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

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

5.nodevums

Rekomendācija metāla virsmas modificēšanai, lai uzlabotu slīdamību reālos apstākļos, modificētā materiāla pielietojums

Sagatavoja: Pētnieks Jānis Lungevičs

Zin. asistents Ernests Jansons

Projekta vadītājs: A/Prof. Kārlis Agris Gross

Rīga, 2017.gada 30.novembris

SATURA RĀDĪTĀJS

Ievads 3
1. Rekomendācijas virsmas raupjuma modificēšanā pie dažādām temperatūrām 3
2. Pieliktās slodzes ietekme uz dažāda raupjuma virsmu slīdēšanas īpašībām pa ledu 6
3. Metāla virsmas modificēšana, izmantojot dažāda veida smērvielas 13
3.1. Vaski un aerosoli, kas paredzēti ziemas sporta veidiem 13
3.2. Pretsasalšanas šķidrums "Deicing Fluid Type IV" 15
3.3. Hidrofobs aerosols "Nano Diamond Shield" 16
4. Metāla virsmas modificēšana, izmantojot dažādu plastmasu hidrofobus pārklājumus 18
Kopsavilkums 21
Izmantotie informācijas avoti 21

Ievads

Valsts pētījumu programmas “Inovatīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (IMATEH)” ietvaros tika veiktas metāla slīdēšanas īpašību pārbaudes pa garāku ledus trasi, tādējādi tuvinot eksperimentu apstākļus reālām dzīves apstākļiem.

Metāla virsmas tika modificētas ar mērķi uzlabot to slīdēšanas īpašības pa ledu reālos apstākļos. Tā kā apkārtējās vides apstākļi dabā ir mainīgi, eksperimenti tika veikti plašā temperatūru un mitruma diapazonā, tādējādi apskatot konkrētu modifikāciju ietekmi uz metāla slīdēšanas pa ledu īpašībām dažādās iespējamās situācijās.

Eksperimenti reālos apstākļos ir unikāli, jo to veikšanai ir ar lielāku mērogu, prasot vairāku cilvēku līdzdalību un ilgāku laiku, lai slīdamību noteiktu astoņu reizes garākā ledus ceļā nekā laboratorijā. Ja laboratorijā var iestādīt gaisa temperatūru un gaisa mitrumu, tad garākā trasē jāizmanto tādus apstākļus kādi ir dabā. Lai veiktu eksperimentu kopumu garākā ledus trasē, konkrētu eksperimentu pielāgošana laika apstākļiem tika rūpīgi izsvērta, lai savāktu vajdzīgos datus.

Šajā nodevumā apkopota būtiskākā informācija par metāla virsmas modificēšanas ietekmi uz tā slīdēšanas īpašībām pa ledu, dota rekomendācija kādos apstākļos vislabāk izmantot attiecīgo modifikāciju.

Kā metāla virsmas modificēšanas metodes, tika izskatītas virsmas raupjuma izmaiņas ietekme, kā arī pieliktās slodzes ietekme pie atšķirīga virsmas raupjuma. Pēc literatūras analīzes, tika izvēlēti dažādas hidrofobiskas virsmas izveidoti ar pārklāšanas aerosoliem, smērvielām, kas teorētiski varētu uzlabot slīdēšanas īpašības..Šādas virsmas ar pazeminātu noturību tika salīdzināti ar plastmasas lentes virsmām.

1. Rekomendācijas virsmas raupjuma modificēšanā pie dažādām temperatūrām

Lai salīdzinātu apkārtējās vides temperatūras ietekmi uz slīdēšanas ātrumu pa garāku ledus trasi, pēc iepriekš aprakstītās metodes tika sagatavotas divu dažādu raupjumu slieces – pulētas (Sa ≈ 0,14) un viegli skrāpētas (Sa ≈ 0,22)

Eksperimenti tika veikti dažādās eksperimentu dienās, lai iegūtu pēc iespējas plašāku temperatūras diapazonu, tādējādi nodrošinot maksimāli daudz datus par slīdēšanas ātruma izmaiņām dažāda raupjuma sliecēm pie atšķirīgiem apstākļiem.

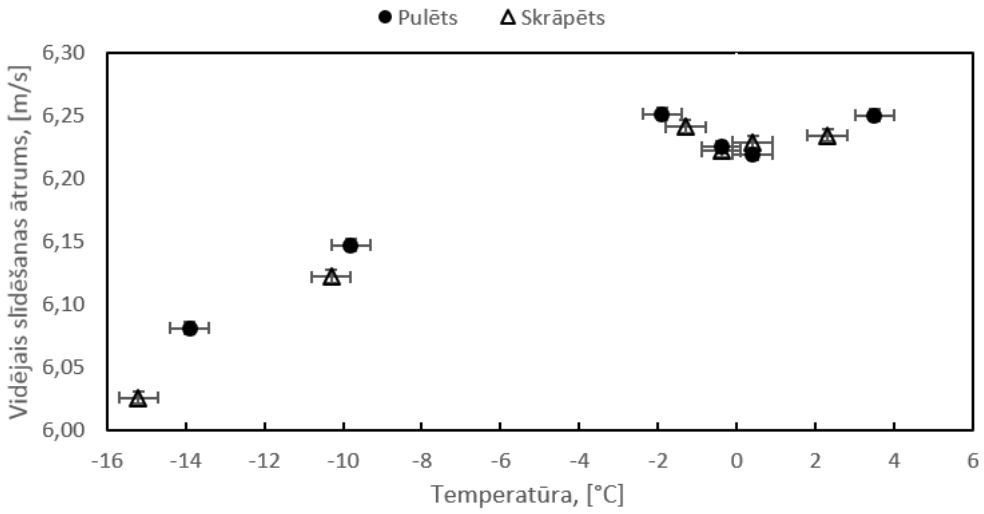
Izmantotā eksperimentālā skeletona svars eksperimentu gaitā konstants – 30 kg.

Skeletona slīdēšanas ātrums tika mērīts divos posmos – sākuma posmā (2 m pēc starta) un beigu posmā (24 m pēc starta), kā arī tika aprēķināts vidējais slīdēšanas ātrums, izmantojot

kopējo skeletona slīdēšanas laiku, kāds nepieciešams, lai veiktu pilnu distanci. Tādējādi tika izveidoti 3 slīdēšanas ātruma raksturojoši grafiki.

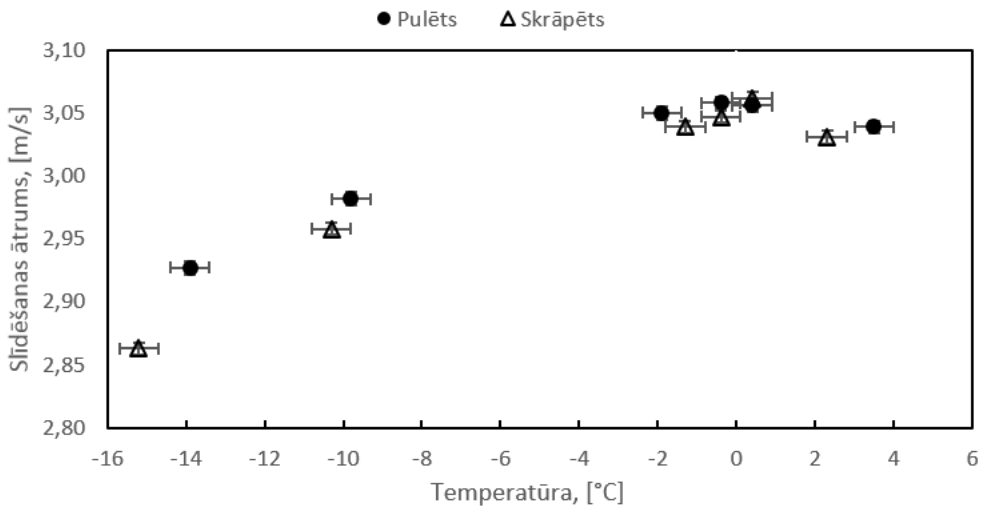
Grafikos attēlots vidējais ātrums, sākuma ātrums un beigu ātrums pie citām gaisa temperatūrām pulētai un saskrāpētai virsmai.

Pēc vidējā slīdēšanas ātruma grafika datiem redzams, ka pie zemākām temperatūrām (no -16° C līdz -9° C) slīdēšanas ātrumu būtiski ietekmē slieces raupjums, proti, pulētās slieces uzrāda ātrāku vidējo slīdēšanas ātrumu, kā skrāpētās (1. att.). Temperatūrai paaugstinoties, atšķirība starp dažādi apstrādātām sliecēm samazinās. Ja apskata reģionu no -2° C līdz +4°C nav izteiktu atšķirību starp slieču apstrādes veidiem.



1.att. Vidējais slīdēšanas ātrums. O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

Apskatot vidējā slīdēšanas ātruma kopējās tendences, pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām, redzams, ka paaugstinoties temperatūrai, paātrinās slīdēšanas ātrums. Pēc slīdēšanas ātruma grafika sākuma posmā datiem ir novērojama līdzīga aina (2. att.), kā iepriekš apskatītajā grafikā, proti, pie zemākām temperatūrām, liela ietekme uz slīdēšanas ātrumu ir virsmas raupjumam, taču palielinoties temperatūrai raupjuma ietekme uz slīdēšanas ātrumu samazinās.



2.att. Slīdēšanas ātrums sākuma posmā. O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

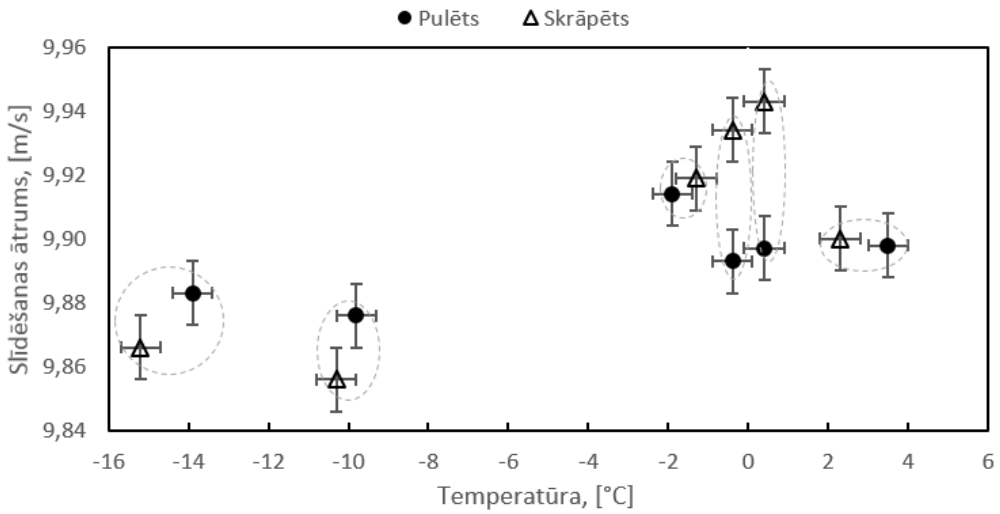
2. posma, jeb beigu ātruma grafiks atšķirās no iepriekš apskatītajiem vidējā ātruma un sākuma ātruma grafikiem. Pie relatīvi aukstām temperatūrām, saglabājās raupjuma ietekmes tendence un gludāka virsma slīd ātrāk kā skrāpētā. Ja apskata relatīvi silto temperatūru reģionu, rezultāti parāda, ka visās "silto" eksperimentu dienās, skrāpēta virsma sasniedz lielāku beigu slīdēšanas ātrumu. Tas nozīmē, ka šādā apkārtējās vides temperatūru reģionā un pie šāda eksperimentālā parauga svara, virsmas modificēšana paralēli slīdēšanas virzienam, to skrāpējot, rada pozitīvu ietekmi uz slīdēšanas beigu ātrumu.

Līdzīgi kā iepriekš apskatītajos grafikos, arī beigu ātruma grafikā var novērot, ka palielinoties temperatūrai, kopumā, palielinās arī slīdēšanas ātrums. Citi novērojumi ar beigu slīdēšanas ātrumu rāda:

1) Jo "aukstāka" apkārtējās vides temperatūra, jo lielāka ietekme ir virsmas raupjumam. Samazināts raupjums uzrāda ātrāku slīdēšanas ātrumu;

2) Palielinoties temperatūrai, samazinās mazāka raupjuma pozitīvā ietekme uz slīdēšanas īpašībām;

4) Beigu ātrums, pie ''siltākām'' temperatūrām, lielāks ir skrāpētām sliecēm.



3.att. Slīdēšanas ātrums beigu posmā. O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

Veicot eksperimentus pie dažādiem laika apstākļiem, tika noskaidrots, ka ne tikai ledus un apkārtējas vides temperatūra rada ietekmi uz slīdēšanas ātrumu, bet arī gaisa mitrums. Vislabāk to var novērot, apskatot beigu ātruma grafiku (3. att.), kur redzams, ka pie -10 ºC slīdēšanas ātrums ir mazāks, kā pie -16 ºC. Tika fiksēts, ka attiecīgi pie -10 ºC, gaisa mitrums bija aptuveni 45%, taču pie -16 ºC tas bija virs 70%. Novērojumi ļauj izdarīt minējumus, taču ir nepieciešama padziļināta, gaisa mitruma ietekmes uz metāla slīdēšanas īpašībām pa ledu, izpēte.

2. Pieliktās slodzes ietekme uz dažāda raupjuma virsmu slīdēšanas īpašībām pa ledu

Lai noskaidrotu kā pieliktā slodze ietekmē slīdēšanas ātrumu dažāda raupjuma sliecēm pa garāku ledus trasi, tika veikti eksperimenti ar 3 dažādiem skeletona svariem (30 kg, 40 kg un 50 kg). Tas tika panākts, pievienojot skeletonam centrā papildus svaru – metāla bloku.

Tika izmantotas, tā pat kā temperatūras radītās ietekmes uz slīdēšanas ātrumu eksperimentos, 2 dažādas slieču virsmas – pulētas un skrāpētas ar 600 smilšpapīru paralēli braukšanas virzienam. Lai novērstu gaisa pretestības radīto iespaidu uz slīdēšanas ātrumu, metāla bloki tika ievietoti plastmasas kastē, kas tika piestiprināta pie skeletona. Tādējādi, mainot pielikto slodzi, nemainās gaisa plūsma – skeletona konstrukcija paliek nemainīga pie jebkāda pieliktā svara.

Eksperimenti tika veikti speciāli izvēlētās 3 dažādās eksperimentu dienās ar būtiskām laika apstākļu atšķirībām.

Tabulā nr. 1 ir redzami eksperimentu uzstādījumi (virsmas apstrāde, gaisa temperatūra un mitrums) kā arī pieliktās slodzes ietekme uz vidējo, starta un beigu ātrumu procentos.

Slīdēšanas ātrums, tā pat kā iepriekš apskatītajos eksperimentos, tika mērīts divās vietās – sākuma posmā un beigu, kā arī tika aprēķināts vidējais slīdēšanas ātrums.

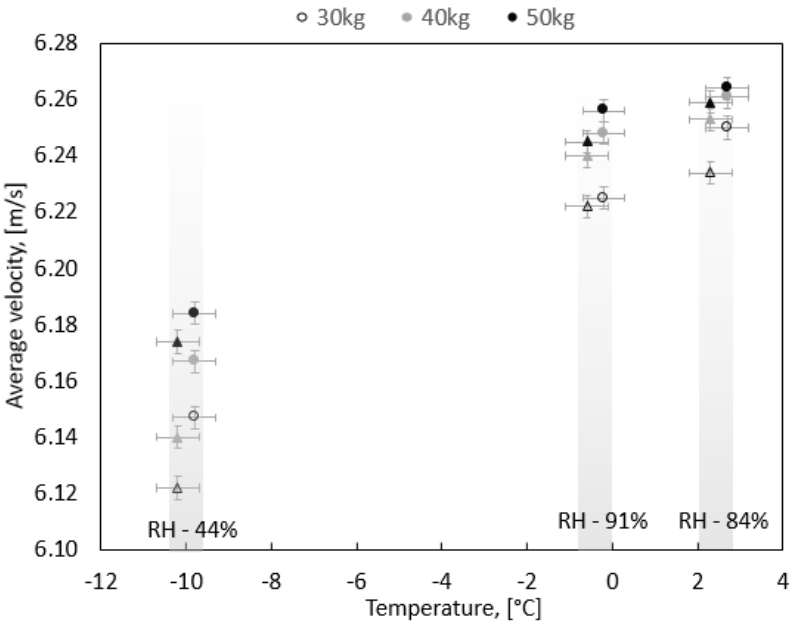
1.tab. Procentuālā slodzes ietekme uz slīdēšanas ātrumu

Ātrums	**Virsmas apstrāde**	**Gaisa temperatūra** (°C)	**Gaisa mitrums (%)**	**Skeletona svars**		
				30 kg	40 kg	50 kg
Vidējais	Pulēta	-10	44	0	0.33	0.60
		-0.5	91	0	0.37	0.50
		2.5	84	0	0.18	0.22
	Skrāpēta	-10	44	0	0.29	0.85
		-0.5	91	0	0.29	0.37
		2.5	84	0	0.37	0.50
Sākuma	Pulēta	-10	44	0	0.20	0.44
		-0.5	91	0	0.29	0.07
		2.5	84	0	0.66	0.49
	Skrāpēta	-10	44	0	0.34	1.01
		-0.5	91	0	0.36	0.20
		2.5	84	0	0.59	0.49
Beigu	Pulēta	-10	44	0	0.78	1.33
		-0.5	91	0	1.45	1.67
		2.5	84	0	0.71	0.88
	Skrāpēta	-10	44	0	0.60	1.51
		-0.5	91	0	0.62	0.86
		2.5	84	0	0.55	0.80

1) Vidējais slīdēšanas ātrums

Vidējais slīdēšanas ātrums tika aprēķināts no skeletona slīdēšanas kopējā laika.

4. attēlā un arī nākamajos attēlos redzams, ka ar tukšu, jeb baltu simbolu apzīmēts 30 kg smags skeletons, ar pelēku 40 kg un melnu 50 kg smags skeletons. Ar apli apzīmēti dati no pulētas slieces, ar trijstūri – skrāpētas. Uzskatamības nolūkos pulētās slieces un skrāpētās slieces rezultāti pie vienas temperatūras ir nedaudz novirzīti.



4.att. Slodzes ietekme uz vidējo slīdēšanas ātrumu. O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

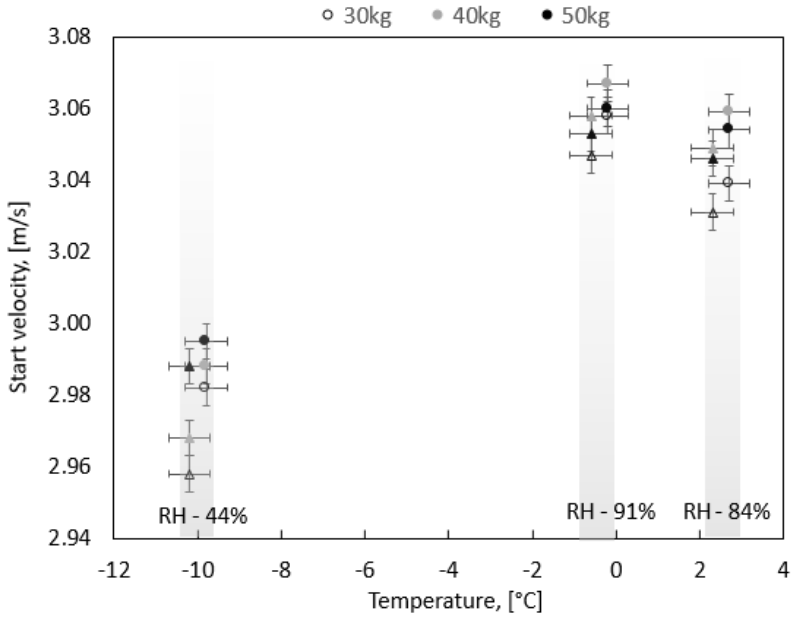
Pēc vidējā ātruma rezultātiem redzams, ka saglabājas tendence – palielinoties temperatūrai, palielinās slīdēšanas ātrums. Vidēji lielākais slīdēšanas ātrums ir pie +2,5 °C temperatūras.

Svara ietekme uz slīdēšanas ātrumu vislielākā ir novērojama pie -10 °C (skrāpētai virsmai – 0,85% ātruma pieagums un pulētai 0,60%, ja salīdzina 30 kg un 50 kg smagu skeletonu (skat. 1.tab.)) Pie +2,5 °C un -0,5 °C pieliktās slodzes ietekme uz slīdēšanas ātrumu procentuāli ir līdzīga.

Vislielākais vidējais ātrums ir skeletonam ar smagāko (50 kg) pielikto svaru un ar pulētām sliecēm. Šī tendecne saglabājās pie visām eksperimentos izmantotām apkārtējās vides temperatūrām.

2) Sākuma slīdēšanas ātrums

Sākuma slīdēšanas ātrums (5.att.) tiek mērīts 2m pēc starta, tādējādi ir iespējams apskatīt ātrumu uzreiz pēc starta, kad skeletons tiek palaists no miera stāvokļa.



5.att. Slodzes ietekme uz sākuma slīdēšanas ātrumu. O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

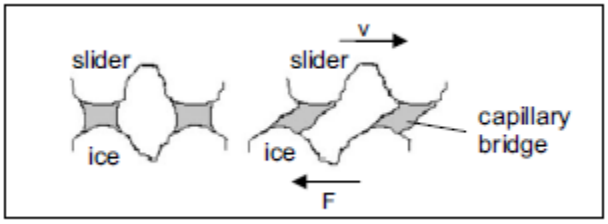
Pēc sākuma ātruma grafika redzams, ka lielākais slīdēšanas ātrums ir novērojams pie -0,5 °C apkārtējās vides temperatūras, mazākais, līdzīgi kā iepriekš apskatītajā grafikā, pie -10 °C.

Pie -10 °C vērojama līdzīga tendence kā vidējā slīdēšanas ātruma gadījumā, proti, vissmagākais skeletons ar pulētām sliecēm slīd visātrāk, taču procentuāli ātruma pieaugums ir mazāks, kā vidējā slīdēšanas ātruma gadījumā (skat.1.tab.).

Ja apskata rezultātus pie -0,5 un +2,5 °C apkārtējās vides temperatūras, novērojams, ka sākuma ātrums lielāks ir skeletonam ar 40 kg svaru nevis 50 kg. Kā viens no skaidrojumiem šādam novērojumam ir kapilāro tiltiņu (capillary bridges) veidošanās (6.att.). Pie "siltām" temperatūrām veidojās biezāka ūdens kārtiņa (skatīt tālāk tekstā - *Ledus virsmas kušana, jeb*

kvazi-šķidrā slāņa veidošanās no brīvajām ūdens molekulām), kas starp slidu un ledu veido kapilāros spēkus. Ja pieliktais svars ir lielāks, skeletonam izkustoties no miera stāvokļa ir nepieciešama lielāka enerģija, lai kapilāros spēkus pārrautu. Tā kā pie -10°C šķidrais slānis nav tik biezs, situācija, kad 40kg skeletons slīd ātrāk par 50kg skeletonu nav novērojama.

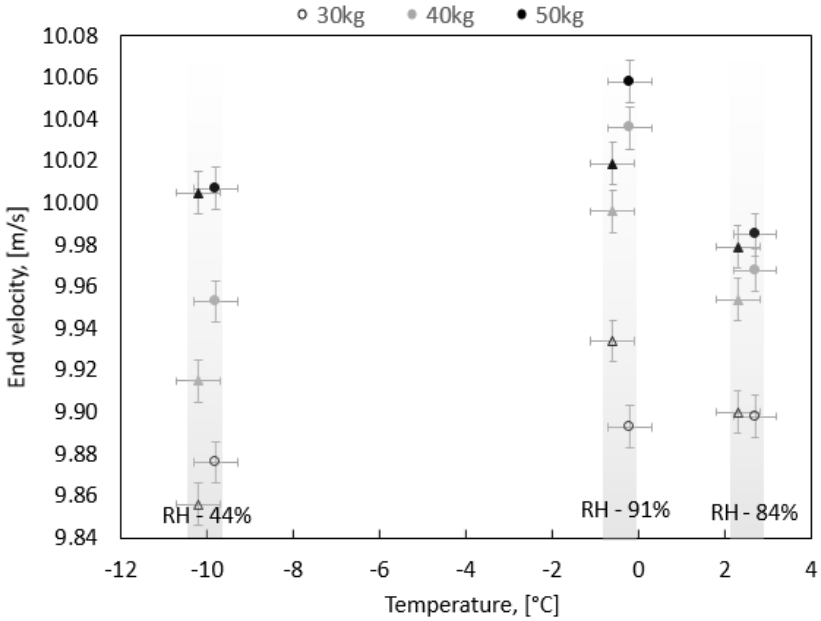
Vislielākais starta ātrums ir 40 kg smagam skeletonam ar pulētām sliecēm pie -0,5 °C temperatūras.



6.att. Kapilārie spēki starp skeletonu un ledu [1]

3) Beigu slīdēšanas ātrums

Beigu slīdēšanas ātrums (7.att.) ļauj apskatīt slīdēšanas ātruma rezultātus pēc 24 m garas distances veikšanas, kā arī vislabāk prognozēt slīdēšanas tendences pie vēl lielāka ātruma.

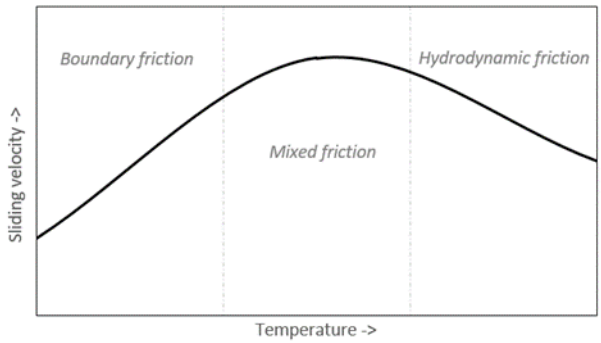


7.att. Slodzes ietekme uz beigu slīdēšanas ātrumu O – Pulēta virsma, Δ – skrāpēta virsma.

Apskatot grafiku, redzams, ka slodzes ietekme uz slīdēšanas ātrumu procentuāli ir lielāka kā iepriekš apskatītajos grafikos. Vislielākās atšķirības vērojamas pie -0,5 °C (1,67% un 0,86% ātruma pieaugums pulētai un attiecīgi skrāpētai sliecei).

Pie visām apskatītajām apkārtējās vides temperatūrām, smagākais skeletons ar pulētām sliecēm uzrāda ātrako slīdēšanas ātrumu. Pie +2,5 °C apkārtējās vides temperatūras redzams, ka

beigu ātruma pieaugums ir vismazākais, turklāt smagākais skeletons slīd lēnāk nekā pie -10 °C. Šāda likumsakarība varētu tikt skaidrota ar pārāk biezas ūdens kārtiņas veidošanos uz ledus (skat. 8.att.).



8.att. Slīdēšanas ātruma atkarība no temperatūras, ņemot vērā ledus kondīciju

8. attēlā vienkāršotā veidā attēlota ūdens kārtiņas uz ledus ietekme uz slīdēšanas ātrumu (grafiks veidots balstoties uz Kolbeka, Bhushana un Kietzigas literatūras pamata [2–4].). Ja ūdens kārtiņa uz ledus ir niecīga, veidojās kas līdzīgs cietu ķermeņu kontaktam (Boundary friction), līdz ar to palielinās berze starp ledu un cietu ķermeni, kas attiecīgi samazina slīdēšanas ātrumu. Vislabāk šī situācija ir novērojama sākuma ātruma grafikā (5.att.) pie -10 °C.

Jaukta berze (mixed friction) ir optimālie laika apstākļi, slīdēšanas ātrums, virsmas raupjums un piespiešanas spēks, lai veidotos lielākais slīdēšanas ātrums. Uz ledus veidojās pietiekami bieza ūdens kārtiņa, kas strādā kā lubrikants starp ledu un objektu.

Savukārt, ja ūdens kārtiņa ir pārāk bieza – biezāka par ledus un metāla virsmas izcilņu savstarpēju kontaktu, veidojās hidrodinamiska berze. Tas ir uzskatāmi redzams 15. attēlā pie +2,5 °C gaisa temperatūras.

Lai skaidrotu salīdzinoši lielo beigu slīdēšanas ātrumu pie -10 °C (7.att.), ir jāapskata vismaz virspusēji ledus berzes teorija.

Pastāv 3 dažādi izskaidrojumi par ūdens kārtiņas veidošanos uz ledus virsmas , kas to padara slidenu:

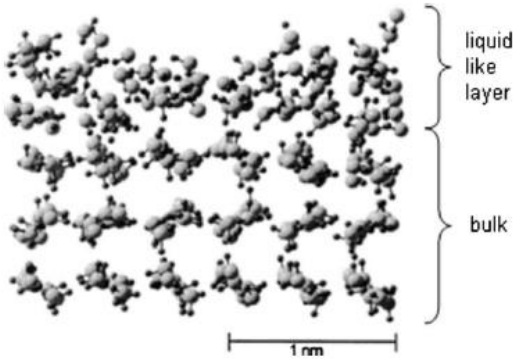
Spiediena rezultātā tiek kausēts ledus (Pressure melting)

Ledus virsmas kušana spiediena ietekmē daudzus gadus tika uzskatīta, kā skaidrojums zemajam berzes koeficientam ledum. Berzes laikā, spiediens, kas rodas no objekta svara, kausē ledus augšējo slāni. Izkusušais ūdens ģenerē slidenu slāni uz ledus virskārtas, kas ir iemesls ledus slīdamībai. Kolbeka [4] eksperimentos tika pierādīts, ka ledus virsmas kušana spiediena ietekmē ir iespējama, ja slīdes virsmas temperatūra ir zemāka par apkārtējās vides temperatūru, taču infrasarkano staru mērījumi parādīja, ka slīdes virsmai temperatūra ir augstāka par apkārtējās vides temperatūru. Kolbeks nonāca pie secinājuma, ka, lai notiktu ledus kušana spiediena ietekmē pie -20 ºC, spiedienam jābūt tik lielam, ka tas noved pie ledus saplaisāšanas. Turklāt

spiediens izspiestu ārā ūdeni starp ledu un virsmu. Pagaidām, ledus virsmas kušanai spiediena ietekmē varētu būt efekts pie augstām temperatūrām (ap 0 ºC).

Ledus virsmas kušana, jeb kvazi-šķidrā slāņa veidošanās no brīvajām ūdens molekulām (Quasi – liquid layer)

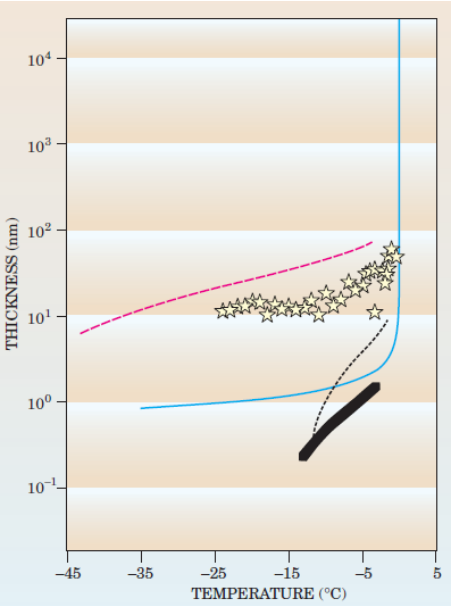
Ledus virsmas kušana, jeb kvazi-šķidrā (quasi-liquid) slāņa veidošanos no brīvajām ūdens molekulām uz ledus virskārtas tika aprakstīta jau Faradeja novērojumos 19. gadsimtā [1,5,6]. Slānis eksistē uz ledus neatkarīgi no kontakta ar citu objektu. Vairāk pierādījumus par šī slāņa esamību piedāvāja Petrenko, Fletčers [5]. Teorētiskais modelis par kvazi-šķidrā slāņa veidošanos, tiek bāzēts uz ideju, ka ledus molekulām ir brīvā enerģija ledus virskārtā, tādēļ veidojās ‘’pārejas slānis’’ šķidra ūdens formā (skat. 9. att.).



9.att. Ledus virskārtas struktūra [1]

Kvazi-šķidrā slāņa biezums tiek minēts no 1-10μm Petrenko un Jelineka pētījumos [5]. Pētījumos tika pierādīts, ka slāņa biezums palielinās, palielinoties temperatūrai. Zemākās temperatūras, kad kvazi-šķidrais slānis veidojās ir no -30 līdz -40 ºC, tādējādi līdz šādām temperatūrām nodrošinot, ka berze starp ledu un objektu joprojām ir maza.

Tiesa, ja salīdzina dažādu autoru darbus, kur tiek pētīts mitrā slāņa biezums uz ledus, ir novērojama liela izkliede rezultātos ar līdzīgu tendenci – temperatūrai palielinoties, palielinās slāņa biezums (skat. 10. att.) [7].



Protonu izkliede (sarkana līnija);

Rentgenstaru izkliede uz stikla robežvirsmas (melna punktota līnija), uz silīcija robežvirsmas (melna līnija);

Atomspēku mikroskops (zvaigznītes);

‘’Pārsalšana’’’Regelation (zila līnija)

10.att. Dažādu eksperimentu datu salīdzinājums [7]

Ledus uzsilšana berzes rezultātā

Bovdens [5,6] piedāvāja, ka *ledus uzsilšana berzes laikā* ir galvenais iemesls ledus zemajam berzes koeficientam. Siltums, kas rodas berzes rezultātā, uzsilda ledus virskārtu kontakta punktos. Tā kā ledus virskārta kūst kontakta punktos, neturpinoša ūdens kušana rada ūdens plēvi. Plēve piedalās ledus un objekta virsmas slīdamības uzlabošanā. Tiesa, siltums netiek pilnībā izmantots, lai kausētu ledu, rodas siltuma zudumi apkārtējā vidē, virsmas deformācijā u.c. Autors norāda, ka slidenais slānis, var kļūt nepārtraukts, ja apkārtējās vides temperatūra ir tuvu ledus kušanas temperatūrai.

Šajā gadījumā (7.att.), ātro beigu slīdēšanas ātrumu pie -10 °C, nodrošina ledus uzsilšana berzes rezultātā, kas rada konkrētajos apstākļos jau tuvāku situāciju jauktajai berzei (mixed friction), nevis situācijai, kad uz ledus veidojās gandrīz divu cietu ķermeņu kontakts (boundary friction). Attiecīgi, ja tiek apskatīts sākuma ātrums pie -10 °C (5.att.), ir redzams, ka ledus virskārta pie šiem apstākļiem vēl nav paspējusi uzsilt un slīdēšanas ātrums ir pārliecinoši lēnākais no apskatītajiem gadījumiem.

Apskatot iegūtos rezultātus ar dažādām pieliktajām slodzēm, var izvirzīt sekojošas rekomendācijas:

1) Lai palielināt beigu ātrumu, ir jāpalielina eksperimentālā skeletona svaru;

2) Lai panāktu lielāku uzlabojumu slidēšanas ātrumā abāk izmantot pulētas slueces nekā skrāpētas slieces;

3) Svarīgi ir ņemt vērā laika apstākļus:

- Ja skeletona svars tiek palielināts, palielinās ledus uzsilšanas berzes laikā faktors, kas var pozitīvi (7.att. pie -10°C temperatūras) vai negatīvi (7.att. pie +2,5°C temperatūras) ietekmēt skeletona slīdēšanas īpašības;

- Sākuma ātrumu, ja kustība sākas no miera stāvokļa, ietekmē kapilārie spēki, kas veidojās no brīvajām ūdens molekulām uz ledus (5. un 6.att.)

3. Hidrofobiskās virsmas

Metāla virsmu var modificēt, uzsmidzinot, uzklājot nopulējot to ar dažāda veida pārklājumiem. Izanalizējot literatūru, tika izvēlēti dažāda veida vaski, eļļas, aerosoli, sķidrumi, kas varētu dot uzlabojumu metāla virsmas slīdēšanas īpašībām pa ledu.

Eksperimenti ar smērvielām tika veikti ar papildus cilvēka svaru – 65 kg, līdz ar to, kopējais skeletona svars – 95 kg.

Estakādē tika veikti eksperimenti ar tām smērvielām, kas uzrādīja pozitīvus datus laboratorijā.

3.1. Vaski un aerosoli, kas paredzēti ziemas sporta veidiem

Eksperimentā tika salīdzināti sekojošas smērvielas:

- "FP4 spray" – Uz pulvera bāzes veidots fluorogļūdeņraža vasks. Oriģināli paredzēts uzklāt uz slēpēm, kā beidzamo kārta, lai uzlabotu slēpju slīdēšanas īpašības;
- "HP3 liquid" – Fluora šķidrais parafīns tiek izmantots kā bāzes slānis slēpēm uz kura pēc tam uzklāj fluorogļūdeņraža vaskus FP4;
- "Vola HCF" – Fluorēta eļļa, kas paredzēta slēpju malu apstrādei.

Smērvielas nav paredzēts uzklāt uz metāla virsmām, līdz ar to nav ražotāja norādītas instrukcijas to uzklāšanai. Tādēļ visas smērvielas tika uzklātas pēc vienas metodes – uz tīras auduma drānas tika uzklāts konkrētais līdzeklis un ar apļveida kustībām tas tika uzsmērēts uz slieces biezā kārtā. Pirms skeletona novietošanas uz ledus (5min. skeletona slieces atrodas saskarē ar ledu, lai tās atdzesētu), tas tika atstāts 5min. ar sliecēm uz augšu, ļaujot smērvielām nostiprināties uz virsmas.

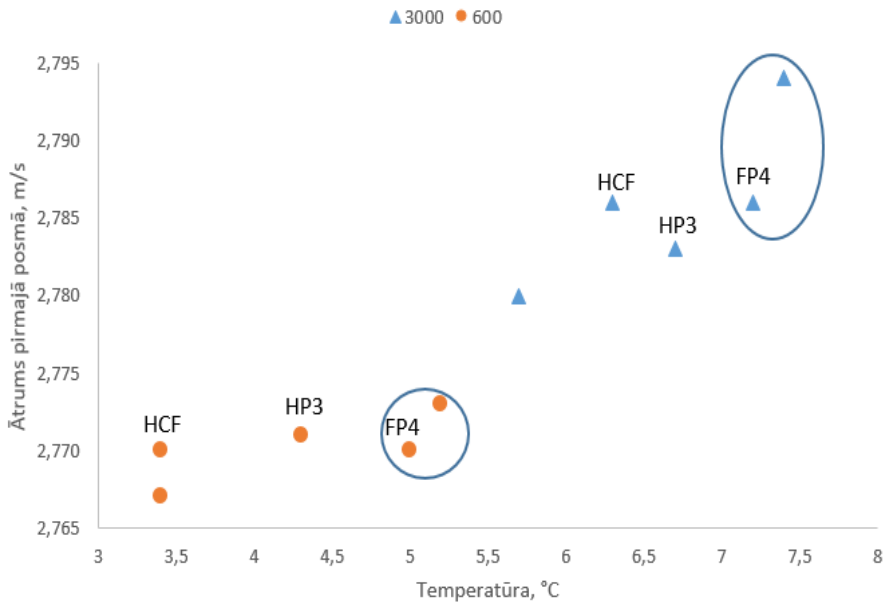
Pārklājumi tika uzklāti gan uz pulētām (3000) sliecēm, gan uz skrāpētām paralēli braukšanas virzienam, sliecēm (600).

Pēc eksperimenta sērijas ar konkrēta pārklājuma pārklātu slieci, slieces tika notīrītas ar etilspirtu.

Eksperimentu laikā tika novērotas straujas temperatūras izmaiņas, līdz ar to nevarēja savstarpēji objektīvi novērtēt uzklāto pārklājumu slīdēšanas īpašības. Tādēļ, eksperimentos tika izmantotas "tīras" nepārklātas atskaites slieces ar kurām salīdzināt smērvielu ietekmi uz slīdēšaans īpašībām.

Eksperimentu rezultāti apskatāmi divos grafikos – sākuma ātruma (2m pēc starta) grafikā un beigu (24m pēc starta). Ar trijstūri ir apzīmēti pulētu slieču rezultāti, ar apli – skrāpētas.

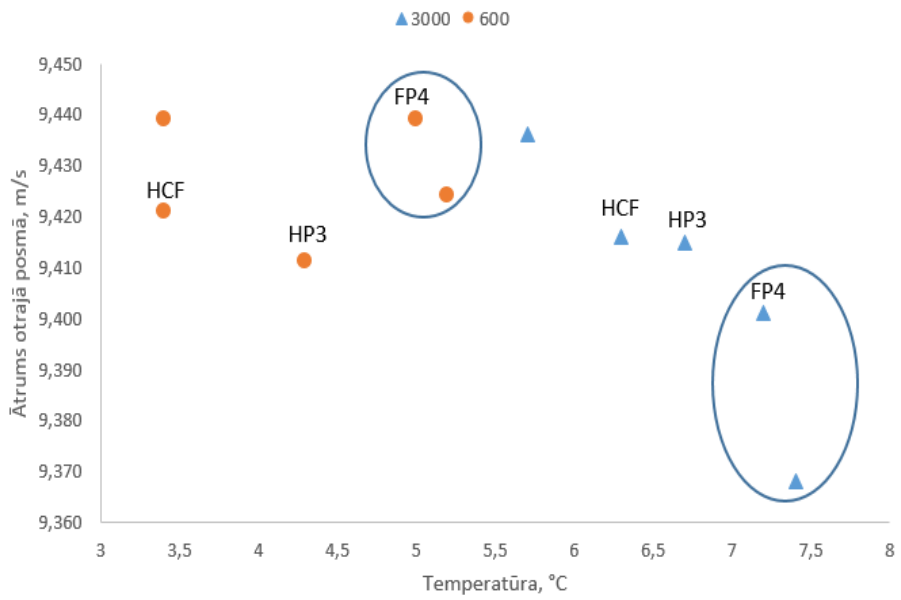
Grafikā apzīmējumi norāda augstāk minēto smērvielu nosaukumus. Simboli bez apzīmējumiem norāda uz nepārklātām sliecēm.



11.att. Sporta pārklājumu ietekme uz sākuma slīdēšanas ātrumu

Pēc sākuma ātruma grafika (11.att.) redzams, ka ir straujš ātruma pieagums, palielinoties apkārtējās vides temperatūrai, līdz ar to nevar salīdzināt visu grafiku kopumā. Salīdzināti tiks pārklājumi ar tuvāk esošajām nepārklātajām sliecēm.

Ja apskata skrāpēto slieču reģionu, redzams, ka HCF eļļa un HP3 šķidrais parafīns uzrāda ātrāku slīdēšanas sākuma ātrumu, kā atskaites sliece pie +3,5°C. Attiecīgi pie +5°C, FP4 vasks uzrāda lēnāku slīdēšanas ātrumu, kā atskaites sliece pie +5,5°C apkārtējās vides temperatūras. Līdzīga situācija ir novērojama pie pulēto slieču reģiona, taču ir grūtāk izdarīt konkrētus minējumus, ņemot vērā lielās temperatūras izmaiņas.



12.att. Sporta pārklājumu ietekme uz beigu slīdēšanas ātrumu

Interesanta situācija ir novērojama, ja apskata beigu slīdēšanas ātrumu šiem pašiem pārklājumiem (12.att.). HCF un HP3 uzrāda lēnāku slīdēšanas ātrumu, savukārt FP4 uzrāda lielāku slīdēšanas beigu ātrumu, kā atskaites slieces. Ja salīdzina savstarpēji grafikus, redzamas pretējas tendences sākuma un beigu ātuma grafikos, kas ļauj secināt sekojošo:

- HCF eļļa un HP3 šķidrais parafīns uzlabo slīdēšanas ātruma īpašības pie maza (≈2,8m/s) ātruma;
- FP4 vasks uzlabo slīdēšanas ātruma īpašības pie liela (≈9,5m/s) slīdēšanas ātruma;

Eksperimentos izmantotās smērvielas ir paredzētas slēpju slīdēšanas īpašību uzlabošanai pa sniegu, nevis metāla pa ledu, līdz ar to izmantotā uzklāšanas metode ir nepilnīga.

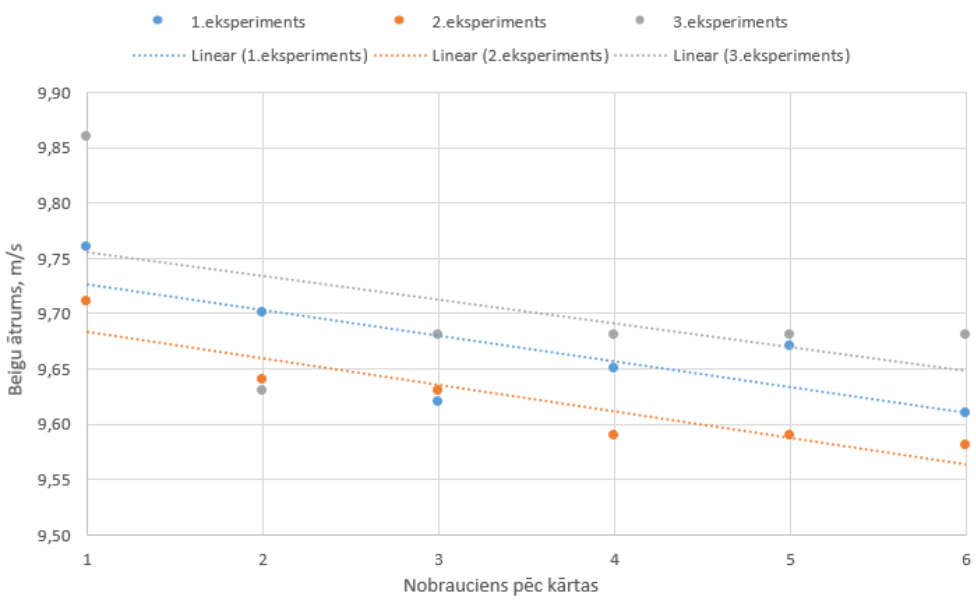
3.2. Pretsasalšanas šķidrums "Deicing Fluid Type IV"

Uz etilēnglikola bāzes veidots šķidrums, kas tiek izmantots aeronautikā.

Līdzīgi kā slēpēm paredzētām smērvielām, pretsasalšanas šķidrumam nav ražotāja norādīta uzklāšanas informācija, līdz ar to tas tika uzklāts ar auduma drānas palīdzību uz sliecēm biezā slāni. Šķidrums nav paredzēts kontaktējošām virsmām, līdz ar to, tā noturība uz metāla virsmas ir vājāka kā iepriekš apskatītajiem pārklājumiem.

Ņemot vērā pretsasalšanas šķidruma noturības spējas uz metāla virsmas, eksperimenti tika veikti 3 īsās eksperimentu sesijās, katrā pa 6 nobraucieniem, fiksējot beigu ātrumu. Katrs nobrauciens tika attēlots grafikā (skat. 13. att.). Apkārtējās vides temperatūra ≈ 6°C.

Apskatot grafiku, redzams, ka katrā no 3 eksperimentiem attiecībā pret nobraucieniem, ir redzama krītoša līkne, proti, ar katru nākamo nobraucienu, slīdēšanas ātrums samazinās, līdz apmēram pie 4. nobrauciena, slīdēšanas ātrums izlīdzinās.



13. att. Beigu slīdēšanas ātrums pret nobraucieniem

Pēc iegūtajiem datiem, ir pamats ticēt, ka pretsasalšanas šķidruma īpašības izpaužas pirmajos 2 līdz 3 nobraucienos, pēc tam šķidrums uz sliecēm vairs nav palicis, kā rezultātā slīdēšanas ātrums izlīdzinās.

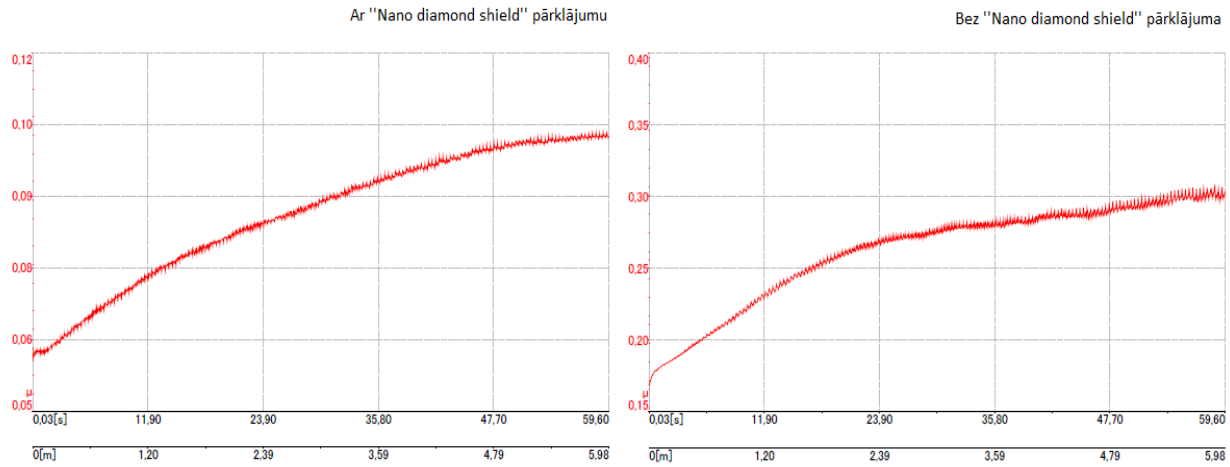
Pretsasalšanas šķidrums "Deicing Fluid Type IV" uzlabo slīdēšanas īpašības, taču ir nenoturīgs, līdz ar to, šādā veidā, izmantojams īsam distances nogrieznim.

3.3. Hidrofobs aerosols "Nano Diamond Shield"

Nano dimanta pārklājums, oriģināli paredzēts auto pārklāšanai ar sīkām 40 – 60nm silīcija daļiņām, kas veido superhidrofobu virsmu, pasargājot virsbūvi no putekļiem, netīrumiem utt.

Pārklājums paredzēts dažāda veida virsmām, tās apstrādā uzsmidzinot līdzekli uz tās un notīrot ar auduma drānu.

Pirms pārklājuma testēšanas estakādē, ar tribometra palīdzību tika veikts eksperiments, salīdzinot berzes koeficientu metāla paraugam ar un bez ''Nano Diamond Shield" pārklājuma (skat. 14.att.).



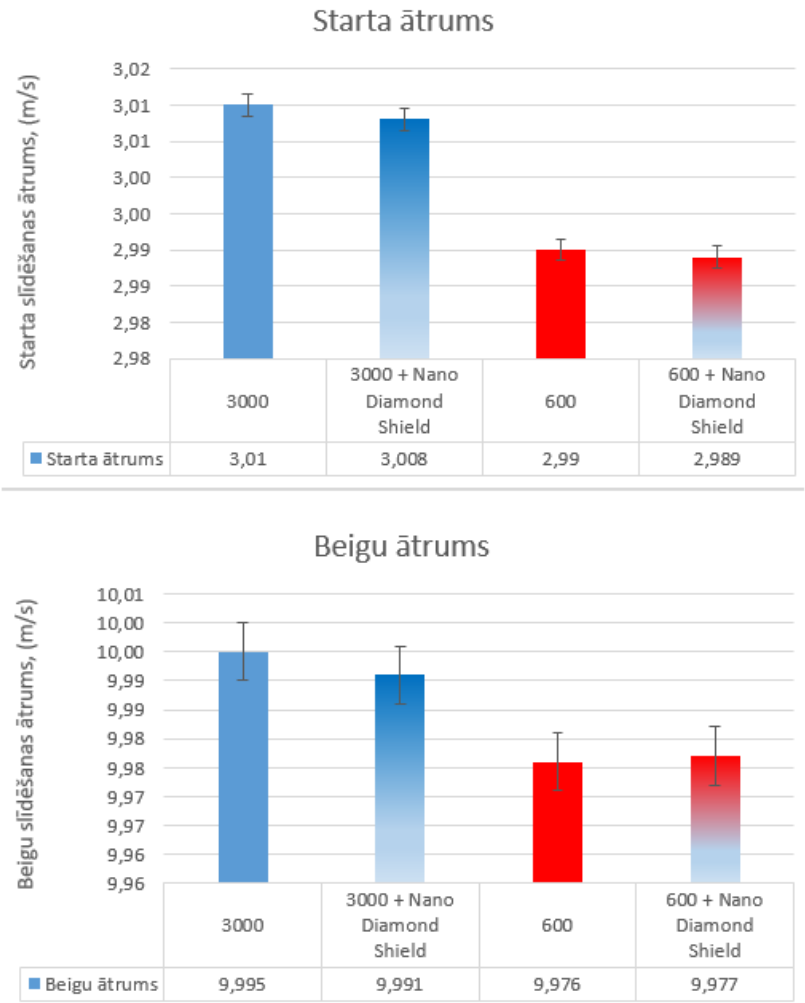
14.att. Berzes koeficienta mērījums metāla paraugam ar un bez pārklājuma

Kā redzams pēc attēla datiem, apstrādājot paraugu ar ‘’Nano diamond shield’’ pārklājumu, berzes koeficients samazinās 3 reizes.

Estakādē eksperimenti tika veikti ar pulētām (3000) un ar 600 smilšpapīru apstrādātām (600) sliecēm. Apkārtējās vides temperatūra ≈ 4°C.

Pēc 15. attēla datiem redzams, ka ātrums tika skatīts sākuma, jeb starta posmā (2m pēc starta) un beigu (24m pēc starta) posmā.

Praktiski visos gadījumos redzams, ka pārklāta sliece slīd nedaudz lēnāk (izņemot beigu ātrums ar 600 smilšpapīru apstrādātai sliecei), kā atskaites, jeb nepārklāta sliece. Līdz ar to manāmu pozitīvu efektu šādos eksperimentu apstākļos, konkrētais pārklājums nedod.



15.att. Sākuma un beigu ātrums

4. Metāla virsmas modificēšana, izmantojot dažādu plastmasu hidrofobus pārklājumus

Lai plašāk pētītu hidrofobitātes ietekmi uz slīdēšanas īpašībām garākā ledus trasē, papildus tika veikti eksperimenti ar dažādu plastmasu pārklājumiem uz metāla slieces.

Tika izvēlētas sekojošas plastmasas:

- PVC - Polivinilhlorīds ir termoplastisks plastmasas materiāls ar amorfu struktūru;
- PE - Polietilēni ir visā pasaulē visplašāk izmantotie polimēri. Liela šo materiālu priekšrocība ir to izcilā trieciena un ķīmiskā izturība, kā arī maza ūdens absorbcija;

- PTFE - Politetrafluoretilēns (PTFE) ir sintētisks fluoruplasts. Tā galvenie raksturlielumi ir izcila ķīmiskā un temperatūru izturība, un zemais berzes koeficients.

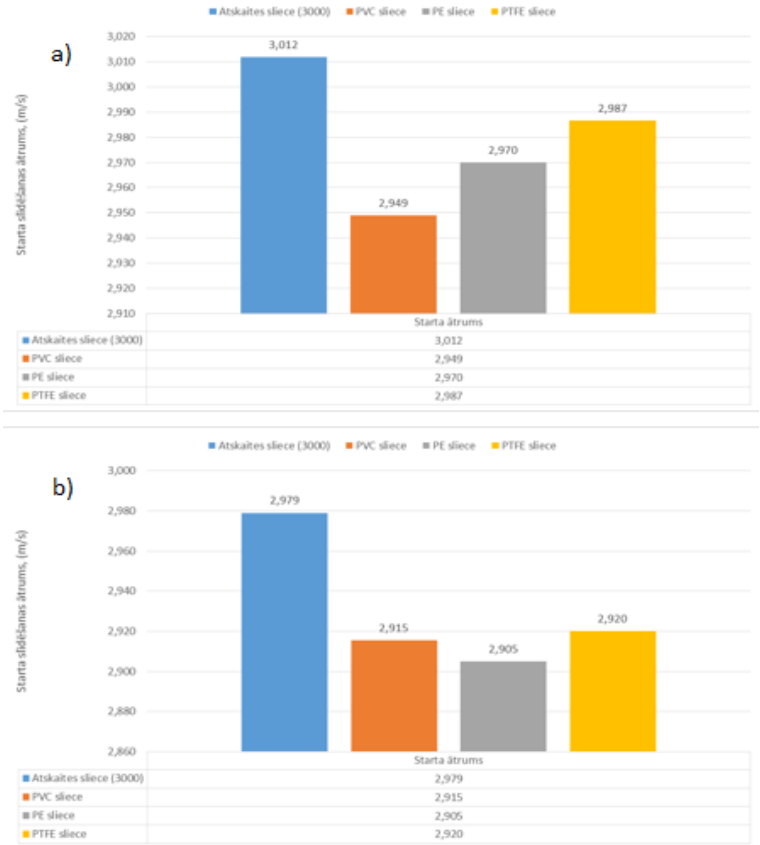
Augstāk uzskaitītie materiāli tika uzklāti uz metāla sliecēm un eksperimentos pārbautīti pret "tīru" pulētu metāla slieci, kā arī savstarpēji.

Tā kā eksperimentos tika izmantoti hidrofobi paraugi, eksperimentu apstākļi tika izvēlēti, lai uz ledus veidotos bieza ūdens kārtiņa.

Eksperimenti tika veikti divās eksperimentu dienās:

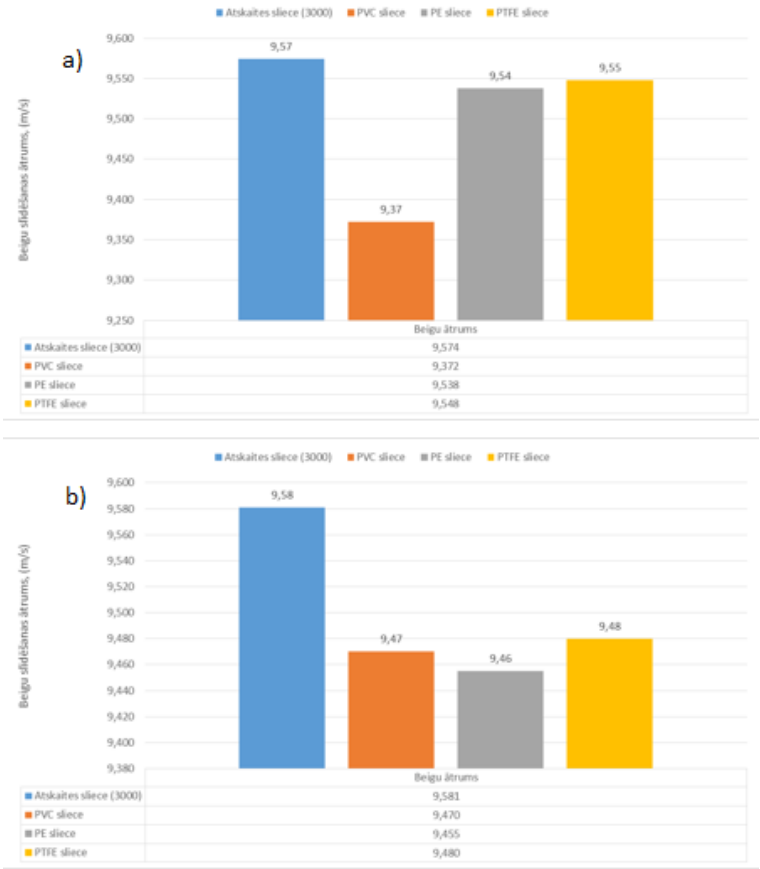
- Apkārtējās vides temperatūra abās eksperimentu dienās +11°C ±1;
- Gaisa mitrums abās eksperimentu dienās no 85 – 95%;
- Ledus temperatūra abās eksperimentu dienās -4°C ±1.

Rezultātā tika apskatīts sākuma un beigu ātrums abās eksperimentu dienās un veikts to salīdzinājums.



16.att. Starta ātrums hidrofobiem pārklājumiem. a) 1. Eksperimentu diena, b) 2. Eksperimentu diena

16. attēlā ir redzami starta ātruma dati no abām eksperimentu dienām. Neapšaubāmi ir redzams, ka lielākais starta ātrums abās eksperimentu dienās ir atskaites sliecei (metāla sliece). No plastmasu pārklājumiem, ātrāko starta ātrumu abās eksperimentu dienās, uzrāda ar Politetrafluoretilēnu (PTFE) pārklātā sliece.



17.att. Beigu ātrums hidrofobiem pārklājumiem. *a) 1. Eksperimentu diena, b) 2. Eksperimentu diena*

17. attēlā ir redzami beigu ātruma dati no abām eksperimentu dienām. Joprojām abās eksperimentu dienās visātrāk slīd pulēta metāla sliece un no plastmasām – ar PTFE pārklāta sliece.

Ja salīdzina pulētu metāla slieci ar hidrofobu plastmasu pārklātu metāla slieci, slīdēšanas ātruma uzlabojumi nav novērojami. Tieši pretēji – ar hidrofobu plastmasu pārklātas slieces uzrāda zemāku gan sākuma, gan beigu slīdēšanas ātrumu. Atsevišķi apskatot pārklātās slieces, abās eksperimentu dienās ātrāko slīdēšanas ātrumu uzrāda ar Politetrafluoretilēnu (PTFE) pārklātā sliece.

Kopsavilkums

Šajā nodevumā apskatītas tika dažādas metodes, slīdēšanas īpašību uzlabošanai garākā ledus trasē.

Uzsvars ir likts uz raupjuma ietekmes analīzi uz metāla slīdēšanas ātrumu. Tika salīdzinātas ar dažādu raupjuma pakāpi izveidotas slieces, kā arī apskatītas rezultātu izmaiņas pie 3 dažādiem skeletona svariem.

Eksperimentējot ar kontrolētu raupjumu un slodzi, tika atklāti vairāki ietekmējošie apstākļi – temperatūra, mitrums, pieliktā slodze, kas būtiski maina iegūtos rezultātus. Tie tika padziļināti analizēti un, pamatojoties uz analīzi un iegūtajiem datiem, tika izdarīti secinājumi un izvirzītas rekomendācijas (skat. attiecīgās nodaļas) virsmas apstrādei pie konkrētiem apstākļiem, lai uzlabotu slīdēšanas īpašības.

Tika veikta literatūras izpēte un, ņemot vērā apskatīto informāciju, tika veikti eksperimenti ar dažādām smērvielām, vaskiem un aerosoliem. Kopā garākā ledus trasē, tika veikti eksperimenti ar 5 dažādām smērvielām. Secinājumi par katru aerosolu, smēri ir izdarīti attiecīgajās nodaļās. Lielākā problēma šada tipa slieču apstrādei ir smērvielu nenoturība uz sliecēm. Tika konstatēts, ka ar eksperimentu nobraucienu skaita pieagumu, smērvielu ietekme uz slīdēšanas īpašībām samazinās. Tas visprecīzāk ir novērojams, apskatot “Deicing Fluid Type IV” iegūtos eksperimentu rezultātus. Taču, ja tiek samazināta pieliktā slodze un veidojas labvēlīgāki apstākļi aerosolu, smērvielu noturībai, šāda veida apstrāde var dot pozitīvu efektu uz ledus slīdēšanas īpašībām pa metālu.

Papildus metodēm, kas tieši ietekmē metāla slieci, tika veikti eksperimenti, izmantojot plastmasas pārklājumus uz slieces. Tādējādi varēja salīdzināt, teorētiski slīdēšanas īpašību uzlabojošu plastmasu (mazs berzes koeficients, ūdens atgrūšanas spējas) iegūtos rezultātus ar metāla slieces rezultātiem. Šāda tipa slieces uzlabojumus slīdēšanas ātrumā nedeva, tieši pretēji to samazināja.

Izmantotie informācijas avoti

[1] A.-M. Kietzig, S.G. Hatzikiriakos, P. Englezos, Physics of ice friction, J. Appl. Phys. 107 (2010) 81101. doi:10.1063/1.3340792.

[2] A.-M. Kietzig, S.G. Hatzikiriakos, P. Englezos, Ice friction: The effects of surface roughness, structure, and hydrophobicity, J. Appl. Phys. 106 (2009) 24303. doi:10.1063/1.3173346.

[3] B. Bhushan, Introduction to tribology, 2013.

[4] Colbeck, A Review of the Processes That Control Snow Friction, Hanover, N.H.: U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory., 1992.

http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a252362.pdf (accessed May 8, 2017).

[5] C. Hainzlmaier, A new tribologically optimized bobsleigh runner, Munich, 2005.

[6] X. Zhang, Y. Huang, Z. Ma, L. Niu, C.Q. Sun, From ice superlubricity to quantum friction: Electronic repulsivity and phononic elasticity, Friction. 3 (2015) 294–319. doi:10.1007/s40544-015-0097-z.

[7] R. Rosenberg, Why Is Ice Slippery?, Phys. Today. 58 (2005) 50–54. doi:10.1063/1.2169444.