

Změna teplot sněhu při běhu na lyžích v obraze sekvenční termografie

Snow temperature change during cross-country skiing at moving thermography images

Jan Novotný, Jan Ondráček, Jan Novotný sr.

Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity

Abstrakt

Již před dvaceti lety bylo prokázáno, že tření lyže zvyšuje teplotu sněhu. Změna skupenství na vodu umožňuje skluz lyže. Cílem této studie bylo zjistit, zda dynamická infračervená termografie je schopna zachytit rychlé změny teploty sněhu určité plochy (ne pouze v jednom bodě) lyžařské stopy před a po projetí.

Monitorovali jsme sněh ve stopě po 60 jízdách dvou běžců různé váhy (86 a 73 kg) na dvou typech lyží a mazání (pro klasický běh a bruslení) a třemi různými rychlostmi ($3,04 \pm 0,180$, $3,81 \pm 0,273$ a $5,30 \pm 0,314$ m.s⁻¹). Měření infračerveného záření a výpočet teploty na povrchu sněhu bezprostředně před a po projetí lyžaře bylo provedeno termografickým systémem FLIR SC620 se vzorkovací frekvencí 30 Hz.

Neparametrickým Wilcoxonovým testem pro srovnání párových hodnot bylo zjištěno významné zvýšení teploty sněhu po projetí lyží: u běžce A z $-3,71$ na $-3,50$ °C ($p=0,000000$) a u běžce B z $-3,75$ na $-3,50$ °C ($p=0,000000$). K návratu teploty k původním hodnotám dochází do 5 sekund po projetí. Byly prokázány rozdíly v zahřátí sněhu mezi běžci s různou hmotností a v případě použití různých typů lyží.

Studie potvrdila schopnost dynamické infračervené termografie registrovat velmi rychlé teplotní změny sněhu v určité ploše bezprostředně před a po projetí běžců na lyžích. Plošná dynamická termografie by tak zřejmě mohla přispět k volbě správné strategie a mazání lyží při závodech. Je ovšem potřeba provést sérii ověřovacích studií.

Abstract

Twenty years ago it was shown that friction increases the temperature of snow skis. Change of state permits for water skis glide. The aim of this pilot study was to determine whether dynamic infrared thermography is able to capture rapid changes in temperature of snow some areas (not just at one point), the ski tracks before and after passing.

We monitored the snow on the track after 60 races two runners in various weights (86 and 73 kg) on two types of skis and lubrication (for classic and skating cross) and three different speeds ($3,04 \pm 0,180$, $3,81 \pm 0,273$ a $5,30 \pm 0,314$ m.s⁻¹). Measurements of infrared radiation and the calculation of snow surface temperature immediately before and after passing skier was carried out thermo-graphic system FLIR SC620 with 30 Mhz.

Nonparametric Wilcoxon test for paired comparison of values was found significant increases in temperature after the snow cleared the skies: runner A from $-3,71$ to $-3,50$ °C ($p=0,000000$) and runner B from $-3,75$ na $-3,50$ °C ($p=0,000000$). To return to the baseline temperature is within 5 seconds after passing. Differences were demonstrated in the heat of snow between runners with different masses and for the use of different types of skis.

The study confirmed the ability of dynamic infrared thermography to register a very rapid temperature changes of snow in an area immediately before and after crossing the cross-country skiers. Dimensional dynamic thermography would seem to contribute to the choice of the correct strategy and lubrication in ski racing. However, it is necessary to make a series of validation studies.

Klíčová slova: teplota sněhu, běžecké lyžování, infračervená termografie
Key words: snow temperature, cross country skiing, infrared thermography

ÚVOD

Je známo, že třením lyže se sníh ohřívá a mikroskopická vrstva vzniklé vody umožňuje skluz (Bowden et Hughes 1939), stejně tak je tomu i při tajícím ledu pod bruslí (de Koning et al. 1992, Svensson 1994, de Koning & van Ingen Shenau 2000, Smith 2000, Gnad a Psotová 2005). Dalšími důležitými faktory jsou meteorologické podmínky, mechanické vlastnosti lyže, povrch a ošetření skluznice (Theile et al. 2009).

Změny teploty sněhu lze zjišťovat různými způsoby. Starší kontaktní i bezkontaktní termometrické systémy umožňovaly měření teploty sněhu až více vteřin po průjezdu lyže a výsledky měření byly nutně zkresleny zevními faktory, které po tuto relativně dlouhou dobu na sníh působí. Novější termografické systémy, zpočátku statické, později i dynamické umožňují měřit infračervené záření (IR) určitého bodu, případně plochy.

Výsledky studia zahřívání běžeckého koberce i sněhu lyží prezentoval Roberts (1991). Bradley (2009) publikoval analogické zkušenosti s ohřevem ledu při metání košťaty v curlingu. Práce s využitím infračervené termovizní techniky v běžeckém lyžování se zabývá traumatologií (Zucco et al. 1991).

V naší pilotní studii (Studia Sportiva 2010/4, č. 2, s. 25 – 32) jsme přinesli první zkušenosti s měřením rychlých změn IR záření určitého bodu bezprostředně před a po projetí běžce na lyžích. Zjistili jsme, že dynamická termografie je schopna přinést informace o teplotních změnách v jednom bodu v průběhu času ve zlomcích vteřin. Tím byl překonán starší přístup detekce teplotních změn z jednoho termogramu, kdy bylo měřeno IR záření současně ve dvou různých bodech.

V této studii jsme se pokusili poprvé změřit IR záření a vypočítat teplotní změny určité plochy sněhu, a tím eliminovat možnou chybu vyplývající z měření pouze v jednom určitém bodě.

Cílem této studie bylo zjistit, zda metoda dynamického měření IR záření vymezené plochy sněhu je schopna:

- zjistit ohřátí sněhu po průjezdu běžce na lyžích
- rozlišit vliv různé hmotnosti, typu lyží a rychlosti jízdy na zahřátí sněhu
- a odhalit okamžik opětovného návratu teploty na výchozí hodnotu

METODIKA

Provedli jsme měření se dvěma běžci na klasických a bruslařských lyžích a třemi různými rychlostmi.

Běžec A se věnuje běžeckému lyžování velice aktivně, hlavně jako trenér biatlonistů. Druhý muž (B) se běžeckému lyžování se věnuje aktivně v průběhu zimní sezóny. Jejich věk a hmotnost uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: Základní údaje o běžcích a délce skluznice, která byla v kontaktu se sněhem

Běžec	Věk (r)	Hmotnost (kg)	Šířka lyží (cm)		Délka skluznice v kontaktu se sněhem (cm)	
			lyže pro klasický běh	lyže pro bruslení	lyže pro klasický běh	lyže pro bruslení
A	54	86	4,0 - 4,5	4,1 - 4,5	188	178
B	53	73	4,0 - 4,5	4,1 - 4,5	186	177

Klasické lyže měly hrubou lineární strukturu a byly mazány parafínem SWIX LF 4 mimo stoupací komoru. Jako stoupací vosk jsme použili fialový klistr SWIX v jedné vrstvě. Lyže na bruslení měly také lineární hrubou strukturu s naneseným parafínem SWIX LF 4.

Měření proběhlo 19.2.2010 v dopoledních hodinách (10.00 – 11.30) v areálu stadionu pro běžecké lyžování u Ski hotelu v Novém Městě na Moravě za těchto povětrnostních podmínek: Zataženo s nízkou oblačností, mrznoucí mrholení. Ostatní zevní podmínky viz tab. 2. Stopa ve sněhu byla vyfrezovaná z předchozího večera, zmrzlý sníh.

Tab. 2: Venkovní klimatické podmínky v průběhu měření

Výška nad sněhem (m)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)	Rychlost větru (m/s)
0,02	-0,2	100	2,4
1,5	-0,2	100	3,8

Oba běžci jeli z mírného svahu ze tří různých vzdáleností, a tím dosahovali 3 různých rychlostí. Z každé této pozice jeli 5x. Sledovali jsme levou i pravou stopu. Po absolvování těchto průjezdů s lyžemi na bruslení se přezuli do klasických lyží a celé měření se opakovalo. Každý běžec tedy projel 15x na bruslařských a 15x na klasických lyžích. Celkem jsme natočili 60 videosekvencí. Levou i pravou stopu jsme hodnotili zvlášť, vypočetli jsme tedy průměrnou teplotu určité plochy sněhu bezprostředně před a po, 5s a 10s po projetí běžce (tj. předpokládali jsme celkem 240 výpočtů).

Infračervené záření bylo snímáno a výpočet teploty prováděn infračervenou termografickou kamerou FLIR SC620 (obr. 1): Teplotní citlivost 0.065°C ve 30°C, spektrální rozsah 7,5 – 13 μm, teplotní rozsah -40 až +120°C, přesnost stanovení teploty ±2°C, obrazové rozlišení 640x480 pixelů. Snímkovací frekvence byla 30 Hz. Pro on-line přenos sekvencí obrazů do laptopu Philips bylo využito spojení firewire.

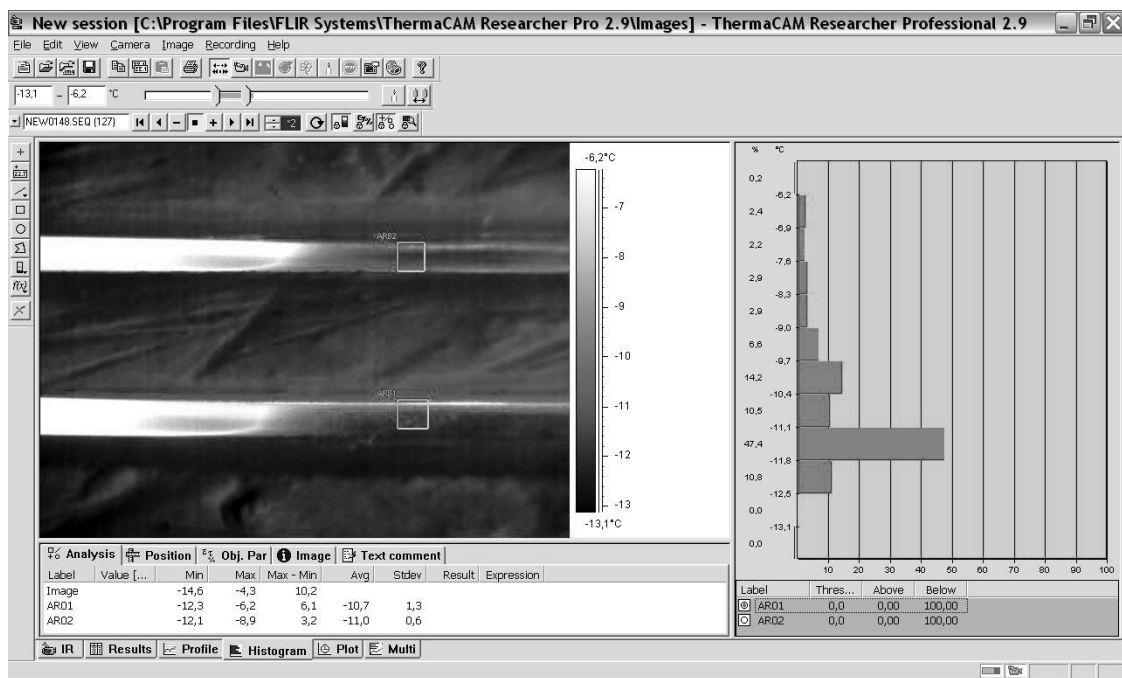
Při měření byla kamera upevněna na stativu 1,5 m nad úroveň běžecké stopy, mírně šikmo – s úhlem 20-30° od svislice, aby kamera se stativem nebránila průjezdu běžce. Současně bylo umístění kamery voleno tak, aby sníh neodrážel jiné zdroje infračerveného záření, které by mohlo zásadně zkreslit výsledky, jak se o tom zmiňuje např. Honner (2004).

Ke zpracování sekvencí snímků jsme použili software ThermaCAM Researcher Professional 2.9 (obr. 2). Po drobné, ale velice důležité úpravě v údajích o emisivitě sněhu (0,85), teplotě vzduchu, vlhkosti a dalších faktorech, byla stanovena statická pole v podobě čtverce o straně 4 cm, kterou byla šíře stopy po projetí lyže. Rychlost pohybu lyže byla vypočtena z časů, za které projede celá lyže v místě bodu měření.

V programu Statistika CZ 9.0 byl, po zamítnutí hypotézy o normálním rozložení hodnot (Shapiro-Wilksův W test), proveden neparametrický Wilcoxonův test rozdílů teplot před a po projetí lyží, zvlášť u každého běžce a zvlášť u klasických a bruslařských lyží. Stejným testem byly posuzovány spárované hodnoty rozdílů teplot při různých třech rychlostech jízdy. Dále byl proveden Mann-Whitneyův U test rozdílů mezi dvěma lyžaři a dvěma typy lyží. Pro celkové posouzení rozdílů zahřátí sněhu pod vlivem pohybu lyží byl použit také neparametrický vícenásobný Friedmanův (ANOVA) test rozdílů. Pro posouzení rozdílů mezi zahřátím sněhu při různých rychlostech jízdy byl použit (rovněž neparametrický) vícenásobný Kruskal-Wallisův test.

K prezentaci a interpretaci výsledků posloužily grafy programu Statistika.

**Obr. 1:** Infračervená termografická kamera FLIR SC 620



Obr. 2: Ukázka ze zpracování dat (označení ploch na stopě) v programu ThermalCAM Researcher Professional 2.9

VÝSLEDKY

Ze základních výsledků vybíráme a předkládáme jako příklad teploty sněhu před, po, 5 a 10 sekund po projetí a rozdíly teplot před a po projetí běžce A, na lyžích pro bruslení druhou rychlostí (tab. 3).

Tab. 3: Rychlost a teploty sněhu ve stopě běžce A, na lyžích pro bruslení, druhou rychlostí

Číslo jízdy	Rychlost (m.s ⁻¹)	Teplota sněhu (°C)				Rozdíl teplot (°C)
		před	po	5 s po	10 s po	
1	3,77	-3,9	-3,6	-3,9	-3,9	0,3
2	3,78	-4	-3,7	-3,9	-4	0,3
3	3,78	-3,6	-3,4	-3,5	-3,6	0,2
4	3,78	-3,6	-3,3	-3,5	-3,5	0,3
5	3,77	-3,6	-3,4	-3,6	-3,6	0,2
x	3,776	-3,74	-3,48	-3,68	-3,72	0,26
s	0,0055	0,195	0,164	0,205	0,217	0,0548
medián	3,78	-3,6	-3,4	-3,6	-3,6	0,3

Vysvětlivky: x - průměr, s - směrodatná odchylka

Některé hodnoty nebylo možné vypočítat kvůli „mrtvým“ obrázkům (3), které vznikly ve chvíli, kdy proběhla automatická kalibrace kamery, uzavření závěrky. U několika průjezdů jsme zastavili kameru předčasně, a proto jsme nebyli schopni vypočítat hodnotu „po 10s“ po projetí lyže (6).

Výsledky Wilcoxonova testu dokládají významné rozdíly vypočtených teplot bezprostředně před a po projetí lyží, jak u klasických, tak u bruslařských (tab. 4 a 5).

Tab. 4: Výsledky Wilcoxonova testu rozdílu teplot (°C) bezprostředně před a po projetí dvou běžců

Běžec	n	Před			Po			T	p
		m_e	Q_{10}	Q_{90}	m_e	Q_{10}	Q_{90}		
A	60	-3,75	-3,95	-3,45	-3,50	-3,75	-3,20	4,500	0,000000
B	58	-3,75	-4,00	-3,40	-3,50	-3,70	-3,20	0,000	0,000000

Vysvětlivky: n – počet měření, m_e - medián, Q_{10} - 10. percentil, Q_{90} - 90. percentil, T – testovací charakteristika, p – hladina významnosti.

Tab. 5: Výsledky Wilcoxonova testu rozdílu teplot (°C) bezprostředně před a po projetí dvěma různými typy lyží

Lyže pro	n	Před			Po			U	p
		m_e	Q_{10}	Q_{90}	m_e	Q_{10}	Q_{90}		
klasický běh	60	-3,65	-3,90	-3,45	-3,50	-3,70	-3,30	0,000	0,000000
bruslení	58	-3,80	-4,10	-3,30	-3,50	-3,90	-3,10	2,000	0,000000

Vysvětlivky: n – počet měření, m_e - medián, Q_{10} - 10. percentil, Q_{90} - 90. percentil, U – testovací charakteristika, p – hladina významnosti.

Výsledkem Mann-Whitneyova U testu dokládáme významný rozdíl v zahřátí sněhu mezi oběma běžci (s rozdílnou hmotností) i mezi dvěma typy lyží (tab. 6).

Tab. 6: Rozdíly teplot sněhu (°C) bezprostředně před a po projetí dvou běžců (A a B) s různou hmotností a dvěma typy lyží (n=58), jejich srovnání Mann-Whitneyovým U testem

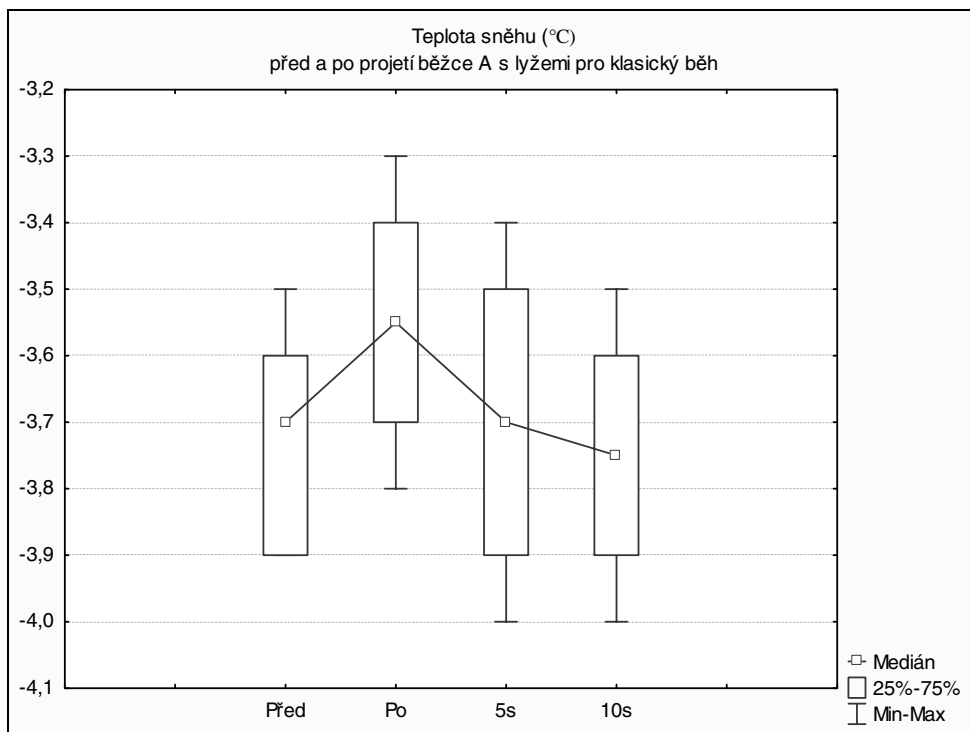
		m_e	Q_{10}	Q_{90}	U	p
Běžci	A (86 kg)	0,200	0,150	0,300	378,5	0,021930
	B (73 kg)	0,200	0,100	0,300		
Lyže pro	klasický běh	0,200	0,100	0,300	385,5	0,021884
	bruslení	0,200	0,200	0,300		

Vysvětlivky: m_e - medián, Q_{10} - 10. percentil, Q_{90} - 90. percentil, U – testovací charakteristika, p – hladina významnosti.

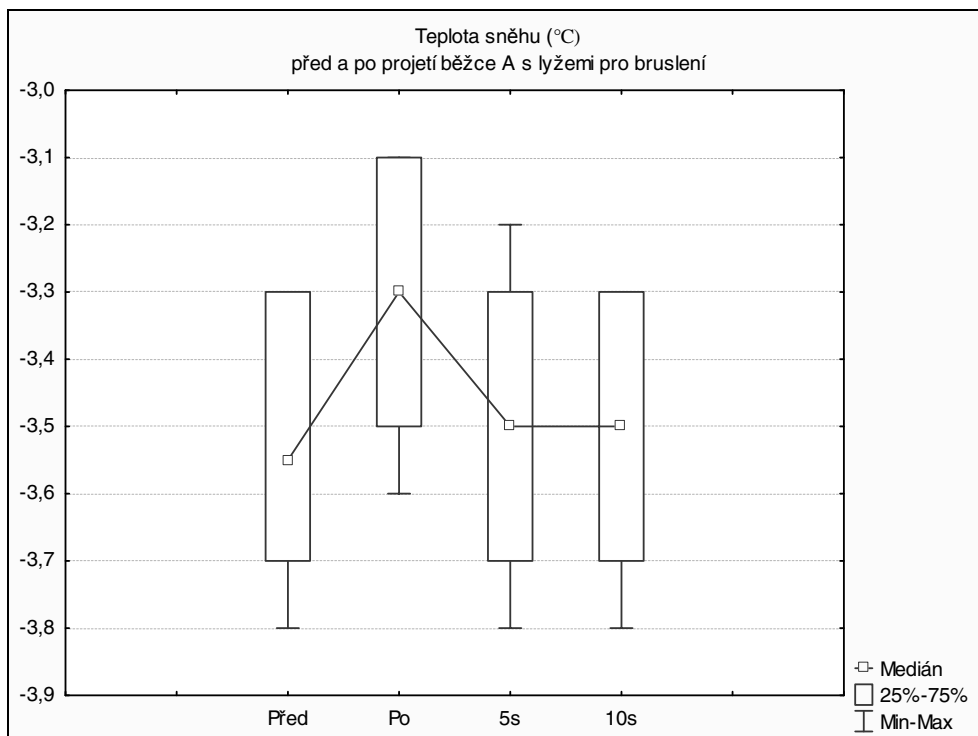
Dynamiku teplotních změn dokumentujeme na vybraných případech měření při nejvyšší rychlosti jízdy ($5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Výsledky jsou rozděleny zvlášť pro lyžaře A a B a současně pro lyže pro klasický běh a pro bruslení (Grafy 1-4). Prostřednictvím mnohonásobného Friedmanova testu zamítáme hypotézu o shodě teplot ve všech těchto čtyřech uvedených případech ($p \leq 0,0007$; $n=10$). Z tohoto faktu vyplývá, že zvýšení teploty sněhu bezprostředně po projetí lyže je významné.

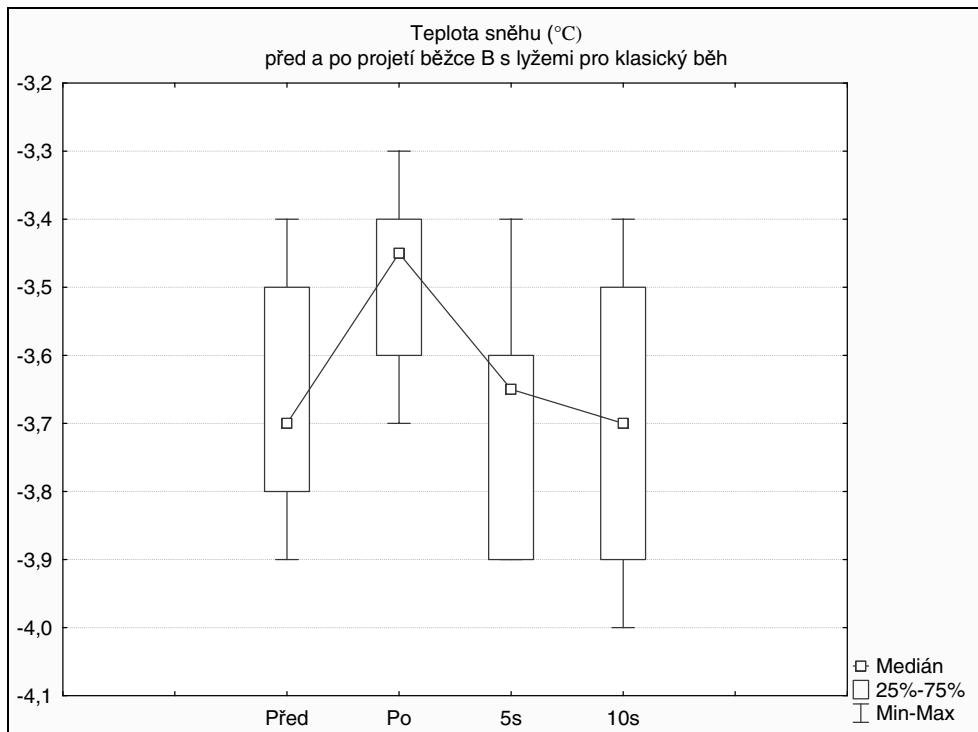
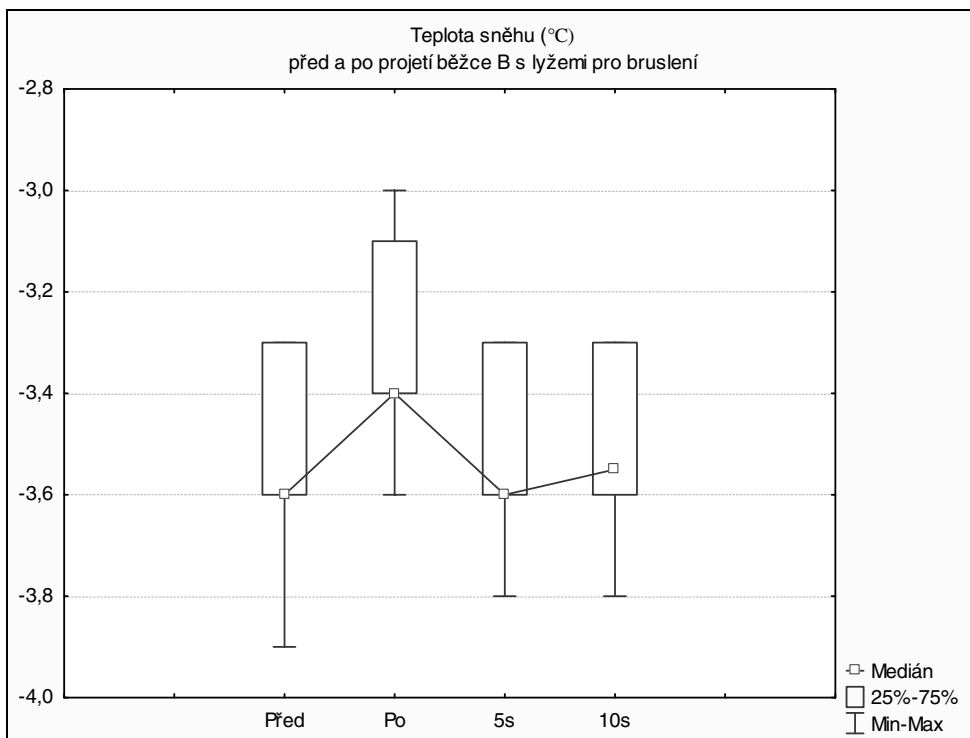
Spojnicové grafy odhalují nárůst a pokles teplot v průběhu času u klasických a bruslařských lyží bezprostředně před, po a 5 a 10 sekund po projetí běžce A (graf 1 a 2) a B (graf 3 a 4) nejvyšší rychlostí. Z grafů je také zřetelné, že návratu teploty k původní teplotě je dosaženo prakticky do 5 sekund po projetí.

Graf 1: Teploty sněhu levé stopy před a po projetí běžce A na lyžích pro klasický běh



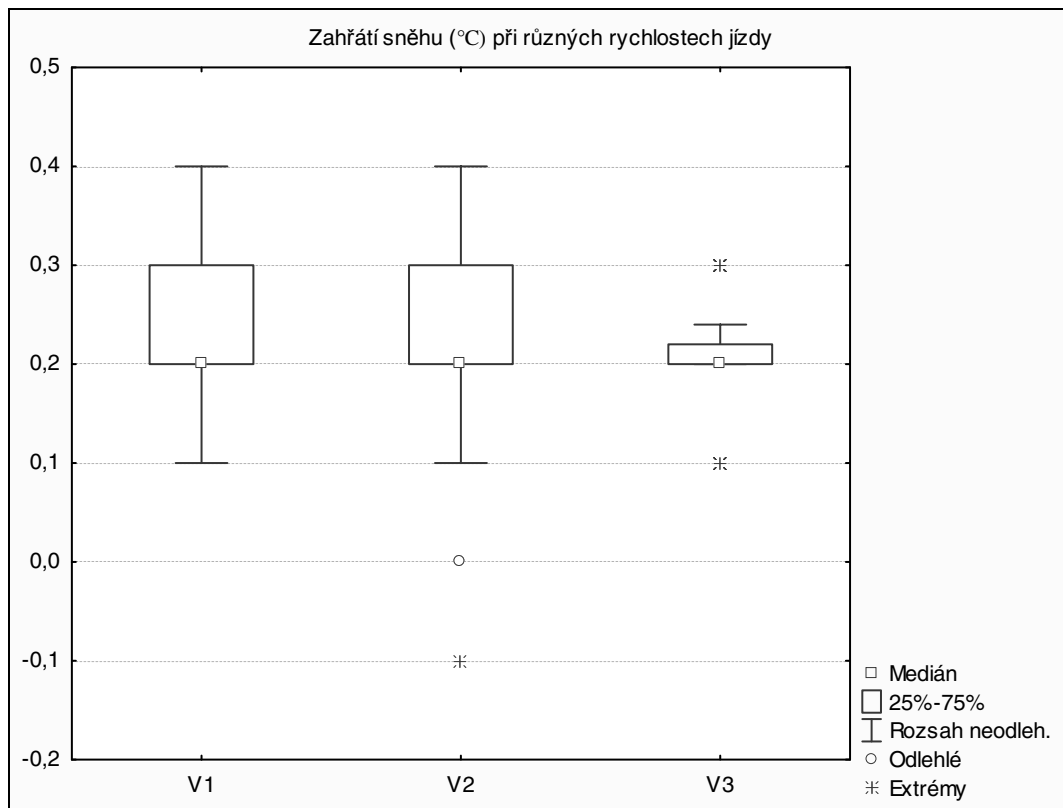
Graf 2: Teploty sněhu levé stopy před a po projetí běžce A na lyžích pro bruslení



Graf 3: Teploty sněhu levé stopy před a po projetí běžce B na lyžích pro klasický běh**Graf 4:** Teploty sněhu levé stopy před a po projetí běžce B na lyžích pro bruslení

Pro lepší představu o zahřátí sněhu při různých rychlostech jízdy (tab.7) prezentujeme graf 5.

Graf 5: Rozdíly teplot (°C) bezprostředně před a po projetí při třech různých rychlostech (V1, V2, V3 – tab.7; n=3x40)



Výsledek vícenásobného Kruskal-Wallisova testu rozdílů zahřátí sněhu při různých rychlostech (tab.7), společně pro oba běžce i oba typy lyží (testovací charakteristika H je 1,6795 a hladina významnosti p 0,4318), neopravňuje zamítnout hypotézu o shodě.

Pro úplnost také dokládáme významné rozdíly mezi třemi rychlostmi jízdy (mezi V1 a V2, V2 a V3, V1 a V3): Testovací charakteristiky Mann-Whitneyova U testu (U) jsou 32,00, 0,00 a 0,00; a všechny hladiny významnosti (p) jsou 0,000000.

Tab.7: Rychlosti jízdy

Rychlost ($\bar{x} \pm s$, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
V1 (n=36)	3,04±0,180
V2 (n=38)	3,81±0,273
V3 (n=40)	5,30±0,314

DISKUZE

Z našeho měření můžeme usuzovat, že projetí jednoho běžce rychlostí přibližně 3 až 5,3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ zahřeje sníh bezprostředně po projetí, ale po 5 a více vteřinách se již teplota vrací k původní hodnotě, a pak již nemá význam pro ostatní závodníky, kteří přijedou do stopy.

Naše výsledky lze částečně srovnat s ojedinělou prací Robertse (1991), který počítal teplotu sněhu v blízkosti lyží při sjezdu ze svahu (sklon asi 10°, teplota sněhu -5,0 °C) pomocí termografického systému. V této studii zjistili vyšší teplotu sněhu ve stopě po projetí lyže přibližně o 0,3°C, což je mírně více než v naší studii. Šlo však o sjezdové lyže a nižší rychlost (kolem 1 m.s⁻¹). Nevýhodou jejich metodiky je, že nepočítali teplotu ve stejném bodě před a po projetí lyže. Tento nedostatek eliminujeme měřením v identické ploše před a po projetí lyže. Vysoké riziko chyby výsledku Robertsovy studie nese fakt, že měřili radiaci v bodech, respektive na přímce, ve které teplota bod po bodu značně oscilovala (0,6 až 1,2°C). Riziko této chyby minimalizujeme měřením IR záření a výpočtem průměrné teploty z vymezené plochy, ne bodu.

Problémem při měření byla automatická kalibrace kamery, při níž vznikají „hluchá“ místa; tuto funkci lze vypnout. Na druhou stranu by se mohlo stát, že obraz by nebyl plně zaostřen, automatická kalibrace má svoji funkci určitě opodstatněnou. Detailnější výpočty by usnadnila infračervená termovizní kamera s vyšší frekvencí než 30Hz, která by nám zaručila ostřejší jednotlivé obrázky v jednotlivých sekvencích.

Pro přímý pohled na obě stopy by bylo lepší umístit kameru na nějaký můstek či konstrukci přímo nad měřenými objekty – závodníky.

Je důležité vždy dbát na všechny meteorologické podmínky a další hodnoty faktorů, které se zadávají do výpočetních programů. V nedbalosti se můžeme dopustit docela odlišných výsledků.

Bylo by dobré pokračovat v dalších měřeních, ale se skupinou běžců při ostrých závodech nebo alespoň s co nejbližší simulací v tréninku – větší počet závodníků při jejich závodní rychlosti. Rychlost běžců v ostrém závodě je vyšší, než rychlosti při našem měření. Za úvahu stojí také výzkum celé skupiny běžců v různých terénech a kvalitě sněhu, materiálu a ošetření skluznic.

K dosažení statisticky významnějších výsledků by případná další studie jednotlivých běžců či celé skupiny měla mít menší počet nezávislých proměnných a větší počet měření.

ZÁVĚRY

Výsledky analýzy sekvencí dynamických termogramů sněhu v běžecké stopě ukazují na:

- zřetelné zahřátí sněhu ve stopě po projetí jednoho běžce
- nepatrně vyšší rozdíl teplot, který dosáhl běžec lehčí o 13 kg
- vyšší zahřátí sněhu u bruslařských lyží než u lyží na klasický způsob běhu
- vrácení teploty sněhu do původních hodnot do 5 sekund po projetí běžce
- nevýznamné rozdíly v zahřátí sněhu při různé rychlosti jízdy mezi 3 a 5,3 m.s⁻¹

Výsledky prokazují schopnost dynamické termografie zjistit:

- teplotní změny z určité plochy sněhové stopy, a tím dávají možnost vyhnout se chybám, které vyplývají z měření jednoho bodu
- IR záření sněhu v průběhu času, po který se mění podmínky jako ve skutečném závodě nebo tréninku. Jde o kvalitativně vyšší úroveň než analýza z jediného statického snímku

Pro další výzkum doporučujeme:

- vypnutí automatické kalibrace, umístění kamery nad stopu a běžce
- zkoumat teplotní změny při průjezdu skupiny běžců, při závodních rychlostech, v různých terénech a kvalitách sněhu, při použití různých materiálů a mazání skluznic lyží

Literatura

BOWDEN, F.P.; HUGHES, T.P. *The mechanism of sliding on ice and snow*. Proc. R. Soc. Lond. Math. Phys. Sci. 1939, 172 A, pp. 280–298. (In: Theile T., Szabo D., Luthi A, Rhyner H., Schneebeli M. Mechanics of the Ski–Snow Contact. Tribol Lett, 2009, 36, pp. 223–231.)

BRADLEY, J.L. *The sports science of curling: A practical review*. Journal of Sports Science and Medicine, 2009, 8, pp. 495–500.

- GNAD, T. ; PSOTOVÁ, D. *Běh na lyžích*. Karolinum, Praha, 2005, 151 s.
- HONNER, M. *Infračervená kvantitativní termografie ve výzkumu fyzikálních technologií*. Habilitační práce. Západočeská univerzita, Plzeň, 2004, 166 s.
- de KONING, J.J.; de GROOT, G; van INGEN SCHENAU, G.J. *Ice friction during speed skating*. Journal of Biomechanics, 25, 8, 1992, pp. 565–571.
- de KONING, J.J.; van INGEN SCHENAU, G.J. *Performance-determining factors in speed skating*. *Biomechanics in sport*. V.M.Zatsiorsky, ed., Oxford, Blackwell Science, 2000, 232–246. (In: Zatsiorsky, V.M. Kinetics of Human Motion. Human Kinetics, Champaign, 2002, pp. 86–88.)
- NOVOTNÝ, J. *Infračervená termografie ve sportovní medicíně*. In *Studia Sportiva*, 2009, 3, 1, s. 33–42.
- ROBERTS, Ch.C. *Infrared thermographic analysis of snow ski tracks*. Proc. SPIE ssVol. 1467, 1991: pp. 207-218, Thermosense XIII, George S. Baird; Ed. Dostupné na internetu: <<http://www.robertsski.com/webpgss/skitrk.htm>; 16.2.2010>
- SMITH, G.A. *Cross-country skiing: Technique, equipment and enviromental factors affecting performance*. *Biomechanics in sport*. V.M.Zatsiorsky, ed., Oxford, Blackwell Science, 2000, 247-270. (In: Zatsiorsky, V.M. Kinetics of Human Motion. Human Kinetics, Champaign, 2002, pp. 86-88.)
- SOUMAR, L.; BOLEK, E. *Běh na lyžích*, Grada Publishing, Praha, 2001, 130 s.
- SVENSSON, E. *Ski Skating With Champions, How to Ski With Least Energy*. Dynagraphics, Portland, 1994, 272 pp.
- THEILE, T.; SZABO, D.; LUTHI, A.; RHYNER, H.; SCHNEEBELI, M. *Mechanics of the Ski-Snow Contact*. Tribol Lett, 2009, 36, pp. 223–231.
- ZUCCO P. ; MOTE C.D.jr.; JOHNSON R.J.: *Ski boot thermography method and its significance*. In *Skiing trauma and safety, Eighth international symposium*. ASTM International, 1991, pp. 208-213. Dostupné na internetu <http://books.google.cz/books?id=IdhI0peNJCUC&pg=PA208&lpg=PA208&dq=thermography+skiing&source=bl&ots=L42NUlfPEL&sig=4dkBlzo5Fz_0v1xGYJcEScx6gSg&hl=cs&ei=2S_xS9bbFZLcmgO165jvCw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=thermography%20skiing&f=false>