

## Zjišťování průběhu změn teploty sněhu v běžecké stopě

### Measurement of changes in snow temperature in skiing track

<sup>1</sup>Jan Ondráček, <sup>1</sup>Jan Novotný ml., <sup>1</sup>Jan Novotný, <sup>2</sup>Božena Paugschová

<sup>1</sup>Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita Brno

<sup>2</sup>Fakulta humanitních věd, Univerzita Mateja Bela Banská Bystrica

#### Abstrakt

Tření lyží zvyšuje teplotu sněhu v běžecké stopě. Na tuto teplotu sněhu je vázáno užití konkrétních stoupacích vosků ve stoupací komoře běžecké lyže pro klasickou techniku. Cílem naší práce je zjistit za pomoci dynamické infračervené termografie, zda tato změna teploty lyžařské stopy před a po projetí skupiny běžců na lyžích je natolik významná, aby případně ovlivnila způsob servisu lyží na závodní činnost. Pro zjištění změn teploty sněhu ve stopě po projetí skupiny jedenácti lyžařů jsme použili termografický systém FLIR SC620 se vzorkovací frekvencí 30 Hz. Bylo zjištěno významné kontinuální zvýšení teploty sněhu při projíždění skupiny běžců (o  $0,87 \pm 0,153$  °C) a její pokles do přibližně výchozích hodnot po 10–30 sekundách po jejím projetí. Plošná dynamická termografie by možná mohla přispět, za určitých podmínek, k úpravám taktiky v závodech klasickou technikou při hromadných startech a rovněž při volbě stoupacích vosků pro mazání běžeckých lyží. Pro vytvoření významnějších závěrů je však třeba provést sérii opakovaných měření za podmínek blízkých závodním, nebo přímo v běžeckých závodech klasickou technikou a v podmínkách běžecké stopy vedené po rovině nebo do stoupání.

#### Abstract

Friction of pair of skis increases the temperature of the snow in the skiing track. This temperature is connected with the use of specific wax in rising tube in the ski for classic. The main aim of our thesis is to find out with a help of infrared thermography if the change of this temperature of skiing track before and after passage of the team of skiers is so important that it can influence service of skies for competition reasons. To find out the changes of snow temperature in the skiing track we have used thermographical system FLIR SC 620 with frequency sampling of 30Hz. This system was used after passage of a group of 11 skiers. Significant continual increase of snow temperature has been indicated when group of skiers passed ( $0,87 \pm 0,153$  °C) and decrease to original level 10 - 30 seconds after passage of skiers. Flat dynamic thermography could help, on given conditions, for "correction" of tactic in classical competition with collective start and also when choosing correct wax. In order to be able to get more significant findings it is necessary to make repeated observations on conditions that are similar to real competition or right during classical competition with the skiing track on plain or ascending surface.

**Klíčová slova:** běžecké lyžování, klasická technika, teplota sněhu, infračervená termografie

**Key words:** cross-country skiing, classical technique, temperature of snow, infrared thermography

#### ÚVOD

V závodním běžeckém lyžování, zvláště pak klasickou technikou - ale nejen v něm - je dostatečně znám fakt, že třením lyže se sníh ohřívá, čímž vzniká mikroskopická vrstva vody, umožňující skluz (Bowden et Hughes 1939). Obdobný jev vzniká 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).

Zvláště klasická technika běhu na lyžích se snaží tuto situaci zmapovat co nejpodrobněji z jednoduchého důvodu. Při klasickém způsobu běhu jsou na skluznici lyže kladeny dva protichůdné požadavky: do střední části lyže – tzv. stoupací komory – je nutno aplikovat stoupací vosk, který umožní dokonalý odraz v běžecké stopě, zbývající části lyže je nutno napustit parafínem pro optimální skluz. Při jízdě v klesajících částech běžecké trati, ve sjezdech, lyžař rozkládá svoji hmotnost víceméně rovnoměr-

ně na obě lyže, čímž – díky konstrukci lyže – odlehčí její střední část se stoupací komorou. Přesto však i v této části lyže dochází k určitému kontaktu s podložkou. Další pohyb na lyžích při běžeckém lyžování pak vykazuje vlastní základní biomechanické principy (Korvas 2009).

Zajímalo nás, jak se toto tření lyží o sníh projeví na teplotě sněhu při průjezdu jednotlivých sportovců (Novotný 2009) a zvláště pak při projetí vyššího počtu sportovců stopou v minimálních časových odstupech. Zda bude mít vliv na změnu teploty sněhu natolik významný, aby bylo vhodné při určitých typech závodů (společně: klasická technika, hromadný start, profil trati s převažujícími sjezdy) uvažovat o změně zaběhlého systému mazání stoupací komory, založeného hlavně na vlhkosti vzduchu a teplotě sněhu.

Z této úvahy jsme vyloučili závody prováděné volnou technikou (bruslením). Důvody: při klasickém běhu jsou ve sjezdech využívány vesměs dvě stopy, do kterých se sportovci řadí v minimálních časových odstupech. Při běhu na lyžích volnou technikou sportovci ve sjezdu využívají celou šířku pisty, leckdy navíc používají oboustranné bruslení jednodobé nebo prosté, a je zde tedy malá pravděpodobnost, že dva sportovci – natož skupina sportovců – pojedou v jedné stopě. Navíc skluznice lyží pro bruslení jsou napuštěny parafínem a překryty urychlovači, minimalizujícími tření o podložku, po celé své délce.

Cílem této studie je zjistit, jak se změní průměrná teplota vymezené části běžecké stopy při průjezdu a bezprostředně po průjezdu skupiny běžců na lyžích (10 a více sportovců), v dvouoporovém postavení na lyžích, v mírném sjezdu, v rozstupech obvyklých v závodním lyžování.

## METODIKA

Provedli jsme měření IR záření sněhu při průjezdu a po projetí celé skupiny běžců na lyžích. Měření proběhlo 3. 3. 2010 v dopoledních hodinách (10:00 – 11:00) za jasného počasí, přímého slunce. Ostatní zevní podmínky viz. Tab 1. Stopa byla vyfrézovaná z předchozího večera, promrzlá.

**Tab.1:** Venkovní klimatické podmínky v průběhu měření

Výška nad sněhem (m)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)	Rychlost větru (m/s)
0,02	-0,8	51,0	1,9
1,5	-1,6	51,2	2–4,5 (proměnlivý)

Měření jsme provedli s 11člennou skupinou běžců na lyžích, členů lyžařského oddílu Nové Město na Moravě juniorských kategorií, v průběhu jejich tréninku v areálu lyžařského a biatlonového stadionu v Novém Městě na Moravě (Obr. 1). Sportovci projížděli měřeným úsekem 3x v daném pořadí 1–11. Použili lyže pro klasickou techniku následující skladby vosků: stoupací komora – SWIX, klisr červený, skluzná část – TOKO Nordlite modrý, struktura lineární. Hmotnosti běžců a délky jejich lyží jsou v Tab. 2.

**Obr. 1** Průjezd sportovců měřeným úsekem



**Tab.2** Hmotnost a délka lyží sportovců v pořadí, jakým projížděli měřícím stanovištěm

pořadí běžce	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
hmotnost běžce (kg)	73	81	60	70	62	55	45	55	60	78	68
délka lyží (cm)	201	201	196	201	201	201	188	196	196	201	201

Vlastní proces snímání infračerveného záření a výpočtu teploty byl proveden infračerveným termografickým videosystémem FLIR SC620: 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. Přímý přenos sekvencí obrazů do laptopu Philips byl proveden systémem firewire.

Vzhledem k omezeným technickým možnostem běžeckého areálu byla termokamera umístěna na stavivu 1,5 m nad úroveň běžecké stopy, vlevo od ní, mírně šikmo – s úhlem 20-30° – od svislice, aby nebránila průjezdům běžců, tak aby sníh neodrážel jiné zdroje infračerveného záření, které by mohlo zásadně zkraslit výsledky (Honner 2004).

Ke zpracování sekvencí snímků jsme použili software ThermaCAM Researcher Professional 2.9. Statická pole jsme stanovili v podobě čtverce o straně 4,5 cm, tedy o šířce běžecké lyže. Měřili jsme průměrné teploty ve stejně vytvořených polích před projetím, při průjezdu a po projetí všech 11 sportovců. Rychlost pohybu lyží jsme vypočetli z časů, za které projede celá lyže v místě bodu měření.

Základní statistické charakteristiky polohy a rozptylu hodnot byly vypočteny v programu Statistika CZ 9.0. Provedli jsme neparametrický Wilcoxonův test rozdílu teplot před projetím a po projetí lyžařů. K interpretaci výsledků nám posloužily krabicové grafy, konstruované rovněž v programu Statistika, a k dalším výpočtům a grafickému vyjádření průběhu změny teplot jsme použili i tabulkový procesor Excel MS Office 2003.

## VÝSLEDKY

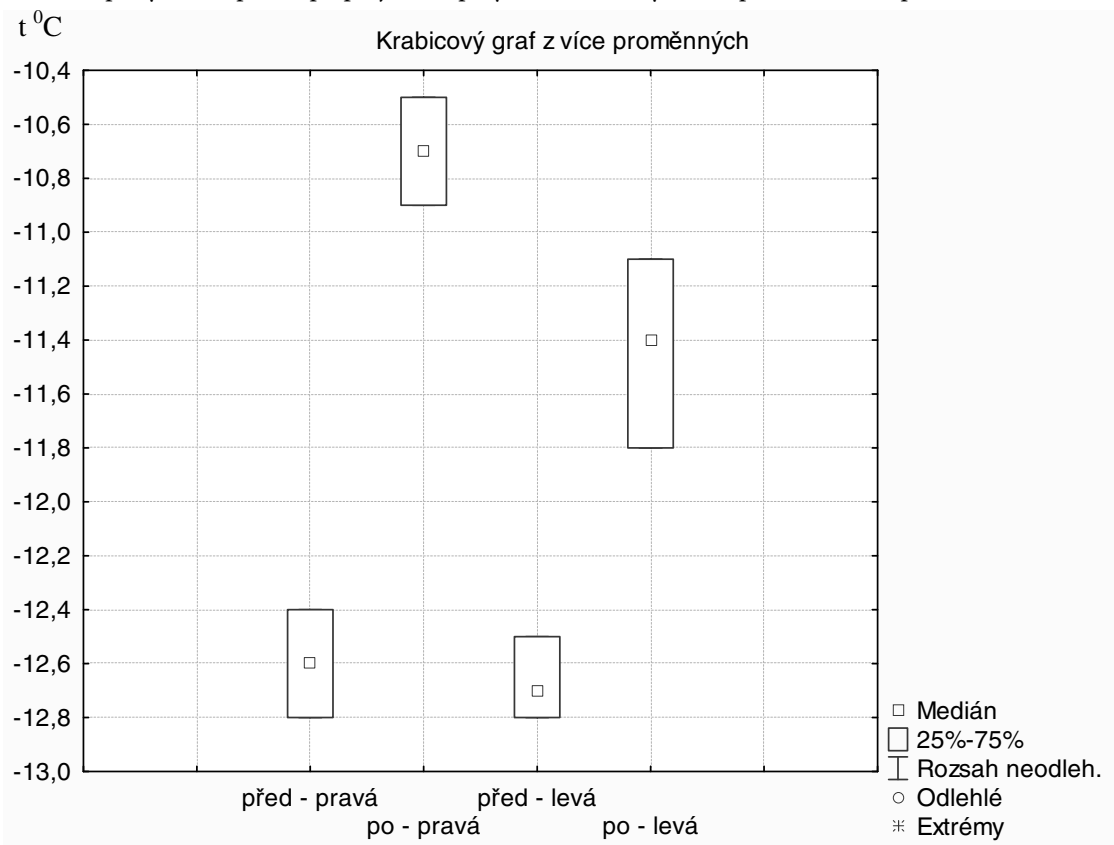
Vybranou část výsledků měření prezentujeme jako ukázkou v Tab. 3. V celé tabulce je zaznamenána teplota sněhu před průjezdem sportovců, po průjezdu lyžařů jednotlivě, po projetí celé skupiny sportovců, a dále pak čas, za který se vrátila teplota sněhu ve stopě do původní hodnoty před projetím.

**Tab.3:** Část výsledků měření skupiny běžců na lyžích – teplota sněhu

jízda č.:	před	rozdíl	rychlost	po 1.	rozdíl	rychlost	po 2.
1	-12,6	0,7	3,79	-11,9	0,1	4,65	-11,8
2	-12,8	1	4,67	-11,8	0,5	5,52	-11,3
3	-12,4	0,9	4,65	-11,5	11,5	-	-
průměr	-12,6	0,86	4,37	-11,73	4,03	5,08	-11,55
SD	0,2	0,152	0,502	0,208	6,469	0,615	0,353

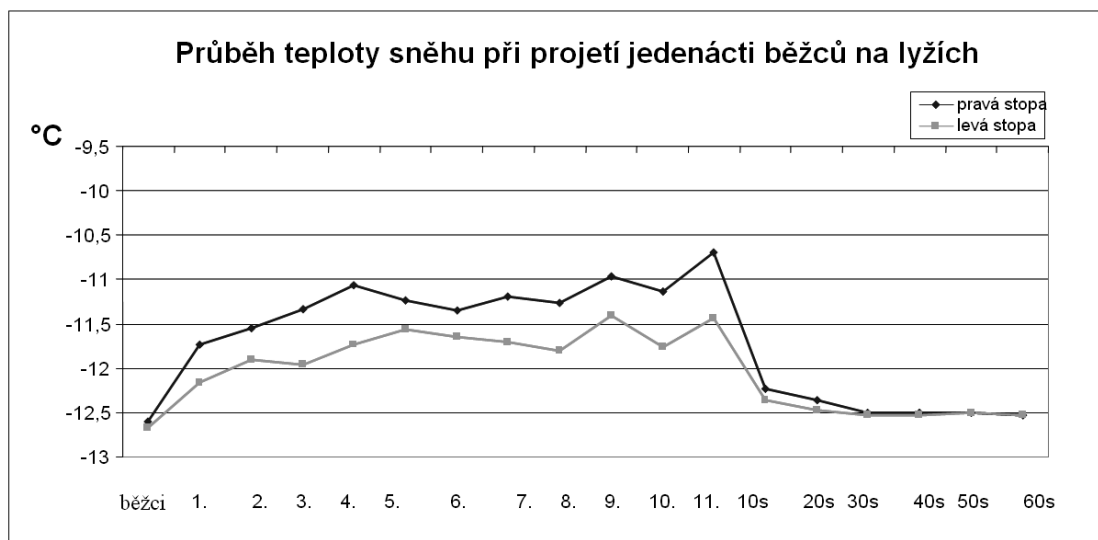
Zjištěný rozdíl teplot je transparentní na Obr. 2.

**Obr. 2** Teploty sněhu před a po projetí skupiny 11 běžců na lyžích, v pravé a levé stopě.



V následujícím spojnicovém typu grafu (Obr. 3) prezentujeme průběh teploty sněhu při průjezdu sportovců a po něm.

**Obr. 3** Průměrné teploty sněhu v běžecské stopě při průjezdu skupiny 11 běžců na lyžích a 10 sec. až 60 sec. po jejich projetí.



## DISKUSE

Teplota sněhu ve stopě se po průjezdu skupiny sportovců výrazně zvýšila (medián 1,65°C). Během průjezdů jednotlivých běžců na lyžích se zvyšovala postupně. Tento jev lze vysvětlit tak, že sníh neměl mezi jednotlivými průjezdy dostatek času na snížení teploty, naopak každý další průjezd tuto teplotu zvyšoval. Vliv na úroveň zvyšování teploty měly i rozestupy jednotlivých sportovců a rychlost jejich jízdy. Proto po některém průjezdu teplota zůstává konstantní, jindy se zvyšuje nebo i nevýznamně snižuje. Celkový výsledek po projetí skupiny je však zřetelný.

Rozdíly pravých a levých stop jsou dány pravděpodobně tím, že někteří ze sportovců měli obavu z případného kontaktu s kamerou či stativem, umístěnými zleva, a přenášeli tak hmotnost více na pravou lyži.

Z našich předcházejících měření (Novotný 2009) můžeme usuzovat, že projetí jednoho sportovce nemá větší vliv na zahřátí sněhu ve stopě a že teploty se vrací velice rychle do původního stavu. Termín „nemá větší vliv“ přitom můžeme definovat jako takovou změnu teploty sněhu ve stopě, která je nevýznamná z hlediska i jenom případné úvahy pro změnu servisu lyží následujícího lyžaře, např. v oblasti použití stoupacího vosku. Při jednotlivém průjezdu dalšího sportovce v intervalu delším než 5 sec. je teplota stopy neměnná.

Naopak sportovci, jedoucí kontaktně ve skupině, od 3. místa dále jedou ve stopě ovlivněné změnami teploty. Sportovci, jedoucí jednotlivě ve stopě za větší skupinou (do 30 sec.) mají rovněž změněné výchozí podmínky (teplota sněhu se ještě nedostala do své původní hodnoty). Běžci, kteří projedou za skupinou ve větším časovém odstupu (více než 30 sec.), mají podobné podmínky jako jsou podmínky vstupní. Hodnotu 30 sec. jsme stanovili jako hraniční na základě údajů uvedených na Obr. 3. Návrat teploty sněhu ve stopě do výchozí hodnoty probíhá nejradikálněji do 10 sec. po projetí posledního sportovce ve skupině, ale setrvalou (pro naše potřeby) teplotu, již téměř shodnou s výchozí, jeví stopa právě od intervalu 30 sec. po projetí skupiny.

Všechny uvedené údaje však platí pouze pro jízdy v klesající stopě a v dvouoporovém postavení.

Vzhledem k tomu, že závodní rychlost běžců na lyžích je vyšší než rychlosti dosahované při měření provedeném v tréninkovém tempu, je pravděpodobné, že při měření v závodě by bylo možné zjistit vyšší rozdíly teplot a delší časy navrácení dosažených hodnot do původního stavu. Předpokládáme, že rovněž po projetí skupiny s vyšším počtem sportovců (20 a více) by se změnila naměřené hodnoty k vyšším rozdílům teplot.

Zde prezentované měření skupiny běžců na lyžích prokázalo, že sportovci, jedoucí kontaktně ve skupině na zadních pozicích, jedou ve stopě ovlivněné změnami teploty. Nabízí se proto úvaha, zda tyto změny jsou natolik závažné, aby vedly – při určité konkrétní charakteristice trati, jak již bylo uvedeno – ke změně servisu lyží v oblasti mazání skluznice, případně k úpravě taktiky pro konkrétní závod. Domníváme se, že zjištěné změny by zaběhanou praxi servisu ovlivnit neměly, neboť hypotetická výhoda ve sjezdu, plynoucí z případné změny použitých stoupacích vosků, zřejmě nebude tak významná, aby eliminovala možné problémy s odrazem ze stoupací komory lyží ve zbývajících částech trati. Nicméně konečné stanovisko by mělo být konstatováno po sérii dalších měření.

## ZÁVĚRY

Naše analýza měření IR záření sněhu v běžecké stopě ukázala, že teplota sněhu v lyžařské stopě se po projetí skupiny lyžařů, jedoucích za sebou v minimálních odstupech, podstatně zvyšuje. Doba, za kterou se teplota sněhu vrací do původní hodnoty, je podstatně delší po projetí skupiny sportovců, než po projetí jednotlivce.

Pro další měření se jeví jako vhodnější, z důvodu vycentrování záběru kamery na obě stopy, umístit kameru na lehkou nosnou konstrukci přímo nad měřenými objekty. Rovněž by bylo vhodné pokračovat v dalších měřeních s větší skupinou sportovců, a hlavně, buď přímo v reálných závodních podmínkách, nebo alespoň co nejvíce se reálnému závodnímu blízcích, např. při vhodně modelovaném tréninku v předzávodním nebo závodním období. Jako důležité se rovněž jeví vždy dbát na všechny meteorologické podmínky a další hodnoty faktorů, které se zadávají do výpočetních programů.

Pro jednoznačnější úvahu o možné aplikaci zjištěných měření do praktického provádění servisu závodních běžeckých lyží by bylo vhodné případná další měření rozšířit o měření prováděná v běžecké stopě vedoucí po rovině nebo do mírného stoupání. V takovém terénu jsou kladeny vysoké nároky na správnou

aplikaci stoupacích vosků do stoupací komory, a tudíž na případnou úpravu servisu lyží. Běh na lyžích však zde probíhá v jednooporovém postavení a změny teploty sněhu ve stopě by z toho důvodu neměly být významné.

#### 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.)
- 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.)
- KORVAS, P. The posture of Elite World Class Cross-Country Skiers at the Classic Style – Diagonal Stride. *Studia Sportiva*, 2009, 3, 2, s. 53–61.
- NOVOTNÝ, J. Infračervená termografie ve sportovní medicíně. *Studia Sportiva*, 2009, 3, 1, s. 3342.
- SMITH, G.A. Cross-country skiing: Technique, equipment and environmental 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.