



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Tartu Kolledž

**LABORATOORSE TÖÖ LOOMINE ÕPPEAINES
RAKENDUSFÜÜSIKA - HÕÕRDEJÕUD KALD- JA
TASAPINNAL**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSE TÖÖ

Üliõpilane: Rihard Reimaa
Üliõpilaskood: EDTR183599
Juhendaja: Sven Oras

Tartu, 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“15” mai 2022.

Autor: Rihard Reimaa

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrghariduse tööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud “.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Rihard Reimaa (sünnikuupäev 19.03.1997).

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa enda loodud teose LABORATOORSE TÖÖ LOOMINE ÕPPEAINES RAKENDUSFÜÜSIKA - HÕÕRDEJÕUD KALD- NING TASAPINNAL, mille juhendaja on Sven Oras,

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.

¹ Lihtlitsent ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil

_____ (allkiri)

15.05.22 (kuupäev)

TalTech Tartu Kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Rihard Reimaa, EDTR183599

Õppekava, peeriala: EDTR18, Telemaatika ja arukad süsteemid

Juhendaja(d): vanemlektor, Sven Oras, 6204807

Lõputöö teema:

Laboratoorse töö loomine õppeaines Rakendusfüüsika – hõõrdejõud kald- ning tasapinnal

Creation of laboratory work in the subject of Applied physics – frictional force on incline and plane

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua rakendusfüüsika aines laboratoorse töö juhend
2. Läbi viia laboratoorne töö ning seejärel tagasiside küsitlus
3. Analüüsida laboratoorse töö tulemuste ning tagasiside vastuste põhjal laboratoorse töö juhendit

4. Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Koostada laboratoorse töö juhend	14.04.22
2.	Laboratoorse töö läbiviimine	03.05.22
3.	Laboratoorse töö tulemuste ning tagasiside analüüsimine	12.05.22

Töö keel: eesti keel

Üliõpilane: Rihard Reimaa ".....".....201.....a

/allkiri/

Juhendaja: Sven Oras ".....".....201.....a

/allkiri/

Programmijuht: Helle Hallik ".....".....201.....a

/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

SISUKORD	5
SISSEJUHATUS	6
1 TEOREETILINE OSA	7
2 PRAKTILINE OSA	9
2.1 Laboratoorse töö ülesehitus	9
2.2 Laboratoorse töö töövahendid	10
2.3 Laboratoorse töö juhendis olevad ülesanded	12
3 Laboratoorse töö tulemused	15
4 TAGASISIDE KÜSITLUS	18
4.1 Tagasiside küsitluse küsimused	18
5 TAGASISIDE TULEMUSED	21
5.1 Tagasiside järelalus	29
5.2 Ettepanekud laboratoorse töö parendamiseks	30
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY	33
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	34
LISAD	35

SISSEJUHATUS

Laboratoorsed tööd ning praktikumid on vajalikud, et loengutes omandatud teooriat ning füüsikaseaduseid rakendada, tänu millele kinnistub tudengitele uus info paremini ning tekib seos füüsikalise nähtuse teooria ning päriselulise ilmnamise vahel. Samuti harjutatakse laboratoorsete tööde käigus mõõtmiste läbiviimist ning nendega töötamist.

Maailmas hõõrdumise puudumisel oleks elu peaaegu võimatu – asju oleks võimatu kätte võtta, veeremine oleks võimatu, inimesed ei saaks kõndida ning autod sõita, kuna hõõrdumise puudumise tõttu ei liiguks inimene või auto mööda pinda edasi, vaid auto puhul käiksid rattad kohapeal ringi, aga edasiliikumist ei toimuks. On olukordi, kus aga hõõrdumine on kahjulik ning seda püütakse vähendada. Seda tehakse näiteks mootorites ning masinates, kus on hõõrdumine kahjulik, kuna takistab liikuvate ning pöörlevate osade liikumist. Sellistel juhtudel kasutatakse liikuvate osade puhul määrdeid, et liikuvate pindade vahelist hõõrdejõudu vähendada ning seeläbi vähendada liikuvate osade kulumist.

Käesoleva töö eesmärgiks oli koostada, ette valmistada ning läbi viia laboratoorne töö küberfüüsikaliste süsteemide eriala esimese kursuse tudengitele aines rakendusfüüsika ning seda analüüsida. Laboratoorse töö täpsem teema oli hõõrdejõud kald- ning tasapinnal, mille raames said tudengid mõõta vedru jäikust ning dünamomeetri abil uurida kehale mõjuvaid jõudusid. Laboratoorse töö täpsema teema valikul lähtus töö autor isiklikust huvist mehaanika vastu, mis tekkis gümnaasiumis õppides.

Tudengitele olid praktikumi eduka sooritamise eelduseks praktikumi aruande esitamine ning tagasiside vormi täitmine. Praktikumi aruanded ja tagasiside vorm täideti individuaalselt ning tagasiside oli anonüümne. Tagasiside vorm koostati autori poolt Google Forms keskkonnas, kuna antud keskkond on mugav küsitluse läbiviimiseks ning tulemuste esitamiseks.

Töö põhiosa on jaotatud kaheks suuremaks osaks. Põhiosa esimene pool keskendub laboratoorse töö ettevalmistustele - selgitatakse laboratoorse töö ülesehitust, kirjeldatakse ning põhjendatakse töövahendite valikut ning selgitatakse lahti laboratoorse töö ülesanded.

Põhiosa teine pool keskendub valdavalt laboratoorse töö aruannete tulemustele ja tagasiside küsitluse tulemustele. Töö autor kirjeldab lähemalt tulemusi ning nende põhjal tehtud järeldusi. Samuti tehakse ettepanekud laboratoorse töö parendamiseks.

1 TEOREETILINE OSA

Newtoni seadused panevad aluse dünaamikale ja kogu klassikalisele mehaanikale. Newtoni seadused ilmusid esmakordselt tema teoses "Natuurfilosoofia matemaatilise printsiibid", mis ilmus 1687. aastal (Gregersen, 2021). Newtoni kolmas seadus ütleb, et kaks keha mõjutavad teineteist suuruselt võrdsete ning vastassuunaliste jõududega. Näiteks kui vedru lakke riputada ning vedru otsa keha riputada, siis selle keha raskusjõu mõjul hakkab vedru venima ning teeb seda pikkuseni, kus vedrus tekkinud elastsusjõud, mis püüab vedru esialgset olekut taastada, võrdsustub keha raskusjõuga ning seejärel lõpetab venimise. Sellises olukorras püüab keha raskusjõud seda allapoole liigutada ning vedrus selle venimise tagajärjel tekkinud elastsusjõud püüab seda ülespoole liigutada. Kuid kuna raskusjõud ning vedrus tekkinud elastsusjõud on tekkinud olukorras sama suured ning vastupidised, siis keha liikumist ei toimu ning keha ripub vedru otsas paigal.

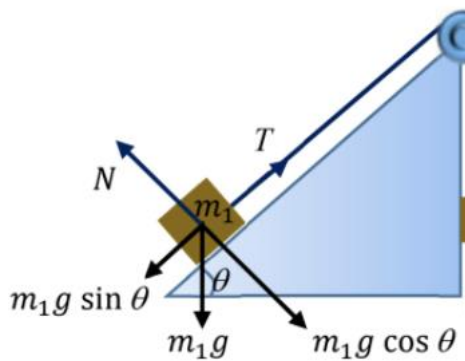
Hooke' seadus, mida kutsutakse ka elastsuse seaduseks, avastati inglise teadlase Robert Hooke poolt 1660. aastal ning seadus ütleb, et kehas tekkinud elastsusjõud on võrdeline tema joonmõõtmete muutuse ehk deformatsiooni suurusega. (Gregersen, 2020). Hooke' seadust väljendab seos $F_e = -k\Delta l$, kus F_e iseloomustab elastsusjõudu, k jäikustegurit ning Δl pikkuse muutu. Avaldise eest on miinusmärk, kuna elastsusjõud ning vedru venitamise suunad on vastupidised. Ehk kui vedru on enda loomulikus asendis (vedru otsas ei ole raskust), siis on tema pikkuseks l_0 , mis tähistab vedru algpikkust. Kui vedru otsa riputada raskus, siis vedru venib ning nüüd on vedru pikkuseks l ehk lõpp-pikkus. Vedru lõpp- ning algpikkuse vahet nimetataksegi pikkuse muuduks.

Hõõrdejõuks nimetatakse jõudu, mis takistab ühe keha liikumist mööda teise keha pinda. Oma suunalt on hõõrdejõud vastupidine keha liigutavale jõule ning maapealsetes tingimustes mõjub hõõrdejõud kõigile liikuvatele kehadele. Hõõrdejõu suurus sõltub mitmes tegurist – kehade kokkupuutuvate pindade materjalidest, nende töötlustest, kehade vahelisest rõhumisjõust ning kehade liikumise olemusest. Eristatakse kolme liiki hõõrdumist: Seisuhõõrdumine, liugehõõrdumine ning veerehõõrdumine. Nähtust, kus hõõrdumine takistab mööda teise keha pinda libiseva keha liikumist, nimetatakse liugehõõrdumiseks. Liugehõõrdumise korral on hõõrdejõud suunatud alati liikumisele vastassuunas. Jõu suurus oleneb kokkupuutuvate pindade omadustest ning pindu kokkusuruva jõu suurusest. Vastu mingit pinda surumisel mõjub kehale, tulenevalt Newtoni III seadusest, rõhumisjõuga võrdne vastassuunaline toereaktsioon N.

Horisontaalselt mööda tasapinda ühtlase kiirusega libiseva keha korral on toereaktsioon arvuliselt võrdne kehale mõjuva raskusjõuga ($N = mg$) ning sel juhul on hõõrdejõud leitav valemiga $F_h = mg \mu$, kus μ on hõõrdetegur, m libiseva keha mass ning g on raskuskiirendus.

Kaldpinnal ühtlase kiirusega liikuva kehale mõjuvad erinevad jõud ja nende jõudude vektoriaalselt summat nimetatakse resultantjõuks. Kaldpinnal liikuva kehale mõjub tema liikumisega vastupidises suunas hõõrdejõud (F_h), vertikaalselt alla suunatud raskusjõud (F_r) ning pinnaga risti suunatud toereaktsioon (N). Seega saame kaldpinnal ühtlaselt liikuva keha kohta valemid:

Üles : $F_{res \uparrow} = mg \cos \theta \mu + mg \sin \theta$ Alla: $F_{res \downarrow} = mg \cos \theta \mu - mg \sin \theta$, kus θ on kaldpinna nurga suurus.



Joonis 1 – Kehale mõjuvad jõud kaldpinnal (Newton's Laws of Motion and Friction: Mechanics, 2020)

2 PRAKTILINE OSA

Töö autor viis rakendusfüüsika aine raames läbi laboratoorse töö, mille eesmärgiks oli esimese kursuse tudengitele tutvustada kehale mõjuvaid jõude kald- ning tasapinnal. Laboratoorse töö läbiviimiseks valmistati töö autori poolt ette töövahendid ning praktikumi juhend, mille põhjal läbisid tudengid praktilise osa ning koostasid praktikumi aruande. Peale aruande koostamist tuli tudengitel täita ka tagasiside vorm. Aruannete ning tagasisidede põhjal koostati laboratoorse töö analüüs. Laboratoorse töö juhend on toodud lisas nr 1.

2.1 Laboratoorse töö ülesehitus

Laboratoorse töö sooritamiseks moodustasid tudengid kaheliikmelised rühmad, milles viidi läbi mõõtmised. Laboratoorse töö mõõtmiste sooritamiseks kulus kaheliikmelistel rühmadel 30-40 minutit. Autori eesmärk oli laboratoorne töö loogiliselt üles ehitada ning ülesanded järjestada raskusastme järgi kasvavas järjekorras, et praktikumi sooritamine kulgeks sujuvalt.

Laboratoorse töö esimeseks ülesandeks valiti dünamomeetri sees asetseva vedru jäikuse määramine. Antud ülesanne sobis laboratoorse töö esimeseks ülesandeks hästi, kuna dünamomeeter oli praktikumi peamine töövahend ning selle olemuslikult lihtsa ülesande lahendamine andis tudengitele võimaluse dünamomeetrit ning selle omadusi paremini tundma õppida.

Teiseks ülesandeks oli hõõrde teguri määramine tasapinnal ühtlase kiirusega liikuva keha korral kahe pinna (koormiste aluse ning mati) vahel. Tudengitel tuli määrata hõõrde tegur kahe pinna vahel, kasutades selleks koormisi, koormiste alust ning dünamomeetrit.

Kolmandas ülesandes tuleb erinevate koormiste korral määrata kehale mõjuv staatiline hõõrdejõud, kineetiline hõõrdejõud ning neid omavahel võrrelda.

Neljandas ülesandes oli tudengite eesmärgiks määrata kaldpinna nurk seda mõõtmata. Selleks tuli tudengitel uurida kehale mõjuvaid jõude keha samal ajal ühtlase kiirusega mööda kaldpinda üles või alla tõmmates.

2.2 Laboratoorse töö töövahendid

Kehale mõjuvate jõudude praktikumi töövahenditeks olid dünamomeeter, erinevate massidega koormised, alus koormiste vedamiseks, joonlaud, kaldpind, matt ning kinnitustrossid.

Praktikumi töövahendite hankimine algas dünamomeetrist, kuna praktikumi läbiviimiseks valmistudes oli selge, et dünamomeeter on praktikumi peamine, aga ka kõige raskemini kättesaadav töövahend. Veebilehekülgede kaudu oli võimalik mitmeid erinevaid dünamomeetreid tellida ning konkreetne dünamomeeter osutus valituks eelkõige tema tarneaaja tõttu, mis oli konkurentsituult kõige lühem. Dünamomeetri ühel küljel on mõõtepiirkond keha massi mõõtmiseks vahemikus 0-5 kg ning teisel küljel on mõõtepiirkond jõu mõõtmiseks vahemikus 0-50 N(njuutonit).



Joonis 2 – Dünamomeeter mõlema mõõtepiirkonnaga

Laboratoorse töö puhul kasutatud koormised olid töö autoril kodus olemas ning need sobisid dünamomeetri mõõtevahemikuga hästi kokku. Kinnitustrossid olid esimeses ülesandes vajalikud raskuste riputamiseks dünamomeetri otsa ning kolmandas ja neljandas ülesandes koormiste aluse haakimiseks dünamomeetri külge. Joonlauda oli tarvis esimeses ülesandes vedru alg- ning lõpp-pikkuse mõõtmiseks.



Joonis 3 – Laboratoorse töö käigus kasutatud koormised

Aluseks koormiste vedamiseks mööda tasa- ning kaldpinda oli esmaversioonis plastikust anum, mis valiti vastavalt koormiste mõõtmetele, kuid anuma põhja omaduste tõttu ei olnud hõõrdejõu näidud piisavalt stabiilsed, mis tähendas, et hõõrdeteguri näidu suurus varieerus korduvmõõtmiste käigus. Tarvis oli muuta katse korduvmõõtmiste tulemused stabiilsemaks ning läbi selle katse usaldusväärsemaks ja seetõttu kinnitati koormiste alusele puidust "suusad". Koormiste mass koos alusega jagunes ühtlaselt suuskade vahel ära ning suuskade lisamine parandas oluliselt mõõtmistulemuste stabiilsust.



Joonis 4 – Koormiste alus ning kaldpind

Matti ehk aluspinda, millel koormisi vedada, oli tarvis hõõrdeteguri suurendamiseks ning seda oli tarvis suurendada kahel põhjusel. Kolmanda ülesande puhul oli tarvis suurendada hõõrdetegurit selleks, et erinevate massidega kehade korral tuleksid hõõrdejõu väärtused piisavalt eristatavad. Kui katses on kasutusel kehad massidega 3kg, 4kg ja 5kg, nende raskusjõud on vastavalt (ümardatult) 30N, 40N ja 50N. Hõõrdeteguri väärtuse 0,1 puhul oleks vastavate kehade ühtlase kiirusega tõmbamise puhul mööda tasapinda hõõrdejõu väärtusteks 3N, 4N ja 5N. Hõõrdeteguri väärtuse 0,3 puhul oleksid samades katsetingimustes vastavate kehade hõõrdejõu väärtused 9N, 12N ja 15N. Seega, suurema hõõrdeteguri korral erinevad hõõrdejõu väärtused erinevate massidega kehade korral rohkem kui väiksema hõõrdeteguri korral ning see suurendab katse õnnestumise tõenäosust, kuna mõõtetulemusi on võimalik täpsemini lugeda. Neljandas ülesandes oli tarvis hõõrdetegurit suurendada seepärast, et väikese hõõrdeteguri puhul libiseks kaldpinnale asetatud keha sealt alla ilma, et talle oleks vaja lisajõudu rakendada. Suurema hõõrdeteguri puhul jääb kaldpinnale asetatud keha sinna paigale ning selle keha üles või alla liigutamiseks on vaja rakendada jõudu, mida on võimalik dünamomeetriga mõõta.

Kaldpinda oli laboratoorse töö juures vaja, et neljanda ülesande juures oleks võimalik uurida kehale mõjuvaid jõudusid ka kaldpinnal. Kuna sobivat valmistoodet ei õnnestunud katse sooritamiseks leida, otsustas töö autor kaldpinnad ise valmistada. Kaldpind koosnes plaadist ning omavahel seotud jalgadest. Kaldpinna nurk oli 15 kraadi ning pind samuti kaetud matiga kõrgema hõõrdeteguri saavutamiseks.

2.3 Laboratoorse töö juhendis olevad ülesanded

Laboratoorne töö koosnes teoreetilisest osast ning neljast ülesandest. Kolm ülesannet olid struktuurilt sarnased, st kõigis kolmes ülesandes esines esmalt kaks tundmatu väärtusega füüsikalist suurust. Üks neist tuli tudengitel katse käigus mõõta ning kui alles oli jäänud üks tundmatu, tuli see valemist avaldada ning leida.

1. Ülesanne - Vedru jäikuse määramine

a) Asetada koormiseta vedru/dünamomeeter vertikaalselt ning mõõta vedru pikkus algasendis.

Asetada 2000g koormis vedru otsa ning mõõta vedru pikkus, kui koormis ripub vedru otsas. Korrata samad mõõtmised ka 3750g ja 5000g koormistega ning arvutada vedru jäikus.

b) Võrrelda enda saadud tulemusi dünamomeetri originaalmõõtkavaga.

Ülesande eesmärgiks oli dünamomeetri sees asetseva vedru jäikuse mõõtmine. Tudengid pidid mõõtma dünamomeetri vedru pikkuse algasendis. Seejärel tuli tudengitel riputada dünamomeetri otsa 2kg koormis ning mõõta taas vedru pikkus. Vedru lõpp-pikkuse ning algpikkuse vahe on vedru pikkuse muut ning tähistatakse Δl . Hooke'i seaduse kohaselt on kehas tekkiv elastsusjõud võrdeline keha deformatsiooniga ning seda iseloomustab valem $F_e = -k\Delta l$. Miinus võrrandi parema poole ees näitab, et vedrus tekkiv elastsusjõud on deformatsiooni suunaga vastupidine, kui keha joonmõõtmised suurenevad, siis püüab elastsusjõud neid vähendada ning vastupidi. Kuna tudengite ülesandeks oli vedru jäikuse määramine, tuleb valemist jäikus avaldada ning see leida. F_e oli võimalik tudengitel välja lugeda dünamomeetri näidult ning Δl saadi, kui lahutati vedru lõpp-pikkusest vedru algpikkus:

$$F_e = -k\Delta l \Rightarrow (-)k = \frac{F_e}{\Delta l}$$

Sama protseduur tuli läbi teha veel 3,75 kg ning 5kg koormistega. Kuna kõigi kolme mõõtmise puhul oli kasutusel sama vedru, siis ideaalis peaksid tudengid kõigi kolme erineva massi korral saama jäikuse suuruseks sama väärtuse.

2. Ülesanne - Hõõrdeteguri määramine (mati ja koormiste aluse vahel).

Asetada 3kg koormis alusele, ühenda alus dünamomeetri konksu otsa ning ühtlaselt ja horisontaalselt mööda tasapinda koormist edasi tõmmates lugeda dünamomeetri näit ning nende andmete põhjal arvutada hõõrdetegur. Korrata sama protseduuri ka 4kg ning 5kg koormiste korral.

Hõõrdetegurite aritmeetiline keskmine :

Tudengite ülesandeks oli määrata hõõrdetegur aluspinna, milleks oli matt ning koormiste aluse vahel erinevate masside korral. Selleks tuli tudengitel asetada koormis alusele, ühendada koormiste alus dünamomeetri külge ning ühtlase kiirusega dünamomeetrit tõmbama paralleelselt pinnaga. Tegevuse käigus tuli fikseerida dünamomeetri näit, mis ühtlase kiirusega tõmbamise korral püsib sama väärtuse juures. Usaldusväärsete tulemuste saamiseks soovitati mõõtmisi korrata 5 korda. Mõõtmiste käigus fikseeritud näidu suurus iseloomustab vedrus tekkinud elastsusjõudu, mis omakorda iseloomustab hõõrdejõudu, kuna Newtoni III seadus ütleb, et kaks keha mõjutavad üksteist jõududega, mis on absoluutväärtuselt võrdsed ning vastassuunalised. Siinkohal on absoluutväärtuselt võrdsed ning suunalt vastupidised vedrus tekkinud elastsusjõud ning hõõrdejõud. Hõõrdejõu leidmiseks kasutatakse valemist $F_h = mg \mu$. Kuna ülesandeks on hõõrdeteguri määramine, tuleb valemist avaldada hõõrdetegur ning see leida:

$$F_h = mg \mu \Rightarrow \mu = \frac{F_h}{mg}$$

Protseduuri tuli korrata 3 erineva massi korral ning tulemuste põhjal leida mati ning koormiste aluse vaheline keskmine hõõrdetegur.

3. Ülesanne - Staatilise ning kineetilise hõõrdejõu määramine erinevate (3kg, 4kg, 5kg) koormiste korral.

Kas ja milline seos on staatilisel ning kineetilisel hõõrdejõul erinevate koormiste korral?

Tudengite ülesandeks oli asetada koormis alusele ning mõõta dünamomeetriga ülesandes toodud koormiste korral kineetiline ning staatiline hõõrdejõud. Staatiline hõõrdejõud on suurim vahetult enne keha liikuma hakkamist, seega staatilise hõõrdejõu määramiseks pidid tudengid seisva koormise külge haagitud dünamomeetrit vaikselt tõmbama hakkama stabiilselt rakendatavat jõudu tõstes. Rakendatavat jõudu tuli tõsta seni, kuni koormis hakkas liikuma ning fikseerida dünamomeetri näit vahetult enne liikuma hakkamist. See näit iseloomustab staatilist hõõrdejõudu. Kineetilise hõõrdejõu määramiseks tuli analoogselt teisele ülesandele koormist ühtlase kiirusega mööda pinda tõmmata ning samal ajal fikseerida dünamomeetri näit. Usaldusväärsete tulemuste saamiseks soovitati mõõtmisi korrata 5 korda iga massi kohta.

Katse tulemustest ilmnes, et staatiline hõõrdejõud on alati suurem kui kineetiline hõõrdejõud.

4. Ülesanne

Kaldpinna nurga määramine dünamomeetri abil.

Mööda dünamomeetri abil, kui suur on kehale mõjuv resultantjõud 5kg koormise ühtlase kiirusega tõmbamise korral mööda kaldpinda üles(korda 5x) ning alla (korda 5x). Seejärel korda samu mõõtmisi 3kg koormisega.

Kasutades mõõtmise tulemusi ning kaldpinnal liikuva keha valemeid, koostada võrrandisüsteem ning lahendada see, et leida kaldpinna nurk.

$$F_{res\uparrow} = mg \cos\theta \mu + mg \sin \theta;$$

$$F_{res\downarrow} = mg \cos\theta \mu - mg \sin \theta$$

Korrata sama protseduuri ka 5kg koormise korral.

Neljanda ülesande eesmärgiks oli kaldpinda nurga määramine dünamomeetri abil. Tudengite ülesandeks oli esmalt asetada koormiste alusele 3kg koormis, seda esmalt lohistada ühtlase kiirusega mööda kaldpinda üles ning seejärel ka alla. Mõlemat mõõtmist soovitati teha 5 korda. Tudengitele olid ette antud valemid keha resultantjõu leidmiseks selle mööda kaldpinda üles- ning alla tõmbamise korral. Tudengite eesmärgiks oli leida kaldpinna nurk seda mõõtmata ning selle leidmiseks pidid tudengid koostama võrrandisüsteemi, selle lahendamaks, sealt avaldama nurga ning selle leidma. Võrrandisüsteem koosnes kahest võrrandist: $F_{res\uparrow} = mg \cos\theta \mu + mg \sin \theta$, mis iseloomustab resultantjõudu keha ühtlase kiirusega liikumisel mööda kaldpinda üles, ning $F_{res\downarrow} = mg \cos\theta \mu - mg \sin \theta$, mis iseloomustab resultantjõudu keha ühtlase kiirusega liikumisel mööda kaldpinda alla. Resultantjõu suurused oli võimalik välja lugeda dünamomeetri näidult, kui keha ühtlase kiirusega mööda kaldpinda üles või alla tõmmata. Seejärel tuli lahutada ühest valemist teine ning alles jäi üks võrrand ühe tundmatuga, milleks oli küsitav nurk. Selle leidmiseks tuli valemist nurk avaldada ning see leida.

$$F_{res\uparrow} - F_{res\downarrow} = (mg \cos\theta \mu + mg \sin \theta) - (mg \cos\theta \mu - mg \sin \theta) = 2mg \sin \theta$$

$$F_{res\uparrow} - F_{res\downarrow} = 2mg \sin \theta \Rightarrow \sin\theta = \frac{F_{res\uparrow} - F_{res\downarrow}}{2mg}$$

Sama protseduuri tuli korrata ka 5kg koormise korral.

3 Laboratoorse töö tulemused

Laboratoorne töö oli üks neljast laboratoorsest tööst, mille esmakursuslased pidid rakendusfüüsika aine raames sooritama. Laboratoorse töö mõõtmistel osales 17 tudengit ning 15 neist esitas õigeaegselt laboratoorse töö aruande. Aruande esitamiseks oli tudengitel aega 5-12 päeva, olenevalt nende laboratoorse töö mõõtmiste sooritamise ajast. Laboratoorse töö juhendaja pidas oluliseks laboratoorse töö sooritamise juures just töö sisu ning lahenduskäiku, tööde vormistusele rõhku ei pööratud.

Üldiselt olid laboratoorse töö ülesanded õigesti lahendatud, kuid esinesid ka mõned vead. Üheks neist oli esimese ülesande puhul jäikustegurit leides mitte SI-ühikute kasutamine. Vedru pikkuse muut määrati millimeetrites, mitte meetrites ning seetõttu oli ka jäikustegurit leides vastus 1000 korda eeldatavast vastusest väiksem. Teiseks veaks, mis esines 2 tudengi töös, oli teise ülesande puhul hõõrdeteguri valesti avaldamine valemist ning seetõttu tulid ka hõõrdeteguri suurused valed. Õige on $\mu = \frac{F_h}{mg}$, kuid nende töödes oli hõõrdetegur avaldatud selliselt: $\mu = F_h mg$. Ning kolmes töös kajastati ka tabelis kineetilise ning staatilise hõõrdejõu väärtusi vastupidiselt. Eeldatavasti on kõigi kolme vea puhul tegemist hooletusvigadega ning sellisel tasemel teisendamist ning avaldamist siiski üle õpetada ei tule.

Esimese ülesande puhul tudengitel jäikusteguri leidmisega probleeme ei olnud ning mõõtmistulemused tulid samuti sarnased. Jäikusteguri väärtused saadi vahemikku 928 – 1154 (N/m) ning jäikusteguri aritmeetiliseks keskmiseks oli 1011,36 (N/m).

nr /m(kg)	Fr(2)	Fr(3,75)	Fr(5)	k(2)	k(3,75)	k(5)	keskmine k
1	20	37	50	1000	1000	1000	1000,00
2	20	37	49	833	1000	988	940,33
3	20	35	50	1000	875	909	928,00
4	20	37	50	1000	1000	1000	1000,00
5	20	36	50	1111	1028	1111	1083,33
6	18	35	47	900	1166	940	1002,00
7	20	35	45	909	946	1000	951,67
8	20	37	50	1000	925	1041	988,67
9	19,6	36,3	49	1088	1036	1088	1070,67
10	20	37,5	50	1250	1102	1111	1154,33
11	20	37	49	833	1000	980	937,67
12	19,6	36,8	49	1080	1080	1080	1080,00
13	20	37,5	50	1250	1102	1111	1154,33
14	20	35	50	1000	875	909	928,00
15	20	35	45	909	945	1000	951,33
Jäikustegurite aritmeetiline keskmine:							1011,36

Joonis 5 – Raskusjõu mõõtmistulemused ning arvutatud jäikustegurite väärtused erinevate masside korral

Teise ülesande puhul samuti hõõrdeteguri leidmisega tudengitel probleeme ei olnud, välja arvatud 2 tudengit, kes avaldasid valemist hõõrdeteguri valesti. Hõõrdeteguri aritmeetiline keskmine tuli 0,31. Kui jätta ühe tudengi tulemused kõrvale, saadi hõõrdetegurite väärtused vahemikes 0,28-0,34. Ühe tudengi hõõrdeteguri väärtuseks oli 0,423 ning tema mõõdetud hõõrdejõu väärtused erinesid oluliselt ülejäänud kursuse tulemustest. Teistest erineva tulemuse saamise põhjuseid võib olla mitmeid. Dünamomeeter võis olla kalibreerimata, st et dünamomeetri nullkoht võis olla paigast nihkunud. Mõõtmiste sooritaja võis dünamomeetri näite lugeda ebatäpselt, mõõtmise sooritamise käigus ei tõmmatud dünamomeetrit paralleelselt pinnaga vaid nurga all või mõõtmise käigus ei tõmmatud dünamomeetrit ühtlase kiirusega. Üldjoontes olid aga mõõtmistulemused ootuspärased.

nr /m(kg)	Fh(3,6)	Fh(4,6)	Fh(5,6)		$\mu(3,6)$	$\mu(4,6)$	$\mu(5,6)$	keskmine μ
1	10	13	15		0,28	0,28	0,28	0,280
2	10,5	13,5	15,6		0,29	0,3	0,29	0,293
3	10	14	17		0,28	0,31	0,31	0,300
4	10	13	15		0,28	0,28	0,28	0,280
5	10	14	18		0,28	0,31	0,32	0,303
6	9	12	15		0,255	0,266	0,273	0,265
7	11	13	16		0,312	0,288	0,29	0,297
8	12	15	18		0,34	0,33	0,32	0,330
9	10	14	18		0,28	0,31	0,32	0,303
10	12,5	15	19		0,35	0,33	0,34	0,340
11	10,5	13,5	15,6		0,29	0,3	0,29	0,293
12	15	19	23		0,43	0,42	0,42	0,423
13	12,5	15	19		0,35	0,33	0,34	0,340
14	10	14	17		0,28	0,31	0,31	0,300
15	11	13	16		0,312	0,288	0,29	0,297
Hõõrdeteguri aritmeetiline keskmine:								0,311

Joonis 6 – Hõõrdejõu mõõtmistulemused ning hõõrdeteguri arvutustulemused erinevate masside korral

Kolmanda ülesande juures tuli tudengitele selgitada staatilise ning kineetilise hõõrdejõu erinevusi ning kui see oli tehtud, ei olnud tudengitel probleemi mõõtmiste sooritamise ja nende põhjal järelduse tegemisega. Saadi aru, et staatiline hõõrdejõud on alati suurem kui kineetiline hõõrdejõud ning keha liikumise alustamiseks on vaja rohkem jõudu kui keha ühtlase kiirusega liikumise säilitamiseks. Kolmanda ülesande mõõtmiste tulemuste juures ei täheldatud ebamõistlikult suuri üksikuid kõrvalekaldeid, kuid tuleb märkida, et vastuste hajuvus staatilise hõõrdejõu korral on suur. Seda ilmselt seetõttu, et staatilise hõõrdejõu näit tuli lugeda dünamomeetrit vahetult enne keha liikuma hakkamist ning täpse näidu fikseerimine antud tingimustes oli keeruline.

m(kg)	Fst(3,6)	Fst(4,6)	Fst(5,6)	m(kg)	Fki(3,6)	Fki(4,6)	Fki(5,6)
1	17	20	25	1	10	13	15
2	16	22	25	2	10,5	13,5	15,6
3	18	22	26	3	10	14	17
4	17	20	25	4	10	13	15
5	18	25	30	5	10	14	18
6	17	20	25	6	9	12	15
7	15	20	25	7	10	13	16
8	15	20	24	8	12	15	18
9	18	25	30	9	10	14	18
10	19	24	29	10	12,5	15	19
11	16	22	25	11	10,5	13,5	15,6
12	15	19	23	12	10	13	16
13	19	24	29	13	12,5	15	19
14	18	22	26	14	10	14	17
15	15	20	25	15	10	13	16
keskmine:	16,87	21,67	26,13	keskmine:	10,47	13,67	16,68

Joonis 7 – Kolmanda ülesande staatilise ning kineetilise hõõrdejõu mõõtmiste tulemused ning nende aritmeetilised keskmised erinevate masside korral

Neljanda ülesande mõõtmistulemused olid valdavalt ootuspärased – 13 juhul saadi kaldenurga suurus vahemikku 14,45 – 15,05 kraadi, kahel juhul aga vastavalt 13,15 kraadi ja 13,66 kraadi. Tõenäoliselt olid nende kahe kõrvalekalde põhjusteks vead mõõtmisprotsessis, kuna ka dünamomeetri näidu suurused keha mööda kaldpinda üles tõmmates olid väiksemad kui ülejäänud kursusel. Ülesande juures mõõtmistega probleeme ei olnud, küll aga tekitas mõningast segadust ülesande lahenduskaik. Ilma lisaselgitusteta jäi tudengitele segaseks, kuidas antud mõõtmistulemuste kaudu on võimalik kaldpinna nurga suurust määrata, kuid tudengite suunamise järel see rohkem takistusi ei valmistanud. Üldjoontes saab mõõtmis- ning arvutustulemustega rahul olla, kuna tulemuste hajuvus on väike ning need on kooskõlas tegeliku nurga suurusega.

4 TAGASISIDE KÜSITLUS

Praktikumi sooritamise järel tuli tudengitel täita tagasiside küsitlus, mis toimus Google Forms keskkonnas. Küsitluses oli kokku 12 küsimust, millest 10 olid kohustuslikud ning neist 7 küsimust olid väitevormis, millele sai vastata viie palli skaalal, kus 1- "ei ole üldse nõus", 2- "ei ole pigem nõus", 3- "nii ja naa" 4- "olen pigem nõus" 5- "olen täiesti nõus", 2 küsimust olid vabas tekstivormis vastatavad küsimused ning ühele küsimusele sai vastata „jah“ või „ei“.

4.1 Tagasiside küsitluse küsimused

Praktikumi ülesehitus oli loogiline ning arusaadav.

Küsimuse eesmärk oli teada saada, kuidas jäid laboratoorset tööd sooritanud tudengid rahule selle ülesehitusega. Praktikumi ülesehituse all peetakse silmas praktikumi juhendit, ülesannete täitmiseks kasutada olevaid töövahendeid ning ülesannete valikut.

Eelnevad teadmised valdkonnas olid piisavad laboratoorse töö sooritamiseks.

Küsimuse eesmärk oli teada saada, kas eelnevad teadmised ning varasemalt loengutes õpitu olid piisavad, et laboratoorse töö mõõtmisi läbi viia ning ülesandeid lahendada.

Laboratoorse töö raskusaste oli (1 - "liiga madal", 2- "sobiv" 3 - "liiga kõrge")

Küsimuse eesmärk oli teada saada, kas milline oli tudengite arvates laboratoorse töö keerukus. Küsimusele sai vastata kolme palli skaalal, kus 1- "liiga madal" ,2- "sobiv", 3- "liiga kõrge".

Kas said laboratoorse töö sooritamise käigus uusi teadmisi?

Küsimuse eesmärgiks oli tudengitelt teada saada, kas nad omandasid laboratoorse töö käigus ka uusi teadmisi. Autor eeldas, et laboratoorseks tööks vajalik teoreetiline materjal on tudengitel varem läbitud ning otsesid uusi teadmisi laboratoorse töö sooritamise käigus ei saada ning küsimus oli selle eelduse kinnitamiseks. Küsimusele sai vastata kas „jah“ või „ei“.

Kui vastasid eelmisele küsimusele „jah“, siis palun kirjelda, milliseid uusi teadmisi said?

Kui eelmisele küsimusele vastati „jah“, siis oli võimalik selle küsimuse juures vabas vormis kirjutada, milliseid uusi teadmisi tudengid laboratoorse töö käigus said. Küsimus ei olnud vastamiseks kohustuslik.

Praktikum aitas loengus õpitud materjale kinnistada

Tudengid läbisid eelnevalt rakendusfüüsika aines selle teema teoreetilise osa ning laboratoorse töö üks eesmärkidest oli varem õpitud teoreetilise osa kinnistamine. Küsimuse eesmärk oli teada saada, kas praktikumist oli kasu varem läbitud teoreetilise osa kinnistamiseks või mitte. Küsimusele sai vastata viie palli skaalal, kus 1- "ei ole üldse nõus", 2- "ei ole pigem nõus", 3- "nii ja naa" 4- "olen pigem nõus" 5- "olen täiesti nõus".

Teema loengus käsitlemise ning laboratoorse töö sooritamise vahel oli (1 - "liiga lühike", 2- "täpselt sobiv", 3- "liiga pikk")...

Tudengite teema loengus käsitlemise ning laboratoorse töö sooritamise vahele jäi 7-8 nädala pikkune periood. Antud küsimuse eesmärgiks oli välja tuua, kuidas suhtusid tudengid tavapärasest pikemas ajaperioodi loengu ning laboratoorse töö vahel. Küsimusele sai vastata kolme palli skaalal, kus 1- "liiga lühike", 2- "täpselt sobiv", 3- "liiga pikk".

Laboratoorse töö ülesanded olid arusaadavad ning ei vajanud täpsustamist.

Küsimuse eesmärk oli teada saada, milline oli tudengite arvates laboratoorse töö ülesannete arusaadavus, et oleks tuleviku tarbeks teada, kas on vajalik ülesannete juhendis rohkem lahti seletamine ning teoreetilise osa suurendamine või mitte. Küsimusele sai vastata viie palli skaalal, kus 1- "ei ole üldse nõus", 5- "olen täiesti nõus".

Jäin abiga praktikumi sooritamise käigus rahule

Praktikumi sooritamise käigus oli võimalik praktikumi juhendajalt, kes on käesoleva töö autor, abi küsida, kui mõni asi vajab selgitamist. Küsimusele sai vastata viie palli skaalal, kus 1- "ei ole üldse nõus", 2- "ei ole pigem nõus", 3- "nii ja naa" 4- "olen pigem nõus" 5- "olen täiesti nõus".

Kas midagi oleks võinud laboratoorse töö juures teha teisiti ning kui jah, siis mida?

Küsimusele sai vastata vabas tekstivormis ning küsimuse eesmärgiks oli tudengitelt teada saada, kas laboratoorse töö juures oleks võinud midagi teha teisiti ning saada nende ettepanekuid muudatuste suhtes.

Muud ideed, mõtted, tähelepanekud seoses laboratoorse tööga:

Antud küsimusele vastamine oli tudengitele vabatahtlik ning küsimuse eesmärk oli võimaldada tagasiside raames tudengitel vabas tekstivormis kirja panna muud tekkinud ideed, mõtted või tähelepanekud seoses laboratoorse töö parendamisega.

5 TAGASISIDE TULEMUSED

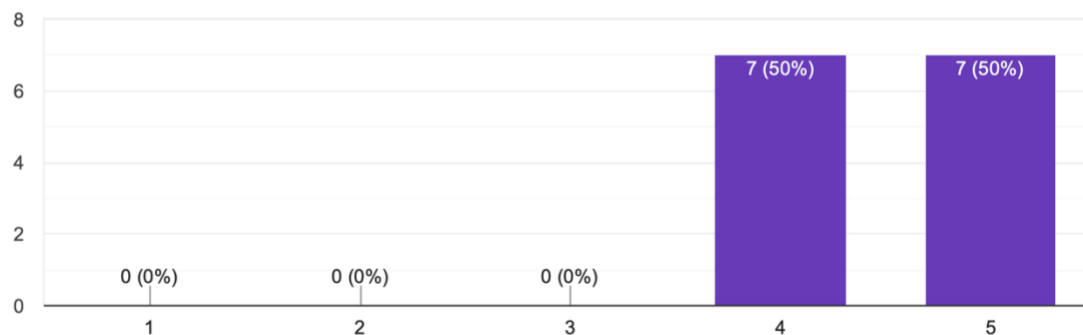
Laboratoorseid töid sooritas kokku 17 üliõpilast, kellest 14 täitsid tagasiside vormi. Küsitluse täitnud 14 tudengit jagunesid võrdselt kahe laboratoorse töö soorituse vahel, st 7 vastanud tudengit sooritas laboratoorse töö ühel nädalal ja 7 teisel. Allpool on toodud tagasiside tulemused.

Laboratoorse töö ülesehitus oli loogiline ning arusaadav.

Tagasiside vormi täitnud 14 tudengist 7 valis vastuseks viie palli skaalal 5, mis tähendas „olen täiesti nõus“ ning 7 valis vastuseks 4, mis tähendas „olen pigem nõus“. Nende vastuste põhjal võib järeldada, et üldises plaanis jäädgi laboratoorse töö ülesehitusega rahule ning töö oli tudengite jaoks loogiline, kuid kuna pooled vastanutest valisid viie palli skaalal vastuseks 4, on siiski ka arenemisruumi.

Laboratoorse töö ülesehitus oli loogiline ning arusaadav

14 vastust



Joonis 8 – Tagasiside vormi esimese küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus“, 5 – „olen täiesti nõus“)

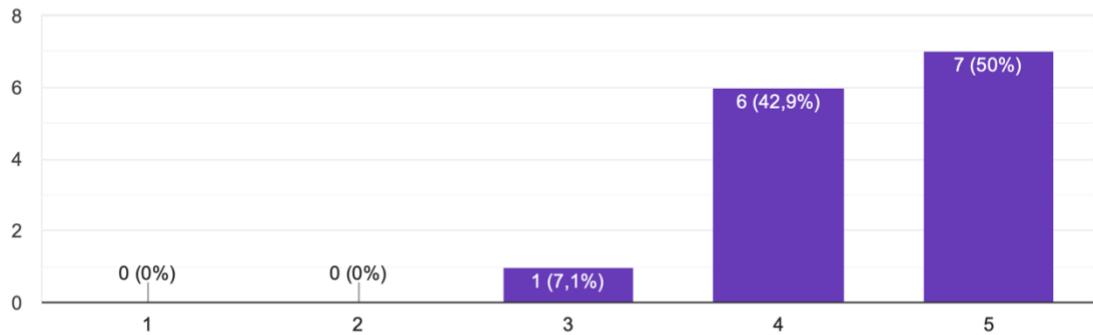
Eelnevad teadmised antud teemal olid piisavad laboratoorse töö sooritamiseks.

Tagasisides osalenud 14 vastanut poolt olid ülaltoodud väitega täiesti nõus (vastasid viie palli skaalal 5), 6 vastanut oli väitega pigem nõus ning üks tudeng vastas viie palli skaalal 3, mis tähendab „nii ja naa“. Vastustest võib järeldada, et poolte vastanute jaoks

olid eelnevad teadmised laboratoorse töö sooritamiseks täiesti piisavad ning pooled vastanutest oleksid vajanud rohkem teadmisi töö sooritamiseks.

Eelnevad teadmised antud teemal olid piisavad laboratoorse töö sooritamiseks

14 vastust



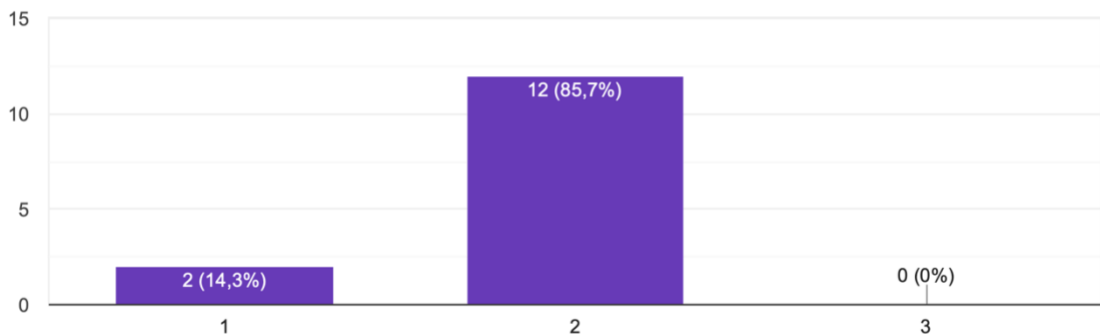
Joonis 9 – Tagasiside vormi teise küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus“, 5- „olen täiesti nõus“)

Laboratoorse töö raskusaste oli (1- „liiga madal“, 2- „sobiv“, 3- „liiga kõrge“)

12 tudengit ehk 85,7% küsitlusel osalenutest vastas, et laboratoorse töö raskusaste oli neile sobiv ning 2 tudengit ehk 14,3% vastas, et laboratoorse töö raskusaste oli liiga madal ning laboratoorse töö raskusaste ei olnud kellegi jaoks liiga kõrge. Vastustest võib järeldada, et laboratoorse töö raskusaste oli tudengitele sobilik.

Laboratoorse töö raskusaste oli (1 - "liiga madal", 2- "sobiv" 3 - "liiga kõrge")

14 vastust



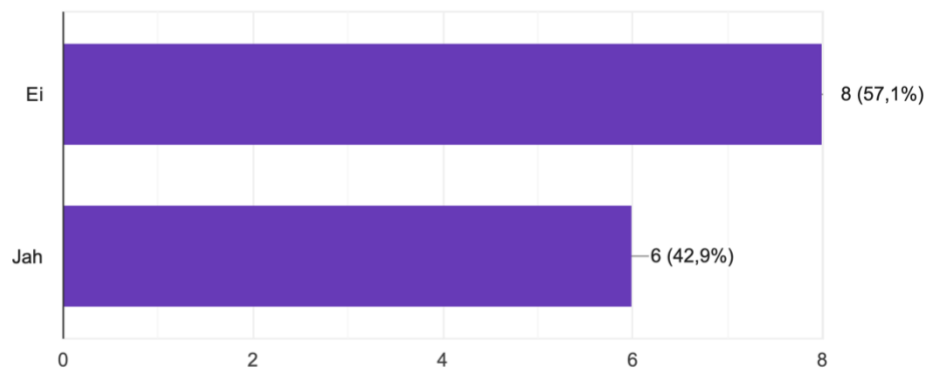
Joonis 10 – Tagasiside vormi kolmanda küsimuse vastused (1- „liiga madal“, 2- „sobiv“, 3- liiga kõrge“).

Kas said laboratoorse töö sooritamise käigus uusi teadmisi?

14 küsitlusele vastanust 8 vastasid, et nad ei saanud laboratoorse töö käigus uusi teadmisi ning 6 vastasid, et nad said laboratoorse töö käigus uusi teadmisi.

Kas said laboratoorse töö sooritamise käigus uusi teadmisi? Kui jah, siis milliseid?

14 vastust



Joonis 11 – Tagasiside vormi neljanda küsimuse vastused

Kui vastasid eelmisele küsimusele „jah“, siis palun kirjelda, milliseid uusi teadmisi said:

Antud küsimusele vastamine ei olnud kohustuslik ning küsimusele vastas 5 tudengit, kes eelmise küsimuse vastuseks märkisid, et nad said laboratoorse töö sooritamise käigus uusi teadmisi. Küsimusele vastanute jaoks olid uued 2 asja: erinevus kineetilise ning staatilise hõõrdejõu vahel ning nurga suuruse määramine seda mõõtmata.

Kui vastasid eelmisele küsimusele "jah", siis palun kirjelda, milliseid uusi teadmisi said:

5 vastust

Staatiline ja kineetiline energia olid tundmatud terminid ning uueks informatsiooniks oli ka kaldnurga välja arvutamine ilma reaalselt nurka mõõtmata.

Staatiline hõõrdejõud ja kineetiline hõõrdejõud ning nende erinevus

Nurga mõõtmine raskusjõu abil

erinevus staatilise ja kineetilise hõõrdejõu vahel

Teadmisi ei oska hetkel välja tuua, küll aga praktikas õpitu kinnistamine ning tuletamine olid head.

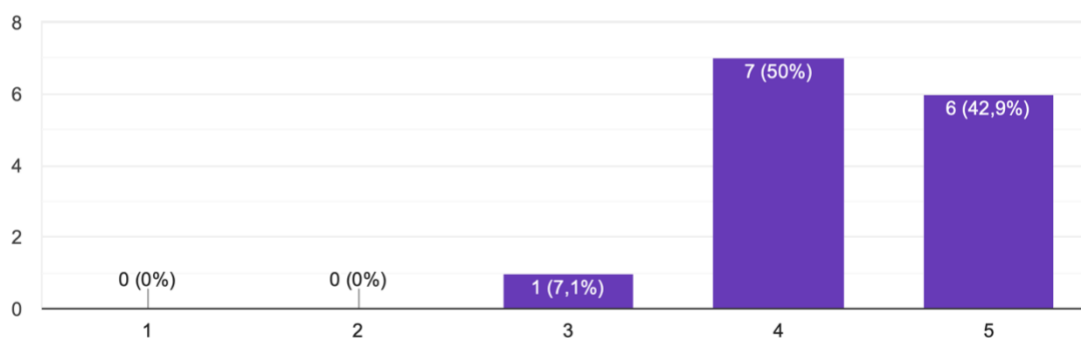
Joonis 12 – Tagasiside vormi viienda küsimuse vastused

Praktikum oli huvitav

Tagasiside vormi täitnutest 6 olid väitega, et praktikum oli huvitav, täiesti nõus, 7 tudengit olid pigem nõus ning üks tudeng vastas „nii ja naa“. Vastustest võib järeldada, et laboratoorne töö igav ei olnud ühegi vastanu jaoks, aga enam kui poolte tudengite jaoks oleks võinud see veel huvitavam olla.

Praktikum oli huvitav

14 vastust



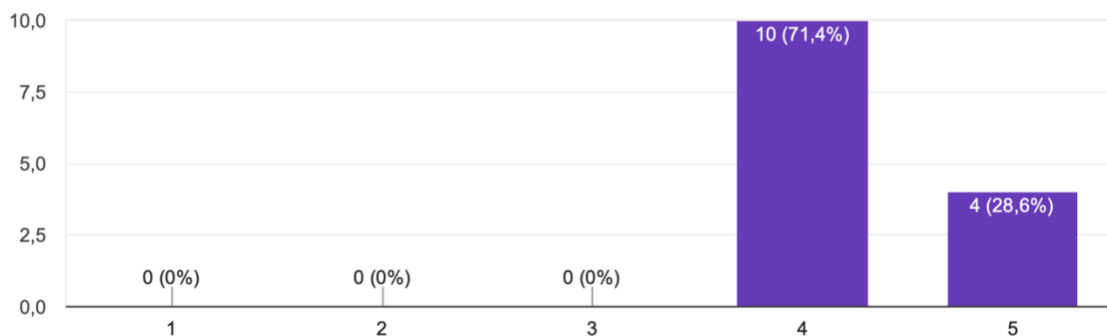
Joonis 13 – Tagasiside vormi kuuenda küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus, 5- „olen täiesti nõus“)

Praktikum aitas kinnistada loengus õpitud materjale

Tagasiside vormi täitnud 14 tudengist 10 olid väitega pigem nõus ning 4 tudengit oli väitega täiesti nõus. Vastustest võib järeldada, et praktikum täitis enda eesmärgi ning kinnistas vaatamata pikale ajaperioodile loengus õpitud materjale.

Praktikum aitas kinnistada loengus õpitud materjale

14 vastust



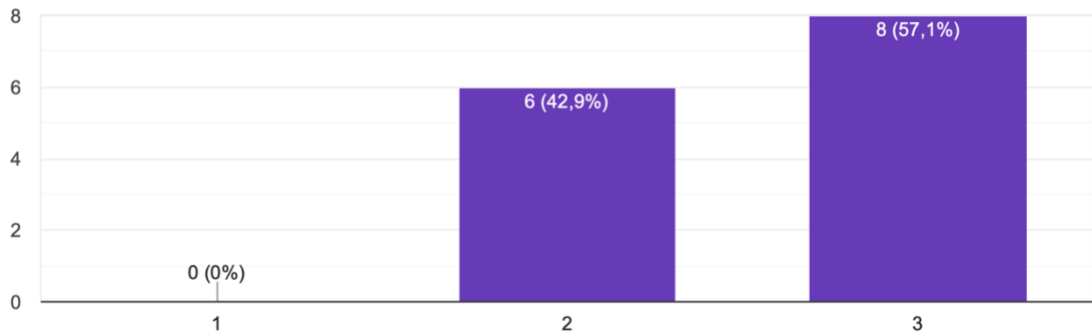
Joonis 14 – Tagasiside vormi seitsmenda küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus“, 5- „olen täiesti nõus“)

Ajaperiood teema loengus käsitlemise ning laboratoorse töö sooritamise vahel oli (1- „liiga lühike, 2- „sobiv“, 3- „liiga pikk“)...

14 tagasisidele vastanud tudengist 8 jaoks oli ajaperiood loengu ning laboratoorse töö sooritamise vahel liiga pikk ning 6 tudengi jaoks oli ajaperiood täpselt sobiv. Üle poolte vastanute jaoks oli ajaperiood liialt pikk, mis tähendab, et edaspidi tuleks nii pikka ajaperioodi teooria ning praktika vahel vältida.

Teema loengus käsitlemise ning laboratoorse töö sooritamise vahel oli (1 - "liiga lühike", 2- "täpselt sobiv", 3- "liiga pikk")...

14 vastust



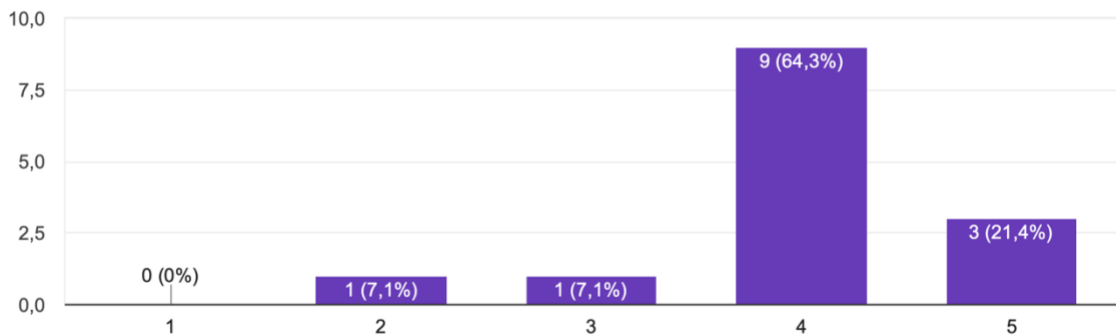
Joonis 15 – Tagasiside vormi kaheksanda küsimuse vastused

Praktikumi ülesanded ning töökorraldused olid arusaadavad ning ei vajanud täpsustamist

Laboratoorse töö tagasisidele vastanud 14 tudengist vastasid kolm tudengit viie palli skaalal 5, ehk nad olid ülaltoodud väitega täiesti nõus, 9 tudengit vastasid 4 ehk nad olid väitega pigem nõus, 1 tudeng vastas 3 ehk „nii ja naa” ning üks tudeng vastas 2 ehk ta ei olnud väitega pigem nõus. Valdavalt olid ülesanded ning töökorraldused tudengitele arusaadavad, kuid vastustest võib välja lugeda, et leidis ka selliseid kohti, mis vajasid rohkem selgitust.

Praktikumi ülesanded ning töökorraldused olid arusaadavad ning ei vajanud täpsustamist

14 vastust

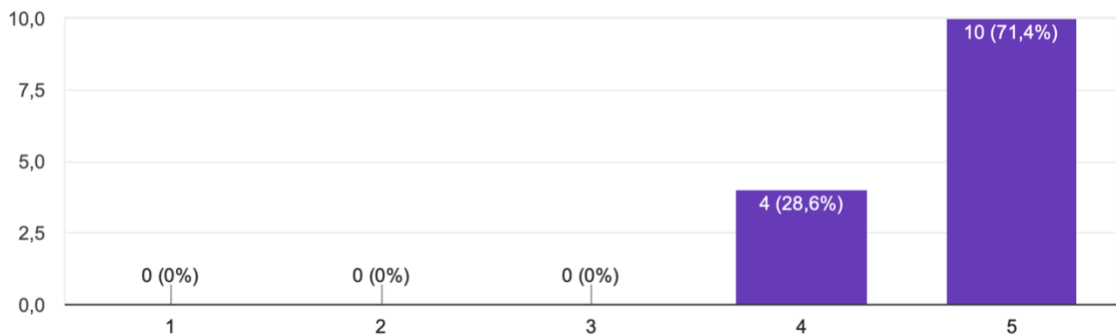


Joonis 16 – Tagasiside vormi üheksanda küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus”, 5- „olen täiesti nõus”)

Jäin abiga praktikumi sooritamise käigus rahule

14 vastanust 10 olid väitega täiesti nõus ning 4 tudengit olid väitega pigem nõus. Vastustest võib järeldada, et laboratoorse töö juhendaja abiga jäädi laboratoorse töö sooritamise käigus rahule ning nagu eelmise küsimuse vastustest võis välja lugeda, oli abi ka vajalik.

Jäin abiga praktikumi sooritamise käigus rahule
14 vastust



Joonis 17 – Tagasiside vormi kümnenda küsimuse vastused (1- „ei ole üldse nõus“, 5- „olen täiesti nõus“)

Kas midagi oleks võinud laboratoorse töö juures teha teisiti ning kui jah, siis mida?

Küsimusele vastamine oli vabas tekstivormis, et tudengitel oleks võimalus arvamust avaldada asjade suhtes, mis neile laboratoorse töö juures ei meeldinud või mida oleks võinud teha teisiti. Küsimusele vastanud 14st tudengist 3 pani kirja ka sisulise ettepaneku, mida võiks teha teisiti. Ülejäänud vastajad vastasid, et midagi ei oleks pidanud teisiti tegema või nad jäid laboratoorse tööga rahule.

Kas midagi oleks võinud laboratoorse töö juures teha teisiti ning kui jah, siis mida?

14 vastust

Ei

Laboratoorse töö sooritamisel oleks võinud olla võimalus mõõta realselt kaldpinna nurka, selleks et kontrollida enda arvutuskäikude tõesust.

Häiris asjaolu, et mulle jäi segaseks, kas kaldpinna korral raskusi tõmmata paralleelselt maaga või kaldpinnaga. Kuna tegin tööd aga ilma juhendajata, siis puudutas see asjaolu ainult mind. Töökirjeldusse oleks seda võib-olla kohmakas lisada, kuid kui midagi muuta, siis leian, et just seda. Tööjuhendist ei tulnud ka välja millised raskused on 1 kg, kuigi see oli loogiliselt tuletatav.

Laboratoorne töö oleks võinud olla mehaanika ja termodünaamika teema ajal (24.01-13.03).

Ei oska öelda.

Ei, tööd oli huvitav teha ning vajadusel oli abi alati olemas :)

Jäin selle laboratoorse tööga rahule.

Joonis 18 – Tagasiside vormi üheteistkümnenda küsimuse vastused

Muud ideed, küsimused, tähelepanekud seoses laboratoorse tööga:

Küsimusele vastamine oli vabatahtlik ning vastuse esitas 3 tudengit, millest üks vastus oli tühi.

Muud ideed, küsimused, tähelepanekud seoses laboratoorse tööga:

3 vastust

Hästi ettevalmistatud töövahendid ja juhend. Vahest võiks tuua välja võrreldavust Pythagorase teoreemiga nurga leidmisega.

See laboratoorne töö oli teistega võrreldes palju huvitavam.

.

Joonis 19 – Tagasiside vormi kaheteistkümnenda küsimuse vastused

5.1 Tagasiside järelendus

Tagasiside vormi vastuste põhjal võib väita, et esimese kursuse tudengitele läbi viidud laboratoorne töö täitis eesmärgi. Praktikumi üheks eesmärgiks on loengust õpitud materjalide kinnistamine ning kõik tudengid olid pigem või täiesti nõus, et laboratoorne töö kinnistas valdkonnas nende teadmisi. Samuti õppisid peaaegu pooled tudengid laboratoorse töö käigus ka midagi uut – saadi selgeks, milline erinevus on staatilisel ning kineetilisel hõõrdejõul ning uus teadmine oli ka nurga määramine jõudude kaudu nurka mõõtmata. Töö sooritajate arvates oli laboratoorne töö ülesehitus loogiline, arusaadav ning ka huvitav. Küll aga võib tagasiside vastustest järeldada, et laboratoorse töö ülesanded ning töökorraldused vajaksid põhjalikumat selgitust, et ülesanded ning korraldused oleksid kõigile tudengitele selged ning arusaadavad. Laboratoorse töö läbiviimise käigus oli peamiseks seletust vajavaks teemaks just staatilise ning kineetilise hõõrdejõu erinevus. Pea kõik tagasisidele vastanutest olid osaliselt või täiesti nõus, et laboratoorse töö sooritamiseks olid varasemad teadmised piisavad. Enamikele tudengitele oli raskusaste paras, kuid oli 2 tudengit, kelle jaoks oli töö raskusaste liiga madal ning liiga kõrge ei olnud laboratoorse töö raskusaste mitte ühegi tudengi jaoks. Seda kinnitab ka tõsiasi, et kõik tudengid, kes aruande esitasid, jõudsid ka õigete tulemusteni. Tulevikus võiks sarnase laboratoorse töö raskusastet vähesel määral tõsta, et töö ei oleks kellegi jaoks liiga lihtne, kuid ei muutuks ka liiga keeruliseks. Samuti tuleks teema loengus käsitlemise ning laboratoorse töö vahelist ajaperioodi lühendada, kuna rohkem kui poolte vastanute jaoks oli kõnealuse laboratoorse töö sooritamise ning teema loengus käsitlemise vahel liiga pikk ajaline periood.

5.2 Ettepanekud laboratoorse töö parendamiseks

Laboratoorse töö korraldusliku poole pealt tuleks vältida nii pikka ajaperioodi loengus teema käsitlemise ning laboratoorse töö sooritamise vahel, kuna enam kui pooled tudengid tundsid, et 7-8 nädalat oli selleks liiga pikk aeg.

Juhendi täiendamine laboratoorse töö sooritamiseks on samuti soovitatav, kuna laboratoorse töö käigus ilmnes asju, mis jäid segaseks ning vajasid lisaselgitusi. See kajastus ka tudengite tagasisides. Täpsemalt tuleks kirjeldada töövahendeid ning juhiseid mõõtmiste läbi viimiseks, et mõõtevead viia võimalikult madalale.

Laboratoorse töö läbiviimist silmas pidades võiksid töövahendid olla väiksemad ning kergemad. Antud töös kajastatud laboratoorse töö koormiste üks komplekt kaalus kokku 10kg ning ühe või mitme töövahendite komplekti liigutamine ühest ruumist teise ning nendega opereerimine võib osutuda tülikaks, kuna need on rasked. Samuti võiks koormiste küljes olemas olla konksud, et neid oleks võimalik vajaduse korral mugavalt dünamomeetri otsa riputada ning ka üksteise külge haakida. Samuti võiks olemas olla koormistele spetsiaalselt mõeldud alus, kuhu saab koormisi asetada ning koos sellega mõõtmisi läbi viia. Üks sobilik komplekt on välja toodud joonisel 20. Komplektis on koormised massidega 1kg, 0,5kg, 2 x 0,2kg, 0,1kg, 0,05kg, 2x 0,02kg ja 0,01kg.



Joonis 20 – Konksuga haagitavate koormiste komplekt (Pasco)

Esimese ülesande puhul võiks kaaluda dünamomeetri statiivi külge kinnitamist, et see oleks fikseeritult ühe koha peal. See võimaldaks mõõtmisi ka edukalt üksi läbi viia ning vähendaks mõõtmisprotsessis inimtekkelist mõõteviga. Kuna laboratoorse töö käigus hoidis üks rühmaliige dünamomeetrit võimalikult stabiilselt käes ning teine luges samal ajal dünamomeetrilt näitu, võis ebastabiilsuse tõttu dünamomeetri näit kõikuda ning see võis mõõteviga suurendada.

Kaldpind võiks edaspidi olla fikseeritud nurga asemel muudetava nurgaga. See võimaldaks ülesandeid kerge vaevaga modifitseerida ning oleks võimalik mõõtmisi sooritada erinevate nurkade puhul. Tudengite tagasisidest võis välja lugeda, et sooviti võimalust laboratoorse töö käigus mõõta ka kaldpinna nurka, et seda enda tulemustega võrrelda. Tulemuste kontrollimine on igati tervitatav, kuid sellisel juhul on võimalus, et nurk mõõdetakse enim ning alles seejärel sooritatakse teised mõõtmised, et läbi nende kaldpinna nurk arvutada ning kui on teada, milline peaks nurga suurus tulema, võidakse hakata enda mõõtmistulemusi „kallutama“ sobiva väärtuse poole, et katse tulemused tuleksid kindlasti õiged. Töö autor on seisukohal, et mõõtmiste sooritamine eelnevalt nurga suurust teadmata annab objektiivsemad mõõtmistulemused. Võiks olla võimalus kaldpinna nurga suuruse muutmiseks, kuid nurga väärtus võiks tudengitele mõõtmiste käigus olla teadmata.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli luua, ette valmistada ning läbi viia laboratoorne töö esimese kursuse tudengitele aines rakendusfüüsika. Ka oli eesmärgiks peale laboratoorse töö läbiviimist analüüsida nii laboratoorse töö aruandeid kui ka tagasiside küsitluse tulemusi.

Laboratoorse töö aruannete põhjal saab järeldada, et tudengid said ülesannetega hästi hakkama ning vastuste leidmisega probleeme ei tekkinud. Tagasiside tulemuste põhjal saab järeldada, et laboratoorse töö sooritajate jaoks oli töö huvitav ning valdavalt jäädi ka juhendiga rahule, küll aga tuleks teha mõningaid täiendusi selgema ning arusaadavama juhendi huvides.

Seesuguse protsessi läbitegemine – laboratoorse töö loomine, läbi viimine ning tulemuste analüüsimine – oli töö autori jaoks esmakordne ning selle käigus omandati nii uusi kogemusi kui teadmisi. Laboratoorse töö loomise ning ettevalmistamise käigus oli huvitav näha, kuidas erinevad tegurid mõõtmistulemusi mõjutasid.

Töö alguses püstitatud eesmärgid – laboratoorse töö loomine, ette valmistamine, läbi viimine ning tulemuste analüüsimine – said täidetud. Laboratoorse töö edasiarendamiseks tuleks täiendada laboratoorse töö juhendit selgitustega ning täpsemate mõõtmistulemuste saavutamiseks peaks kaaluma töövahendite täiustamist või välja vahetamist täpsemate vastu.

SUMMARY

The main purpose of this thesis was to prepare and carry out laboratory work among first-year student in the field of applied physics. Another aim of the current thesis was to analyze both: the reports of the laboratory work, and the feedback to the process from the students.

Based on reports of the laboratory work, it can be concluded that the students did well with the tasks and they did not have any problems with finding the correct answers. It can be from the feedback that the laborator work was interesting and the students were mostly satisfied with the clarity of the instructions, although in some cases it was stated that the instructions should be modified to be more clear and comprehensible.

The process of creating and carrying out laboratory work, as well as analyzing results was the first experience in that area for the author of this thesis and through this process, many new experiences and knowldege was acquired. Author states that it was interesting to see how different factors affected the measuring results.

Tha aims set at the beginning of the current thesis: creating, preparing and carrying out the laboratory work and analyzing the results, were achieved. In order to develop the laboratory work further, the manual of the work should be supplemented with explanations. Also, in order to obtain more accurate measuring results, the improvement or replacement of the measuring tools should be considered.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

Füüsikaleksikon. Viimati vaadatud 12.05.22, <https://füüsikaleksikon.ee>

Gregersen, E. (2021, 23 juuli). Newton's laws of motion. Viimati vaadatud 12.05.22, <https://www.britannica.com/science/Newtons-laws-of-motion>

Gregersen, E. (2020, 13 jaanuar). Hooke's law. Viimati vaadatud 12.05.22, <https://www.britannica.com/science/Hookes-law>

Kumar, S (2020). Newton's Laws of Motion and Friction: Mechanics. Viimati vaadatud 12.05.22, https://books.google.ee/books?id=CZ7SDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=friction+force+incline&hl=en&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Mehaanikast põneva nurga alt, <https://sisu.ut.ee/mehaanika/hõõrdumine-ja-hõõrdejõud-1>

Piirimets, J. . Loodusteadluslikud alused Laboratoorsed tööd. Viimati vaadatud 12.05.22, http://www.tlu.ee/~jaanisp/1TTU_MA/Laboratoorsed%20t%F6%F6d%20TT%DC%201-6.pdf

Science lab equipment & teacher resources, <https://www.pasco.com/products/lab-supplies/mass-sets/se-8759>

LISAD

1. Laboratoorse töö juhend

Laboratoorne töö

Kehale mõjuvad jõud tasa- ning kaldpinnal

Nimed:
.....

Kuupäev:

Töö

eesmärk

1. Vedru jäikuse mõõtmine.
2. Hõõrdeteguri määramine pinna (mati) ning koormiste vahel.
3. Staatilise ning kineetilise hõõrdejõu uurimine.
4. Kaldpinna nurga määramine.

Töövahendid

Dünamomeeter, koormised (1kg;1,25kg;2 x 2kg; 3,75kg),koormiste alus(0,6kg),
joonlaud, trossid, matt, kaldpind.

Nõuanded täpsemate tulemuste saavutamiseks:

- 1) Korda mõõtmisi u 5x ning võta arvesse nende keskmist
- 2) Koormisi tõmmates tee seda ühtlase kiirusega ning pinnaga paralleelselt

Teoreetiline osa

Hooke'i seaduse kohaselt on kehas tekkiv elastsusjõud võrdeline keha deformatsiooniga, so keha joonmõõtmete muutusega: $F = -k\Delta l$
Ehk siis, kui vedru on enda loomulikus asendis (vedru otsas raskust ei ole), siis on tema pikkuseks l_0 , mis tähistab algpikkust. Kui vedru otsa riputada raskus, siis vedru venib ning tema pikkuseks on nüüd l ehk lõpp-pikkus. Lõpp- ning algpikkuse vahet nimetatakse pikkuse muuduks ning tähistatakse Δl .

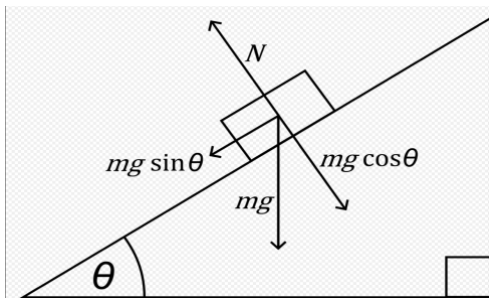
Kui vedru tasakaaluasendist allapoole venitada, rakendab vedru vastujõudu, mida nimetatakse elastsusjõuks ning see on leitav valemiga $F = -k\Delta l$, kus Δl on vedru pikkuse muut ning k on vedru jäikus. Avaldise ees on miinusmärk, kuna elastsusjõud mõjub vedru venitamise suunaga vastupidiselt.

Nähtust, kus hõõrdumine takistab mööda teise keha pinda libiseva keha liikumist, nimetatakse liugehõõrdumiseks. Liugehõõrdumise korral on hõõrdejõud suunatud alati liikumisele vastassuunas. Jõu suurus oleneb kokkupuutuvate pindade omadustest ning pindu kokkusuruva jõu suurusest. Vastu mingit pinda surumisel mõjub kehale

rõhumisjõuga võrdne vastassuunaline toereaktsioon N . Horisontaalselt mööda tasapinda ühtlase kiirusega libiseva keha korral on toereaktsioon arvuliselt võrdne kehale mõjuva raskusjõuga ($N = mg$) ning sel juhul on hõõrdejõud leitav valemiga $F_h = mg \mu$, kus μ on hõõrdetegur, m libiseva keha mass ning g on raskuskiirendus.

Kaldpinnal ühtlase kiirusega liikuvale kehale mõjuvad erinevad jõud ja nende jõudude vektoriaalselt summat nimetatakse resultantjõuks. Kaldpinnal liikuvale kehale mõjub tema liikumisega vastupidises suunas hõõrdejõud (F_h), vertikaalselt alla suunatud raskusjõud (F_r) ning pinnaga risti suunatud toereaktsioon (N). Seega saame kaldpinnal ühtlaselt liikuva keha kohta valemid:

Üles : $F_{res \uparrow} = mg \cos \theta \mu + mg \sin \theta$; Alla: $F_{res \downarrow} = mg \cos \theta \mu - mg \sin \theta$



1. Ülesanne

Vedru jäikuse määramine

- a) Asetada koormiseta vedru/dünamomeeter vertikaalselt ning mõõta vedru pikkus algasendis.

Asetada 2000g koormis vedru otsa ning mõõta vedru pikkus, kui koormis ripub vedru otsas. Korrata samad mõõtmised ka 3750g ja 5000g koormistega ning arvutada vedru jäikus.

m	2kg	3,75kg	5kg
F(N)			
l_0			
l			
$\Delta l(m)$			
k			

- b) Võrrelda enda saadud tulemusi dünamomeetri originaal mõõtkavaga.

2. Ülesanne

Hõõrdeteguri määramine (mati ja koormise vahel).

Asetada 3kg koormis alusele, ühenda alus dünamomeetri konksu otsa ning ühtlaselt ja horisontaalselt mööda tasapinda koormist edasi tõmmates lugeda dünamomeetri näit ning nende andmete põhjal arvutada hõõrdetegur. Korrata sama protseduuri ka 4kg ning 5kg koormiste korral.

g	$9,8 \frac{m}{s^2}$	$9,8 \frac{m}{s^2}$	$9,8 \frac{m}{s^2}$
m	3,6kg	4,6kg	5,6kg
F_h			
μ			

Hõõrdetegurite aritmeetiline keskmine: $\underline{\mu} =$

3. Ülesanne

Staatilise ning kineetilise hõõrdejõu määramine erinevate koormiste korral.

	3,6kg	4,6kg	5,6kg
Staatiline hõõrdejõud			
Kineetiline hõõrdejõud			

Kas ja milline seos on staatilisel ning kineetilisel hõõrdejõul erinevate koormiste korral?

4. Ülesanne

Kaldpinna nurga määramine dünamomeetri abil.

Mõõda dünamomeetri abil, kui suur on kehale mõjuv resultantjõud 5kg koormise ühtlase kiirusega tõmbamise korral mööda kaldpinda üles(korda 5x) ning alla (korda 5x). Seejärel korda samu mõõtmisi 3kg koormisega.

Kasutades mõõtmise tulemusi ning kaldpinnal liikuva keha valemeid, koostada võrrandisüsteem ning lahendada see, et leida kaldpinna nurk.

$$F_{res\uparrow} = mg \cos\theta \mu + mg \sin \theta;$$

$$F_{res\downarrow} = mg \cos\theta \mu - mg \sin \theta$$

Korrata sama protseduuri ka 5kg koormise korral.

	3,6kg	5,6kg
$F_{res\uparrow}$		
$F_{res\downarrow}$		
$\sin \theta$		
θ		

Kaldpinna nurga suurus on: