



Na základní prvky techniky jízdy na kole buď každý z nás postupně přišel sám metodou pokusů a omylů a nebo byl zaučen zkušenějším kolegou. Možná jste se taky ptali sami sebe, proč se ve výjezdu posouvat více nad přední kolo, proč se zbytečně snažit najít správnou pozici tak, abych se neposunul příliš a neprotáčelo se mi zadní kolo. Copak to opravdu nejde jinak, jednodušeji? Bohužel ne. Za vším stojí fyzika a její zákonitosti, které neobelstíte. Po přečtení následujících řádků už se více nebudete ptát, zda to jde z kopce dolů jinak než se zadkem nad zadním kolem!

základy cyklistické

FYZIKY

Silové účinky, které způsobují namáhání konstrukce jízdního kola, ale i člověka na něm jedoucího lze obecně rozdělit do dvou skupin. V prvé řadě se jedná o síly emitované jezdcem, jež způsobují pohyb vpřed a nebo naopak naši jízdu zpomalují. Mluvíme o silách hnacích (síla přiváděná jezdcem na pedály jízdního kola), respektive brzdných (silové působení jezdce na brzdovou páku). Význam znalosti této skupiny sil je především ve vztahu k pevnostnímu návrhu rámu jízdního kola včetně jeho komponentů a také pro analýzu jízdních situací.

Druhou skupinou jsou síly vznikající v důsledku přejezdu terénních nerovností. Tyto síly, respektive jejich časové průběhy, mají nahodilý charakter. To přináší řadu problémů při návrhu jízdních kol například z hlediska únavových vlastností konstrukcí, eliminace vibrací vstupujících na kontaktních místech mezi kolem a jezdcem do těla cyklisty, nalaďení tlumících a pružících komponent s ohledem na jízdní vlastnosti atd.

V tomto článku se budeme zabývat silami, které jsou přímo způsobeny jezdcem a namáhají především konstrukci celého jízdního

kola. Kapitolou samou pro sebe je vnější projev těchto sil, zvláště u fullů. Oproti pevným kolům dochází u celoodpružených k odlišnostem v odezvě na tyto silové účinky. Jedná se například o pohupování při šlapání. K tomu se ale dostaneme někdy příště.

DYNAMIKA JÍZDY

Vzhůru již k aplikaci v samostatném bloku na následující dvoustraně popsaných základních poznatků z mechaniky na problematiku jízdního kola. V následujícím textu budeme analyzovat základní jízdní situace z hlediska

sil působících v podélné rovině. Povědomí o těchto silách a jejich projevech nám pak jistě pomůže i při jízdě.

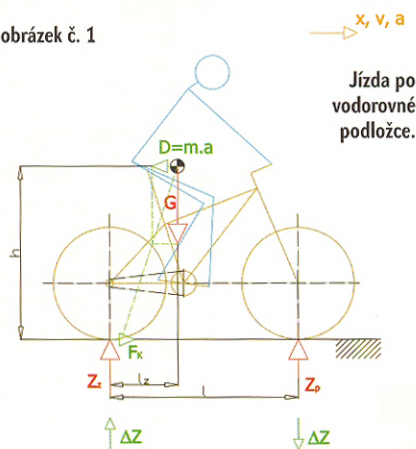
Jízda po vodorovné podložce

V těžišti soustavy, jehož poloha je určena svislou vzdáleností od podložky h a vodorovnou vzdáleností od středu zadního kola l_z , působí tíhová síla G (součin hmotnosti a gravitačního zrychlení). Vodorovnou vzdálenost mezi středem předního a zadního kola l nazýváme rozvor. Síly Z_p a Z_z nazveme radiální reakcemi mezi koly a podložkou. Jejich velikost určuje, jak velkou silou působí kola na terén a naopak jakými silami působí terén na kola – zákon akce a reakce (též třetí Newtonův zákon: „Dvě tělesa, která jsou v kontaktu, na sebe působí stejně velkými silami, ovšem opačně orientovanými“). Tyto síly, označené v obrázku č. 1 červeně, jsou původem statické. To znamená, že působí už za klidu. Oproti tomu síly označené zeleně mají charakter dynamický a projevují se pouze při pohybu (respektive při zrychlení či zpomalení). Při jízdě se tedy projevují síly statického i dynamického charakteru zároveň. Dochází k tzv. superpozici (skládání) silových účinků.

Jakmile jezdec začne silově působit na pedály jízdního kola, vznikne mezi zadním (hnacím) kolem a terénem, v reakci na přiváděný kroučící moment, hnací síla F_k . Tato síla způsobuje pohyb – soustava začne zrychlovat ve směru hnací síly F_k (šipka nad obrázkem znázorňuje smysl změny okamžité polohy (x), rychlosti (v) a zrychlení (a)).

Jako reakce na hnací sílu F_k se v těžišti soustavy projeví dynamická síla D , která je součinem hmotnosti a okamžitého zrychlení. Dynamická síla D má opačný smysl oproti okamžitému zrychlení. Dynamická síla D způsobuje na rameni h klopný moment. Následkem

obrázek č. 1



Jízda po vodorovné podložce.

tohoto klopného momentu je přední kolo odlehčováno ($Z_p - \Delta Z$) a zadní přitěžováno ($Z_z + \Delta Z$). Sílu ΔZ nazveme „dynamickou změnou radiální reakce mezi koly a terénem“. Síly D a ΔZ vznikají pouze při zrychlování (nerovnoměrný pohyb). Při rovnoměrném pohybu (rychlost je konstantní a tudíž zrychlení nulové) se tyto síly neprojeví. Vzhledem k charakteru přiváděné hnací síly je třeba poznamenat, že v případě jízdy na kole se většinou jedná o pohyb nerovnoměrný. Mez stability je zde charakterizována okamžikem, kdy nositelka výslednice dynamické síly D a tíhové síly soustavy G prochází bodem styku zadního kola s terénem. V tento moment se začne přední kolo nadzvedávat. Pokud bychom chtěli ještě více zrychlit a přitom udržet obě kola v kontaktu s podložkou, musíme posunout těžiště níže (zmenšit výšku h) nebo směrem k přednímu kolu (změna l_z).

Jízda po nakloněné rovině – do kopce

Na nakloněné rovině využijeme znalosti rozkladu sil. Na soustavu jezdec – jízdní kolo působí v tomto případě opět tíhová síla G . Vzhledem ke skutečnosti, že se pohybujeme po nakloněné rovině, se tato může rozložit

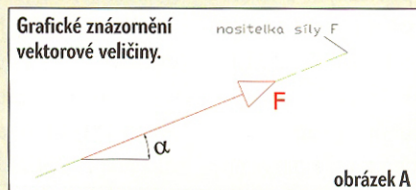


Abychom si rozuměli...

Pro pochopení souvislostí, které se týkají analýzy sil a momentů působících na jízdní kolo, je třeba vysvětlit některé základní pojmy. Jedná se o termíny: vektor, síla, silový a momentový účinek síly.

Vektor

Termín vektor nás bude zajímat především v souvislosti s pojmem síla. Vektor (obrázek A) představuje veličinu (např. síla, rychlost, zrychlení, atd.), která má kromě velikosti také směr a smysl. Graficky je vyjádřen úsečkou se šipkou, jejíž délka v příslušném měřítku udává velikost vektoru (vektorové veličiny). Sklon úsečky (definován úhlem nebo souřadnicemi krajních bodů) určuje směr a šipka pak smysl (doprava, doleva, respektive v kladném či záporném smyslu) vektorové veličiny.



Síla

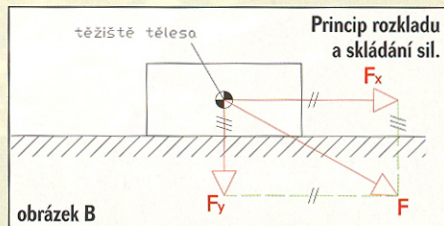
Síla je vektorová veličina a jako taková má nejen velikost (v jednotkách [N] = Newton), ale i směr a smysl. Vše je patrné z obrázku A, kde jsme sílu označili písmenem F (z anglického force). Síla je umístěna na fiktivní přímce, která má stejný směr jako samotný vektor síly. Tuto přímku nazýváme nositelkou síly. Důležitý je fakt, že sílu můžeme po její nositelce libovolně posouvat, aniž bychom nějak měnili pohybový stav tělesa, na které tato síla působí.

Budeme-li vycházet z druhého Newtonova zákona (síla = hmotnost x zrychlení), můžeme konstatovat, že síla o velikosti 1 N udělí tělesu o hmotnosti 1 kg zrychlení 1 m/s². Síla je tedy příčinou změny pohybového stavu tělesa (soustavy těles, jakou je i jízdní kolo a jezdec) a má urychlující charakter.

Uvažujme nyní například situaci, kdy se na jízdním kole rozjíždíme. V tu chvíli na nás začne působit řada jízdních odporů (odpor valení, vzduchu...). Kdybychom se ale čistě teoreticky pohybovali v bezodporovém prostředí, tak by nás námi vytvářená hnací síla (síla na pedál přivedená prostřednictvím převodníku, řetězu, pastorků a zadního kola na podložku – terén) neustále zrychlovala až do nekonečna. Naštěstí fyzikální zákony jsou nám nakloněny a toto „nebezpečí“ s ohledem na výše zmíněné jízdní odpory, které jsou rovněž silami a působí proti pohybu (navíc se některé z nich s narůstající rychlostí zvětšují), nehrozí. Díky jízdním odporům se tedy rychlost ustálí na určité hodnotě a další zrychlení je možné pouze v případě zvýšení hnací síly.

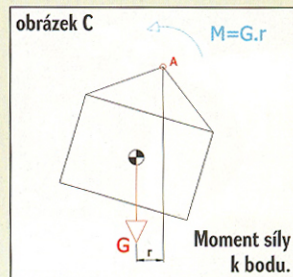
Rozklad a skládání sil

Uvažujme příklad z obrázku B. Představte si, že na krabíčku od zápalek ležící na stole, tlačíme prstem – v obrázku B znázorněno silou F. Důsledkem tohoto tlaku bude zřejmě pohyb krabíčky po desce stolu. Pokud bychom chtěli analyzovat pohyb krabíčky, bude nás jistě zajímat, jak velká síla působí ve směru pohybu. Takováto síla (F_x) je nazývána složka síly F (do směru pohybu) a v tomto případě právě ona způsobuje pohyb krabíčky. Druhá složka F_y přitlačuje krabíčku k desce. Takovému postupu se říká rozklad síly do dvou směrů. Tyto směry mohou být zcela libovolné. V opačném případě, kdybychom na těleso působili více silami (např. F_x, F_y), lze tyto sečíst a vytvořit tzv. výslednici sil (v tomto případě síla F). Pro rozkládání a skládání sil platí pravidlo rovnoběžníku (viz. obrázek B).

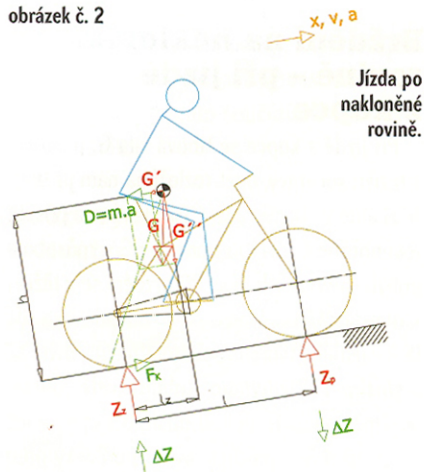


Momentový účinek síly – moment síly

Moment síly vyjadřuje míru otáčivého účinku síly vůči bodu (popřípadě přímce). Na obrázku C je znázorněn obraz visící na stěně. Pokud obraz vychýlíme z jeho rovnovážné polohy, kdy nositelka tíhové síly G neprochází bodem zavěšení A (tento bod nazveme momentovým bodem) a její kolmá vzdálenost vzhledem k bodu A bude r (tzv. rameno síly), vznikne moment (M=G.r [N.m]), který bude mít tendenci vrátit obraz do jeho původní (rovnovážné) polohy.



obrázek č. 2



do dvou složek. Složka G' (složka tíhové síly do směru jízdy), která je rovnoběžná s rovinou podložky, nutí kolo couvat. Tuto sílu musíme při jízdě do kopce překonávat pomocí hnací síly (v případě, že bychom stáli směrem z kopce dolů, tak by tato složka způsobila pohyb vpřed). V této souvislosti mluvíme o tzv. odporu stoupání. Druhá složka G'' , která je kolmá k rovině podložky, se podílí na přitlaku (stejně jako v předchozím případě činila celá velikost tíhy G).

Z hlediska stability je případ jízdy do kopce nepříznivý právě z důvodu rozkladu tíhové síly G . Složka G' se přičítá k dynamické síle D

a výslednice tohoto součtu a složky G'' svírá s rovinou podložky menší úhel (ve srovnání s případem pro jízdu po vodorovné podložce). Jak vidíme na obrázku č. 2, hrozí při uvažování stejně velké hnací síly jako v předchozím případě ztráta stability. Nositelka výslednice totiž protíná rovinu podložky až za bodem styku zadního kola s terénem.

Doporučení plynoucí pro zachování stability při jízdě do kopce jsou principiálně shodná jako pro případ jízdy po vodorovné podložce. Posunutí těžiště směrem k přednímu kolu je ale účinné pouze do určité míry. Vlivem posouvání těžiště vpřed totiž dochází k odlehčení zadního kola. Takto odlehčené kolo v určitém okamžiku již neumožní přenášet potřebnou obvodovou hnací sílu a dochází k jeho proklouznutí.

Brždění na vodorovné podložce

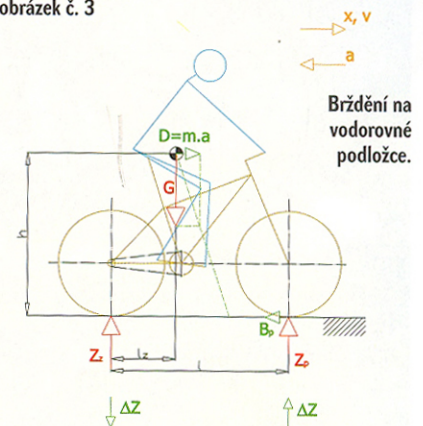
Bržděním rozumíme proces, kterým záměrně snižujeme rychlost jízdního kola. V tomto případě uvažujeme brždění soustavy jezdec – jízdní kolo brzdou silou mezi předním kolem a podložkou B_p (obrázek č. 3).

Bržděním vznikne v těžišti soustavy dynamická síla D , která je opět jako při akceleraci dána součinem hmotnosti a zrychlení (v tom-

to případě spíše zpomalení). Dynamická síla D je orientována opět proti zrychlení. Smysl zrychlení je v tomto případě orientován proti změně rychlosti v respektive nárůstu dráhy x . Jak jsme si totiž řekli na začátku tohoto článku, je zrychlení definováno jako změna rychlosti v čase. A vzhledem ke skutečnosti, že rychlost klesá, je její změna záporná. Tudíž má zrychlení opačnou orientaci.

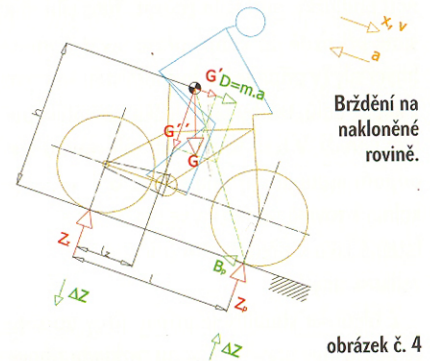
Dynamická síla D na rameni h způsobí klopný moment, který má v tomto případě za následek přitížení předního ($Z_p + \Delta Z$) a zároveň odlehčení zadního kola ($Z_z - \Delta Z$).

obrázek č. 3



Brždění na nakloněné rovině – při jízdě z kopce

Při jízdě z kopce se tíhová síla G , působící v těžišti soustavy, opět rozloží na nám již dobře známé složky G' a G'' . Složka, která působí rovnoběžně s rovinou podložky G' , způsobuje pohyb směrem z kopce. Při brždění se v těžišti kromě složky G' projeví navíc i dynamická síla D . Výslednice tvořená součtem těchto dvou sil a složky G'' ovlivňuje stabilitu celé soustavy. Opět platí, že pokud nositelka výslednice sil G' , D a G'' protíná rovinu podložky před bodem styku předního kola s terénem, hrozí přepadnutí přes přední kolo.



Brždění na nakloněné rovině.

obrázek č. 4



S rostoucím zatížením předního kola je toto schopné přenést větší brzdící síly. To vysvětluje, proč je brždění přední brzdou výrazně efektivnější než brzdou zadní. Na zadním kole totiž díky jeho odlehčení v průběhu brždění dochází snadno k zablokování a následnému smyku.

Na stabilitu při brždění se lze narozdíl od akcelerace, kdy je pro jezdce nebezpečné především přepadnutí přes zadní kolo, dívat z více pohledů. Při prudkém brždění může dojít k přepadnutí přes přední kolo. Takováto situace nastane, jak už jistě tušíme, pokud výslednice tíhové síly G a dynamické síly D protíná rovinu podložky před bodem styku předního kola a terénu.

Druhým nebezpečím z hlediska ztráty stability je smyk kola. Smyk nastane pokud kolo brzdíme silou, jejíž hodnota je vyšší než tzv. maximální přenositelná brzdící síla B_{max} . Maximální přenositelná síla je definována jako součin radiálního zatížení kola (Z_p, Z_z) a tzv. součinitele adheze (ϕ). Velikost maximální brzdící síly je tedy závislá na síle, kterou je kolo přitlačováno k podložce, a součiniteli adheze (neboli přilnavosti). Nižší hodnoty přitlaku kola k terénu a součinitele adheze umožňují přenést nižší brzdící síly,

respektive dojde snáze k zablokování a následnému smyku kola. Hodnotu součinitele adheze mimo jiné ovlivňuje povrch terénu nebo vzorek pneumatiky. Velikost součinitele adheze pro různé povrchy je uvedena v následující tabulce.

Hodnoty součinitele adheze

Charakter terénu	Hodnota součinitele adheze	
beton	mokřý	0,5-0,8
	suchý	0,8-1
polní cesta	mokřá	0,3-0,4
	suchá	0,4-0,6
tráva	mokřá	0,2-0,5
	suchá	0,4-0,6
hluboký písek, sníh		0,2-0,4
náledí		0,1-0,3

Brždění na mezi adheze, neboli brždění maximální možnou brzdící silou, která se ještě dokáže přenést mezi pneumatikou a terénem, je principem funkce systémů ABS používaných u automobilů a motocyklů. Smyk je více nebezpečný na předním kole, neboť dochází ke ztrátě říditelnosti. Zablockované kolo totiž nedokáže přenést boční síly, které jsou k zatáčení nepostradatelné.

Při prudkém brždění při jízdě z kopce můžeme ztrátě stability zabránit přesunutím těžiště směrem k zadnímu kolu (změna l_z) a níže (změna h).

JÍZDNÍ ODPORY

Až doposud jsme se zabývali do jisté míry idealizovaným případem, kdy se jízdící kolo pohybovalo v bezodporovém prostředí. Jízdní odpory, jak již bylo nastíněno v úvodu, jsou silami, které působí proti pohybu soustavy a mají tudíž zpomalovací účinek. Sumu těchto odporů při jízdě překonáváme pomocí hnací síly F_k .

Odpor valivý

Valivý odpor (O_f) vzniká v důsledku deformace pneumatiky a terénu. Vlivem deformace nepůsobí radiální reakce (Z_p, Z_z) ve svislé ose kola, jak to bylo uvažováno v předchozím textu (který byl z tohoto hlediska idealizován), ale je předsunuta. Vlivem tohoto předsunutí vzniká přídavný moment, který musíme překonávat.

Velikost valivého odporu je dána vztahem: $O_{f(p, z)} = Z_{(p, z)} \cdot f$, kde f je tzv. součinitel valivého odporu. Součinitel valivého odporu závisí na mnoha faktorech. Svou roli zde hraje charakter terénu, tlak, obvodová rychlost

pneumatiky, šířka pneumatiky, tvar výstupků a hustota dezénu, ale také tvrdost směsi dezénu. Hodnoty tohoto součinitele jsou uvedeny v tabulce:

Hodnoty součinitele valivého odporu

Charakter terénu	Součinitel valivého odporu f
beton	0,015-0,025
polní cesta – suchá	0,04-0,15
tráva	0,08-0,15
hluboký písek	0,15-0,3
sníh	0,2-0,3
bahno	0,2-0,4
náledí	0,01-0,025

Odpor aerodynamický (vzdušný)

Aerodynamický odpor je odporem vzdušného prostředí, kterým se soustava jezdec – jízdní kolo pohybuje. Velikost aerodynamického odporu je závislá na hustotě vzduchu a na rychlosti, kterou se v něm pohybujeme. Hodnotu tohoto odporu dále ovlivňuje velikost čelní plochy soustavy jezdec – jízdní kolo.



Odpor zrychlení

Odpor zrychlení není nic jiného než dynamická síla D , kterou jsme uvažovali při akceleraci (jízde po rovinné podložce, nakloněné rovině). Odpor zrychlení je tedy síla, kterou musíme překonat, chceme-li odpovídajícím způsobem urychlit svou jízdu.

Odpor stoupání

S odporem stoupání jsme se již v předchozím textu několikrát setkali. Jedná se o složku tíhové síly G' , která při jízdě do kopce působí proti směru pohybu soustavy jezdec – jízdní kolo. Její velikost závisí na hmotnosti soustavy a úhlu stoupání.

Text a nákresy: Ing. Jiří Marján
Foto: R. Hronza, M. Janata, J. Tekel