressursid, mida VMware nimetab *pod*-ideks. Siinkohal saab näiteks tuua, kuidas <https://horizongate.taltech.ee> ja <https://horizongate.itcollege.ee> koonduvad pilve abil ühte pöörduspunkti kokku, milleks on <https://horizon.taltech.ee>. Tulenevalt VMware piirangutest ei saa hetkel sinna alla lisada ühtegi Linuxi virtualiseeritud versiooni ning see kajastub <https://horizon.taltech.ee> osalises funktsionaalsuses ning reaalselt kasutatakse kahte eespool mainitud eri linki.

Täna TalTech'i IT-osakonna poolt pakutavatel virtuaalmasinatel puudub GPU võimekus ehk lahendus töötab hetkel olemasoleva riistvara baasil, mis ei toeta GPU kaardi lisamist. See omakorda tähendab, et rakendusi, mis nõuavad videokiirendi olemasolu on võimatu kasutada või põhjustab ebamugavat kasutajakogemust oma aegluse tõttu.

Igale õppeainele eraldi virtuaalmasina malli loomine on ajakulukas ning tekitab suure halduskoormuse ning tulevikus oleks TalTech'l oluliselt mõistlikum leida lahendus, mis koormust vähendab ning mallide hulk saaks olla võimalikult väike.

### **5.2.2 Senise lahenduse võrdlus VDI parimate praktikatega**

Virtuaalse töölaua infrastruktuuri loomisel tuleb silmas pidada mitmeid aspekte, et implementatsioon oleks edukas. Üks tähtsaim aspekt, mida silmas pidada on lõppkasutajate nõuetele vastavust[15]. Tallinna Tehnikaülikooli puhul on lõppkasutajateks peamiselt tudengid ning nende peamiseks vajaduseks on kiire ja kvaliteetne ühendus virtuaalmasinatesse, et kasutada õppetööks ettenähtud tarkvara.

Virtualiseerimise eesmärki arvestades, tuleks kindlasti silmas pidada videokiirendi kasutamise võimalust ja selle võimekust. Sest see mõjutab otseselt kasutajakogemust. Kui selline võimekus on lahendusest puudu, ei jookse nõudlikumad rakendused ootuspäraselt või ei avane sootuks. VDI masinaid luuakse õppeainete jaoks vastavalt õppejõu tellimusele, rakendusi eraldi pole virtualiseeritud. Võimalik, et rakenduste virtualiseerimisel saab riistvara võimekust efektiivsemalt jaotada ning senisest suurem arv tudengeid saab virtualiseeritud rakendusi kasutada.

Lisaks eelmainitule tuleks virtuaalse töölaua infrastruktuuri loomisel silmas pidada ka VDI võrgu ja salvestusruumi õiget projekteerimist ja suuruse määramist ning virtuaalsete töölaudade provioneerimist. TalTech'i IT-osakonna vaatest ei ole salvestusruumi otseselt ette nähtud. Tudengitel on võimalus kasutada ülikooli OneDrive'i ressursse, ülikooli koduketast või laadida failid tagasi oma isiklikku seadmesse.

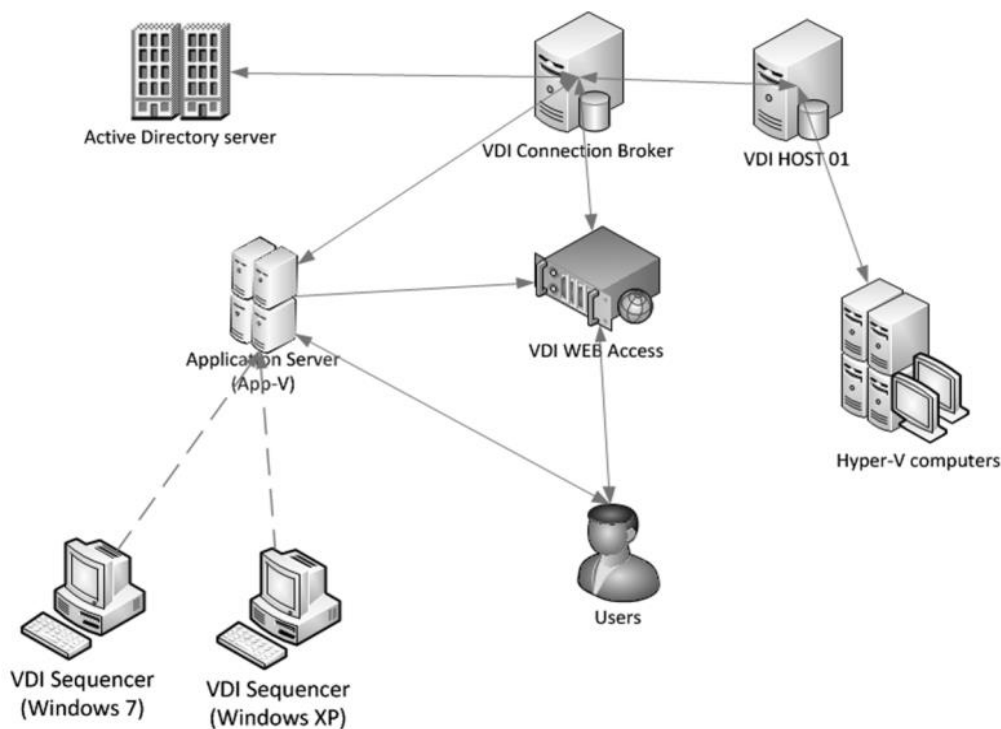
TalTech'i IT-osakonna poolt on kõik Windowsi VDI masinad mittepüsivad. Linuxi masinad on püsivad tehnilistel põhjustel, kuid ükski neist, ei ole kindla kasutajaga seotud. Täna on TalTech'i IT-osakonna vaates kasutusjuhiks pigem mittepüsivad virtuaalmasinad. Kuid IT Kolledži vaatest on riistvara labori baasil provioneeritud virtuaalsed masinad pigem püsivad, mis luuakse semestri alguses ja peale semestri lõppu kustutatakse.

### **5.2.3 Virtuaalse töölaua lahendus Kaunase Tehnikaülikoolis**

Kaunase tehnikaülikoolis on juba tööjaamade virtualiseerimise lahendused kasutusel mitmeid aastaid, et pakkuda virtuaalseid töökeskkondi nii ülikooli töötajatele kui ka tudengitele, et võimaldada neile kaugtööd.

Kasutajatel on võimalik ülikooli tarkvarale ja virtuaalsetele ressurssidele ligi pääseda üle veebi, aadressilt <http://vdi.ktu.lt> kasutades VPN (Virtual Private Network) ühendust, mis võimaldab kasutajatel teistest võrkudest ülikooli sisevõrgule ligi pääseda. Virtuaalse töölaua lahenduseks on Kaunase tehnikaülikool valinud Microsoft Hyper-V platvormi, sest Microsoft Hyper-V võimaldab juurutada Windowsi-põhiste liidestele ja üldlevinud hooldusvahenditele sarnaseid vahendeid ja infrastruktuuri[16].

Kaunase tehnikaülikoolis on artikli andmetel 2012. aasta seisuga üle 100 virtuaalse töölaua. Järgneval joonisel on kujutatud Kaunase tehnikaülikooli VDI lahenduse skeem, mis koosneb virtuaalserveritest, mis on installitud neljale füüsilisele serverile. Virtuaalserver *VDI WEB Access* vastutab virtuaalsete töölaudade ja rakenduste ligipääsetavuse eest ülikooli töötajatele ja tudengitele. *VDI Host 1* kaitseb virtuaalserveri IP-aadresse ning jaotab kasutajaliiklust (vt Joonis 3). *Application Server* haldab virtuaalseid programme, kasutades App-V serverit ja Terminali serverit. Esimene neist võimaldab kasutajal virtuaalsetele rakendustele ligi pääseda kasutades enda lõppmasinat ilma kõnealust rakendust alla laadimata. Teisel juhul kuvatakse lõppkasutajale kaugühenduse loomisel vaid rakenduse kasutajaliides[16].



Joonis 3. VDI scheme at Kaunas University of Technology[16]

Artiklis on jõutud järeldusele, et töölaudade virtualiseerimine aitab lahendada ühildumatust rakenduste ja kasutatava operatsioonisüsteemi vahel, luues näiteks virtuaalmasina, millele saab installida mõne vanema operatsiooni süsteemi ning kasutada tarvilikku rakendust sama virtuaalmasina sees. Ehk siis luues keskkonna, mis vastab rakenduse toimimise eeldustele, ilma kasutaja enda masinas muudatusi tehes. Lisaks pakuvad VDI lahendused tudengitele ja õppejõududele turvalist ja ööpäevaringset ligipääsu virtuaalsetele ressurssidele, pakkudes samu töötingimusi arvutiklassides, raamatukogudes või kodus[16].

### **5.3 Õppeainete tüüprofiili kaardistamine**

Autor võttis ühendust õppejõududega, kelle seas eelnevalt läbi viidud küsitlusest selgus, et nende õppeainetes kasutatakse õppetöö eesmärgil eritarkvara, mille installimine või kasutamine on tudengite enda masinates raskendatud. Nende õppejõudude poolt läbiviidavate õppeainete kohta kaardistati tüüprofiilid VDI lahenduse nõuete vaatest. Õppeainete tüüprofiilid käsitlevad, millist eritarkvara õppeainetes kasutatakse, kui palju on tarkvaral samaaegselt kasutajaid, kas virtuaaltöölaud peavad olema püsivad või mitte ning millised on nõuded andmete salvestamise osas.

#### **5.3.1 Äriinfotehnoloogia tarkvaraarenduse õppeained**

Tallinna Tehnikaülikooli Äriinfotehnoloogia erialal kasutatakse Visual Studio tarkvara õppetöökäsi järgmistes õppeainetes:

- ITB1701 Infosüsteemide arendamine I: baasoskused
- ITB1702 Infosüsteemide arendamine II: veebirakendused
- ITB1704 Infosüsteemide arendamine IV: hajusrakendused
- ITB2204 Infosüsteemide arendamine IV: MS Dynamics 365
- ITB1706 Infosüsteemide arendamise meeskonnaprojekt: tellimus

Igal Äriinfotehnoloogia eriala õppival üliõpilasel on vajalik kõnealust tarkvara kasutada. Igal aastal tuleb Äriinfotehnoloogia eriala õppima 70 uut õpilast ning umbes 70 lõpetab. Kokku kasutab Visual Studio tarkvara samaaegselt ligi 300 õpilast.

Täna Tallinna Tehnikaülikoolis kasutusel olev VMware Horizon lahendus küll pakub Visual Studio Enterprise 2019 tarkvara, kuid see on Äriinfotehnoloogia programmijuhi

Gunnar Piho sõnul täna õppetöök eapädev. Vaja on Visual Studio 2022 täisversiooni. Seni on Visual Studio tarkvara installitud arvutiklasside masinatesse. VDI lahenduse vajalikkus koorub Äriinfotehnoloogia programmijuhhi Gunnar Piho sõnul välja just nende õpilaste seas, kelle enda masinad on kehvad ning ei võimalda tarkvara efektiivset kasutamist ning VDI lahenduse kasutamine oleks sellisel juhul parim variant.

Virtuaalsete töökohtade osas võiksid masinad olla personaalsed, püsivad ja mitte eelinstallitud. Seda just seetõttu, et õppejõud soovib anda tudengitele võimaluse ise nokitseda, vajalikud seadistused teha, tarkvara installida ja maha installida ning oma tegevustest õppida. Virtuaalne töökoht peab olema tudengile igal hetkel kättesaadav ning tehtud töö ja andmed peavad terve semestri vältel säilima, seega mittepüsivad virtuaalmasinad antud õppeaine õppetöök ei sobi.

### **5.3.2 Inseneriteaduskonna õppeained**

Mitmetel Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna erialadel ja mikrokraadide kavades on õppetöök kasutusel kontrolleri seadistamise ja programmeerimise tarkvarad nagu Siemens TIA Portal, Siemens ACS Tool, Aveva InTouch HMI, Aveva Edge, ABB PLC ja ABTSite. Sellisteks erialadeks ja mikrokraadide kavadeks on Tallinna Tehnikaülikoolis näiteks järgnevad:

- Tootearendus ja robotika
- Elektroenergeetika ja mehhatroonika
- Arvutisüsteemid
- Arukad juhtimissüsteemid
- Hooneautomaatika ja elektroenergeetika

Tallinna Tehnikaülikooli õppetöök on kasutusel kontrolleri seadistamise ja programmeerimise tarkvarad järgmistes õppeainetes:

- IAS0190 Arukad Hooned
- ATR0135 / ATR0130 Arukate hoonete automaatika
- ATR0020 Automaatjuhtimine ja programmeeritavad juhtseadmed
- IAS0130 Protsesside automaatjuhtimine
- ISS0060 Automaatikavahendid

Igal semestril kasutab Arukad Hooned ja Arukate hoonete automaatika õppeainetes Siemensi ja KNX tarkvarasid kokku ligi 40 tudengit. Sügissemestritel osaleb õppeaines Automaatjuhtimine ja programmeeritavad juhtseadmed kuni 15 tudengit, kuid samal ajal kasutab ABB kontrollereid õppeaines Automaatikavahendid paaris-kolmes praktikumis ligi 70 kuni 100 tudengit.

VDI lahenduse aspektist on kõnealuste õppeainete raames peamine, et tudengid saaksid oma tööd virtuaalmasinast endale sobivale andmekandjale salvestada ning hiljem oma töö Moodle keskkonnas üles laadida. Sõltuvalt tarkvarast võivad projektide failid olla mahukad ning on oluline, et töö säiliks ning ei kustuks ajutises masinas peale sellest välja logimist. Seni on õppeainetes tehtud ülesandeid ja projekte individuaalselt, kuid kui õppetöö korraldus muutub ning projekte tehakse grupina, võib üks ühine salvestuskoht osutuda vajalikuks.

Virtuaalmasinate personaalsus pole õppejõu Andres Rähni sõnul oluline. Virtuaalmasinad võiksid olla kõikidele tudengitele sama konfiguratsiooniga. Arvestades õppetöö iseloomu ja tudegite vajadust kodustele ülesannetele ja projektidele pidevalt ligi pääseda ja neid uuendada, võiksid virtuaalmasinad pigem olla püsivad. See tagab suurema kasutusmugavuse tudengil jätkata tööd sealt, kus pooleli jääd.

Lisaks on õppejõud Andres Rähni välja toonud, et kui tekib vajadus praktikumide käigus virtuaalmasinatele teatud tarkvaralisi komponente lisada, on see pigem keerulisem küsimus. Seda arvesse võttes, võiks Tallinna Tehnikaülikooli virtuaalse töölaua lahendus võimaldada õppejõududel neile õppetöökse eraldatud virtuaalmasinaid mingil määral ise hallata ja tarkvara lisada.

## 6 Teostus

### 6.1 TalTech'i arvutiklasside masinate ja VDI masinate funktsionaalne test

Autor korraldas sobivates Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja arvutiklassi masinates ja ülikooli VMware Horizon lahenduse virtuaaltöölauas eritarkvara kasutamise aspektist funktsionaalse kasutajakogemuse testi, et hinnata kui mugav ja kiire on eritarkvara kasutamine mõlema lahenduse puhul. Litsentside ning ülikooli korraldusliku poole tõttu testiti Siemens TIA Portal ja Aveva Edge prooviversioone.

Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja arvutiklassi masinate ja VMware Horizon lahenduse puhul testiti ajaliselt järgmiseid funktsionaalsusi:

- Esmakordselt masinasse sisse logimine ning Windowsi töölauale jõudmiseks kulunud aeg
- Keskmine sisse logimise ja Windowsi töölauale jõudmise aeg
- Keskmine Windowsist välja logimise aeg

Testitavateks tarkvaradeks valis autor Visual Studio Enterprise 2019, Siemens TIA Portal ja Aveva Edge põhjusel, et eelmainitud sobisid hästi töö skoobis käsitletavate eritarkvarade alla, mida tudengid enda masinatesse ei saa tulenevalt litsentseerimisest installida ning vajalikul määral kasutada või ei ole tudengi masin piisavalt võimekas tarkvara efektiivseks toimimiseks. Mainitud tarkvarade puhul testiti järgmiseid funktsionaalsusi:

- Tarkvara esmane käivitamise aeg
- Tarkvara keskmine käivitamise aeg
- Näidisprojekti avanemine tarkvaral
- Näidisprojekti kasutusmugavus ja kiirus tarkvaral

#### 6.1.1 ICT arvutiklassi masin

Testitavaks arvutiklassiks valiti klass ICT-356 seetõttu, et selles klassis kasutatakse muude installitud tarkvarade kõrval õppetöökäsitluseks ka testitavaid tööstuslike kontrollerite programmeerimisel ja seadistamisel kasutatavad tarkvarasid Siemens TIA Portal ja Aveva Edge. Tarkvarasid testiti RDP ühenduse kaudu kahes erinevas ICT-356



klassi masinas põhjusel, et erinevatesse masinatesse on installitud erinev tarkvara. Masinas ict-35604k.intra.ttu.ee testiti Siemens TIA Portal tarkvara funktsionaalset kiirust ja kasutajakogemust ning masinas ict-35607k.intra.ttu.ee testiti Aveva Edge tarkvara funktsionaalset kiirust ja kasutajakogemust.

Visual Studio 2019 tarkvara testiti ICT-405 arvutklassi masinas ict-40510k.intra.ttu.ee seetõttu, et masinates ict-35604k.intra.ttu.ee ja ict-35607k.intra.ttu.ee puudus Visual Studio tarkvara. Testitava masina riistvarakonfiguratsioon on järgnev:

- Mudel: HP Elitedesk 800 G3 SFF
- Protsessor: Intel(R) Core(TM) i5-7500
- RAM: 16 GB
- GPU: Intel HD Graphics 630

Siemens TIA Portal V17 tarkvara testiti Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja arvutiklassis nr 356, masinas ict-35604k.intra.ttu.ee, seetõttu, et testitav tarkvara oli kõnealusesse masinasse eelnevalt õppetöö tarbeks installitud. Testitava masina riistvarakonfiguratsioon on järgnev:

- Mudel: HP Elitedesk 800 G3 TWR
- Protsessor: Intel(R) Core(TM) i7-7700
- RAM: 16GB
- GPU: Intel HD Graphics 630, NVIDIA GeForce GTX 1080

Aveva Edge 2020 Studio tarkvara testiti Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja arvutiklassis nr 356, masinas ict-35607k.intra.ttu.ee samuti põhjusel, et testitav tarkvara oli kõnealuses masinas eelnevalt olemas. Testitava masina riistvarakonfiguratsioon on järgnev:

- Mudel: HP Elitedesk 800 G3 TWR
- Protsessor: Intel(R) Core(TM) i7-7700
- RAM: 16GB
- GPU: Intel HD Graphics 630, NVIDIA GeForce GTX 1080

Tabel 1. ICT arvutiklassi masinate funktsionaalne test

<b>Funktsionaalne test</b>	<b>ict-35604k.intra.ttu.ee</b>	<b>ict-35607k.intra.ttu.ee</b>	<b>ict-40510k.intra.ttu.ee</b>
Esmakordne masinasse sisse logimine (s)	85	90	84
Windows sisse logimine - Töölaua avanemine (s)	5	9	8
Windows välja logimine (s)	17	11	9

Windows' sisse logimise kiirust mõõdeti alates hetkest kui kasutajatunnus ja parool on sisestatud ja sisse logimine on alustatud. Windowsist välja logimise kiirust mõõdeti alates hetkest, mil kasutaja valib Start menüüst *Sign out* kuni hetkeni, mil kasutaja on arvutist välja logitud.

Masinasse ict-35604k.intra.ttu.ee esmakordne sisse logimine ja Windows töölaua avanemine võttis aega ligikaudu 85 sekundit. Keskmiseks ajaks, mis kulus kõnealusesse masinasse sisse logimiseks, saadi ligikaudu 5 sekundit ning keskmiseks väljalogimise ajaks saadi ligikaudu 17 sekundit(Tabel 1).

Masinasse ict-35607k.intra.ttu.ee esmakordselt sisse logides, kulus Windowsi töölauale jõudmiseks ligi 90 sekundit, keskmiseks Windowsisse sisse logimise ajaks saadi ligikaudu 9 sekundit ning keskmiseks väljalogimise ajaks saadi ligikaudu 11 sekundit(Tabel 1).

Esmakordne sisse logimine ja Windowsi töölauale jõudmine võttis ict-40510k.intra.ttu.ee masina puhul aega ligi 84 sekundit ning keskmiseks Windows' sisse logimise ajaks saadi ligikaudu 8 sekundit. Keskmiseks Windowsist väljalogimise ajaks saadi ligikaudu 9 s(Tabel 1).

Tabel 2. Funktsionaalne test ICT arvutiklassi masinates

<b>Funktsionaalne test</b>	<b>Visual Studio 2019</b>	<b>Siemens TIA Portal V17</b>	<b>Aveva Edge 2020 Studio</b>
Arvutiklassi masin	ict-40510k.intra.ttu.ee	ict-35604k.intra.ttu.ee	ict-35607k.intra.ttu.ee
Tarkvara avanemine esmakordselt (s)	249	30	15
Tarkvara avanemine peale selle sulgemist (s)	4	10	3
Näidisprojekti avanemine peale tarkvara käivitamist (s)	13	6	0
Näidisprojekti kasutuskogemus	sujuv	sujuv	sujuv

Visual Studio 2019 tarkvara testimisel ICT-405 arvutiklassi masinal saadi tarkvara esmakordse avanemise kiiruseks 249 sekundit ning keskmiseks tarkvara avanemise kiiruseks 4 sekundit. Võrreldes tarkvara esmakordse avanemise kiirust hilisema taasavanemise kiirusega, on esimene teisest ligi 62 korda suurem. Seda tõenäoliselt seetõttu, et taustal jooksevad protsessid tarkvara kasutusvalmis seadistamiseks. Näidisprojektina kasutati Visual Studio 2019 tarkvara kasutusmugavuse testimiseks juhuslikult valitud koodikogumit internetist, milleks sai Spotify GitHubi repositoorium nimega “Volcano”[17]. Keskmine ajakulu näidisprojekti avamisel oli ligikaudu 13 sekundit. Üleüldine kasutuskogemus oli sujuv, teksti kirjutamine ei toimunud viitega, koodi üles-alla kerimine oli samuti sujuv(Tabel 2).

Siemens TIA Portal tarkvara V17 ICT-356 arvutiklassi masinal testimisel saadi järgnev tulemus. Siemens TIA Portal tarkvara esmakordne avanemine võttis aega 30 sekundit, ning tarkvara avanemine peale selle sulgemist oli esimese avanemisega võrreldes poole kiirem, keskmine Siemens TIA Portal tarkvara avanemise kiirus peale selle sulgemist oli ligikaudu 10 sekundit. Näidisprojektina kasutati Siemens TIA Portal tarkvara testimiseks elektroonilise liikumise juhtimise tooteid ja süsteeme tootva ettevõtte Kollmorgen

ametlikku näidisprojekti TG400[18]. Näidisprojekti esmakordne avanemine võttis oluliselt kauem aega kui selle taasavanemine peale mitut katset, seda seetõttu, et projekti esmakordsel avanemisel installis tarkvara projekti avamiseks vajalikud GSD failid. Kokku võttis näidisprojekti avanemine Siemens TIA Portal tarkvaras 121 sekundit, kuid sama projekti järgnevatel kordadel avanemine andis tulemuseks keskmiselt ligikaudu 6 sekundit. Näidisprojekti kasutuskogemus tõestas end sujuvana ning testimisel ebamugavust ei täheldatud(Tabel 2).

ICT maja arvutiklassi masinas ict-35607k.intra.ttu.ee testitud Aveva Edge 2020 Studio tarkval kulus esmakordseks avanemiseks 15 sekundit, teistest testitavatest tarkvaradest kõige vähem ning keskmiseks tarkvara avanemise kiiruseks saadi testimise tulemusena 3 sekundit. Aveva Edge 2020 Studio tarkvaral on prooviversiooniga näidisprojekt juba kaasas ning see avatakse kasutajale juba koos tarkvara enda käivitamisega, seega näidisprojekti avamise aeg peale tarkvara käivitamist on 0 sekundit. Üldine tarkvara kasutuskogemus oli sujuv, ebamugavusi ja probleeme autor testimise käigus ei täheldanud(Tabel 2).

### 6.1.2 VMware Horizon masin

Tallinna Tehnikaülikooli VMware Horizon keskkonnas on tänu ülikooli toele loodud autorile testimiseks masin koos testitavate tarkvaradega Siemens TIA Portal ja Aveva Edge.

Tabel 3. VMware Horizon masina funktsionaalne test

<b>Funktsionaalne test</b>	<b>Aeg (s)</b>
Masina käivitamine ning Windows töölauale jõudmine	22
Windows sisse logimine	0
Windows Sign Out	6

VMware Horizon VDI masina käivitamine ning jõudmine töölauale võtab aega ligi 22 sekundit ning tulenevalt sellest, et Horizon masin ei küsi Windows' sisse logimist, Uni-ID ning parool sisestatakse Horizon keskkonda sisse logimisel, ei ole Windows sisse

logimine otseselt mõõdetav. Windows' välja logimise ajaks mõõdeti VMware Horizon masina puhul ligi 6 sekundit (Tabel 3).

Tabel 4. Funktsionaalne test Horizon masinas

<b>Funktsionaalne test</b>	<b>Visual Studio 2019</b>	<b>Siemens TIA Portal V17</b>	<b>Aveva Edge 2020 Studio</b>
Tarkvara avanemine esmakordselt (s)	131	56	24
Tarkvara avanemine peale selle sulgemist (s)	4	21	8
Näidisprojekti avanemine peale tarkvara käivitamist (s)	6	11	0
Näidisprojekti kasutuskogemus	koodi/ teksti kirjutamine sujuv, kerimine katkendlik	Üldiselt sujuv, kuid kohati pikem viiteaeg kui ootaks	sujuv

Visual Studio 2019 tarkvara testimisel ülikooli VMware Horizon keskkonnas, kasutades masinat nimega “VDI - VisualStudio”, saadi tarkvara esmakordse avanemise kiiruseks ligi 131 sekundit, mis võrreldes ICT arvutiklassi masinas testituga on pea poole vähem. Visual Studio 2019 tarkvara keskmiseks avanemise kiiruseks saadi testimise tulemusena ligikaudu 4 sekundit. Näidisprojektina kasutati VMware Horizon keskkonnas sama GitHub repositooriumi “Volcano” nagu katsel ICT arvutiklassi masinaga ning projekti keskmiseks avanemise kiiruseks peale tarkvara käivitamist saadi ligikaudu 6 sekundit [16]. Üleüldise kasutuskogemuse kohta võib öelda, et saaks paremini. Koodi või teksti kirjutamine tõestas ennast sujuvana, kuid näiteks koodi üles-alla kerimine oli katkendlik (Tabel 4).

Siemens TIA Portal ja Aveva Edge tarkvarasid testiti ülikooli VMware Horizon lahenduses eraldi testimise eesmärgil TalTechi Infotehnoloogia osakonna talitluse juhi Edgars Žigurs poolt loodud masinas „Horizon - Test1“. Selle masina riistvarakonfiguratsioon on järgnev:

- Mudel: VMware 7,1

- Protsessor: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2640
- RAM: 8 GB
- GPU: VMware Horizon Indirect Display Driver

Siemens TIA Portal tarkvara esmakordne avanemine VMware Horizon masinas võttis aega ligi 56 sekundit, mis on eelnevast ICT arvutiklassi masinas testitud 26 sekundi võrra aeglasem ning keskmine tarkvara avanemise kiirus on ligikaudu 21 sekundit, mis on ligikaudu 2 korda rohkem kui ICT arvutiklassi masinas testitud. Ka VMware Horizon masinas kasutati Siemens TIA Portal tarkvara kasutusmugavuse testimiseks näidisprojektina elektroonilise liikumise juhtimise tooteid ja süsteeme tootva ettevõtte Kollmorgen ametlikku näidisprojekti TG400[17]. Näidisprojekti avanemiseks vajalike GSD failide installimine ning selle esmakordne avanemine võttis ülikooli VMware Horizon keskkonnas aega 232 sekundit, mis on pea kaks korda rohkem kui ICT arvutiklassi masinas testitud tulemus. Sama projekti avamine järgnevatel kordadel andis tulemuseks keskmiselt 11 sekundit, mis on ligi 5 sekundi võrra aeglasem ICT arvutiklassi masinas testitud. Näidisprojekti kasutuskogemuse osas oli kohati tunda, et mõne kliki tegemisel mõtleb rakendus veidi kauem, kuid üleüldiselt on tarkvara kasutatav ka VMware lahenduses(Tabel 4).

Aveva Edge 2020 Studio tarkvara esmakordne avanemine võttis VMware Horizon masinas aega 24 sekundit, mis on siiski hea tulemus, kuid 9 sekundi võrra aeglasem võrreldes ICT klassi masinas tehtud testi tulemusega. Testimise tulemusena saadi Aveva Edge tarkvara keskmiseks avanemise kiiruseks ligikaudu 8 sekundit, mis on veidi üle kahe korra aeglasem võrreldes sama tarkvara tulemust ICT arvutiklassi masinas tehtud mõõtmistega. Aveva Edge tarkvaral, nagu eelnevalt mainitud, on näidisprojekt juba kaasas ning see avatakse koos tarkvara enda käivitamisega, mistõttu näidisprojekti avamise aeg peale tarkvara käivitamist on 0 sekundit. Üldine tarkvara kasutuskogemus oli sujuv, ebamugavusi autor testimise käigus ei täheldanud(Tabel 4).

### **6.1.3 Tulemus**

Kui võrrelda valitud tarkvarade kasutajakogemuse testimise tulemusi Tallinna Tehnikaülikooli ICT maja arvutiklassi masinate ja ülikooli VMware Horizon masina vahel, tuleb välja, et kaks kolmest testitud tarkvarast pakkusid mugavamalt kasutajakogemust ülikooli ICT maja arvutiklassi masinates kui ülikooli VMware Horizon

keskkonnas. Siemens TIA Portal ja Aveva Edge tarkvarade esmakordne avanemine oli ICT maja arvutiklassi masinates vastavalt ligikaudu 1,86 ja 1,6 korda kiirem kui ülikooli VMware Horizon keskkonnas. Ning ka keskmine tarkvara käivitamise ja avanemise kiirus mõõdeti ICT maja arvutiklassi masinas nii Siemens TIA Portal puhul 2,1 korda kui ka Aveva Edge puhul 2,6 korda väiksem kui Horizon keskkonnas. Seejuures ka näidisprojekti kasutuskogemus oli sujuvam ja täheldati vähem ebamugavusi kui Horizon masinas. Kuid Visual Studio tarkvara toimis kasutuskogemuse poolest paremini VMware Horizon masinas “VDI - VisualStudio”, kus tarkvara esmane avanemise kiirus oli ICT arvutiklassi masinaga võrreldes ligi 1,9 korda kiirem.

## 7 Tasuvusanalüüs

### 7.1 Senise lahenduse tasuvuse hindamine

Tuleb arvestada ka paralleelselt virtuaalmasinaid kasutavate tudengite arvuga ning tagada, et lahendus ka vastu peab. TalTech'i IT-osakonna juhataja Raul Hansoni sõnul on hetkel VMware Horizoni litsentse ostetud IT-osakonna ja IT Kolledžiga kokku summas 11 472 eurot, 50le kasutajale. Kasutajate ootel on üldjuhul alati 2-3 vaba masinat. Võrreldes arvutiklasside kasutusega jääb 50 VDI kasutuslitsentsi ülikooli vajadusi arvestades väheseks ning juhul kui paralleelne kasutus peaks kasvama näiteks 500 kasutajani, tuleks hetkel VDI lahendust toetav ülikooli riistvaralahendus kasutusega vastavusse viia.

VMware Horizon lahendusel kasutatakse riistvarana vana serveriklastrit ning liisingu perioodi lõppedes jääkväärtusega välja ostetud arvutiklasside arvuteid, eraldi investeeringut VDI riistvarasse pole tehtud. Arvutiklasside masinate ja seadmete rendikulu IT-osakonnas on ligikaudu 120 000 eurot aastas. Samas on ülikoolis veel arvutiklasse, mille eest ei tasu IT-osakond vaid teatud konkreetne üksus.

Tallinna Tehnikaülikooli Infotehnoloogia osakonna talitluse juht Edgars Žigurs andis autorile sisendi, et arvutiklassi ühe masina ja monitori nelja aasta rent on ligi 10 – 11 eurot kuus. Arvestades, et ühe arvuti rent ühes kuus on 6 eurot, arvutas autor võimaliku arvutiklassi arvutite hulga. Ühe arvutiklassi masina peale ühe aasta kohta peaks kuluma 6 eurot korda 12 ehk 72 eurot. Arvestades, et rendiperiood on neli aastat saadakse ühe masina kuluks nelja aasta kohta 72 eurot korda 4 aastat ehk 288 eurot. Kui Tallinna Tehnikaülikool kulutab aastas IT-osakonna arvutiklassi seadmete rendile ligi 120 000 eurot ja eeldades, et arvuti ja monitori hinnad on sarnased, saab arvutada ligikaudse arvutiklasside masinate arvu, jagades pool aastastest kulus ühe masina kuluga aastas ehk 60 000 / 72. Ligikaudselt on Tallinna Tehnikaülikoolis 120 000 euro suuruse rendikulu eest 833 masinat ja 833 monitori.

TalTechi Infotehnoloogia osakonna talitluse juhi Edgars Žigurs' sõnul on täna arvutiklasside korruga utiliseeritust väga raske hinnata, kuid kogutakse statistikat arvutiklasside masinate sisselogimise kohta. Allpool on näha Tallinna Tehnikaülikooli IT-osakonna arvutiklasside Windowsi põhiste masinate kasutamise statistikat 2022. aasta



Jaanuarist algusest kuni 2022. aasta aprilli alguseni. Statistika Linux operatsioonisüsteemi kasutusest arvutiklassides puudub.

Ruumi number	Kasutamiste arv klass
ICT-501	1065
ICT-121	666
ICT-401	654
ICT-122	374
ICT-405	250
ICT-402	200
ICT-404	164
ICT-403	153

Joonis 4. TalTech'i IT-osakonna Windowsipõhiste arvutiklasside masinate kasutamise statistika(kuvatõmmis meilisuhtlusest TalTech Infotehnoloogia osakonna Talitluse juhataja Edgars Žigurs'ga)

Täna kasutusel oleva VMware Horizoni lahenduse kohta on võimalik öelda, et viimase kuu jooksul on olnud 30 unikaalset kasutajat ning samaaegsete kasutajate senine rekord on 10. Tavaline VMware Horizoni masinate samaaegsete kasutajate hulk on 1-2 kasutajat päevas.

Arvestades ülaltoodud ICT maja arvutiklasside masinate kasutamise statistikat 2022. aasta 3 esimese kuu kohta, tegi autor kogukasutuse kohta järgnevad arvestused:

- 3526 arvutiklassi masina kasutust 3 kuu jooksul
- 1175 arvutiklassi masina kasutust 1 kuu jooksul
- 168 arvutiklassi kasutust nädalas
- 34 arvutiklassi kasutust ühes tööpäevas

Ning arvestades, et õppeaasta kestab keskmiselt 8 kuud, saadi aastaseks arvutiklasside kasutuseks ligikaudu 9400 korda. Sama statistika põhjal arvestati ligikaudne arvutiklassi masinate kasutamise tundide arv, milleks saadi ligi 1763 tundi, arvestades 1175 kasutuskorda ühe kuu jooksul ning keskmist praktikumitunni kestust 1,5h. Arvutatud ligikaudne arvutiklassi masinate kasutamise tundide arv on sisendiks järgnevas peatükis Azure Virtual Desktop teenuse maksumuse arvutamiseks. Täna ei ole Tallinna Tehnikaülikoolis olnud plaane VMware Horizon lahenduse laiendamiseks.

## 7.2 Analüüs teenuse sisse ostmise ja iseinstallimise vahel

Arvestades, et Tallinna Tehnikaülikooli IT-osakonnas on arvutiklassides keskmiselt 25 masinat ning Windowsipõhiste arvutiklasside masinate kasutamise statistikat arvestades on arvutiklasse 8 (Joonis 4), saadi mõlema väärtuse korrutisena võimalike samaaegsete kasutajate arvuks 200.

Tallinna Tehnikaülikoolil on Microsoft Azure'ga olemasolev leping, mistõttu uurib autor võimalikku Azure Virtual Desktop lahenduse maksumust 200 kasutaja ja 1763 kasutustunni puhul, et võrrelda vastu tänast arvutiklasside lahenduse maksumust. Arvutamisel kasutati Microsoft Azure poolt pakutud indikatiivset teenuse maksumuse kalkulaatorit[19]. Lisaks on Azure Virtual Desktop teenuse puhul võimalik tasuta minutite eest, mil virtuaalmasinaid kasutati, mistõttu võimaldab see lahendus maksta ainult nii palju, kui on teenusele vajadust, kuid on ka võimalik valida reserveeritud instantsid, mille puhul üheks aastaks reserveeritud instantside valikul on võimalik säästa ligi 40%.

Tänane VMware Horizon litsentside ostmise nõuab ülikoolilt 50 kasutaja kohta 11 472 eurot aastas. 200 kasutaja kohta aastas oleks VMware Horizon lahenduse hind neljakordne, ehk 45 888 eurot. VDI lahenduse isetegemisel tuleb lisaks VMware Horizon litsentside hinnale juurde arvestada ka korraliku riistvaraklastri investeringukulu, mis kolme keskmiselt 40 000 eurot maksva serveri kohta on 120 000 eurot. Kokku saab virtuaalse töölaua lahenduse isetegemise esmaseks investeringuks koos klastri ja 200 VMware Horizon litsentsiga ligi 165 888 eurot, millest ligi 72% kulub korraliku riistvaraklastri soetamisele(Joonis 5). Arvestades, et igal aastal ei ole tarvis uut riistvaraklastrit soetada, vaid klaster soetatakse tavaliselt 5 aasta peale, saab VMware Horizon lahenduse kolme aasta maksumuseks indikatiivselt 257 664 eurot.

Täna kulutatakse iga-aastaselt arvutiklasside masinate ja seadmete rendile ligi 120 000 eurot ning kolme aasta jooksul kokku ligi 360 000 eurot. Azure Virtual Desktop lahenduse maksumust arvutatakse 200 kasutaja ja TalTech IT-osakonna Windowsipõhiste arvutiklasside masinate kasutamise statistika põhjal eelnevalt arvutatud 1763 kasutustunni kohta kuus. Azure Virtual Desktop lahenduse maksumuse arvutamiseks eelmainitud tingimustel võttis autor lahenduse aastase maksumuse 200 kasutaja ja 700 kasutustunni kohta (Joonis 5) ning leidis kordaja 1763 ja 700 vahel. Azure

Virtual Desktop lahenduse maksumuseks, 200 kasutaja ja 1763 kasutustunni kohta, saadi indikatiivselt 67 252,66 eurot ühe aasta kohta ning 201 757,97 eurot kolme aasta kohta, mis on keskmiselt ligi 44% soodsam võrreldes senise arvutiklassi masinate rendihinnaga.

#### Cost Per User

 The effective cost per user per month is €2.39 based on the above configuration. Actual costs may vary based on service usage.

[View Cost Per User Breakdown](#)

#### Virtual Machines (Compute)

€2,225.22 ÷ 200 = €11.13  
Per month Users Per user per month

#### Managed Disks

€477.07 ÷ 200 = €2.39  
Per month Users Per user per month

#### File Storage

€0.00 ÷ 200 = €0.00  
Per month Users Per user per month

#### Bandwidth

€0.00 ÷ 200 = €0.00  
Per month Users Per user per month

#### Total Cost per User

€477.07 ÷ 200 = €2.39  
Per month Users Per user per month

Upfront cost €26,702.70  
 Monthly cost €477.07

Joonis 5. Indikatiivne kuluarvutus Azure Virtual Desktop teenuse kohta 200 kasutaja ja 700 kasutustunni puhul aastase maksega[19]

Tabel 5. Investeeringute võrdlus

	Arvutiklassi seadmete rendikulu	VMware Horizon lahendus ülikoolisiseselt	Azure Virtual Desktop lahendus.
Kasutajate arv	200	200	200
Kasutustunnid kuus	-	-	1763
Serverikulu	-	120 000 €	-
Iga-aastane litsentsikulu	-	45 888 €	67 252,66 €
1 aasta kulu kokku	120 000 €	165 888 €	67 252,66 €
3 aasta kulu kokku	360 000 €	257 664 €	201 757,97 €

Tehtud indikatiivseid arvutusi vaadates, paistab, et Tallinna Tehnikaülikoolil on võimalus Azure Virtual Desktop lahendust, 200 kasutaja ja 1763 kasutustunniga kuus, arvutiklasside masinate asemel kasutades, säästa ligi 52 747,34 eurot aastas(Tabel 5). Ning senisest VMware Horizon lahendusest, arvestades lahenduse maksumust 200 kasutaja kohta, oleks sama Azure Virtual Desktop lahendus ligi 98 635,34 euro võrra aastas soodsam(Tabel 5).

## 8 Kokkuvõte

Tõenäoliselt on üheks ülikoolis kasutatava VMware Horizon lahenduse märgatava aegluse, võrreldes ICT maja arvutiklasside masinatega, põhjuseks asjaolu, et lahendus on rajatud ülikooli vanadele välja ostetud arvutiklasside masinatele ja vanale serveriklastrile ning eraldi investeeringut VDI riistvarasse pole tehtud. Tänapäevaks on kaugtöö saanud oluliseks osaks inimeste töö- ja koolielus ning pole kahtlust, et see jääb ja areneb edasi ka tulevikus. Virtuaalsete töölaudade kasutamine võimaldab ettevõtetel ja koolidel säästa füüsiliste arvutite arvelt.

Täna on Tallinna Tehnikaülikoolis arvutiklassid lisaks füüsilisele kasutamisele, kasutuses ka kaugelt üle RDP ühenduse. See tekitab probleemi, kus tudeng ei saa klassis kohapeal masinat kasutada, sest see on hõivatud mõne kaugõppija poolt. Masinad on töös ja hõivatud, kuid arvutiklassi masinad ise paistavad justkui vabad. Sellisel puhul on mõistlik kaaluda distantsõppe tarbeks VDI lahenduse kasutamist.

Tänapäevane VMware Horizon lahendus ei ole autori hinnangul piisav nii riistvaraklastrile kui ka kasutusmugavuse poolest, et toetada ja võimaldada efektiivset Tallinna Tehnikaülikooli õppetöös eritarkvarade kasutamist kaugelt. Tasuvuse aspektist paistab tehtud indikaatorite arvutuste poolest Azure Virtual Desktop lahendus etem, seda juba seetõttu, et lahendus on isegi 4 kordse kasutajate arvu puhul soodsam kui VMware Horizon lahendus. Lisaks võiks kaaluda sellise VDI lahenduse loomist, mis võimaldaks õppejõududel enda aine raames talle väljastatud virtuaalmasinatesse ise vajalikke tarkvaralisi muudatusi teha.

Tallinna Tehnikaülikooli puhul näeb autor, et arvutiklassidel on potentsiaali muutuda tööjaamadeks, kus puuduvad füüsilised masinad, kuid on olemas monitorid ja dokid, kuhu saab iga tudeng enda masina ühendada ja seeläbi liikuda kaasa BYOD (*Bring your own device*) lahendusele. Lisaks tekib ülikoolil võimalus kasutada utiliseerimata arvutiklasse mõnel muul otstarbel, näiteks kui tekib vajadus rohkematele loenguklassidele või koosolekuruumidele.

## Kasutatud kirjandus

- [1] – „Virtual Desktop Infrastructure (VDI)“, <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/virtual-desktop-infrastructure-vdi.html> [Kasutatud 12.02.2022]
- [2] – „What is Virtual Desktop Infrastructure (VDI)?“, <https://www.ibm.com/cloud/blog/what-is-virtual-desktop-infrastructure> [Kasutatud 12.02.2022]
- [3] – „What is virtual desktop infrastructure (VDI)?“, <https://www.netapp.com/virtual-desktop-infrastructure/what-is-virtual-desktop-infrastructure/> [Kasutatud 12.02.2022]
- [4] – „What is virtual desktop infrastructure (VDI)?“, <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-virtual-desktop-infrastructure-vdi/#what-is-vdi> [Kasutatud 12.02.2022]
- [5] – „Complete Guide to Virtual Desktop Infrastructure (VDI), Desktop as a Service (DaaS) and Hosted Desktops“, <https://albatross.cloud/complete-guide-to-vdi%2C-desktop-as-a-service-daas%2C-and-remote-apps.html> [Kasutatud 12.02.2022]
- [6] – „VDI Architecture: The Basics and Two Real-Life Examples“, <https://www.hysolate.com/learn/vdi/vdi-architecture-the-basics-and-two-real-life-examples/> [Kasutatud 15.02.2022]
- [7] – „What is a hypervisor?“, <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/hypervisor.html#:~:text=There%20are%20two%20main%20hypervisor,system%2C%20like%20other%20computer%20programs> [Kasutatud 15.02.2022]
- [8] – „What is a virtual machine?“, <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/virtual-machine.html> [Kasutatud 01.03.2022]
- [9] – „What is a virtual machine (VM)?“, <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-a-virtual-machine/#how-do-work> [Kasutatud 03.03.2022]
- [10] – „Types of Virtual Machines“, <https://www.geeksforgeeks.org/types-of-virtual-machines/> [Kasutatud 02.03.2022]
- [11] – „7 Reasons Why VDI is Built for Remote Work“, <https://blog.whitehatvirtual.com/7-reasons-why-vdi-is-built-for-remote-work> [Kasutatud 03.03.2022]

[12] – „Should you use VDI in your organization? Pros, cons, and key considerations“, <https://wire19.com/should-you-use-vdi-in-your-organization/>  
[Kasutatud 07.03.2022]

[13] – „The Work from Home Dilemma: VDI or Laptop?“, <https://www.ctera.com/company/blog/work-from-home-dilemma-vdi-or-laptop/>  
[Kasutatud 11.03.2022]

[14] – „Virtuaalne töölaud / Virtual Desktop“, <https://confluence.ttu.ee/it-info/it-arvuti-ja-oppetoeekoht/virtuaalne-toeolaud-virtual-desktop> [Kasutatud 11.03.2022]

[15] – „VDI deployment best practices: A guide“, <https://cloudcomputing-news.net/news/2018/may/09/vdi-deployment-best-practices-guide/> [Kasutatud 11.03.2022]

[16] R. Miseviciene, D. Ambraziene, R. Tuminauskas, and N. Pazereckas, "Educational infrastructure using virtualization technologies: Experience at kaunas university of technology," Informatics in Education, vol. 11, pp. 227–240, 2012.  
[Kasutatud 03.03.2022]

[17] – „Spotify/ Volcano“, <https://github.com/spotify/volcano> [Kasutatud 13.04.2022]

[18] – „Sample Projects for Siemens S7-1200 / S7-1500 PLC's and the AKD Profinet Drive“, <https://www.kollmorgen.com/en-us/developer-network/sample-projects-siemens-s7-1200-s7-1500-plcs-and-akd-profinet-drive/>  
[Kasutatud 13.04.2022]

[19] – „Pricing calculator, Azure Virtual Desktop“, <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/calculator/> [Kasutatud 15.04.2022]

## **Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Maria Torop

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Analüüs TalTech’i arvutiklasside virtualiseerimisest“, mille juhendaja on Siim Vene
  - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

21.04.2022

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.



## Lisa 2 – Küsitlus TalTech'i IT teaduskonna õppejõudude seas

### Analüüs TalTech'i arvutiklasside virtualiseerimisest

Kirjutan bakalaureuse lõputööd teemal "Analüüs TalTech'i arvutiklasside virtualiseerimisest" ning palun Teil, TalTech'i IT-teaduskonna õppejõududel vastata allolevatele küsimustele, et enda lõputöö raames uurida, millised võimalused ja nõuded on virtuaalsete töölaudade kasutamisele TalTech'i õppetöös.

Palun sisestage ka email, mille kaudu saaksin Teiega küsimuste tekkimisel ühendust võtta.

Tänan,  
Maria Torop

mmariatorop@outlook.com [Switch account](#)



\* Required

Email \*

Your email

Õppeaine nimetus \*

Your answer

Kas ja millist eritarkvara Teie õppeaines kasutatakse, mida tudengitel ei ole võimalik enda isiklikest masinatest kasutada? \*

Your answer

Kas ja millised on nõuded kõnealuse eritarkvara kasutamisele? \*

Your answer

---

Kuidas on seni kõnealuse eritarkvara kasutamine tudengitele kättesaadavaks tehtud? \*

Your answer

---

Millised oleksid nõuded virtuaalse töölaua lahendusele, et see toetaks õppetööd maksimaalselt? \*

Your answer

---

Kas Teie õppeaine õppetööd oleks võimalik läbi viia kasutades virtuaalset töölauda ning kas oleksite valmis seda ka kasutama? \*

Your answer

---

# Lisa 3 – VMware Horizon tellimuse arve 1 aasta kohta

**Maksja:**

Tallinna Tehnikaülikool  
Ehitajate tee 5  
19086 Tallinn  
Eesti

**Kauba saaja:**

Tallinna Tehnikaülikool  
Ehitajate tee 5  
19086 Tallinn  
Eesti

# ATEA

**ATEA AS**  
Järvevana tee 7b  
10112 Tallinn

KM Reg. Nr. EE100224841  
Reg. Nr. 74000323  
Elton Veide

KM Reg. Nr. EE100050882  
Reg. No. 10088390

Telefon +372 610 5920  
E-Post info@atea.ee  
www.atea.ee

**Arve nr. IT0046771**  
29. Juuli 2021

Tellimuse Nr. SU061771

Nr.	Kirjeldus	Kogus	Mõõtühik	Müügihind	Summa
HZN-VVCUC-12P	VMware Horizon Universal Subscription(no vSphere) (Core) Concurrent User Qty 50 - 12 Month Prepaid	1	Tükk	9 560,00	9 560,00

Raamleping nr 2/88-20  
HL IT14954I217107  
TalTech Infotehnoloogia teaduskond  
23-Jul-2021 - 22-Jul-2022

TalTech viide : IT14954I217107  
eRHR Viitenumber 238427

**Kokku EUR (KM-ta) 9 560,00**  
20% KM 1 912,00  
**Kokku EUR (KM-ga) 11 472,00**

**Summa sõnadega** Üksteist tuhat neli sada seitsekümmend kaks Euro

Lähetusviis

Maksetingimused Tasuda 30 päeva jooksul  
Tähtaeg 28.08.21

**Arve väljastas:** Ira Mets  
(eesnimi, perekonnanimi, allkiri)

**Võttis vastu:**  
(eesnimi, perekonnanimi, allkiri)

Palume arve tasumisel märkida maksekorraldusele arve nr. IT0046771

Omandiõigus Kaubale läheb Maksjale üle peale Maksja poolt Kauba eest täielikku tasumist (omandireservatsioon). Tasumise hetkeks loetakse Maksjale Kauba eest arvel näidatud summa laekumist ATEA AS arveldusarvele.

Kaup ei kuulu pankrotivara hulka ning Lepingu alusel tarnitud Kaup tuleb pankrotivarast välistada.

Maksja kohustub tagama omandireservatsiooniga seonduvate õiguste ja kohustuste kohta informatsiooni edastamist asjakohastele kolmandatele isikutele ning tagama Kauba säilitamist ning tagastamist ka kolmandate isikute poolt olenemata sellest, kas Kaup tagastatakse pankrotimenetluses või pankrotimenetluse väliselt.

Arvega seotud küsimustes palume pöörduda raamatupidamine@atea.ee

Bank LHV Pank  
IBAN EE867700771001584469  
SWIFT LHVBE22

Bank Luminor Bank AS  
IBAN EE601700017001685048  
SWIFT RIKOEE22

Bank SEB PANK  
IBAN EE321010022001357005  
SWIFT EEUHEE2X

Bank Swedbank  
IBAN EE072200221054855268  
SWIFT HABAEE2X

Lk. 1

# Lisa 4 – Azure Virtual Desktop hinnakalkulaator

Your Estimate



← Azure Virtual Desktop

ⓘ Pooled, 200 Users, 90% Peak concurrency, 5% Off p...

Upfront: €26,702.70

Monthly: €477.07

## Azure Virtual Desktop

ⓘ Azure virtual desktop requires three core components for a successful deployment – compute for single or multi-session, storage for OS and user profiles, and networking for connectivity.

REGION:

East US 2

TYPE:

Pooled ⓘ

## Scenario Configuration

Session:

Multi-session ⓘ

Workload type:

Heavy ⓘ

ⓘ This configuration is supported for Windows 10 multi-session and Windows Server operating systems. [Virtual Machine Sizing | Microsoft Docs](#).

## Users ⓘ

200

Total named users

700

Total usage hours

## Concurrency ⓘ

90 %

Peak concurrency  
(% of total users)

5 %

Off peak concurrency  
(% of total users)

## Virtual Machine (Compute)

ⓘ For standard performance, we recommend selecting VMs with at least 2 cores because the operating system requires a portion of the VM computing resources. You can customize the OS size below to match your scenario.

CATEGORY:

All

INSTANCE SERIES:

All

INSTANCE:

D4s v3: 4 vCPUs, 16 GB RAM, 32 GB Temporary storage, €0.109/hour

✓ Customize the size of the OS

28

Instances

## Savings Options

Save up to 72% on pay-as-you-go prices with 1-year or 3-year Reserved Virtual Machine Instances. Reserved Instances are great for applications with steady-state usage and applications that require reserved capacity. [Learn more about Reserved VM Instances pricing.](#)

- Pay as you go
- 1 year reserved (~40% savings)
- 3 year reserved (~62% savings)

COMPUTE PAYMENT OPTIONS:

Upfront

€2,225.22

Average per month

(€26,702.70 charged upfront)

= €2,225.22

Average per month

(€26,702.70 charged upfront)

## Storage

### Managed Disks ⓘ

TIER:

 ⓘ

DISK SIZE:

28 **×** €17.04  
Disks Per month

= €477.07

### Cost Per User: Managed Disk

€477.07 **÷** 200 **=** €2.39  
Per month Users Per user per month

### File Storage ⓘ

TYPE:

ⓘ This calculator uses premium tier File Storage with LRS redundancy only. For more configuration options, please add Storage Accounts to your estimate and set "Type" to "File Storage".

### Data at-rest ⓘ

 GB

= €0.00

### Snapshots

 GB

= €0.00

### Cost Per User: File Storage

€0.00 **÷** 200 **=** €0.00  
Per month Users Per user per month

## Bandwidth

ⓘ Specify your anticipated bandwidth requirements. Customers are charged for Outbound Data Transfer.

DATA TRANSFER TYPE:

SOURCE REGION:

DESTINATION REGION:

### Outbound Data Transfer ⓘ

 GB

= €0.00

### Cost Per User: Bandwidth

€0.00 **÷** 200 **=** €0.00  
Per month Users Per user per month

---

## Cost Per User

 The effective cost per user per month is €2.39 based on the above configuration. Actual costs may vary based on service usage.

[^ View Cost Per User Breakdown](#)

### Virtual Machines (Compute)

$$\begin{array}{rcl} \text{€2,225.22} & \div & 200 \\ \text{Per month} & & \text{Users} \end{array} = \begin{array}{r} \text{€11.13} \\ \text{Per user} \\ \text{per month} \end{array}$$

### Managed Disks

$$\begin{array}{rcl} \text{€477.07} & \div & 200 \\ \text{Per month} & & \text{Users} \end{array} = \begin{array}{r} \text{€2.39} \\ \text{Per user} \\ \text{per month} \end{array}$$

### File Storage

$$\begin{array}{rcl} \text{€0.00} & \div & 200 \\ \text{Per month} & & \text{Users} \end{array} = \begin{array}{r} \text{€0.00} \\ \text{Per user} \\ \text{per month} \end{array}$$

### Bandwidth

$$\begin{array}{rcl} \text{€0.00} & \div & 200 \\ \text{Per month} & & \text{Users} \end{array} = \begin{array}{r} \text{€0.00} \\ \text{Per user} \\ \text{per month} \end{array}$$

### Total Cost per User

$$\begin{array}{rcl} \text{€477.07} & \div & 200 \\ \text{Per month} & & \text{Users} \end{array} = \begin{array}{r} \text{€2.39} \\ \text{Per user} \\ \text{per month} \end{array}$$

---

Upfront cost	€26,702.70
Monthly cost	€477.07