



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'

3.nodevums

Likumsakarības slīdamībai starp metālu un ledu

Sagatavoja: Pētnieks Jānis Lungevičs

Projekta vadītājs: A/Prof. Kārlis Agris Gross

Rīga, 2017.gada 30.jūnijs

Šī nodevuma ietvaros apskatītas līdz šim biežāk izmantotās teorijas, kuras apraksta virsmu slīdēšanu pa ledu, un veikta to īsa analīze. Apskatīts vai inženiertehniski visērtāk pielietojamais vienādojums fundamentāli sakrīt ar projekta ietvaros veikto eksperimentu tendencēm.

Gadu gaitā ir attīstītas vairākas ledus berzes procesu raksturojošas teorijas, kuras savstarpēji atšķiras, jo katrā no tām ietverti nedaudz atšķirīgi ietekmējošie faktori. Šajā nodevumā tiks īsumā apskatīti un skaidroti līdz šim labāk atzītie matemātiskie modeļi virsmu slīdamības pa ledu raksturošanā, kā arī tiks piedāvāta likumsakarība kura pielietojama konkrētajā VPP veiktajiem eksperimentiem ar liela izmēra virsmām.

Kā pirmo no modeļiem jāmin Evansa un kolēģu [1,2] izveidoto teoriju kura apraksta likumsakarību starp ledus berzes koeficientu un termālo sasilšanu, kura rodas berzes rezultātā. Pētnieki definējuši maksimālo berzes spēku F_T kā funkciju, kura atkarīga no slīdēšanas procesa laikā radušā siltuma daudzuma uz slīdošās virsmas vienu garuma vienību. Šo spēku veido trīs komponentes

$$F_T = F_S + F_I + F_M \quad (1.1)$$

Kur: F_S – Siltuma daudzums kurš no saskares vietas tiek aizvadīts caur slīdošo materiālu (metāla paraugs, sliece, utt.);

F_I – Siltuma daudzums kurš difundē ledū;

F_M – Atlikušais siltuma daudzums, kurš nodrošina ledus kušanu.

Pieņemot, ka kontakta virsmas temperatūra ir vienāda ar ledus kušanas temperatūru un, izmantojot eksperimentālo paraugu virsmas ģeometrijas izmērus, lai noteiktu aptuveno kontakta laukumu, vienādojums 1.1 tiek pārveidots sekojošā formā:

$$\mu = \frac{A\lambda_s(T_m - T_0)}{F_N v} + \frac{B(T_m - T_0)}{F_N \sqrt{v}} + \mu_M \quad (1.2)$$

Kur: T_m – Ledus kušanas temperatūra;

T_0 – Apkārtējās vides (gaisa) temperatūra;

λ_s – Slīdošā materiāla (paraudziņa) siltum vadītspēja;

v – Slīdēšanas ātrums;

A – Konstante, kas atkarīga no faktiskā kontakta laukuma;

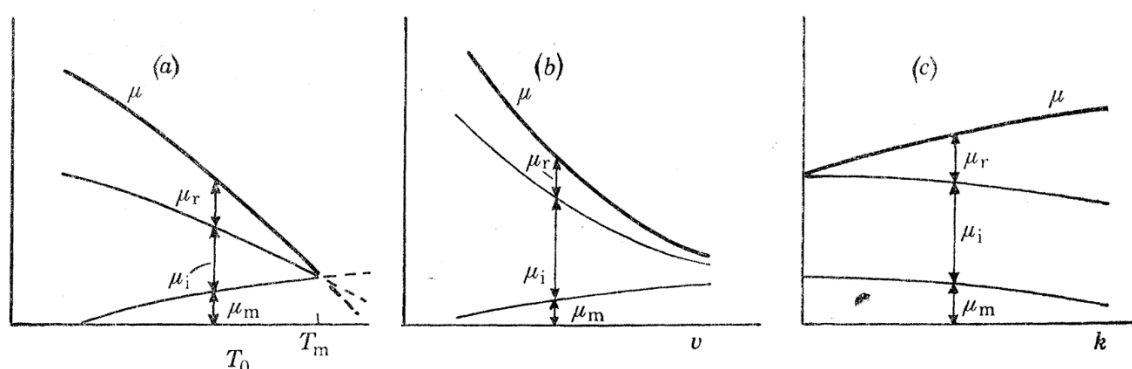
B – Konstante, kura atkarīga no faktiskā kontakta laukuma, siltum vadītspējas un ledus virskārtas difūzijas spējas;

F_N – Piespiešanas spēks starp slīdošo materiālu un ledu;

μ_M – Ledus kušanas berzes koeficienta komponente.

Autori uzsver, ka šajā vienādojumā redzamais kušanas berzes koeficients μ_M nav īsti aprēķināms, bet tā maksimālo vērtību esot iespējams noteikt no eksperimentu datiem. No saviem eksperimentiem un teorētiskajiem aprēķiniem autori noskaidro, ka šķidrā slāņa, kurš veidojas starp ledu un paraugu, biezums ir mazāks nekā ledus un parauga negludumu augstumu summa, kas norāda uz to, ka veidojas jauktās berzes režīms. Tā kā slīdošais paraudziņš, lielākajā gadījumā reālu dzīves situāciju, slīd pa jaunu (neskartu) ledus virsmu, ledus temperatūras gradients $\Delta T_{led.} = |T_{kont.} - T_{led.}|$, kurš rāda temperatūras atšķirību starp kontakta zonu un brīvi stāvoša ledus virsmu ir lielāks nekā paraudziņam $\Delta T_{par.} = |T_{par.} - T_{kont.}|$, kur gradients rāda temperatūras atšķirību

starp kontakta zonu un parauga virsmu. Šī likumsakarība ir patiesa līdz brīdim, kamēr netiek izmantoti paraudziņi ar ļoti labu siltum vadītspēju. Savos eksperimentos ar varu un tēraudu Evans noskaidrojis, ka 40-60% no kopējā berzes procesa radītā siltuma daudzuma, no kontakta virsmas tiek aizvadīti tieši caur parauga virsmu. Lai gan Evansa piedāvātais vienādojums (1.2) pauž, ka piespiešanas spēkam F_N ir apgriezti proporcionāla ietekme uz berzes koeficientu, reālie eksperimentu rezultāti rāda, ka šī ietekme ir aptuveni vienāda ar $F_N^{-(1/3)}$, ko autori skaidro ar to, ka analītiskajā aprēķinā nav iespējams pilnvērtīgi iekļaut reālo kontakta virsmas laukumu, kurš vistiešākajā veidā nosaka īpatnējo virsmas spiedienu kontakta zonā. Pie maziem kustības ātrumiem berzes koeficients tiek ietekmēts apgriezti proporcionāli ($1/v$) šim kustības ātrumam, liekot noprast, ka lielākā daļa kustības rezultātā radušā siltuma tiek aizvadīts caur metālu, kurš slīd pa ledu, taču, pieaugot ātrumam, sakarība starp ātrumu un berzes koeficientu kļūst $1/\sqrt{v}$.



1.att. Evansa modeļa berzes koeficienta atkarība no: a) Ledus kušanas temperatūras; b) Slīdēšanas ātruma; c) Slieces termālās vadītspējas.[2]

Augstāk apskatīto modeli tālāk attīstījuši Oksanens un Keinonens.[1] Šie autori pieņēmuši, ka šķidrās slānis starp ledu un paraugi spēlē vislielāko lomu berzes koeficienta ietekmēšanā, kas arī pēc citu autoru domām ir patiesi. Ņemot vērā šo pieņēmumu un apvienojot Evansa teoriju (1.2) ar hidrodinamiskās berzes teoriju tiek iegūts sekojošs vienādojums:

$$\mu = \frac{n^{1/4} A_c^{3/4}}{F_N} \left(\frac{1}{2} \frac{1}{(2v)^{1/2}} [\Delta T_I (\lambda_I c_I \rho_I)^{1/2} + \Delta T_S (\lambda_S c_S \rho_S)^{1/2}] + \left\{ \frac{1}{8v} [\Delta T_I (\lambda_I c_I \rho_I)^{1/2} + \Delta T_S (\lambda_S c_S \rho_S)^{1/2}]^2 + \eta_0 v h \rho_0 \right\}^{1/2} \right) \quad (1.3)$$

Kur: n – Kontaktējošo punktu skaits;
 A_c – Reālais kontakta laukums;
 F_N – Piespiešanas spēks starp slīdošo materiālu un ledu;
 v – Slīdēšanas ātrums;
 λ_I, λ_S – Ledus un paraudziņa siltum vadītspēja;
 c_I, c_S – Ledus un paraudziņa īpatnējā siltumietilpība;
 ρ_I, ρ_S – Ledus un paraudziņa blīvums;
 h – šķidrā slāņa biezums;
 ρ_0 – Ūdens blīvums;

η_0 – Ūdens viskozitāte;

Šajā vienādojumā autori izdala divas zonas, kuras atšķirīgi ietekmē kustības ātrums. Ja ledum ir liels temperatūras gradients, siltum vadītspēja spēlē lielāku lomu nekā viskozā bīde (vienādojuma pirmā daļa). Tas nozīmē, ka siltums, kas rodas berzes rezultātā pamatā tiek aizvadīts prom un nepiedalās papildus ledus kausēšanā. Šo vienādojuma daļu slīdēšanas ātrums ietekmē, kā $1/\sqrt{v}$. Ja gan ledum, gan paraugam ir mazs temperatūras gradients (notiek, kad apkārtējās vides temperatūra tuva 0°C) berzes procesā pamatā darbojas viskozās bīdes spēki, ko raksturo ar vienādojuma otro daļu. Šo daļu slīdēšanas ātrums ietekmē, kā $1/\sqrt{v}$, identiski kā Evansa formulā. Autori uzsver, ka tieši slīdēšanas ātrums ir tas, kas nosaka, kura vienādojuma komponente būs dominējošā. Pie maziem kustības ātrumiem virsroku ņem siltum vadītspēja, bet pieaugot ātrumam, ievērojami samazinās laiks, kurā no kontakta zonas iespējams aizvadīt siltumu caur paraugu, līdz ar to, rodas lielāks siltuma atlikums, kas veicina ledus kušanu.

Akkokam (Akkok) ar kolēģiem [1] savos aprēķinos pieņēmuši, ka procesa laikā saņemtais siltums tiek novadīts ledū, tādējādi mīkstinot tā virsmu. Savās diskusijās autori min, ka šādas ledus mīkstināšanas rezultātā pilnībā tiek izmainīta oriģinālā kontakta virsma un starp tām zūd mehāniskais kontakts. Šīs autoru grupas berzes procesa modelis ir sekojošs:

$$\mu = C \frac{A_C(T_C - T_I)}{F_N} \left(\frac{\lambda_S c_S \rho_S}{vb} \right)^{1/2} \quad (1.4)$$

Kur: C – Konstante;

A_C – Reālais kontakta laukums;

T_C – Temperatūra kontakta zonā;

T_I – Temperatūra ledum;

F_N – Piespiešanas spēks starp slīdošo materiālu un ledu;

λ_S – Paraudziņa siltum vadītspēja;

c_S – Paraudziņa īpatnējā siltumietilpība;

ρ_S – Paraudziņa blīvums;

v – Slīdēšanas ātrums;

b – kontakta zonas garums;

Iegūtie eksperimentālie rezultāti apstiprina Evansa un Oksanena/Keinonena iegūto likumsakarību, ka slīdēšanas ātrums berzes koeficientu ietekmē kā $1/\sqrt{v}$. Šie autori gan uzsver, ka viņuprāt, šī sakarība mainās, kad iestājas izteiktāks hidrodinamiskās berzes režīms, kas jo īpaši iespējams, ja gaisa temperatūra tuva 0°.

Apskatot augstāk redzamos matemātisko modeļus, redzams, ka to praktiska pielietojamība ir šaubīga, jo formulās jāievieto virkne parametru, kuru noteikšana ir ārkārtīgi sarežģīta. Kā būtiskākos jāmin temperatūru noteikšana ledum un kontakta zonā.

Visas trīs autoru komandas ar koeficientu, vai faktiskā kontakta laukuma izmainīšanu ir veiksmīgi pielāgojuši savu eksperimentu rezultātus teorētiskajiem aprēķiniem, taču, tas negarantē, ka šīs sakarības ir patiesas.

Citāda pieeja ledus berzes procesa aprakstīšanai ir bijusi Makkonenam ar kolēģiem [3], kuri gadījumam, kad ledus temperatūra ir tuva kušanas temperatūrai piedāvā sekojošu vienādojumu berzes spēka noteikšanai:

$$F\mu = \frac{\eta v}{h} A \quad (1.5)$$

Kur: A – Reālais kontakta laukums;
 h – šķidrā slāņa biezums;
 v – Slīdēšanas ātrums;
 η – Ūdens viskozitāte.

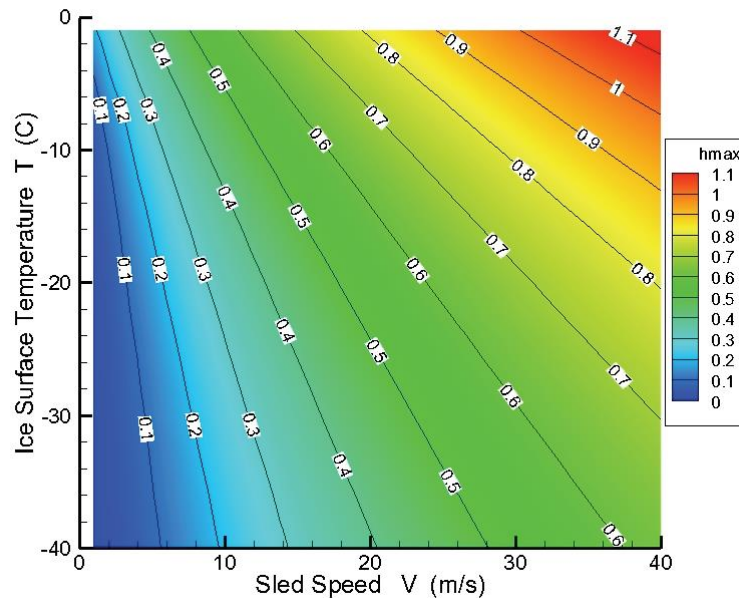
Vienādojumā (1.5) aizstājot berzes spēku $F\mu$ ar $F_N \cdot \mu$ un izsakot no vienādojuma ātrumu v , tiek iegūts sekojoša sakarība:

$$v = \frac{h \cdot \mu \cdot F_N}{\eta \cdot A} \quad (1.6)$$

Kur: F_N – Pieliktā slodze;
 μ – Berzes koeficients.

Apskatot vienādojumu (1.6) pirmajā tuvinājumā redzams, ka tajā esošos parametrus var iedalīt grupās, t.i. parametrus h un η vistiešākajā veidā ietekmē apkārtējais klimats (gaisa temperatūra un mitrums), savukārt F_N un A ar klimatiskajiem faktoriem ir minimāli saistīti. Berzes koeficients μ , kā jau visās triboloģijas situācijās, veidojas kā kombinācija no visiem mainīgajiem faktoriem un tā izmaiņas ir nelineāra rakstura.

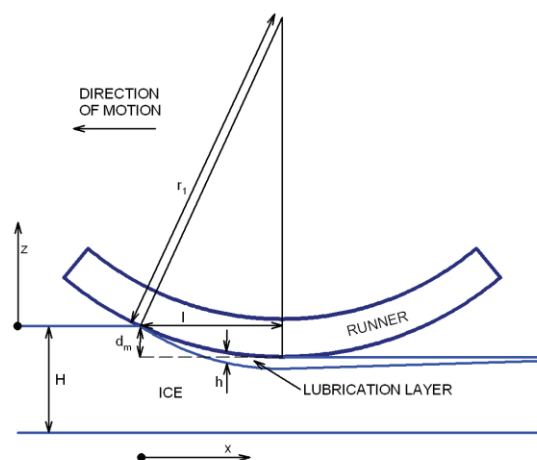
Par šķidrā slāņa h biezumu notiek visplašākās diskusijas literatūras avotos par ledus berzi [1,3–7]. Visi pētnieki vienbalsīgi atzīst, ka tieši šis slānis ir tas, kas nosaka mazo berzes koeficientu, t.i. labo slīdamību uz ledus, taču, izpratne par to cik šis slānis patiesībā ir biezs vēl nav. Visdetalizētāk šo jautājumu apskatījis Lozowskis ar partneriem, norādot, ka reālos apstākļos slāņa biezums variē no 0,1 μm līdz 1,1 μm [8], kas ir salīdzināms ar pulētu virsmu raupjuma amplitūdu, tādējādi ļaujot domāt, ka pie gludām virsmām iespējams gandrīz pilnībā atdalīt slīdošo virsmu no ledus ar šī slāņa palīdzību.



2.att. Šķidrā slāņa biezums atkarībā no slieces slīdēšanas ātruma un ledus temperatūras.[8]

No virsmu statistiskās mehānikas viedokļa (1.6) vienādojumā vislielāko interesi rada reālais kontakta laukums A , kuru primāri nosaka slīdošā objekta makro ģeometrija (forma), bet sīkākas nianšes tiek ietekmētas ar mikro un nano līmeņa ģeometriju (viļņainība, raupjums). Reālā kontakta laukuma aprēķināšanas jautājumam lielu uzmanību pievērsis Lozowskis ar kolēģiem[8,9]. Savā jaunākajā pētījumā [8] viņš apskatījis bobsleja slieces atbalsta laukuma noteikšanu ideālajam gadījumam, t.i. kad slieces virsma tiek uzskatīta par absolūti gludu. Absolūti gludu slieces virsmu, saprotams, nav reāli iegūt, taču, kā rāda eksperimentu rezultāti, tieši slieces formas izmaiņas visbūtiskāk ietekmē slīdēšanu, tādēļ primāri uzsvars tiek likts uz makro ģeometriju.

Sekojošajā attēlā redzama Lozowska interpretācija par to kā veidojas bobsleja slieces kontakta laukums. Jāpiebilst, ka konkrētajā attēlā nav parādīt skats no slieces priekšgala, kurā uzskatāmi būtu redzams, ka slieces forma arī šādā griezumā ir izliekta un savos kontakta laukuma aprēķinos (skat. vienādojumu 1.7) šo rādiusu pētnieks apzīmē ar indeksu r_2 .



3.att. Lozowska un kolēģu piedāvātais bobsleja slieces kontakta laukuma modelis. [8]

No 3.att. redzams, ka kontakta virsma ir puse no elipses, kuras laukumu var aprēķināt sekojoši:

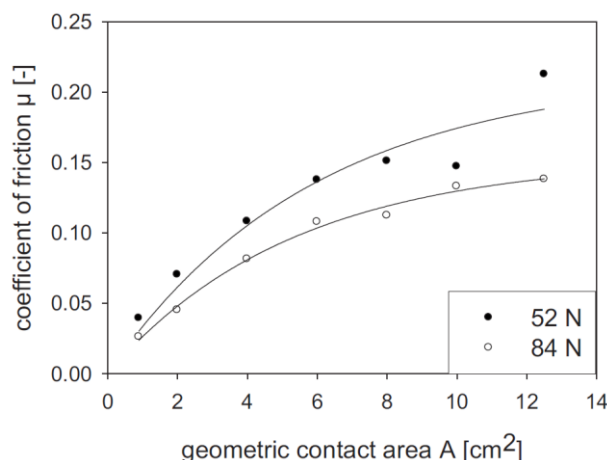
$$A = \int_0^l 2y(x)dx = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^{1/2} \cdot l^2 \quad (1.7)$$

Kur: r_1 – Slieces lielais izliekuma rādiuss;
 r_2 – Slieces mazais rādiuss;
 l – Kontakta garums.

Apvienojot vienādojumus (1.6) un (1.7) iegūst sekojošu formulu:

$$v = \frac{h \cdot \mu \cdot F_N}{\eta \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^{1/2} \cdot l^2} \quad (1.8)$$

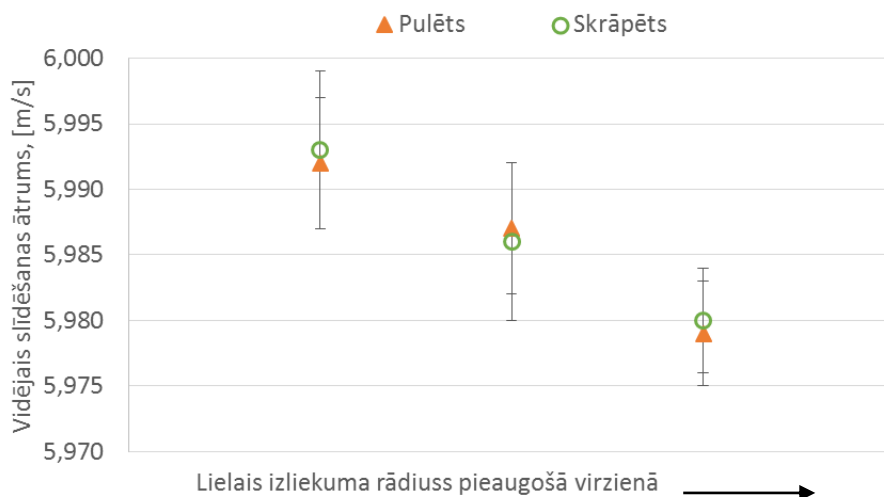
Turpinot analizēt vienādojuma (1.8) pielietojamību, par piemēru izmantojot bobsleja vai skeletoņa slieces, ir būtiski piebilst, ka slieču mazais rādiuss r_2 ir reglamentēts un to nevar īsti izmainīt, līdz ar to, vienādojumā to var uzskatīt par nemainīgu konstanti, savukārt, lielo rādiusu r_1 ir atļauts variēt, tādējādi mainot gan izliekumu, gan kontakta garumu l . Ir viegli saprast to, ka palielinot r_2 kopējais atbalsta laukums kļūst lielāks, kas no vienādojuma (1.8) ļauj prognozēt, ka slīdošā objekta ātrumam būtu jākļūst mazākam, pie nosacījuma, ka pārējie faktori nemainās. Šādu tendenci apstiprina Baurle ar kolēģiem (skat. 4.att.), tiesa gan, savos pētījumos viņš apskatījis kā palielinoties virsmas laukumam izmainās berzes koeficients nevis no tā izrietošais slīdēšanas ātrums, jo pētniekam pieejamā aparatūra paredzēta berzes koeficienta noteikšanai.



4. Berzes koeficienta izmaiņas palielinot kontakta virsmas laukumu.[1]

Tā kā samazinoties berzes koeficientam slīdēšanas ātrums pieaug, nav grūti saprast, ka iegūtā tendence ir identiska, jo lielāks atbalsta laukums dod lielāku berzes koeficientu, t.i. mazāku slīdēšanas ātrumu.

Šī tendence apstiprina VPP eksperimentu, kas izdarīts Siguldas starta treniņu estakādē. Šo eksperimentu laikā tika pārbaudīts viens un tas pats skeletoņa slieču komplekts pie trīs dažādiem lielajiem izliekuma rādiusiem r_1 (skat. 2.att.). Eksperimentu laikā uz kamanām atradās cilvēks ar 65kg svaru un fiksēta gaisa temperatūra +2°C. Iegūtā sakarība starp izliekuma rādiusu un slīdēšanas ātrumu ir sekojoša.

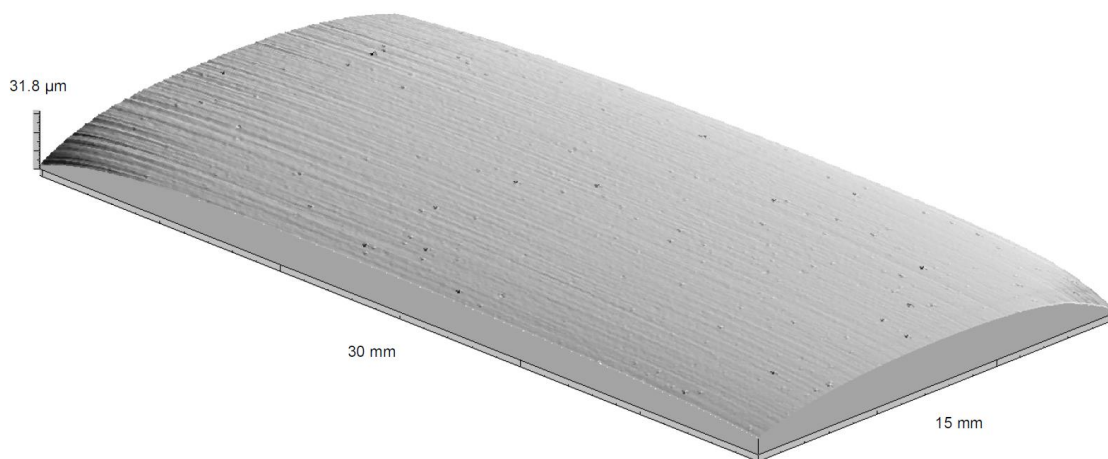


5.att. Vidējā slīdēšanas ātruma izmaiņas palielinot slieces lielo izliekuma rādiusu r_1 (kontakta virsmas laukumu), uz kamanām atrodoties cilvēkam.

Kā redzams 5.att. eksperimenta ietvaros papildus apskatīta raupjuma ietekme, t.i. sākotnēji veikti eksperimenti ar trīs dažādiem izliekumiem pulētam slieču komplektam, bet pēc tam eksperiments atkārtots ar 600. markas smilšpapīru saskrāpētam slieču komplektam. Ir skaidri redzams, ka konkrētajos apstākļos slieces raupjumam ir salīdzinoši daudz mazāk ietekme uz slīdēšanu nekā izliekuma rādiusam (kontakta virsmas laukumam), taču, šī ietekme ir un, pie tam, ar tendenci, ka raupjākas slieces slīd ātrāk, bet, lai šo novērojumu apstiprinātu, nepieciešami padziļinātāki eksperimenti.

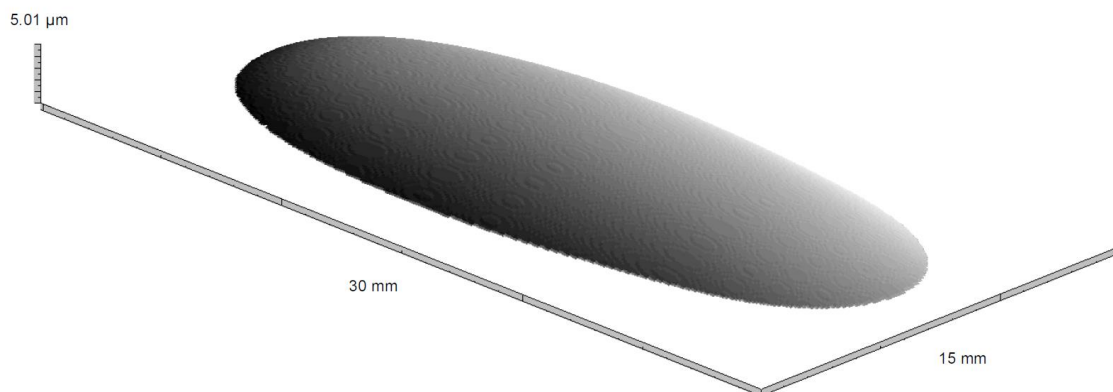
Diemžēl, vēl nav izdevies veikt objektīvus slieces reālās kontakta virsmas mērījumus, jo tā veikšanai nepieciešama liela izmēra ciparvadības koordinātu mēriekārta, kura projekta ietvaros nav bijusi pieejama, taču, ir noskaidrots, ka uz ledus noliktas slieces kontakta virsmas garums variē no 100 – 300 mm, kas sastāda attiecīgi ~12 – 40 % no kopējās slieces virsmas garuma.

Līdzīga tendence kā eksperimentos estakādē novērojama arī laboratorijas apstākļos, t.i. pētāmo paraugu virsmas ir izliektas, līdzīgi kā Siguldā izmantotās skeletona slieces, tikai šis izliekums mērāms mikrometru nevis milimetru diapazonā (skat. 6.att.). Palielinoties šī izliekum rādiusam samazinās kontakta virsmas laukums.



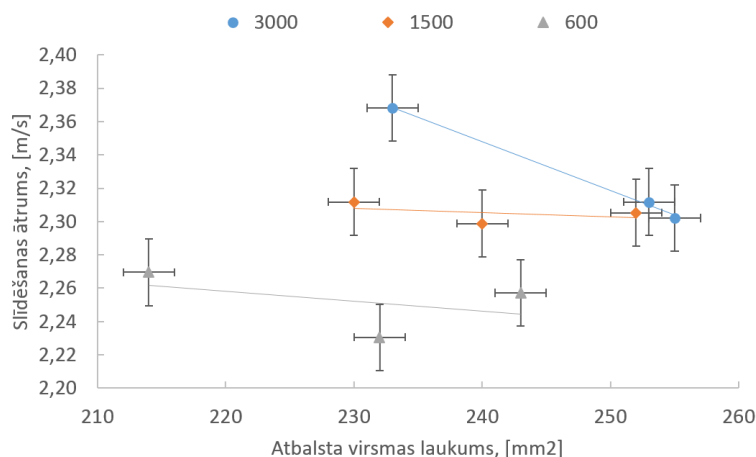
6.att. Laboratorijā izmantota parauga virsmas 3D topogrāfiskā mērījuma piemērs.

Ja pieņem, ka visiem paraugiem reālā kontakta virsma (virsmas daļa, kas iedarbojas ar šķidro slāni uz ledus [1] un pašu ledus virsmu) ir aptuveni 5 μm līmenī no augstākā punkta, redzams, ka šis kontakta virsmas laukums sastāda 40 – 70 % no nominālā parauga virsmas laukuma (skat. 7.att.).



7.att. Laboratorijā izmantota parauga virsmas darba zona, kas veido kontaktu ar ledu.

Iegūtie eksperimenta dati rāda, ka paraugiem ar lielāku kontakta virsmas laukumu ir tendence uzrādīt lēnāku slīdēšanas ātrumu (skat. 8.att.). Jāatzīst, ka laboratorijas apstākļos šī tendence nav tik viennozīmīga kā lielā mērogā, kas, visticamāk, skaidrojams ar salīdzinoši mazo kontakt spiedienu atšķirību starp vieglajiem paraugiem (paraugu svars 65 g).



8.att. Laboratorijas paraugu atbalsta virsmas laukuma ietekme uz slīdēšanas ātrumu pie -7°C .
Salīdzināti ar dažādu graudu smilšpapīriem (3000, 1500, 600) skrāpēti paraugi.

Neapšaubāmi, slīdēšanas procesu ietekmē arī pieliktais svars F_N . No vienādojuma (1.8) izriet, ka palielinoties pieliktajam svaram slīdēšanas ātrumam jāpieaug, taču faktiskā realitāte ir komplicētāka, t.i. izmainot svaru, mainās kontakta spiediens uz laukuma vienību, kā rezultātā var mainīties fizika, kas atbild par slīdēšanas procesu, tādēļ turpmākajos pētījumos plānots apskatīt vai pastāv optimālā piespiešanas spēka un atbalsta laukuma, t.i. kontakta spiediena vērtība, kura konkrētos klimatiskajos apstākļos ļauj sasniegt optimālās slīdamības īpašības.

Papildus tam, paredzēts daudz detalizētāk apskatīt faktiskā kontakta laukuma veidošanos, jo vienādojumā (1.8) nav ņemta vērā ne viļņainības, ne raupjuma ietekme uz atbalsta laukumu. To plānots paveikt reālo kontakta laukumu sadalot divās fundamentālās komponentēs:

- 1) Makroģeometrijas veidotais kontakta laukums;
- 2) Mikroģeometrijas ietekme uz makroģeometrijas kontakta laukumu, kas procentuāli palielinās, vai samazinās kontakta virsmas laukumu, atkarībā no virsmas raupjuma intensitātes.

Vienādojums (1.8) apstiprina novēroto eksperimentos, ka slīdēšanas ātrums ir galvenokārt atkarīgs no uzliktās slodzes, no kontakta virsmas laukumam un no metāla virsmas raupjuma. Par kontaktu virsmas raupjuma iespaidu uz slīdamību sīkāka informācija atrodama nodevumā “Rekomendācija izstrāde par virsmas modifikācijām, kas visvairāk palielina slīdamību metālam pa ledu”

Literatūras 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] D.C.B. Evans, J.F. Nye, K.J. Cheeseman, The kinetic friction of ice, Proc. R. Soc. Lond. A. 347 (1976) 493–512. doi:10.1098/rspa.1976.0013.
- [3] 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.
- [4] L. Baurle, T.U. Kaempfer, D. Szabo, N.D. Spencer, Sliding friction of polyethylene on snow and ice: Contact area and modeling, Cold Reg. Sci. Technol. 47 (2007) 276–289. doi:10.1016/j.coldregions.2006.10.005.
- [5] C. Hainzmaier, A new tribologically optimized bobsleigh runner, Munich, 2005.
- [6] S. Ducret, H. Zahouani, A. Midol, P. Lanteri, T.G. Mathia, Friction and abrasive wear of UHWMPE sliding on ice, in: Wear, 2005: pp. 26–31. doi:10.1016/j.wear.2004.09.026.
- [7] 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.
- [8] 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>.
- [9] E. Lozowski, K. Szilder, S. Maw, A model of ice friction for a speed skate blade, Sport. Eng. 16 (2013) 239–253. doi:10.1007/s12283-013-0141-z.