



Izglītības un zinātnes ministrija



Studiju un zinātnes
administrācija

Valsts pētījumu programmas ‘Inovatīvi materiāli un viedās tehnoloģijas
vides drošumam (IMATEH)’

6.projekta ‘Metāla virsmas apstrāde berzes un nodiluma samazināšanai’

4.nodevums

**Metode slīdamības noteikšanai pa garāku ledus virsmu reālos
apstākļos, salīdzinājums ar laboratorijas iekārtu**

Sagatavoja: Pētnieks Jānis Lungevičs

Zin. asistents Ernests Jansons

Projekta vadītājs: A/Prof. Kārlis Agris Gross

Rīga, 2017.gada 30.jūnijs

SATURA RĀDĪTĀJS

Ievads.....	3
1. Slīdamības īpašību mērīšana laboratorijas apstākļos.....	3
2. Slīdamības īpašību noteikšana pa garāku ledus virsmu reālos apstākļos	4
2.1. Estakādes konstrukcija un laika mērīšanas sistēma.....	5
2.2. Ledus sagatavošana	7
2.3. Eksperimentālie paraugi un to sagatavošana	8
2.4. Slīdamības mērīšanas eksperiments un tā gaita.....	9
2.4.1. Slīdēšanas laika mērīšana	9
2.4.2. Kamanu palaišanas iekārta	10
2.4.3. Kamanu bremzēšana un atgriešana starta pozīcijā	11
2.5. Piloteksperiments.....	11
2.6. Eksperimenta realizēšanas pilnā secība	13
3. Garākas ledus trases salīdzinājums ar laboratorijas iekārtu	13
3.1. Garākas ledus trases un laboratorijas iekārtas parametru salīdzinājums	13
3.2. Ledus saldēšanas, sagatavošanas un klimata apstākļu salīdzinājums.....	14
3.3. Eksperimentālo paraugu un to apstrādes salīdzinājums	15
3.4 Eksperimenta realizēšanas salīdzinājums	16
Literatūra.....	17

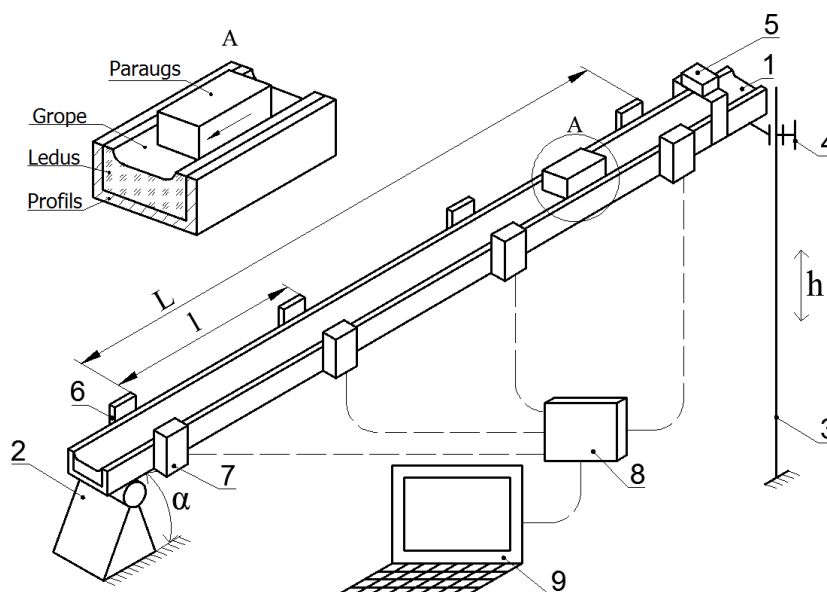
Ievads

Berzes pāra metāls-ledus slīdamības īpašību pārbaudes, Valsts pētījumu programmas “Inovātīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (IMATEH)” ietvaros, primāri tika veiktas izmantojot speciāli izveidotu slīdes stendu, kurš ievietots slēgtā klimata simulācijas kamerā, taču, šī iekārta ļauj pilnvērtīgi darboties tikai ar salīdzinoši neliela izmēra paraugiem pie maziem kontakta spiedieniem. Tā kā liela daļa reālo metāls-ledus berzes pāru darbojas pie salīdzinoši lielas kontakta slodzes un to slīdēšanas distance mēdz būt gara-mērāma metros, vai pat kilometros, tika veikta laboratorijā veikto eksperimentu aprobācija lielākā mērogā, t.i. ar lielāka mēroga virsmām, pielikto svaru un garāku slīdēšanas trases garumu.

Šajā nodevumā īsumā apkopota būtiskākā informācija par laboratorijas apstākļos esošo iekārtu un tās iespējām, kā arī plašāks apskats par metodi slīdamības noteikšanai pa garāku ledus virsmu reālos apstākļos, kā arī veikta metožu savstarpēja salīdzināšana.

1. Slīdamības īpašību mērīšana laboratorijas apstākļos.

Līdzšinējie slīdamības pētījumi veikti ar laboratorijas apstākļos esošu slīdes stendu (skat. principiālo shēmu 1.att.), kurš pamatā sastāv no 4m garas slīpās plaknes (1) ar maināmu leņķi (α), kura papildināta ar četriem optiskajiem (rertroreflektīvajiem) sensoriem (7) un to atstarotājiem (6), kuru ģenerētie signāli uzsāk un aptur personālajā datorā (9) esošo laika mērīšanas sistēmu. Laika mērīšanas sistēma ar četriem vienmērīgi izvietotiem sensoriem ļauj realizēt laika mērījumus ne tikai kopējai slīdēšanas distancei (L), bet arī atsevišķi trīs starpposmiem starp sensoriem (1), tādējādi sniedzot iespēju detalizētāk analizēt slīdēšanas procesu.



1.att. Laboratorijas slīdes stenda principiālā shēma.

Bez jau minētajām komponentēm iekārtas konstrukcijā iekļauts vienas brīvības pakāpes šarnīrs, vadotne (3), kura, komplektā ar fiksējamu karietīti (4) nodrošina slīpās plaknes leņķa regulēšanu un fiksēšanu eksperimentam nepieciešamajā leņķī, vadības signālu salāgojošais mezgls (8), kurš pārveido optisko sensoru 24V līdzstrāvas signālu 5V līdzstrāvas signālā, kā arī paraugu palaišanas mezgls (5), kurš nodrošina, ka paraugiem starta momentā netiek pievadīts papildus kustības impulss.

Izveidotā laika mērīšanas sistēma ļauj veikt slīdēšanas laika (t) mērīšanu ar skalas iedaļas vērtību 0,01s. No iegūtajiem laika mērījumiem iespējams atvasināt savstarpēji ērtāk salīdzināmu un plašāk izmantotu mērvienību, t.i. paraugu slīdēšanas vidējo ātrumu (v).

Stends ievietots RTU Siltuma, Gāzes un Ūdens Tehnoloģijas institūta ēku energoefektivitātes simulatora mikroklimata kamerā, kas ļauj jebkurā gadalaikā iegūt klimatu ar gaisa temperatūru līdz pat -15°C , un uzturēt šo temperatūru ar precizitāti $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Tieši šis aspekts ir kā viens no būtiskākajiem laboratorijas iekārtas plusiem, jo ar šo aprīkojumu pētījumus iespējams veikt visa gada griezumā, taču jāuzsver, ka patreizējā dzesēšanas sistēma neļauj veikt ļoti precīzu temperatūras iestatīšanu un uzturēšanu, kas ledus berzes izpētes procesā ir ļoti būtiski.

Tā kā laboratorijas iekārtas detalizēts apraksts jau ir izveidots un nodots projekta iepriekšējā pārskata periodā (Metode slīdamības mērīšanai laboratorijas apstākļos), šajā atskaitē iekārta netiks izskatīta sīkāk.

2. Slīdamības īpašību noteikšana pa garāku ledus virsmu reālos apstākļos

Kā minēts iepriekš, reāli metāls-ledus berzes pāri parasti ir samērā liela mēroga, tiem pielikta salīdzinoši liela kontakta slodze, kā arī to kustība notiek pa garu distanci, tāpēc, rodas nepieciešamība izveidot metodiku kā veikt pārbaudes šādiem berzes pāriem reālos apstākļos, lai redzētu, vai laboratorijas apstākļos iegūtās tendences un novērojumi sakrīt ar reāliem apstākļiem lielākā mērogā. Šādas metodikas izstrādāšana saistās ar vairāku sarežģītu problēmu risināšanu, kā piemēram, pēc kāda principa veikt mērījumus, kā nodrošināt klimatiskos apstākļus, un kā sagatavot ledus un metāla virsmas.

Veicot problēmu analīzi un pieejamo iespēju izvērtējumu Latvijas teritorijā, tika konstatēts, ka labākā opcija plānoto eksperimentu realizēšanai reālos apstākļos iespējama Siguldas kamaniņu trases starta treniņu estakādē (turpmāk – estakāde). Estakāde ir labi piemērota izvirzītā uzdevuma izpildei, jo:

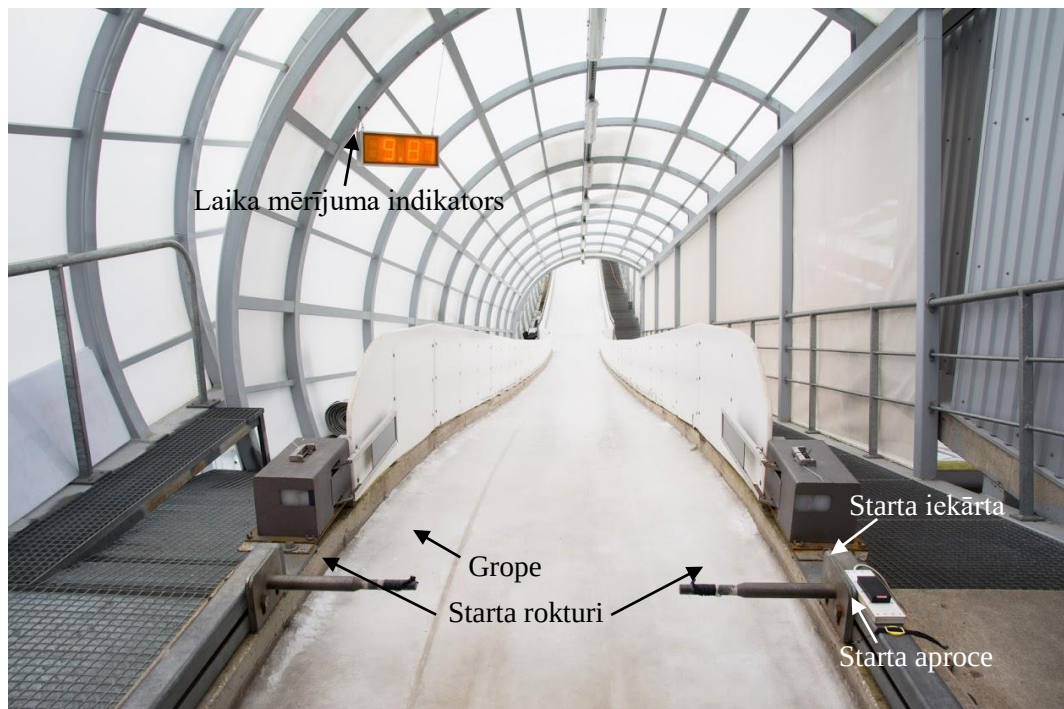
- Tā spēj nodrošināt ledu no septembra līdz maija mēnesim;
- Tiek izmantots identisks mērīšanas princips kā laboratorijas iekārtai (slīpā plakne ar papildus laika mērīšanas sistēmu);

- Pieejamas 2 dažādu slīpumu un garumu plaknes (skat. 3. att.);
- Pieejams augsti kvalificēts ledus virsmas sagatavošanas personāls;
- Estakāde daļēji izolēta no ārējo klimatisko apstākļu iespaida.

Sekojošajās apakšnodalās detalizētāk apskatīti ar estakādi saistītie jautājumi, kā arī veikts salīdzinājums ar laboratorijas apstākļiem.

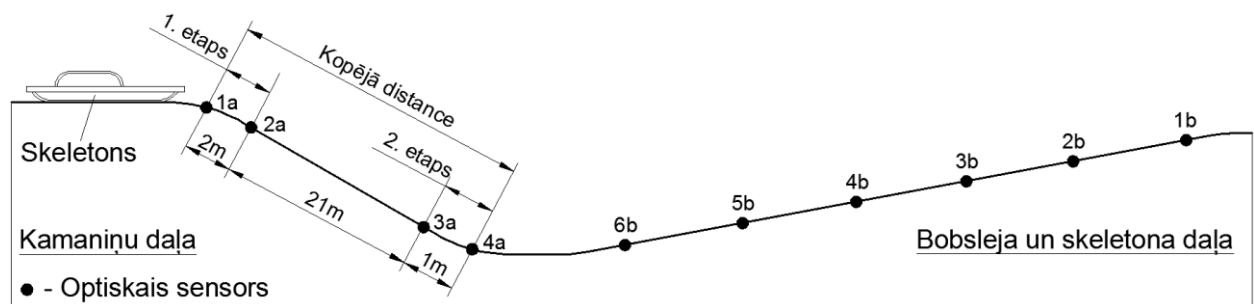
2.1. Estakādes konstrukcija un laika mērīšanas sistēma

Estakādes balstošā konstrukcija veidota daļēji slēgta (skat. 2.att.), t.i. tās griesti un daļa sienu veidoti no polimēru materiāla, bet daļa sānu aizdarīti ar audumu, kurš ļauj cirkulēt gaisam, bet daļēji aiztur vēju un nokrišņus, kas nelabvēlīgi ietekmē ledus kvalitāti. Konstrukcijas grīda izgatavota no metāliska režģa, zem kura nav papildus atmosfēru ierobežojošu slāņu, līdz ar to estakāde uzskatāma par daļēji izolētu, kas ir kā viens no būtiskākajiem tās mīnusiem. Savukārt, ēku energoefektivitātes simulatora mikroklimata kamera ir gandrīz pilnībā slēgta no ārējās vides.



2.att. Estakādes kopskats no kamaniņu braucēju starta zonas.

Estakāde izveidota tā, lai to var izmantot divos režīmos, t.i. tā vienlīdz labi der gan kamaniņu braucējiem (starta plakne stāvāka un aprīkota ar starta rokturiem), gan skeletonistiem un bobslejistiem (starta plakne lēzenāka un garāka). Abas plaknes novietotas viena pret otru, tādējādi ļaujot izmantot pretējo plakni priekš bremzēšanas procesa (skat. 3. att.).



3.att. Siguldas starta treniņu estakādes principiālā shēma.

Abas slīpās plaknes aprīkotas ar kompānijas “ALGE” optiskajiem sensoriem (skat. 4a. att.) un laika mērīšanas sistēmu, analogiski kā laboratorijas apstākļos izmantotajai iekārtai. Kamaniņu braucēju daļa aprīkota ar 4 optiskajiem sensoriem (1a-4a) un tā ļauj veikt laika mērīšanu ar 0,001s iedaļas vērtību, kas nozīmē, ka iespējams veikt precīzākus laika mērījumus kā laboratorijā (iedaļas vērtība laboratorijas trasē 0,01s). Optiskie sensori šajā daļā izvietoti nosacīti pa pāriem, tādējādi ļaujot nomērīt 1. un 2. etapa momentānos slīdēšanas ātrumus, kas ļauj detalizētāk saprast kurš paraugs slīd labāk sākuma daļā (1. etaps) un kurš beigu daļā (2. etaps). Bobsleja un skeletoņa daļas laika mērīšanas sistēma darbojas ar identisku iedaļas vērtību kā laboratorijas iekārtai, t.i. 0,01s, un tajā iebūvēti 6 vienmērīgi izretināti sensori (1b-6b).

Orientējošie rezultāti, ar precizitāti līdz 0,01s, uzreiz pēc mērījuma var tikt apskatīti uz laika mērījumu indikatora (skat. 2.att.), bet precīzie rezultāti apskatāmi uz personālā datora, kurš aprīkots ar speciāli izveidotu programmnodrošinājumu (skat. 4b.att.).



Laiks	20:44:06	20:43:09	20:42:14	20:41:16
Karte	1BCCB73D	1BCCB73D	1BCCB73D	1BCCB73D
Vārds	Trase	Trase	Trase	Trase
Uzvārds				
1.Sensors Stars1	0.000 s	0.000 s	0.000 s	0.000 s
1. Sensors Stars2	0.667 s	0.669 s	0.673 s	0.669 s
Ātrums sens.1	3.40 m/s	3.39 m/s	3.38 m/s	3.39 m/s
4.Sensors Stars1	3.636 s	3.633 s	3.639 s	3.636 s
4.Sensors Stars2	3.736 s	3.734 s	3.739 s	3.735 s
Ātrums sens.4	10.21 m/s	10.14 m/s	10.16 m/s	10.23 m/s

4.att. a)AFGE optiskais sensors; b)Laika mērīšanas programmas interfeiss.

Programma veic automātisku slīdēšanas laika un ātruma aprēķinu un vienlaicīgi displejā spēj attēlot tekošo un iepriekšējos 3 mērījumu rezultātus. Iegūtos mērījumus, diemžēl, nav iespējams saglabāt, tādēļ nepieciešama to manuāla pierakstīšana. Laboratorijas apstākļos esošas iekārtas patreizējais tehniskais nodrošinājums neļauj veikt orientējošo rezultātu apskati, t.i. visi mērījumi apskatāmi tikai pēc tam, kad pilnībā beigta konkrētā parauga eksperimentu sērija (noteikts daudzums ar slīdamības mērījumiem), taču, kā pluss jāmin tas, ka absolūti visi mērījumu rezultāti tiek saglabāti elektroniskā veidā un tos nav nepieciešams pārrakstīt manuāli.

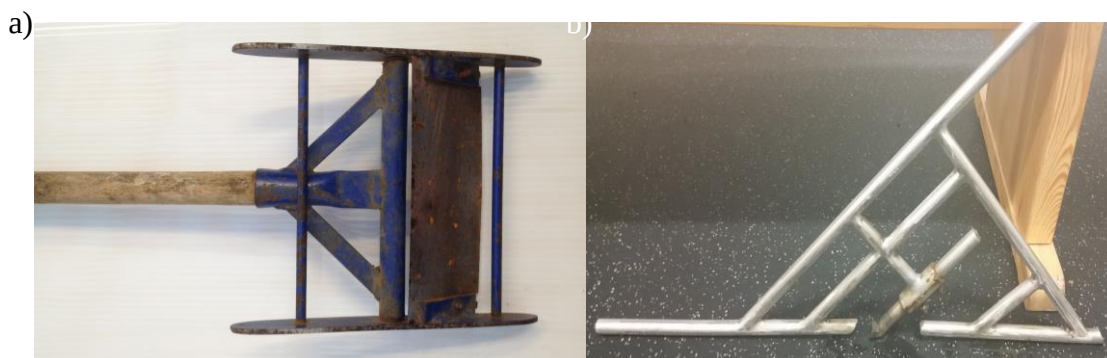
Lai nodrošinātu mērījumus ar pēc iespējas lielāku precizitāti, reālo apstākļu eksperimentos tiek izmantota kamaniņu sportistu daļa, jo tās laika mērīšanas sistēma darbojas ar 0,001s precizitāti. Papildus aspekti, kas lika nosvērties par labu tieši šai estakādes pusei, ir stāvākais plaknes slīpums, kas ļauj attīstīt ~2x lielāku ātrumu nekā bobsleja un skeletoņa daļā, kā arī starta rokturu esamība, pie kuriem ērti stiprināt parauga palaišanas sistēmu.

2.2. Ledus sagatavošana

Ledus saldēšana un uzturēšana estakādē tiek realizēta kombinējot dabīgo gaisa temperatūru, kas aktīvās ziemas sezonā ir zem 0°C, ar slīpajā plaknē iestrādāto dzesēšanas sistēmu, kas ļauj izveidot ledu jau rudens izskaņā un uzturēt to līdz pat pavasara beigām.

Analoģiski kā laboratorijas apstākļos, arī estakādē ledus slānis tiek saldēts pa slāņiem vairākos piegājienos. Katrs nākamais slānis tiek uzklāts uzsmidzinot uz iepriekšējā siltu ūdeni, kas nodrošina labāku jaunā slāņa adhēziju ar jau sasalušo pamatni, kā arī nodrošina labāku mikroplaisu un poru aizpildīšanu.

Pēc ledus slāņa uzklāšanas, tas, analoģiski kā laboratorijas apstākļos, tiek nogludināts ar speciāli veidotu ēveļu palīdzību (skat. 5.att.), bet pēc tam papildus tiek iestrādāta cilindriskā grope (skat. 2.att.), kas nodrošina to, lai pa plakni slīdošās kamanas pārvietojas pa taisnu līniju un neietricas sānu apmalēs. Idejiski līdzīga grope tiek iestrādāta arī laboratorijas iekārtai, tikai, atšķirībā no estakādes, laboratorijā gropei ir plakana pamatne, jo pa to tiek slidināti paraugi ar plakānu virsmu, savukārt estakādē pagaidām tiek izmantotas cilindriskas formas virsmas.



5.att. a)*Ledus virsmas sagatavošanas ēvele*; b)*Gropes izveidošanas ēvele*.

Kā mīnusu estakādes ledus sagatavošanas un uzturēšanas jautājumā jāmin, ka tā ir tikai daļēji izolēta no apkārtējās vides, kā rezultātā mainīgos un mitros laikapstākļos ledus kvalitāte var strauji variēt. Sakarā ar šo problēmu, ir vēlams eksperimentus realizēt dienās, ar pēc iespējas mazāku mitruma līmeni un stabilu gaisa temperatūru, pretējā gadījumā, var rasties nevēlama mērījumu rezultātu izkliede, savukārt, laboratorijas apstākļos iespējams nodrošināt daudz maz vienādus eksperimenta apstākļus, taču jāreķinās ar temperatūras un mitruma svārstībām eksperimentu laikā, ko rada laboranta atrašanās slēgtajā telpā.

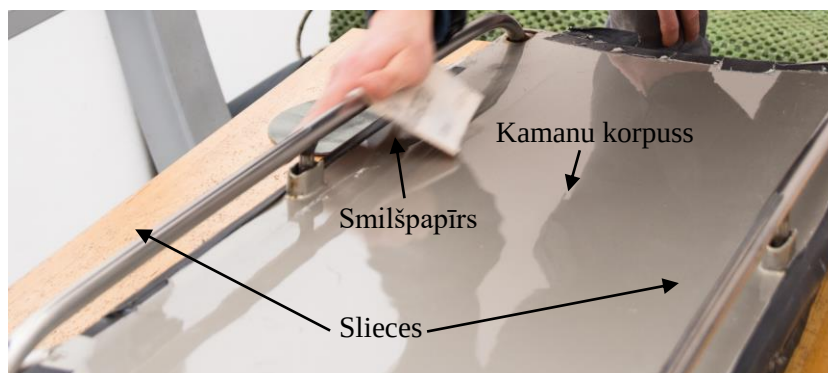
2.3. Eksperimentālie paraugi un to sagatavošana

Laboratorijas iekārta paredzēta neliela izmēra detaļu (paraudziņi ar dimensijām 34x18x14mm) pārbaudei, kurus samērā viegli sagatavot, veikt nepieciešamos mērījumus un ekspluatēt, bet pārejot uz lielāka mēroga paraugiem rodas virkne dažādu problēmu, kas saistītas ar to izgatavošanu un kontroli.

Kā pētāmie paraugi konkrētajos eksperimentos tiek izmantotas skeletoņa slieces, kuras piestiprinātas pie kamanām. Izvēle eksperimentos izmantot skeletonu pamatota ar to, ka:

- Šī ziemas sporta inventāra slieces, analogiski kā līdz šim eksperimentos izmantotajiem paraugiem, izgatavotas no nerūsējošā tērauda ar ļoti līdzīgu ķīmisko sastāvu;
- Skeletoņa slieces platums pielāgots ledū iestrādātajai gropei, līdz ar to nav nepieciešams veikt speciālas ledus modifikācijas;
- Uz skeletoņa kamanām iespējams stabili novietot un nofiksēt papildus svaru, kas ļauj ērti pārbaudīt kā slīdamības tendences ietekmē piespiešanas spēks;
- Ir iespējams ātri un vienkārši apstrādāt slieču virsmu ar dažādiem smilšpapīriem.

Slieču sagatavošanas process eksperimentam sākas ar manuālu pulēšanu (skat. 6. att.), kuras rezultātā to darba virsmas padara spoguļgludas, analogiski kā laboratorijas apstākļos izmantotajiem paraugiem. Tiesa gan, laboratorijas paraugus iespējams pulēt ar autopulētāju, līdz ar to virsmas kvalitāti iespējams nodrošināt ar lielāku precizitāti kā pulējot ar roku. Lai panāktu nepieciešamo virsmas kvalitāti, beidzamais slieču pulēšanas process tiek izpildīts ar 3000 sērijas smilšpapīru. Pulētās virsmas ir kā izejas pozīcija visām tālākajām virsmu modifikācijām, līdz ar to, pirms slieču skrāpēšanas ar kādu konkrētu smilšpapīra marku, tiek veikti primārie (atskaites) eksperimenti ar spoguļgludi pulētajām sliecēm, lai iegūtu atskaites sistēmu pret ko salīdzināt skrāpēto slieču slīdēšanas laikus.



6.att. Skeletona kamanas slieču pulēšanas procesa laikā.

Pēc atskaites eksperimenta izdarīšanas, slieces tiek secīgi apstrādātas ar dažādu sēriju smilšpapīriem (1500, 600, 400, 320), sākot ar gludāko un beidzot ar raupjāko papīru. Lai nodrošinātu vienādu smilšpapīra piespiešanas spēku, tiek izmantota 1100g smaga metāla prizma (tā pati, kas tiek izmantota laboratorijas paraugu skrāpēšanas procesā), kura papildus nodrošina to, ka skrāpējums tiek izdarīts plašākai slieces virsmas daļai, jo tā apliec smilšpapīru ap slieces profilu.



7.att. Skeletona slieces skrāpēšana ar prizmā nostiprinātu smilšpapīru.

Pēc katras slieču apstrādes tās atdzesē līdz ledus temperatūrai, kamanas paturot uz ledus tik ilgi, kamēr tās pārstāj kausēt ledu. Noturēšanas laiks variē atkarībā no slieču iepriekšējās uzsilšanas, āra temperatūras utt. Kad tas izdarīts veic slīdamības mērījumus un pēc tam izpilda modificēšanu ar nākamo smilšpapīru vai pārklājumu.

2.4. Slīdamības mērīšanas eksperiments un tā gaita

2.4.1. Slīdēšanas laika mērīšana

Kā jau minēts iepriekš, estakādē slīdamība tiek mērīta identiski kā laboratorijas iekārtai, t.i. mērot slīdēšanas laiku, kāds nepieciešams paraugam, lai veiktu noteikta garuma distanci, kas konkrētajā gadījumā ir 24m. Analogiski eksperimentiem, kas veikti laboratorijā, arī šajos no

slīdēšanas laika papildus tiek atvasināts arī vidējais slīdēšanas ātrums, kas ir plašāk izmantots parametrs citu zinātnieku ledus berzes tēmas pētījumos.[1–4]

2.4.2. Kamanu palaišanas iekārta

Viens no būtiskākajiem jautājumiem, kas tika risināts eksperimenta realizēšanai bija starta mehānisma izveide. Mehānisma uzdevumi ir nodrošināt to, lai pētāmais paraugs (skeletoņa kamanas) katru reizi tiktu palaistas no vienas un tās pašas vietas, kā arī nodrošināt, lai palaišanas brīdī kamanām netiktu pievadīts papildus spēka impulss, kas varētu ietekmēt to paātrināšanās procesu. Iespējas kā praktiski realizēt šādu mehānismu ir ļoti daudz, bet konkrētajos eksperimentos tiek izmantota ekonomiski lētākā un visātrāk realizējamā metode, t.i. mehānisms veidots izmantojot neelastīgas polipropilēna auklas, kuras papildus fiksētas ar līmlenti (skat. 7. att.). Šāda risinājuma izvēle pamatojama arī ar to, ka pēc eksperimentu realizēšanas, skeletoņa kamanas un starta rokturi pilnībā jāatbrīvo no visām papildus komponentēm, lai tās netraucētu atlētu treniņiem.



7. att. Kamanu palaišanas mehānisms

Starta mehānisms sastāv no 3 daļām:

- *Atbalsta auklas*, kura nostiprināta starp kamanu rokturiem. Auklas uzdevums ir kalpot par atbalstu aiz kura kamanas tiek pieturētas starta pozīcijā, kā arī aiz tās tiek aizāķēta karabīne ar virvi kuru izmanto kamanu atvilkšanai atpakaļ uz starta pozīciju (skat. 8.att.);
- *Sprosta*, kurš notur kamanas starta pozīcijā līdz brīdim kamēr operators to atbrīvo, lai kamanas var uzsākt slīdēšanas procesu;
- *Auklas ar cilpu*, kura nostiprināta pie kreisā starta roktura. Auklas galā iesiets neslīdošais mezgls, caur kuru izlikts sprosts, kurš, savukārt, aizāķēts aiz atbalsta auklas.

Izvelkot no mehānisma sprostu, tiek atbrīvota atbalsta aukla un kamanas sāk slīdēt lejā pa plakni bez papildus pieliktā spēka. Kamanas slīdot pa estakādi secīgi šķērso visus optiskos

sensors, tādējādi realizējot laika mērījumu, no kura papildus tiek izrēķināts vidējais slīdēšanas ātrums. Būtiski ir piebilst, ka estakādes laika mērīšanas sistēma izveidota tā, ka laika mērījumu var izdarīt tika pēc starta aprocas inicializēšanas pie starta iekārtas (skat. 2.att.). Šāda risinājuma esamība ļauj atgriezt kamanas sākuma pozīcijā neizņemot tās no ledus renes, kas ievērojami paātrina eksperimenta gaitu un ļauj samazināt iespēju atpakaļceļā uzsildīt slieces.

2.4.3. Kamanu bremzēšana un atgriešana starta pozīcijā

Sākoties eksperimentam, kamanas paātrinās, līdz, sasniedzot estakādes zemāko punktu, tās sāk kustību pret slīpo plakni, kura paredzēta bobsleja un skeletoņa sportistiem (skat. 3.att.) tādējādi vienmērīgi samazinot savu ātrumu. Kamanas otrā estakādes galā sagaida laborants, kurš tās aptur pilnībā un pēc tam iestumj atpakaļ starta virzienā. Atpakaļ uz startu slīdošās kamanas estakādes vidusdaļā sagaida laborants. Šis laborants aiz atbalsta auklas aizkabina karabīni, kura piesieta pie virves un aiz šīs virves kamanas uzvelk atpakaļ starta pozīcijā (skat. 8.att.). Virves izmantošana ļauj realizēt kamanu atgādāšanu starta pozīcijā nekāpjot uz ledus virsmas, kas izslēdz iespēju to sabojāt, kā arī līdz minimumam samazina varbūtību ka laborants paslīdēs.



8.att. Kamanu atgriešana starta pozīcijā.

Kad kamanas atgrieztas starta pozīcijā, tiek atkārtoti inicializēta starta aprobece un var uzsākt nākamo laika mērījumu.

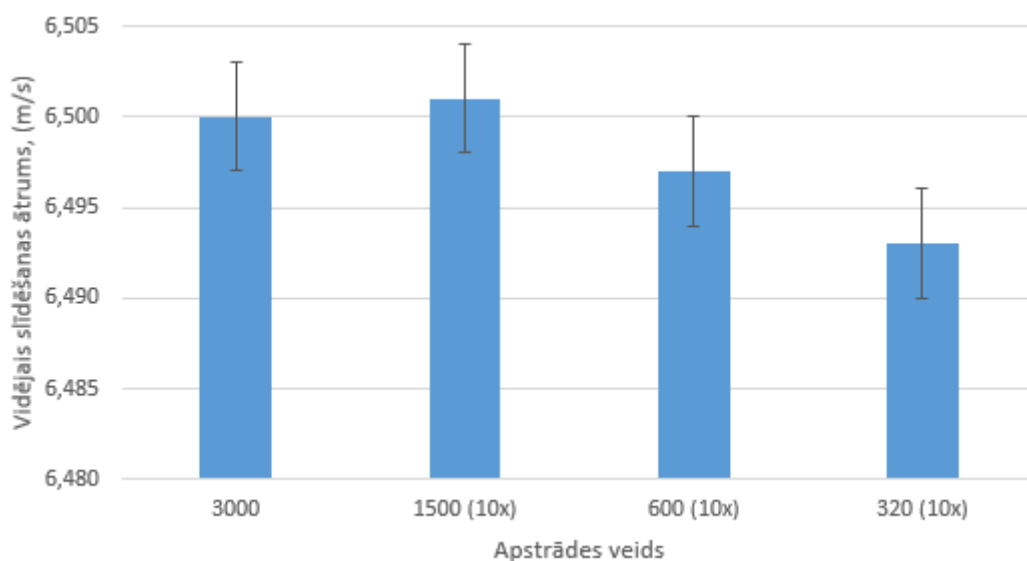
2.5. Piloteksperiments

Lai praksē pārbaudītu estakādes darbību un uztrenētu eksperimenta realizēšanas gaitu, tika izdarīts pirmais piloteksperiments, kura galvenais uzdevums, bez jau minētajiem, bija noskaidrot vai estakādē iespējams veiksmīgi nomērīt raupjuma ietekmi uz slīdamību un, vai estakādē iegūtajiem mērījumiem ir līdzīgas tendences kā laboratorijas apstākļos veiktajiem mērījumiem.

Piloteksperimenta realizēšanai, kā pirmā aktivitāte tika veikta slieču pulēšana (skat. 6.att.), lai iegūtu “atskaites sistēmas” slieci. Pēc tam seko slieču atdzesēšana līdz ledus temperatūrai, izturot skeletonu uz ledus, līdz tas beidz kust ledus virsmā. Tad tiek realizēti slīdamības mērījumi no kuriem pirmie 5 mērījumi izdarīti bez laika fiksācijas, kas nepieciešams, lai skeletona sliece no iestrādātās gropes nolīdzina sarmas slānīti, kam seko 20 laika mērījumi, kuri tiek fiksēti mērījumu protokolā. No augstāk redzamā apraksta var izveidot eksperimenta gaitas plānu, kurš izskatās sekojoši:

- 1) Veic slieču pulēšanu, lai iegūtu spoguļgludas “atskaites” slieces;
- 2) Apstrādātās slieces atdzesē uz ledus, līdz brīdim kad tās pārstāj kust ledus virsmā;
- 3) Veic 5 slīdamības noteikšanas eksperimentus bez laika fiksācijas, lai gropē nolīdzinātu plāno sarmas slāni, kas veidojas uz ledus virsmas;
- 4) Izdara 20 oficiālos slīdamības mērījumus, kurus fiksē protokolā;
- 5) Veic slieču virsmas modificēšanu ar smilšpapīru vai kādu citu metodi;
- 6) Atkārto punktus 2 līdz 4.

Konkrētajā piloteksperimentā skeletona slieces tika skrāpētas ar 1500. markas smilšpapīru 10 reizes, pārvietojot skrāpēšanas prizmu (skat. 7.att.) pa slieci turp-atpakaļ. Slieces tika atdzesētas, izdarīti mērījumi bez laika fiksācijas, kam seko oficiālie mērījumi, kurus fiksē. Pēc identiskas procedūras slieces tiek apstrādātas vēlreiz ar 1500. markas smilšpapīru papildus 10 reizes, pēc tam 10 reizes ar 600. markas smilšpapīru, visbeidzot, kā pēdējā apstrāde tiek izdarīta skrāpēšana 10 reizes ar 320. markas smilšpapīru. Piloteksperimentā iegūtie rezultāti apkopoti zemāk redzamajā attēlā (skat. 9.att.).



9.att. Piloteksperimenta rezultāti.

Grafikā ir salīdzināts vidējais slīdēšanas ātrums sliecēm, kas apstrādātas ar dažādiem smilšpapīriem, sākot ar smalkāko (3000) un beidzot ar rupjāko (320). Pēc iegūtajiem datiem ir redzams, ka tie ir loģiski un ar izmantoto metodi var noteikt raupjuma atšķirības garākā ledus trasē.

Estakādes laika mērīšanas sistēma un izmantotā eksperimentu veikšanas metode pa garāku ledus trasi nodrošina rezultātu iegūšanu ar ļoti niecīgu kļūdu ($\sim 0,05\%$), kas ir mazāka kā laboratorijas apstākļos.

2.6. Eksperimenta realizēšanas pilnā secība

Apkopojot augstāk izklāstīto informāciju un piloteksperimentā gūto pieredzi izveidota eksperimenta realizēšanas pilnā secība:

- 1) Sagatavo estakādes ledus virsmu (uzdevumu veic Siguldas kamaniņu trases personāls);
- 2) Uzstāda kamanu palaišanas iekārtu;
- 3) Veic kamanu slieču pulēšanu līdz spoguļgludai virsmai (pēc apstrādes no slieces noslauka metāla skaidiņas);
- 4) Novieto apstrādātās slieces uz ledus, lai tās atdziest līdz darba temperatūrai (darba temperatūra sakrīt ar ledus temperatūru);
- 5) Veic piecus slīdamības noteikšanas eksperimentus bez laika reģistrēšanas, lai grupē nolīdzinātu plāno sarmas slāni, kas veidojas uz ledus virsmas;
- 6) Izdara 20 oficiālos slīdamības mērījumus, kurus fiksē protokolā;
- 7) Veic slieču skrāpēšanu ar nākamās markas smilšpapīru (pēc apstrādes no slieces noslauka metāla skaidiņas), vai cita veida modifikāciju;
- 8) Atkārtoti punktus 4 – 7.

Izpildot šīs operācijas iespējams veikt sekmīgu slīdamības noteikšanu reālos apstākļos.

3. Garākas ledus trases salīdzinājums ar laboratorijas iekārtu

3.1. Garākas ledus trases un laboratorijas iekārtas parametru salīdzinājums

Zemāk redzamajā pārskata tabulā apkopota būtiskākā informācija par laboratorijas un garās ledus trases tehniskajiem parametriem.

1.tab. Laboratorijas un garās ledus trases tehniskie parametri.

Parametri	Garāka ledus trase	Laboratorijas iekārta
Izmantojamais trases garums (m)	24	3,3
Trases platums (m)	2	0,3
Trases leņķis (°)	Vidēji 15, (mainās trases garumā)	0 – 30 (var iestatīt pēc izvēles)
Izmantoto sensoru skaits	4	4

Laika mērīšanas precizitāte (s)	0,001	0,01
---------------------------------	-------	------

Eksperimentos pa garāku ledus trasi tika izmantota 24m gara slīpā plakne, kas ir analogs iepriekš izmantotajai slīpajai plaknei laboratorijā (garums 3,3m), tādējādi reālās vides un laboratorijas apstākļos tiek izmantotas konceptuāli līdzīgas ledus trases.

Garākās ledus trases platums ļauj izmantot gan lielākus eksperimentālos paraugus, gan pielikt tiem lielāku piespiešanas spēku. Par paraugiem un to apstrādi sīkāka informācija apkopota 3.3 apakšnodaļā.

Laboratorijas apstākļos ir iespējams iestatīt slīpās plaknes leņķi no 0 – 30° grādiem, tādējādi var veikt gan slīdēšanas ātruma mērījumus, gan analizēt paraugu miera stāvokļa berzes noteikšanu, nosakot pie kāda leņķa paraugs uzsāk slīdēšanas procesu, t.i. pārvar miera stāvokļa berzi. Garākai ledus trasei nav iespēja mainīt plaknes slīpumu, tādēļ eksperimentos laboratorijas trases plaknes leņķis tika izvēlēts līdzīgs garākās ledus trases plaknes leņķim (~15°).

Izmantoto sensoru skaits gan garākā ledus trasē, gan laboratorijas iekārtā ir 4, taču tie ir izvietoti atšķirīgi. Garākā ledus trasē optiskie sensori ir izvietoti pa pāriem, tādējādi padziļināti var analizēt sākuma ātrumu un beigu ātrumu, taču vidusdaļā ātruma izmaiņas nevar apskatīt. Laboratorijas iekārtai sensori ir izvietoti secīgi ik pa 0,8m, tādējādi tiek fiksēts laiks starp sensoriem un ātrumu var izrēķināt, izmantojot matemātiskas darbības.

Laika mērīšanas precizitāte labāka ir garākā ledus trasē (0,001s), tādējādi ir iespēja fiksēt pat vismazākās izmaiņas rezultātos, izmantojot smagākus, lielākus paraugus.

3.2. Ledus saldēšanas, sagatavošanas un klimata apstākļu salīdzinājums

Zemāk redzamajā tabulā apkopota būtiskākā informācija par ledus sagatavošanu gan laboratorijas apstākļos, gan garajā ledus trasē.

2.tab. Ledus sagatavošanas salīdzinājums.

Parametri	Garāka ledus trase	Laboratorijas iekārta
Ledus saldēšanas veids	Iestrādāta dzesēšanas sistēma trasē plus dzesēšana ar apkārtējās vides temperatūru	Ar apkārtējās vides temperatūru
Apkārtējās vides temperatūra	Nav kontrolējama	Ir kontrolējama
Ledus temperatūra	Ir kontrolējama	Grūti kontrolējama
Gaisa mitrums	Nav kontrolējams	Grūti kontrolējams
Ledus sagatavošana	Ar speciāli pielāgotu ēveli	Ar speciāli pielāgotu ēveli

Būtiska atšķirība, salīdzinot garāku ledus trasi un laboratorijas iekārtu, ir ledus saldēšanas veidā. Garākā ledus trasē papildus dzesēšanai ar apkārtējās vides gaisu izmanto iestrādātu dzesēšanas sistēmu, kura atrodas zem trases. Tādējādi ir iespējams uzturēt daudz maz konstantu

ledus temperatūru pie dažādām gaisa temperatūrām, kā arī ir iespējams veikt eksperimentus, kad gaisa temperatūra ir virs 0°C. Laboratorijas iekārtas gadījumā ledus tiek saldēts ar apkārtējās vides temperatūru, tādējādi tā temperatūra ir pakārtota gaisa temperatūrai. Eksperimentus laboratorijā ir praktiski nereāli veikt, ja apkārtējās vides temperatūra klimata simulācijas kamerā ir siltāka par -4°C, jo pie šādas temperatūras novērojama strauja ledus virskārtas mīkstināšanās, kas izsauc eksperimentālā parauga iekušanu starta pozīcijā.

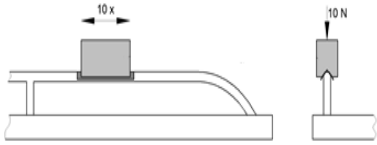
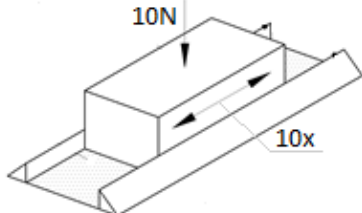
Ja apskata apkārtējās vides temperatūru, ir redzams, ka priekšrocības ir laboratorijas iekārtai, kura ļauj iestatīt konkrētajam eksperimentam nepieciešamo temperatūru. Garākā ledus trasē eksperimenti ir pakārtoti āra temperatūrai, t.i. apkārtējās vides temperatūru nosaka āra temperatūra. Līdzīgas sakarības ir ar gaisa mitruma kontrolēšanu – garākā ledus trasē nav iespējams veikt nekādas darbības, lai gaisa mitrumu mainītu, laboratorijas apstākļos ir iespējams kontrolēt gaisa mitrumu, taču, laborantam atrodoties klimata simulācijas kamerā, tiek ietekmēts gaisa mitrums, līdz ar to šī kontrole ir ļoti sarežģīta.

Ledus sagatavošana eksperimentiem gan garākā ledus trasē (skat. 5.att.), gan laboratorijas ledus trasē tiek veikta ar īpaši pielāgotām ēvelēm. Tā kā eksperimentālie paraugi ir atšķirīgi savu izmēru un formas ziņā, arī ēveles ģeometrija ir atšķirīga. Garākā ledus trasē gropes izveidei tiek izmantota cilindriskas formas ēvele, kas gropi izveido ar 10mm rādiusu, attiecīgi laboratorijas iekārtai ēvele ir bez rādiusa, gropi veidojot ar plakānu pamatni.

3.3. Eksperimentālo paraugu un to apstrādes salīdzinājums

Zemāk redzamajā tabulā apkopota būtiskākā informācija par eksperimentālo paraugu sagatavošanu gan laboratorijas apstākļos, gan garajā ledus trasē.

3.tab. Eksperimentālo paraugu sagatavošanas salīdzinājums.

Parametri	Garāka ledus trase	Laboratorijas iekārta
Eksperimentālais paraugs	Skeletoņa slieces ar diametru 16mm, kuras piestiprinātas kamanām	Taisnstūrveida paralēlskalnis ar izmēriem 35 x 18 x 14mm
Eksperimentālā parauga svars (kg)	30 (slieces + kamanas)	0,067
Eksperimentālā parauga pulēšana	Ar roku, izmantojot smilšpapīru	Ar autopulētāju Mecatech 334 TI 15
Apstrādes veids		

Garākā ledus trasē, eksperimentu veikšanai, kā jau iepriekš tika aprakstīts, tiek izmantots standarta skeletons ar divām darba virsmām – sliecēm. Laboratorijā kā eksperimentālais paraugs tika izmantots taisnstūrveida paralēlskalnis ar izmēriem 35 x 18 x 14mm.

Paraugu svars ir krasi atšķirīgs – skeletona svars ir 30kg, tātad svars uz vienu slieci 15kg, bet laboratorijas eksperimentos izmantotā parauga svars ir 67g.

Lai iegūtu atskaites darba virsmu no kuras tiks veiktas modifikācijas, gan garākās ledus trases, gan laboratorijas eksperimentālie paraugi tiek pulēti. Skeletona slieces tiek pulētas ar roku, izmantojot smalku smilšpapīru, līdz tiek iegūta spoguļgluda virsma. Laboratorijas eksperimentālie paraugi tiek pulēti ar autopulētāju *Mecatech 334 TI 15*.

Paraugu apstrādei ar smilšpapīru tika ievērota līdzīga metode gan garākās trases eksperimentos, gan laboratorijā, proti, pieliktais spēks un pārgājienu skaits palika nemainīgs. Tā kā garākā ledus trasē, eksperimentālie paraugi ir cilindriskas formas, to apstrādei tika izmantota metāla prizma, kas nodrošina slieces apstrādi ar smilšpapīru no visām pusēm. Starp metāla prizmu un slieci tika ievietots nepieciešamais smilšpapīrs un skrāpēšana tika veikta slieces garumā. Attiecīgi laboratorijas eksperimentālajiem paraugiem, smilšpapīrs tika nostiprināts izveidotā skrāpēšanas palīgierīcē un paraugs tiek piespiests pie smilšpapīra uz tā novietojot to pašu metāla prizmu.

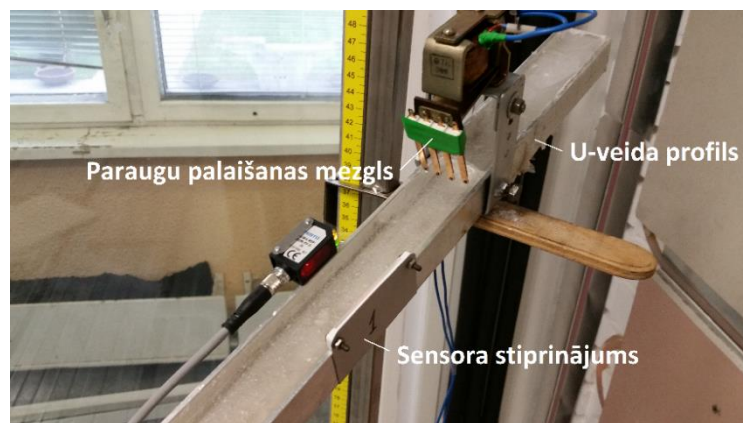
3.4 Eksperimenta realizēšanas salīdzinājums

Zemāk redzamajā tabulā apkopota būtiskākā informācija par eksperimenta realizēšanu gan laboratorijas apstākļos, gan garajā ledus trasē.

4.tab. Eksperimenta realizēšanas salīdzinājums.

Parametri	Garāka ledus trase	Laboratorijas iekārta
Paraugu palaišanas veids	No miera stāvokļa	No miera stāvokļa
Paraugu nobraucienu skaits pie vienas apstrādes	~20	~60
Laiks viena nobrauciena veikšanai (sek.)	90	4
Nepieciešamo laborantu skaits efektīvai eksperimenta izpildei	3	1

Gan eksperimentos garākā ledus trasē, gan laboratorijā eksperimentu realizēšanas veids, iespēju robežās, tika saglabāts līdzīgs. Paraugi startā tika laisti no miera stāvokļa – garākā ledus trasē tika izmantota 2.4.2. apakšnodaļā aprakstītā kamanu palaišanas iekārta un attiecīgi laboratorijā tika izmantots ar vārtiņu mehānismu izveidots paraugu palaišanas mezgls (skat. 10.att.).



10.att. Paraugu palaišanas mezgls laboratorijā.

Paraugu nobraucienų skaits lielāks ir laboratorijā. To ietekmē gan nepieciešamais viena nobrauciena izpildes laiks (90sek. garākā ledus trasē, 4 sek. laboratorijas ledus trasē), gan mērīšanas precizitāte, kas ir augstāka garākā ledus trasē (0,001 sek. garākā ledus trasē, 0,01 sek. laboratorijas ledus trasē).

Lai veiktu sekmīgus eksperimentus garākā ledus trasē, ir nepieciešami 3 laboranti, attiecīgi laboratorijā eksperimentus var veikt viens cilvēks.

Literatūra

- [1] E. Lozowski, K. Szilder, L. Poirier, A bobsleigh ice friction model, Int. J. Offshore Polar Eng. 24 (2014) 52–60. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883697973&partnerID=40&md5=99c2f74e6a8d18d646d46b27f63c4c4c>.
- [2] L. Makkonen, M. Tikanmaki, Modeling the friction of ice, Cold Reg. Sci. Technol. 102 (2014) 84–93. doi:10.1016/j.coldregions.2014.03.002.
- [3] A.-M. Kietzig, S.G. Hatzikiriakos, P. Englezos, Physics of ice friction, J. Appl. Phys. 107 (2010) 81101. doi:10.1063/1.3340792.
- [4] A. Spagni, A. Berardo, D. Marchetto, E. Gualtieri, N.M. Pugno, S. Valeri, Friction of rough surfaces on ice: Experiments and modeling, Wear. 368–369 (2016) 258–266. doi:10.1016/j.wear.2016.10.001.