

# Kinematické štruktúry jedno-, dvoj- a trojkolesových mobilných robotov

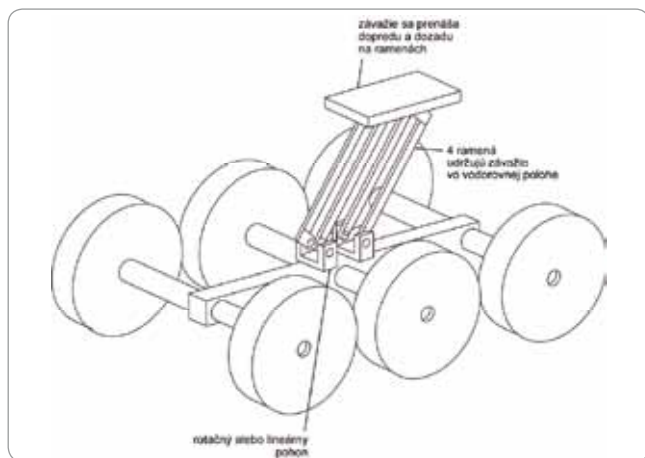
Do skupiny kolesových robotov patria všetky mobilné roboty, ktorých subsystém mobility je riešený na princípoch kolesového podvozku. Tento článok sa zaoberá kinematickými štruktúrami jedno-, dvoj- a trojkolesových mobilných robotov.

Súčasná štatistika potvrdzuje, že mobilné servisné roboty na kolesovom podvozku sú najpočetnejším vyhotovením všetkých realizovaných aplikácií, technická prax naplnila rôznorodosťou ich konštrukčné riešenie. Rozdielnosť kolesových mobilných servisných robotov je najmä v konštrukcii kolesového podvozku; riešenia sa odvíjajú od jednokolesových až po viackolesové koncepcie, od jednoduchých variantov usporiadania podvozku až po špeciálne, resp. kombinované systémy. [1]

Zďaleka najbežnejšou formou usporiadania vozidla je štvorkolesové vozidlo s riadením predných kolies. Je nasledovníkom voza ťahaného koňmi, ale počas mnohých desaťročí, od pridania motora, ktorý nahradil kone, prešlo niektorými drobnými aj veľkými zmenami. Najvýznamnejšie zmeny (okrem spaľovacieho motora) boli v systémoch odpruženia a riadenia [2].

## Posun ťažiska

Možnosť, ktorú možno použiť pri mobilných robotoch a ktorá zvyšuje pohyblivosť robota nezávisle od systému pohyblivosti, je posunúť ťažisko robota. Tým môžeme stanoviť, ktoré kolesá, pásy alebo nohy budú zaťažené väčším podielom hmotnosti.

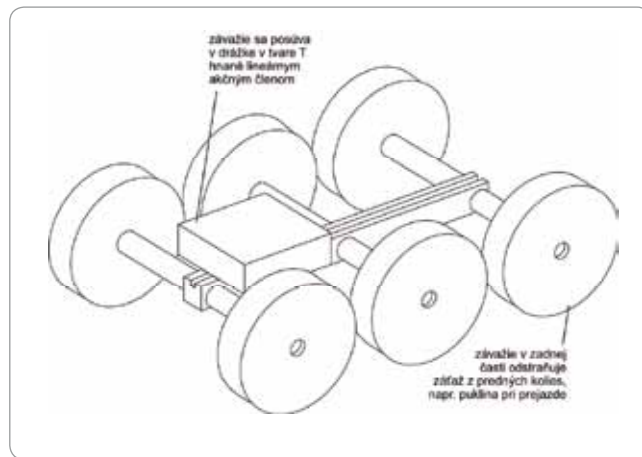


Obr. 1 Metóda posunu ťažiska na výkyvnom ramene

Posun ťažiska môže sprevádzať premiestnenie určenej hmotnosti, posunutie nákladu alebo preorientovanie manipulátora. Premiestnenie ťažiska umožní robotu pohybovať sa cez širšie jamy, vystupovať na strmšie svahy a dostať sa cez vyššie schody alebo na ne. Ak je naplánované premiestnenie manipulátora, potom musí manipulátor vykompenzovať významný podiel celkovej hmotnosti vozidla pre koncepciu efektívnej práce. Aj keď sa premiestňovanie ťažiska na prvý pohľad javí jednoduché, veľká časť robota je určená ako pracovný priestor na mechanizmus posuvu záťaže, ako aj na záťaž samotnú.

Obr. 1. a 2. znázorňujú základnú koncepciu a niekoľko obmien posunu ťažiska, ktoré možno vyskúšať, ak nemôže byť navrhnutý žiadny iný systém mobility na zvládanie požadovanej prekážky alebo ak sa koncepcia aplikuje ako modernizácia na zvýšenie existujúcej pohyblivosti robota. Pri prekonávaní schodov alebo pri pohybe do strmých svahov sa ťažisko posúva dopredu, takže zostáva nad stredom oblasti systému mobility.

Pri nábehu na nerovnosť alebo na schod sa posunie dozadu, ihneď ako vozidlo vystúpi na schod. To znižuje tendenciu robota spadnúť na prednú časť systému mobility. Treba poznamenať, že posunutie ťažiska možno ovládať samostatne celkom jednoducho, ak je na prístrojovej doske robota umiestnený snímač polohy alebo snímač zrýchlenia, ktorý môže zadávať naklonenie. Regulačný obvod bude snímať posunutie ťažiska vo vzťahu k prednej časti a sklonu zadnej časti robota. V skutočnosti možno systém posuvu ťažiska úplne zautomatizovať a urobiť ho nezávislým od všetkých ostatných systémov robota. Umiestnenie hnacieho motora sa necháva na konštruktéra [2].



Obr. 2 Metóda posunu ťažiska na princípe lineárneho skazu

## Veľkosť kolies

Koleso je kontaktným prvkom (spojovacím článkom) mobilného servisného robota s podložkou (povrchom terénu), po ktorej sa pohybuje. Trakčné, bezpečnostné a prevádzkové (ekonomické) vlastnosti kolesa výrazne ovplyvňujú vlastnosti podvozku.

Požiadavky na koleso vyplývajúce z jeho funkcií a konkrétnej reprezentácie na náprave sú rôznorodé a protichodné. Okrem funkčných požiadaviek, ktoré sa kladú na koleso, má spĺňať aj rad prevádzkových podmienok (operatívna montáž/demontáž, malé opotrebenie a pod.) [1].

Kolesá realizujú prenos hnacej sily (krútiaceho momentu) z pohonu (najčastejšie prostredníctvom prevodových členov medzi pohonom a kolesom) na podložku, po ktorej sa pohybujú pomocou trenia (efekt valenia), a tak udeľujú celému mechanizmu (podvozku) kinetickú energiu. Kolesá možno klasifikovať z rôznych hľadísk, predovšetkým je vhodné ich členiť z hľadiska:

- funkcie v zostave podvozku a mechanike pohybu na:

- hnacie – aktívne, poháňané kolesá, priame spojenie s pohonom,
- hnané – pasívne, kolesá bez pohonu,
- smerové/riadiace – aktívne alebo pasívne (riadenie natáčacím pomocou pohonu, riadenie bez natáčania – všesmerové) – zabezpečujú orientáciu (zmenu smeru jazdy) podvozku v operačnom priestore,
- podporné/vlečné – nemajú žiadnu aktívnu funkciu, sú vlečené a podpierajú podvozok, poprípade uľahčujú zmenu smeru jazdy,
- meracie – slúžia na odmeriavanie vybraných kinematických charakteristík pohybu podvozku;

- princípu ich funkčných vlastností:
  - štandardné (väčšinou jeden až dva stupne voľnosti),
  - všesmerové (minimálne dva stupne voľnosti, umožňujú podvozku meniť smer jazdy bez zmeny jeho orientácie),
  - špeciálne (pre špecifické požiadavky pohybu podvozku, prípadne špecifické vlastnosti pri prekonávaní prekážok) [3].

Vo všeobecnosti platí, že čím je koleso väčšie, tým väčšiu prekážku dokáže dané vozidlo prekonať. Vo väčšine jednoduchých systémov odpruženia a hnacieho ústrojenstva koleso dokáže prejsť cez prekážku tvaru schodu, ktorý má veľkosť približne jednej tretiny priemeru kolesa. Avšak pri väčšine odpružení je limit o niečo nižší ako polovica priemeru kolesa. Ak hnané koleso smeruje proti prekážke, ktorá je vyššia ako priemer kolesa, dostatočnou hnacou silou vo vzťahu k zvislému zaťaženiu na ňom, bude sa točiť smerom hore. To je východisko návrhu systémov výkyvných podvozkov [4].



Obr. 3 Mobilný robot so všesmerovými kolesami [5]

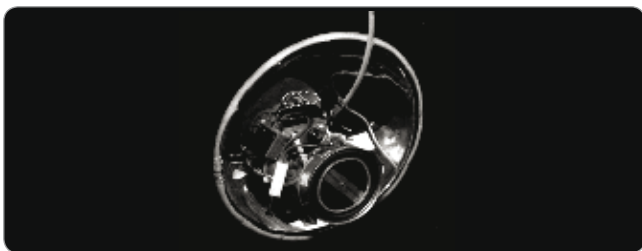
### Počet kolies a ich usporiadanie

Pre statickú stabilitu sa vyžadujú minimálne tri kolesá. Trojkolesové roboty sa predstavujú v mnohých variantoch, od veľmi jednoduchého diferenciálového riadenia s dvomi pohonmi s typmi s fixným tretím kolesom po relatívne zložité kolesovokráčajúce roboty. Pohyblivosť a zložitosť sa zvyšujú pridaním viac kolies. [2]

### Jednokolesové mobilné robotické systémy

Možno vytvoriť jednokolesové vozidlo. Toto vozidlo má obmedzenú pohyblivosť, ale dokáže prekonať relatívne malé prekážky. Jeho koleso je v skutočnosti guľou s vnútorným pohyblivým protizávažím, ktoré, ak sa nenachádza nad bodom dotyku guľe a podložky, spôsobuje odvalovanie guľe. S náležitým ovládaním protizávažia, spôsobom jeho upevnenia a pohybu v guľi možno vozidlo riadiť. Jeho schopnosť lezenia na schody je obmedzená a závisí od materiálu kolesa a od hmotnostného pomeru kolesa a protizávažia [2].

Jedno- a dvojkolesové roboty sa v súčasnosti vyskytujú ako prototypy, na ktorých sa skúmajú rovnovážne schopnosti robotov.



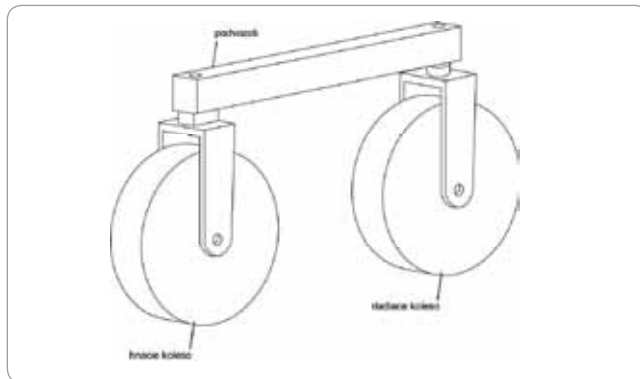
Obr. 4 Gyrover II [6]

Existujú dve základné koncepcie jednokolesových robotov líšiacich sa umiestnením gyroskopu (zotrvačníka), a to so zvislým a vodorovným zotrvačníkom [4]. Robot so zvislým gyroskopom bol už vyrobený – ide o robot GYROVER a na svete je už niekoľko jeho verzií.

### Dvojkolesové mobilné robotické systémy

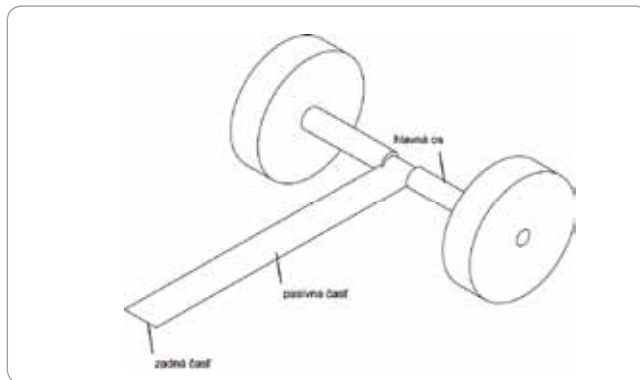
Mobilné servisné roboty na dvojkolesovom podvozku sa v prevádzkovej praxi zvlášť nepresadili, využívajú sa najmä pri experimentálnych laboratórnych výskumoch zameraných na všeobecnú problematiku aplikácie kolesových systémov pri mobilných servisných robotoch [1].

Existujú dve zjavné usporiadania dvoch kolies, kolesá vedľa seba a kolesá vpredu a vzadu. Bežný bicykel je možno jedným z najznámejších dvojkolesových vozidiel na svete. Je veľmi ťažké využiť ho na pohyb robotov, pretože nie je prirodzene stabilný. Usporiadanie vedľa seba tiež nie je prirodzene stabilné, ale pri nízkych rýchlostiach ho možno ovládať ľahšie ako bicykel.



Obr. 5 Bicyklový podvozok

Druhé usporiadanie je ťahanie pasívnej nohy alebo zadnej časti za vozidlom. Táto zadná časť pôsobí proti krútiacemu momentu tvorenému kolesami, čím robí vozidlo staticky stabilné a zvyšuje výšku prekážky, ktorú robot dokáže prekonať. Ťahač zadnej časti možno veľmi jednoducho ovládať samostatnou zmenou rýchlosti kolies. To slúži na ovládanie rýchlosti aj riadenia. Koncová časť robotov s týmto usporiadaním musí byť ľahká, silná a dostatočne dlhá na získanie potrebnej pohyblivosti. Ak je príliš dlhá, pri otáčaní sa dostáva do cesty, ak je príliš krátka, vôbec nezvyší mobilitu. Môže byť ľahko ohybná alebo úplne neohybná. Koniec zadnej časti sa pohybuje dopredu a dozadu aj zo strany na stranu, čo vyžaduje, aby mal tvar, ktorý sa nezachytáva (tvar guľe alebo veľmi podobný tvar, vyrobený z materiálu s nízkym trením, napr. teflon alebo polyetylén) [2].



Obr. 6 Ťahač pasívnej časti

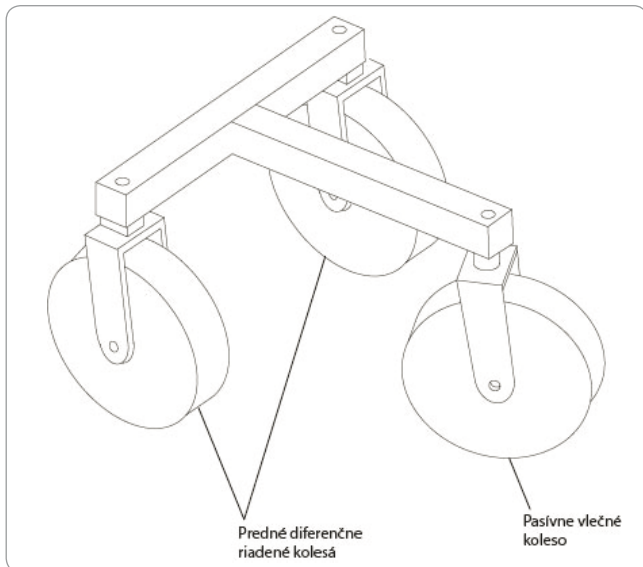
Pri dvojkolesových robotoch existujú dve základné koncepcie ovplyvnené polohou ťažiska robota vzhľadom na os rotácie kolies. Ťažisko môže byť umiestnené nad osou rotácie alebo pod ňou. Prvý variant sa vyznačuje rovnakými problémami stability ako pri jednokolesovom robote. Oproti tomu variant robota s ťažiskom pod osou rotácie kolies je vždy stabilný a nemôže sa prevrátiť. [4]

### Trojkolesové mobilné robotické systémy

Troj- a štvorkolesové roboty sú najrozšírenejšie roboty vôbec. Trojkolesový podvozok je oproti štvorkolesovému ľahší, konštrukčne jednoduchší a má aj jednoduchšie riadenie. Nevýhoda trojkolesového podvozku spočíva v jeho nižšej stabilite. [4] Trojkolesové mobilné roboty môžu byť usporiadané viacerými spôsobmi. Najčastejšie a najjednoduchšie usporiadanie predstavuje typ detskej trojkolky. Pri tomto usporiadaní je predné koleso hnacie a zároveň aj riadené. Tieto mobilné roboty sa používajú v interiéri, v testovacích laboratóriách alebo v iných kontrolovaných priestoroch, kde možno túto jednoduchú konštrukciu s veľmi nízkou mobilitou použiť.

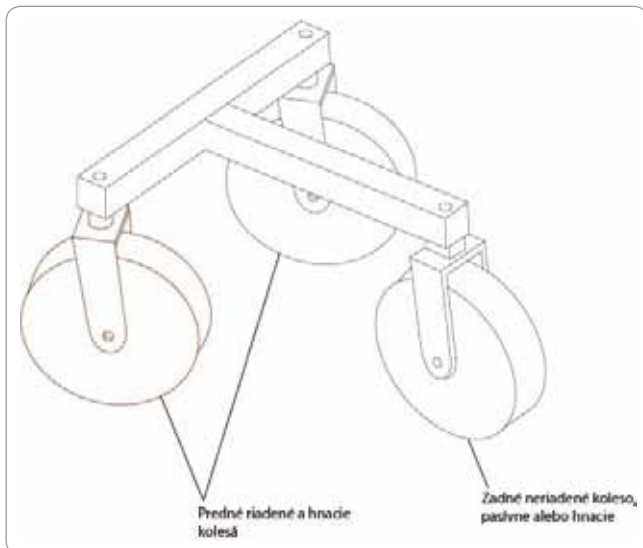
Na zlepšenie mobility a stability trojkolesových robotov bol navrhnutý podvozok ATC (All Terrain Cycle). Tento podvozok má diferenčne poháňané obe zadné kolesá, pričom predné koleso je riadené.

Zvýšenie stability trojkolesového podvozku možno dosiahnuť obráteným uložením kolies, umiestnením dvoch diferenčne riadených kolies dopredu. Túto koncepciu možno využiť len pri nižších rýchlostiach. Pri zatáčaní podvozku pri vyšších rýchlostiach je náročné ho riadiť, pretože sily pôsobiace na zadné riadené koleso majú tendenciu prudko otáčať podvozok, až sa stane neriaditeľný. Tento nedostatok môže byť eliminovaný vhodným umiestnením ťažiska podvozku.



Obr. 7 Podvozok s diferenčným riadením

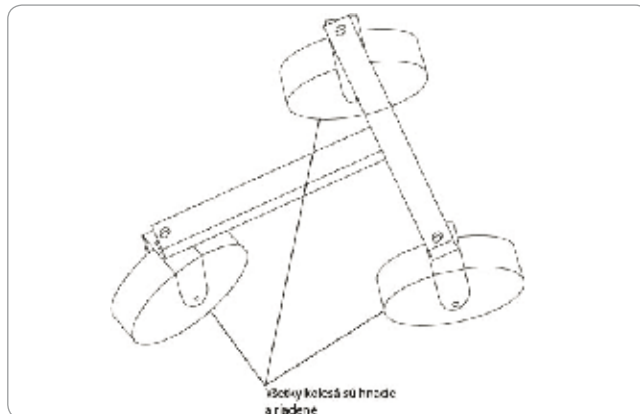
Umiestnením riadených kolies dopredu sa čiastočne odstráni problém s pretáčavosťou, ale výrazne sa zvýši zložitosť riadenia a pohonu oboch kolies. Táto koncepcia umožňuje umiestnenie väčšej záťaže na zadné pasívne koleso, ktoré výrazne zlepší mobilitu.



Obr. 8 Podvozok s prednými riadenými kolesami

Najkomplikovanejšou, avšak najvyššou mobilitou sa vyznačuje posledná koncepcia uloženia kolies, pri ktorej sú všetky kolesá hnacie a zároveň riadené. Táto koncepcia je veľmi univerzálna, pohyb možno realizovať vo všetkých smeroch, s týmto podvozkom sa možno otočiť na mieste.

Táto schopnosť sa označuje ako holonómny pohyb, ktorý výrazne zlepšuje mobilitu robota v členitom teréne. Všetky trojkolesové mobilné roboty sa môžu považovať za holonómne, pokiaľ tretie koleso leží na obvode kruhu, ktorého stred sa nachádza uprostred dvoch, oproti sebe ležiacich kolies a riadené alebo pasívne koleso sa môže otáčať o 180 stupňov. [2]



Obr. 9 Podvozok so všetkými riadenými a hnacími kolesami

## Záver

Cieľom tohto článku bolo poskytnúť základné informácie o možnosti kinematického usporiadania mobilného mechatronického systému na jedno-, dvoj- a trojkolesovom podvozku. Nové úlohy a požiadavky, ktoré so sebou prináša dynamický rozvoj techniky, majú za následok rôznorodosť konštrukčných riešení kolesových podvozkov.

## Podakovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu "Centrum výskumu riadenia technických environmentálnych a humánných rizík pre trvalý rozvoj produkcie a výrobkov v strojárstve" (ITMS: 26220120060), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja a Slovenskej grantovej agentúry pre vedu GU VEGA 1/1205/12: „Numerické modelovanie mechatronických sústav.“

## Literatúra

- [1] SMRČEK, Juraj – KÁRNIK, Ladislav: Robotika, Servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia – Riešenia. Košice, 2008, ISBN 978-80-7165-713-2.
- [2] SANDIN, E. Paul: Robot mechanisms and mechanical devices, 2003, ISBN 0-07-142928-X
- [3] Bartoš, Ludomil: Vybrané problémy kinematiky štandardných kolesových podvozkov mobilných robotov. In: AT&P journal 2/2008.
- [4] VYSOKÁ ŠKOLA BĀŇSKÁ [online] 2004-2009 [cit. 2008-10-07] Dostupné na internete: <<http://robot.vsb.cz/cojrobot/servisni.htm>>
- [5] Robotland [online] 2009 Dostupné na internete: <<http://robotland.blogspot.com/>>
- [6] School of computer science [online] 2009 [cit. 2009-06-22] Dostupné na internete: <<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/space/www/gyrover/gyrover.html>>
- [7] JURÍŠICA, Ladislav – HUBINSKÝ, Peter – KARDOŠ, Ján: Robotika. 2005
- [8] Audi Slovensko [online] 2008 [cit. 2008-11-25] Dostupné na internete: <<http://www.audi.sk/quattro.php?c=mittsfewrwf>>

Lubica Miková, Ing. PhD.  
lubica.mikova@tuke.sk

Alexander Gmitterko, prof. Ing. PhD.  
alexander.gmitterko@tuke.sk

Michal Kelemen, doc. Ing. PhD.  
michal.kelemen@tuke.sk

Technická univerzita v Košiciach  
Strojnícka fakulta, Ústav špeciálnych technických vied  
Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky  
Letná 9, 042 00 Košice  
055/ 602 2467