

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Aleksandr Gildi 201362

**VEEBIPÕHINE EHTUSFÜÜSIKA TÖÖRIISTAKAST
EHITUSINSENERIDELE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Kalle Tammemäe
Tehnikateaduste doktor

Tallinn 2024

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: Aleksandr Gildi

07.02.2024

Annotatsioon

[YOUR TEXT GOES HERE]

Lõputöö on kirjutatud [mis keeles] keeles ning sisaldab teksti [lehekülgede arv] leheküljel, [peatükkide arv] peatükki, [jooniste arv] joonist, [tabelite arv] tabelit.

Abstract

Building physics web toolbox for civil engineers

[YOUR TEXT GOES HERE]

The thesis is written in [language] and is [number of pages in main document] pages long, including [number] chapters, [number] figures and [number] tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

API	Rakendusliides (<i>Application Programming Interface</i>)
CPU	Keskseade (<i>Central Processing Unit</i>)
IDE	Integreeritud programmeerimiskeskkond (<i>Integrated Development Environment</i>)
IOT	Asjade Internet (<i>Internet Of Things</i>)
VM	Virtuaalmasin (<i>Virtual Machine</i>)

Sisukord

1	Sissejuhatus	8
2	Probleemi uurimine ja analüüs	10
2.1	Probleemi uurimine	10
2.2	Olemasolevad lahendused ja turu analüüs	12
3	Kavandatava veebirakenduse analüüs	14
3.1	Nõuete defineerimine	14
3.2	Tehnoloogiate ja meetodite valik	14
3.3	Veebirakenduse arhitektuur	14
3.4	Andmebaasi projekteerimine	14
3.5	Kasutajaliidese disain	14
4	First Chapter	15
4.1	First Section of the First Chapter	15
4.1.1	First Subsection	15
4.2	Second Section of the First Chapter	15
5	Second Chapter	16
6	Kokkuvõte	17
7	Different samples	18
	Kasutatud kirjandus	19
	Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	20
	Lisa 2 – Something	21
	Lisa 3 – Something Else	22

Jooniste loetelu

1	<i>Homogeense ja mittehomogeense konstruktsiooni näide</i>	10
2	<i>Niiskustehnilise toimivuse analüüsi tabeli näide</i>	11
3	<i>Niiskustehnilise toimivuse analüüsi graafiku näide</i>	12
4	<i>Ubakus veebirakenduse ekraanitõmmis.</i>	13
5	<i>Ubakus: konstruktsiooni kihtide lisamine.</i>	13
6	<i>Ubakus: ehitusmaterjalide valik baasis.</i>	13
7	<i>An image of the TalTech logo.</i>	18

Tabelite loetelu

1	<i>A table with some requirements</i>	18
---	---	----

1. Sissejuhatus

Ehitusfüüsika on ehitusvaldkonna haru, mis käsitleb hoone toimivust füüsikaliste protsesside seisukohalt: soojus, niiskus, õhk, heli ja valgus, seetõttu võib väita, et ehitufüüsikaga puutub oma elus kokku igaüks. Ehitusfüüsika valdkonna projekteerimise peamised eesmärgid on:

- optimeerida hoone kütte ning jahutuskulud
- tagada hoones soojuslikku mugavust, niiskustingimusi ja sisekliima kvaliteeti tervikuna
- välistada mikrobioloogilist kasvu konstruktsioonides
- välistada veest ja niiskusest tekkivaid probleeme
- tagada hoonepiirete õhupidavust
- parandada akustilist kvaliteeti

Ehitusfüüsikavaldkond on oluline, sest see suures osas määratleb hoonete sisekliima kvaliteeti, teiste sõnadega tagab inimestele kvaliteetset elukeskkonda. Valesti projekteeritud hooned võivad muuhulgas avaldada negatiivset mõju inimeste tervisele või olla isegi ohtlikud. Seevastu õigesti projekteeritud hoone tagab kasutajale mugavusetunnet ja ka hoiab raha kokku minimeerides hoone kasutuskulusid.

Ressursside kallinemise olukorras sai ehitusfüüsikast eriti tähtis inseneriteaduse haru, sest muuhulgas see käsitleb hoone soojusliku toimivuse probleemi. See tähendab, et õigesti projekteeritud hoone talvel tarbib vähem energiat küttele ning suvel vastupidi – jahutusele.

Ehitusfüüsikaga peab arvestama hoone elutsükli igal etapil - kavandamine, projekteerimine, ehitamine ja haldamine. Hoone kavandamisel määratakse planeeritavaid energiakulusid ja energiaklassi. Hoone projekteerimise faasis peavad ehitusfüüsikaga arvestama arhitektid, konstruktorid ja ka tehnosüsteemide projekteerijad, kes valivad õigete omadustega materjalid ning hindavad nende materjalide koosmõju konstruktsiooni toimimisele. Ehituse faasis peab ehitusfüüsikaga arvestama ehitusjuhid - kuigi ehitatakse tavaliselt projekti järgi, paraku peab ehituses ka operatiivselt võtta keerulisi otsuseid jooksvatest muudatustest keset ehitusprotsessi. Ja viimaseks peavad ehitusfüüsikat meeles hoidma ka hoone haldamisega tegelevad inimesed.

Probleemi teine külg on ehitusvaldkonna madal digitaliseerumise tase (ja konservatiivsus

üldiselt). Viimastel aastatel on arendatud palju professionaalseid tarkvarasid projekteerimise ja ehitusjuhtimise tarbeks, kuid ehitusfüüsika valdkonna tarkvara arendused on olnud väga tagasihoidlikud. Turul on olemas mõned üksikud tooted, kuid need on liiga keerulised ja võrdlemisi ebamugava kasutajaliidesega - sellise tarkvara sihtgrupp on teadusvaldkond. Ehitusinseneride töö hõlmab väga palju erinevaid asju ning on tavaliselt ajaliselt väga piiratud, mistõttu keerulise kasutajaliidesega ja tööpõhimõttega tarkvara kasutamine ei ole parim variant.

Käesoleva töö eesmärk on välja töötada toodet, mis võimaldaks lahendada ehitusfüüsika valdkonna ülesandeid mugavalt ja operatiivselt. See võiks parandada olukorda, kus probleemide lahendamine jääb üldse erinevatel etapidel tegemata tarkvara või tarkvara kasutamise oskuste tõttu. See võiks olla ehitusinseneridele abivahendiks, mis ei vaja väga sügavat valdkonna tundmist, et teostada piisavas mahus arvutusi tagamaks ehitusprojekti või ehituse kvaliteeti ehitusfüüsika seisukohalt. Ehitusfüüsika valdkond on lai ning lahendusi on tarvis leida väga paljudele probleemidele. Käesoleva töö raames keskendutakse esialgu vaid ühe konkreetse probleemi lahendamisele, mis on ühtlasi ka kõige levinuim probleem - veeauru kondenseerumise riski hindamine ehituskonstruktsioonides.

2. Probleemi uurimine ja analüüs

2.1 Probleemi uurimine

Ehitusfüüsika mõistes ehituskonstruktsioon kujutab endast erinevate füüsikaliste omadustega kihtidest koosnevat materjali. Kihid võivad olla homogeenised s.t. ühest materjalist koosnevad (näiteks: betoon, vahtpolüstüreen) ja mittehomogeenised s.t. mitmest materjalist koosnevad (näiteks: puitsõrestiksein, kus ühes kihis on nii soojusisolatsioon, kui ka teatud sammuga puitpostid). Homogeense ja mittehomogeense konstruktsiooni näited on toodud pildil 2.

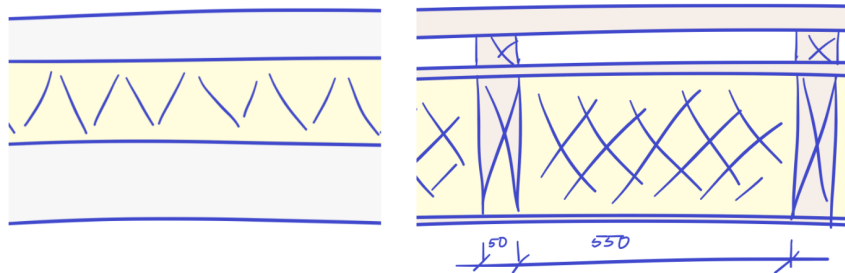


Figure 1. Homogeense ja mittehomogeense konstruktsiooni näide

TODO: better illustration

Ehitusfüüsika seisukohalt kõige olulisemad materjali omadused on soojuseri juhtivus λ [W/mK] ja veeaurutakistus, mis võib olla väljendatud mitmel viisil (neid viise on palju, aga käesolevas töös keskendutakse ainult järgmistele, kuna need on kõige rohkem kasutatud nii raamatutes, kui ka materjalitootjate dokumentatsioonis): μ - diffusioonitakistustegur (materjali omadus), S_d [m] - suhteline diffusioonitakistus (kindla paksusega toote omadus).

Kohalikul turul puudub tarkvara, millega oleks mugav teostada konstruktsiooni niiskustehnilise toimivuse analüüsi. Niiskustehnilise toimivuse analüüs on klassikaline ehitusfüüsika ülesanne, mille eesmärk on hinnata veeauru kondenseerumise (või ka kõrge niiskusest põhjustatud kahjustuste tekkimise) riski. Niiskustehnilise toimivuse analüüs hõlmab järgmisi tegevusi:

- konstruktsiooni kihtide soojustakistuse ja konstruktsiooni summaarse soojustakistuse arvutus
- temperatuuri jaotuse määramine kihtides sõltuvalt sise- ja väliskeskkonna temperatu-

uridest ning soojustakistuste väärtustest

- konstruktsiooni kihtide veeaurutakistuse ja konstruktsiooni summaarse veeaurutakistuse arvutus
- veeauru küllastusrõhu jaotuse määramine lähtuvalt temperatuuri jaotusest
- veeauru osarõhu jaotuse määramine kihides sõltuvalt sise- ja väliskeskkonna parameetritest ning veeaurutakistuse väärtustest
- tulemuste esitamine graafiliselt diagrammil
- arvutuste kordamine erinevate sise- ja väliskeskkonna parameetrite kombinatsioonidega

Antud ülesannet lahendades käsitsi koostatakse tabelit, mille ridadele pannakse kirja kihid ja veergudele arvutatakse väärtused. Kuigi arvutused ei ole väga keerulised (tegemist on tavaliste füüsika valemitega), siis käsitsi arvutamine võtab tohutult palju aega. Kuigi Microsoft Excel võimaldab teatud määral protessi automatiseerida, siiski mõned tegevused (näiteks uue kihi lisamine) jäävad suures osas käsitööks, milles vea esinemine on väga tõenäoline. Pildil 2 on toodud sellise tabeli näide.

Arvutustabel											
	Kihi paksus d [mm]	Soojus-erijuhtivus λ_d [W/(mK)]	Kihi soojus- takistus R [m ² K/W]	Temp. muutmine Δt [°C]	Temp. kihi piiril t [°C]	Küllastus- rõhk p _{sat} [Pa]	Veeauru- erijuhtivus δ_v [kg/msPa]	Veeauru- takistus Z _v [m ² sPa/kg]	Rõhkude erinevus ΔP [Pa]	Veeauru osarõhk P [Pa]	
Siseõhk											
Sisepind			0.13	0.5	23.0	2808				842.3	
Krohv	5	0.570	0.01	0.0	22.5	2724	2.0E-11	2.5E+11	2.5E-01	842.3	
krohv	5	0.57	0.01	0.0	22.5	2718	2.0E-11	2.5E+11	2.5E-01	842.1	
Bauroc	150	0.11	1.36	5.3	22.4	2713	2.6E-11	5.7E+12	5.7E+00	841.8	
Kile	1	0.17	0.01	0.0	17.2	1959	2.0E-15	5.1E+14	5.1E+02	836.2	
Soojustus	200	0.035	5.71	22.0	17.2	1956	2.0E-10	1.0E+12	1.0E+00	326.1	
Tsementkiudplaat	10	0.049	0.20	0.8	-4.8	407	3.7E-12	2.7E+12	2.7E+00	325.1	
Krohv	5	1	0.01	0.0	-5.6	380	1.8E-11	2.7E+11	2.7E-01	322.4	
Välispind			0.04	0.2	-5.6	380				322.1	
Välisõhk					-5.8	375				322.1	
Kokku			7.5					5.22776E+14			

Figure 2. Niiskustehnilise toimivuse analüüsi tabeli näide

Lõppkokkuvõttes analüüsi tulemused esitatakse graafiliselt diagrammi kujul, mille peale on kantud konstruktsiooni kihid, temperatuuri, veeauru küllastusrõhu ja veeauru osarõhu jaotuse graafikud (näide on toodud pildil 3). Selle tegevuse eesmärk on hinnata kondenseerumise riski konstruktsiooni kihtides. Veeauru osa- ja küllastusrõhu suhe on suhteline niiskus, vastavalt mida lähedam osarõhu graafiku joon küllastusrõhu joonele – seda kõrgem on antud konstruktsiooni kohas suhteline niiskus. Juhul kui mingis punktis osarõhu joon saavutab küllastusrõhu joont – tekib selles punktis kondensaat.

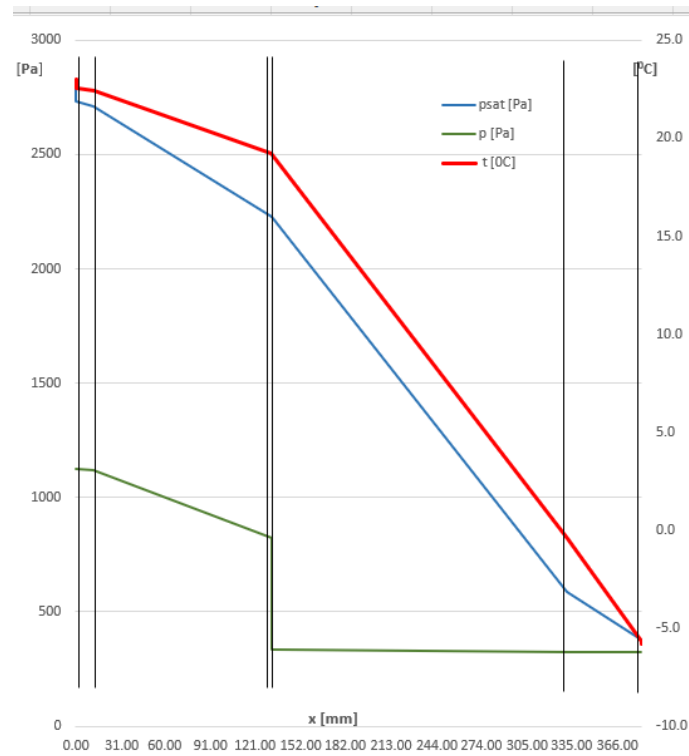


Figure 3. Niiskustehnilise toimivuse analüüsi graafiku näide

2.2 Olemasolevad lahendused ja turu analüüs

Üks populaarsematest analoogidest, mida kasutatakse sealhulgas ka Eestis, on Saksa päritoluga tarkvara **Ubakus**. Tegemist on veebirakenduse kujul kommertstarkvaraga, mille demo-versioon on saadaval tasuta (pilt 4).

Ubakus võimaldab teostada konstruktsiooni niiskustehnilist analüüsi. Kasutajaliides võimaldab mudeldada mitmest kihist koosneva konstruktsiooni, valides igale kihile paksust ja materjali, millest kiht koosneb. Tugev eelis on see, et tarkvaraga saab analüüsida ka mittehomogeensete (mitemest erinevast materjalist, nt puitsõrestiksein) kihtidega konstruktsioone - pilt 5

Ehitusmaterjalide valik, mida on võimalik konstruktsiooni mudeldamisel kasutada, on piisavalt lai (aga tasuta versioonis piiratud). Tasulises versioonis on samuti võimalik ka oma materjalide lisamine ja kasutamine. Puuduseks on see, et teatud osa baasis olevatest ehitusmaterjalidest on Saksamaal turustatavad materjalid, mistõttu selle tarkvara kasutades Eestis peab kas sisestama kõik vajalikud materjalid käsitsi, või kasutada Saksa analoogid ning arvestada sellest tulenevaarvutuste ebatäpsusega.

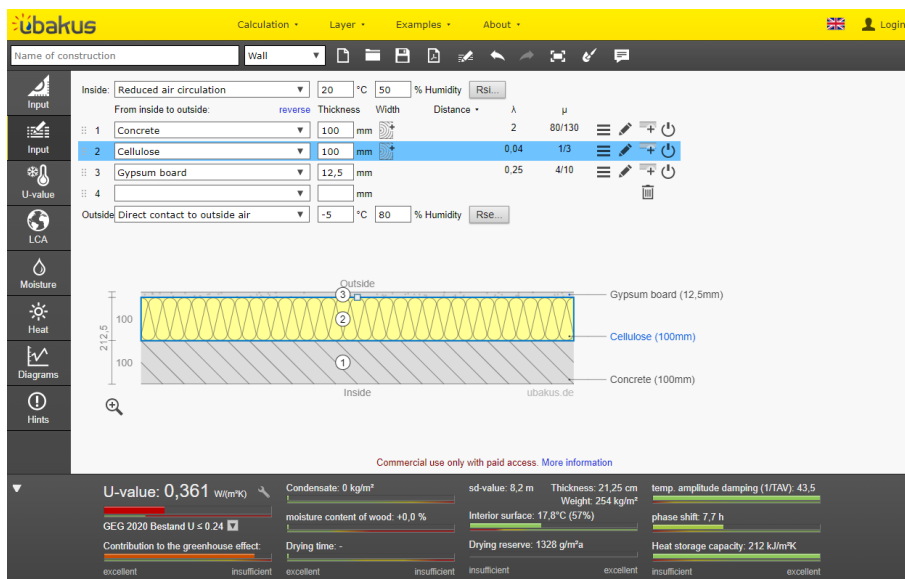


Figure 4. Ubakus veebirakenduse ekraanitõmmis.

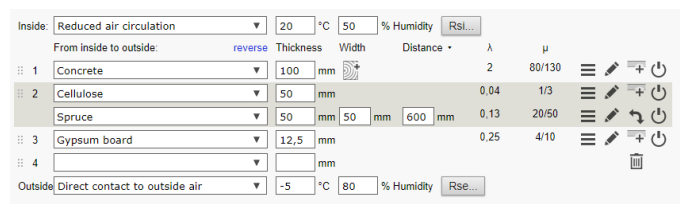


Figure 5. Ubakus: konstruktsiooni kihtide lisamine.

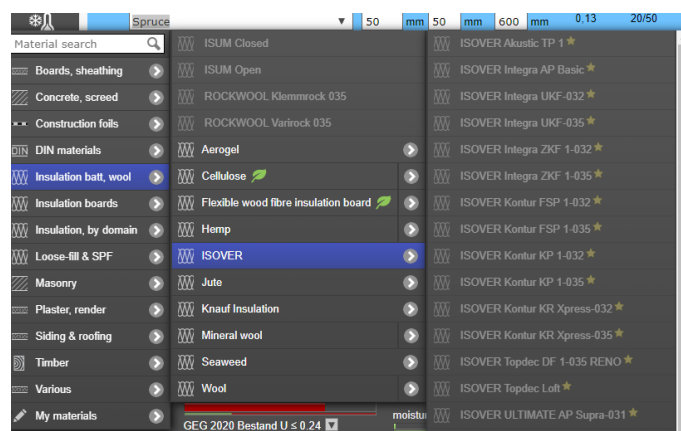


Figure 6. Ubakus: ehitusmaterjalide valik baasis.

3. Kavandatava veebirakenduse analüüs

Lõputöö analüütiline osa peab sisaldama visiooni kirjeldust ja skoobi määramist põhjendusega. Metoodikat, kuidas kõige edukamalt lõpptulemuseni jõuda. Missuguseid võimalusi on teada selle probleemi lahendamiseks. Määrata funktsionaalsed ja mitte-funktsionaalsed tingimused. Selle alusel kirjeldada kasutajalood või siis teha tegevuse plokkskeem. Leida töövahendid põhjendatult: milliste kriteeriumite alusel tuleb valik teha, milline lahendus valitakse selle töö puhul, kindlasti põhjendada.

Analüüs peab sisaldama vastuseid küsimustele:

1. visiooni kirjeldust ja skoobi määramist põhjendusega
2. missuguseid lahendusi te teate oma probleemi lahendamiseks
3. milliste kriteeriumite alusel tuleb valik teha
4. millise lahenduse valisite teie ja põhjendage seda

3.1 Nõute defineerimine

Nõute määramine rakendusele.

3.2 Tehnoloogiate ja meetodite valik

Osa, kus käsitletakse tehnoloogiaid ja arendusmetoodikate valikut.

3.3 Veebirakenduse arhitektuur

Osa, kus käsitletakse kavandatava rakenduse arhitektuuri planeerimist.

3.4 Andmebaasi projekteerimine

Osa, kus käsitletakse andmebaasi projekteerimist.

3.5 Kasutajaliidese disain

Osa, kus käsitletakse kasutajaliidest ja selle kavandamist

4. First Chapter

This is the first real chapter of this thesis. Other chapters can be easily referenced, for example the introduction can be found as Chapter 1. Sections and/or subsections need to be labeled before one can reference them. See Section 4.2 for an example.

4.1 First Section of the First Chapter

Some text in the first section.

4.1.1 First Subsection

As well as some text in this subsection.

First Subsubsection

The Table of Contents only goes 3 layers deep (Chapter - Section - Subsection) so this subsubsection is not seen there.

4.2 Second Section of the First Chapter

5. Second Chapter

One of the best resources for \LaTeX basics, and advanced constructs, is the \LaTeX wikibook¹. Of course fellow students, colleagues and a good internet search using your favorite search engine can do wonders if you're stuck.

¹To be found at <http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/>

6. Kokkuvõte

7. Different samples

The *Bibliography*, *List of Figures* and *List of Tables* are all automatically generated and references will be updated automatically as well. This means that if you've defined a citation but are not referencing it, it will not appear in the *Bibliography*. This also means that any Figure / Table / Citations numbers are automatically updated as well. Numbering is done by order-of-appearance.

Some basic ways to manipulate text are *italics* and **bold**. One can reference Figures (see Figure 7 for an example) as well as cite references which are defined in the *references.bib* file.[1, 2]



Figure 7. An image of the TalTech logo.

A table with three columns can be seen in Table 1.

Table 1. A table with some requirements

Nr	Requirement	Weight
1	Price	High
2	Variety	Middle
3	Support	Low

We can use variables set in the *main.tex* file to render values like our title (Veebipõhine ehitusfüüsika tööriistakast ehitusinseneridele) or supervisor names (**Supervisor:** Kalle Tammemäe, **Co-supervisor:** [Co-Supervisor's Name]).

Kasutatud kirjandus

- [1] Paul Kocher et al. “Spectre Attacks: Exploiting Speculative Execution”. In: *40th IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P’19)*. 2019.
- [2] L. Masinter. *Hyper Text Coffee Pot Control Protocol (HTCPCP/1.0)*. [Accessed: 24-05-2019]. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2324>.

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Aleksandr Gildi

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “Veebipõhine ehitusfüüsika tööriistakast ehitusinseneridele”, mille juhendaja on Kalle Tammemäe
 - 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.

07.02.2024

¹Lihtlitsents 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 loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Lisa 2 - Something

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>

<h1>Example Title </h1>

<p>Some text here </p>

</body>
</html>
```

Lisa 3 – Something Else

Pythagorean theorem

$$x^n + y^n = z^n \quad (1)$$

Normal distribution

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (2)$$