

**Úloha IV.P ... zimmou krajinou**

11 bodů; průměr 8,30; řešilo 40 studentů

*Zamyslete se nad tím, jak je možné zjednodušit pohyb člověka krajinou v zimmých podmínkách. Vezměte do úvahy různé sklony terénu, typy sněhové pokrývky („prašan,“ mokrý sníh, přemrzlý sníh, led, ...) a pomůcky (sněžnice, lyže, mačky, brusle, ...). Popište, jak dané pomůcky z fyzikálního hlediska fungují, a na základě toho určete, které jsou v jakých podmínkách nejvhodnější.*

*Dodo by chcel konečne poriadnu zimnu.*

Budeme se řídit radou ze zadání a popíšeme nejdříve fyzikální principy, na kterých dané pomůcky fungují. Poté zmíníme, jaké jsou jejich výhody a nevýhody v různých typech prostředí.

**Sněžnice**

Sněžnice lidé používali minimálně již před 4 tisíci lety. Fyzikální princip, na kterém sněžnice fungují je totiž velmi jednoduchý. Hloubka, do které se noha člověka snažícího se brodit sněhovou pokrývkou zaboří, se bude zvětšovat s rostoucím tlakem, kterým noha na sníh působí. Pokud tedy zvětšíme plochu, na které tíha působí, tím, že k botě připevníme sněžnici, zmenšíme tím hloubku zaboření.

Hloubka zaboření samozřejmě bude záviset i na typu sněhu. Pokud sníh bude starý a zmrzlý, je možné, že po něm půjde chodit bez zaboření bez sněžnic. Pokud se ale bude jednat o hluboký, čerstvě napadaný sníh, tak se bez nějaké pomůcky zabraňující zaboření neobejdeme. I při použití sněžnic se v čerstvém sněhu standardně noha zaboří 15 až 20 cm. Běžně se určuje velikost sněžnice pomocí pravidla  $14,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  na jednu sněžnici. Proto horolezecké sněžnice mohou být až 76 cm dlouhé a 25 cm široké.

Tradiční sněžnice se skládaly z dřevěného rámu, na který byla napnuta mřížka z kůží. Moderní sněžnice pak mají buďto kovový nebo plastový rám a výplň ze syntetických materiálů. Horolezecké sněžnice mají také kovové zuby pro lepší stabilitu na strmých svazích.

**Mačky**

Mačky jsou tvořeny rámem a sadou kovových hrotů, které se připevňují na obuv. Slouží ke zvýšení stability na ledových a sněhových površích. Používají se hlavně v horolezectví, případně při lezení na ledových stěnách. V závislosti na funkci, ke které jsou určeny, mají rozdílnou geometrii hrotů.

**Lyže**

Stejně jako sněžnice i lyže jsou člověkem využívány již tisíce let. Základní funkce lyží je podobná jako u sněžnic, tedy zvětšení kontaktní plochy se sněhem. K tomu ale navíc slouží k úspoře energie pomocí snížení tření mezi lyží a sněhem. Dnešní lyže jsou ale mnohem sofistikovanější než jejich starověcí předci. V naprosté většině případů jsou lyže používány ještě s hůlkami pro větší mobilitu a stabilitu. Základní dělení lyží je na běžecké a sjezdové. Jak již název napovídá, běžecké lyže slouží k překonávání převážně rovinných terénů, případně k běhu do kopce. Sjezdové lyže pak poskytují velkou kontrolu při sjezdu z kopce. Existují ale také hybridní lyže, které kombinují tyto dvě funkce.

**Běžecké lyže** Dělením lyží na běžecké a sjezdové jejich klasifikace ale zdaleka nekončí. Běžecké lyže se dále dělí na základě toho, jakou technikou se na nich běhá. Jedná se buďto o lyže klasické nebo lyže na bruslení (skatové). Klasické běžecké lyže se pak dále dělí podle toho,



Obr. 1: Tradiční sněžnice (<https://en.wikipedia.org/wiki/Snowshoe>).



Obr. 2: Moderní sněžnice (<https://en.wikipedia.org/wiki/Snowshoe>).



Obr. 3: Mačky pro lezení na ledové stěně (<https://en.wikipedia.org/wiki/Crampons>).

do jakého typu terénu jsou nevhodnější. Některé jsou vhodné do upravené stopy, jiné pak do nedotčené přírody.

Zabýváme se nyní fyzikálním principem techniky klasického běžeckého lyžování, přesněji principem techniky *střídavého běhu*. Zaprvé je nutné zmínit, že u běžeckého lyžování má lyžař volnou patu. Bota je k vázání připevněna pouze ve špičce. Při klasickém lyžování se pak lyžař odrazí z ploch lyží. Klasický běh na lyžích je velmi podobný běhu na „suchu“. Celkově se klasický

běh na lyžích dá rozdělit do tří fází: odraz z jedné nohy, přesun váhy na druhou nohu a skluz. Jak je ale možné, že se lyžař dokáže odrazit z plochy lyže bez toho aby došlo k podklouznutí? To umožňuje speciální tvar lyží, jež jsou (dvojitě) klenuté<sup>1</sup> a zároveň použitím tzv. *stoupacího vosku* v určité části skluznice lyže. Těto části skluznice se říká *mazací komora* a nachází se pod vázáním. Stoupací vosk slouží ke zvýšení tření skluznice a sněhu, aby bylo možné se odrazit. U některých lyží bývá skluznice v oblasti mazací komory opatřena tzv. „šupinami“, které slouží ke zvýšení tření mezi sněhem a lyží v momentu odrazu. Takoveto lyže se pak nemusí mazat stoupacími vosky.



Obr. 4: Klenutí klasické běžecké lyže (<https://tahoetrailguide.com>).



Obr. 5: Protiskluzový vzor pod vázáním (<https://tahoetrailguide.com>).

Pokud tedy lyži položíme na rovný podklad, bude se ho dotýkat pouze u špičky a u jejího konce. První klenutí slouží k rovnoměrnému rozložení váhy lyžaře. Pokud však bude stát na obou lyžích zároveň, nebude lyže zcela narovnaná (pokud lyžař používá správně dlouhé lyže). Mazací komora stále nebude v kontaktu s podkladem. Teprve když lyžař bude stát celou vahou na jedné lyži, dojde ke kontaktu mazací komory se sněhem a bude se moci odrazit.<sup>2</sup>

Dalším stylem jízdy, který také spadá do klasického běžeckého lyžování, a kterou využívají hlavně závodní lyžaři, je technika zvaná *soupaž*. U této techniky neprobíhá odraz z ploch lyží - lyžař je poháněn vpřed pouze odrazy hůlek. Tento styl ale pro naprostou většinu lyžařů není dlouhodobě udržitelný. Pokud je ale lyžař dostatečně sebevědomý a věří, že celou plánovanou trasu zvládne tímto stylem, nemusí lyže mazat stoupacím voskem.

Lyže pro klasické lyžování ve stopě jsou velice lehké a tenké (40 – 50 mm) a navíc k dosažení zmiňovaného dvojitě klenutí nejsou opatřeny kovovými hranami, které by negativně ovlivňovaly tuhost a váhu lyží. Běžecké lyže také na rozdíl od lyží sjezdových nemají postranní výřez, tzn. jsou ve všech místech přibližně stejně široké. To napomáhá lyži jet rovně. Na druhou stranu se s ní pak poměrně obtížně zatáčí.

Mimo klasické lyžování se v 80. letech rozmohla alternativní technika, tzv. *bruslení*. Jak již název napovídá, tento styl lyžování má mnoho podobného s ledním či in-line bruslením. Místo odrazů z ploch se v tomto případě lyžař odráží z hran lyží. Tento způsob jízdy je rychlejší než obě techniky klasického lyžování, neboť pro odraz při střídavém běhu je při odrazu daná lyže

<sup>1</sup> Anglický název pro toto klenutí je *double camber*.

<sup>2</sup> V ideálním případě by ani po přesunutí celé váhy neměla být mazací komora v kontaktu se sněhem, protože skluz by správně měl probíhat právě na jedné noze. Až teprve při odrazu směrem nahoru a dopředu se lyže ještě dodatečně stlačí a v tu chvíli dojde ke kontaktu. Tato situace je ale pouze ideální případ, kterého dosahují lyžaři s výbornou technikou a začátečníci by na takoveto lyži nebyli schopni se pořádně odrazit.

vždy v klidu. Při soupaži se zase minimálně využívá spodní část těla, což není tolik efektivní. Na druhou stranu, aby bylo bruslení možné, musí být trať upravená, sníh musí být alespoň trochu stlačený, jinak by se lyže propadávaly do sněhu a bruslení by bylo prakticky nemožné. Skatové lyže jsou kratší než klasické, mají nižší klenutí a jsou tužší.



Obr. 6: Skatová vs klasická technika  
(<https://www.lofsdalen.com/en/cross-country-skiing>).

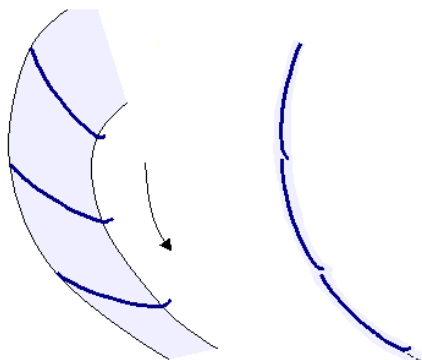
**Sjezdové lyže** Sjezdové lyže se od těch běžeckých poměrně výrazně liší. Jsou zpravidla kratší, širší, a navíc jsou užší v oblasti vázání oproti jejich koncům (hrany lyží opisují část kružnice). Dále pak mají kovové hrany a jejich klenutí je nižší než u běžeckých klasických lyží. Tvar klenutí se mění v závislosti na tom, na jaký typ sjezdu je lyže určena. V některých případech je klenutí dokonce záporné po celé lyži, nebo se kombinuje se standardním v určitých částech lyže. Noha je tentokrát k lyži připevněna jak ve špičce tak u paty, neboť je žádoucí co největší kontrola nad lyží.

Jelikož sjezd přímo dolů ze svahu je pro naprostou většinu lyžařů v podstatě sebevražda (i na standardních lyžích je možné dosáhnout rychlostí přes  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), je nutné nějakým způsobem brzdit. To se dělá zatáčením. Zatáčet se na lyžích dá zatáčet dvěma způsoby.

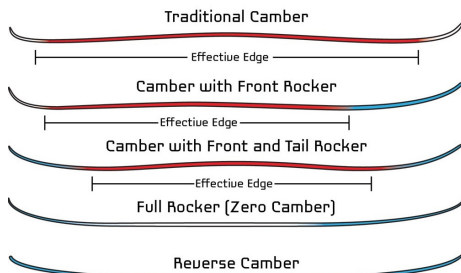
Pokud lyžař zatáčí smykem, seškrabuje při zahranění lyží vrchní vrstvu sněhu ze sjezdovky, přičemž zpětná reakce sněhu lyžaře brzdí. Při tomto způsobu nejsou lyže v rovnoběžné poloze se směrem rychlosti lyžaře. Tato technika není příliš náročná, protože lyžař nemusí vyvinout tak velký tlak na hranu lyží, aby dosáhl požadovaného efektu.

Pokročilejší technika je tzv. *carvingový* oblouk. V tomto případě lyžař jede také po hraně lyže, ale tentokrát na ni musí vyvinout dostatečně velký tlak, aby se zasekla do sjezdovky dostatečně hluboko. Pokud toto nastane, lyžař již nebude podjíždět směrem vně okamžitého oblouku jeho trajektorie, ale udrží si kruhovou trajektorii (viz obr. 7).

Typy klenutí a míra vykrojení lyží výrazně ovlivňují jejich jízdní vlastnosti. U dnešních lyží se standardně kombinuje tradiční klenutí uprostřed lyží a záporné klenutí na koncích lyže. Standardní klenutí slouží k požadovanému rozložení hmotnosti lyžaře po celé délce lyže, čím se zvyšuje efektivní hrana lyže (tzn. délka hrany lyže, která je v dané situaci v kontaktu se sněhem) při carvingovém oblouku. Záporné klenutí na koncích lyže snižuje efektivní hrana



Obr. 7: Smyk vs carvingový oblouk (<https://donsnotes.com/sports/ski-technology.html>).



Obr. 8: Typy profilů sjezdových lyží (<https://donsnotes.com/sports/ski-technology.html>).

při malém úhlu naklonění lyže, tedy při malých rychlostech, což umožňuje velkou míru kontroly nad lyžema. Při zvětšujících se úhlech naklonění lyže pak roste délka efektivní hrany, což zvětšuje stabilitu lyže při carvingovém oblouku. I když mají sjezdové lyže uprostřed tradiční klenutí, ve velkých rychlostech se stejně prohnou na druhou stranu, neboť to je jediný způsob, jak může být vykrojená hrana lyže po celé její délce v kontaktu se sjezdovkou (viz obr. 9). Tímto způsobem je ale váha lyžaře rozložena po hraně lyže rovnoměrně. Lyže se záporným klenutím se potom používají v podstatě jenom na jízdu mimo sjezdovku v hlubokém sněhu.

**Hybridní lyže** Ukázali jsme si základní principy konstrukcí lyží běžeckých a sjezdových a z nich plynoucí požadované vlastnosti v daných situacích. Designéři lyží se ale také snaží tyto vlastnosti kombinovat do jedné sady lyží. Vznikají potom lyže, které nejsou vynikající ani v jedné situaci, ale dají se použít v obou případech. Existuje celé spektrum lyží mezi hraničními případy klasických běžeckých lyží a lyží sjezdových. Potom už záleží na daném lyžaři, jakým způsobem má v plánu lyže použít. Pokud např. zvětšíme tloušťku klasické lyže a opatříme jí kovovými hranami, nebude tak elastická a sníží se tím pádem její skluz, ale půjde zase použít v hlubším sněhu a také se s ní jednodušeji budou sjíždět svahy.

Existují pak nejen hybridní lyže ale i hybridní technika sjezdu, kdy lyžař má upevněnou pouze špičku boty, tzv. *Telemark*.<sup>3</sup>

### Brusle

Dalším velice starým nástrojem využívaným ke zefektivnění pohybu člověka v zimní krajině jsou brusle. Pokud bereme za samozřejmé, že led je kluzký, tak princip fungování bruslí není nijak složitý. Brusle mají ostré hrany, kterými se zařezávají do ledu a tím pádem je v té chvíli umožněn pohyb pouze ve směru nože brusle. Bruslař se tedy odrazí ve směru kolmém na pohyb brusle. Vhodným nakloněním bruslí se poté bruslař pohybuje vpřed. Výhodou bruslení oproti

<sup>3</sup>Telemark je také jméno Norského města kde norští řemeslníci v polovině 19. století vynalezli tradiční klenutí lyže. Tato sjezdová technika je pak také ta originální, neboť v té době ještě neexistovaly vázání s pevnou patou.



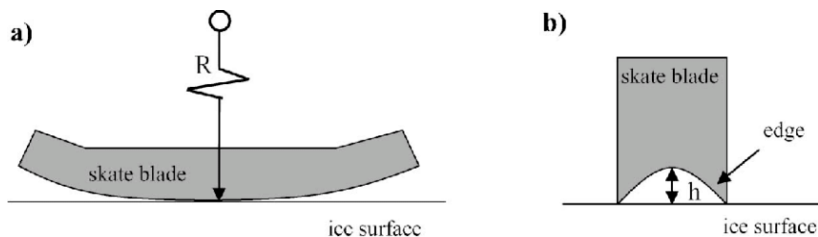


Obr. 9: Závodník v carvingovém oblouku (<https://donsnotes.com/sports/ski-technology.html>).



Obr. 10: Závodník v telemarkovém oblouku ([https://en.wikipedia.org/wiki/Telemark\\_skiing](https://en.wikipedia.org/wiki/Telemark_skiing)).

chůzi je, že se ve velké míře zachovává kinetická energie bruslaře a také že pro odraz není nutné, aby noha bruslaře byla v klidu.



Obr. 11: Nože bruslí ([https://www.researchgate.net/publication/5243786\\_Ice\\_friction\\_of\\_flared\\_ice\\_hockey\\_skate\\_blades](https://www.researchgate.net/publication/5243786_Ice_friction_of_flared_ice_hockey_skate_blades)).

Nože bruslí nejsou vybroušeny do tvaru „V“ jak by si možná někdo mohl myslet. Jejich tloušťka je ve všech místech stejná (1 – 4 mm), tím pádem má každá z bruslí dvě hrany (viz obr. 11b). Dále je pak u většiny bruslí zespodu vybroušen žlábek. Čím hlubší (resp. čím menší poloměr žlábků) tím je brusle stabilnější a lépe ovladatelná, ale za cenu snížené rychlosti. Z toho důvodu jsou brusle rychlobruslařů zespodu zcela rovné, krasobruslaři mají zase žlábků velmi hluboké. Hokejisté se pohybují někde mezi těmito dvěma extrémy. Navíc nejsou nože po délce zcela rovné, ale mají vypouklý profil. To zaručuje lepší ovladatelnost.

To, že je vůbec možné na ledu bruslit bylo dlouho vysvětlováno tím, že s rostoucím tlakem klesá hodnota bodu tání vody. Led měl pod působením tlaku roztát a brusle by potom mohla klouzat po tenké vrstvě vody. Toto se však ukázalo jako nedostatečné vysvětlení, protože v uvažované situaci není dosahováno dostatečných tlaků pro bruslení pod  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jiné vysvětlení je založené na skutečnosti, kterou objevil již Michael Faraday a to je fakt, že se na ledu přirozeně

vyskytuje mikroskopická vrstva vody (až do  $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Spolu s táním ledu vlivem tření (i když toto tření je relativně malé) při vyšších rychlostech pak vzniká kolem hran bruslí dostatečně silná vrstva vody a brusle po ledě klouže.

### *Použití v terénu*

Nakonec porovnáme výhody a nevýhody zmíněných pomůcek v různých typech prostředí.

**Rovinná oblast** Pro pohyb v zasněžené rovinné oblasti bude v naprosté většině případů nejvhodnější použít běžecké lyže. Alternativou jsou potom sněžnice. Lyže ale budou v podstatě vždy rychlejší než sněžnice a zkušený lyžař také nebude muset vynaložit tolik sil pro uražení stejné vzdálenosti z důvodu nízkého tření mezi lyžemi a sněhem. To znamená, že se pomocí jediného odrazu dostane dál než turista na sněžnicích a také při jízdě z kopce (klidně i mírného) nemusí vynaložit v podstatě žádnou energii. Toto platí v podstatě pro všechny typy sněhové pokrývky, i když pro každý tento typ je nutné zvolit vhodný typ lyží a také je správně připravit (namazat správným typem stoupacího vosku a parafínu).

Přesto sněžnice poskytují určité výhody. Pokud by se např. turista chtěl vydat na delší výpravu, kde by s sebou potřeboval vzít větší množství zásob a nesl by je v batohu, tak by dodatečné zatížení mohlo značně zkomplikovat jízdu na lyžích. Dané běžecké lyže jsou většinou určeny pro relativně úzký interval váhy lyžaře a pokud by byl přetížený, bude mu drhnout mazací komora, což by vedlo k výraznému zhoršení skluzu lyží. To by se ale dalo vyřešit tím, že by zásoby táhl za sebou. Další výhodou sněžnic je, že je to méně komplikovaný nástroj a z toho důvodu i méně náchylný k závadám. To také hraje významnou roli při delších výpravách.

Další výhoda sněžnic je, že se v nich lépe manévruje. Kdyby se turista např. pohyboval v hustém lese, je možné že jízda na lyžích bude značně komplikovaná.

**Kopcovitá oblast** Tento případ je velmi podobný případu předchozímu. Na lyžích je možné stoupat do kopce v naprosté většině sněhových podmínek, pokud jsou lyže správně namazané, popř. pokud mají dostatečně vhodný protiskluzový vzor pod vázáním. Pro velmi strmé svahy je pak také možné určité typy lyží opatřit stoupacími pásy, které se táhnou po celé délce lyže. Jízdou z kopce potom lyžař ušetří mnoho sil a času. Výhodou sněžnic je potom jednoduchost použití a menší náchylnost k závadám.

**Hory** Při pohybu v horských oblastech již velmi záleží na konkrétních podmínkách a jaké cíle má daný turista/horolezec. Nejstrmější svahu, které je na lyžích možné zdolat (za použití stoupacích pásů), mají sklon stoupání někde kolem  $30^{\circ}$  (viz obr. 12). To je možné ale jen v případě ideálních sněhových podmínek. Pokud je sníh velmi hluboký a čerstvý, tak není dostatečně stabilní pro tento typ stoupání. Pokud je zase moc namrzlý, tak nebude dostatečně vysoké tření mezi pásy a sněhem a stoupání znovu nebude bezpečné nebo vůbec možné.

Pro strmější svahy nebo v případech, kdy horolezec nemá v úmyslu cestu zpátky sjíždět na lyžích, se potom používá kombinace sněžnic a maček v závislosti na sněhových podmínkách. Pro lezení na ledových stěnách se pak vždy používají specializované mačky.



Obr. 12: Extrémní případ skialpinisty stoupajícího pod úhlem  $34^\circ$   
(<http://straightchuter.com/steep-skinning-technique/>)

**Zamrzlé vodní plochy** Pro pohyb na zamrzlých vodních plochách jsou patrně nejvhodnější brusle, ale to jen v případech, kdy zamrzlá vodní plocha není zároveň zasněžená. Pokud je zasněžená, je nejvhodnější použití lyží.

*Jan Novotný*  
jan.novotny@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.