

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

127304

**TERAMECHANICKÉ ASPEKTY PRI RIEŠENÍ ROBOTOV V
POĽNOHOSPODÁRSTVE**

2010

Lukáš Čičo

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

TERAMECHANICKÉ ASPEKTY PRI RIEŠENÍ ROBOTOV
V POĽNOHOSPODÁRSTVE

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program:	Manažérstvo kvality produkcie
Študijný odbor:	Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Technická fakulta
Vedúci diplomovej práce:	prof. Ing. Jozef Bajla, PhD.
Konzultant:	Doc. Ing. Dušan Hrubý, PhD.

Nitra 2010

Lukáš Čičo

Pod'akovanie

Touto cestou si dovoľujem poďakovať vedúcemu diplomovej práce prof. Ing. Jozefovi Bajlovi, PhD. za odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a pomoc pri vypracovávaní mojej bakalárskej práce.

V Nitre 21. 04. 2010

.....

Abstrakt

V tejto práci sú uvedené niektoré druhy poľnohospodárskych mobilných robotov, ktoré boli predmetom rôznych diskusií v uvedených literatúrach a článkoch so zameraním na ich teramechanické vlastnosti. Zamerali sme sa na vyhodnotenie rôznych pojazdových systémov používaných robotmi, hlavne na pásové a kolesové pojazdové systémy a porovnali sme ich efektívnosť na rôznych typoch pôd. Z pohľadu trakčných vlastností je výhodnejší pásový podvozok, kolesový podvozok je výhodnejší z hľadiska výroby, ceny, údržby a prevádzkových nákladov. V práci sú uvedené príklady použitia robotov v poľnohospodárstve – Agrobotov.

Kľúčové slova: poľnohospodárstvo, roboty, teramechanika, pojazdové ústrojenstvo

Abstract

In this work there are some types of agricultural mobile robots, which were the subject of debate in these various literature and articles focusing on their teramechanické properties. We focused on evaluating the various systems used traverse robots, especially for wheeled and tracked systems running and we compare their effectiveness for different soil types. In terms of traction characteristics is preferable tracked chassis, wheeled chassis is preferable in terms of production, prices, maintenance and operating costs. The paper gives examples of the use of robots in agriculture - Agrobots.

Key words: agriculture, robots, teramechanics, travelling gear

Obsah

Obsah	7
Zoznam použitých označení a jednotiek	8
Úvod	9
1 Cieľ práce	10
2 Metodika práce	10
3 Výsledky práce - štúdia o súčasnom stave riešenej problematiky	11
3.1 Pôda a jej druhy	11
3.2 Fyzikálne vlastnosti pôd.....	11
3.3 Vývoj poľnohospodárskych robotov	14
3.3.1 Určovanie polohy robotov.....	14
3.3.2 Rozdelenie robotov podľa spôsobu pohybu	14
3.3.2.1 Kráčajúci podvozok.....	15
3.3.2.2 Kolesový podvozok.....	19
3.3.2.3 Pásový podvozok.....	23
3.3.3 Porovnanie kolesových a pásových systémov	28
4 Dosiahnuté výsledky a diskusia	37
Záver	40
Zoznam použitej literatúry	41

Zoznam použitých označení a jednotiek

b_{ti} - kontaktná šírka kolesa	m
b_{tr} - šírka pásu	m
c – kohézia (prilnavosť)	MPa
j - šmykový posun	m
k_z - konštanta závislá na druhu a stave (hlavne na vlhkosti) zeminy	Nm^{-1}
n - 0,5 pre mäkké plastické zeminy	-
n - 1,0 pre zhutnené alebo dostatočne tuhé zeminy	-
p - normálový tlak	MPa
p_z - konštantný tlak	MPa
s - šmykové napätie	MPa
s_{max} - maximálne šmykové napätie	MPa
y - hĺbka zaborenia	m
F_{tr} - hrubá trakcia	%
K – šmykový modul	m
L_{ti} - kontaktná dĺžka stopy kolesa	m
L_{tr} - kontaktná dĺžka stopy pásu	m
W – tiažové zaťaženie vozidla	kN
φ - uhol vnútorného trenia pôdy	°

Úvod

Robotika spôsobila v priemysle revolúciu, ktorá sa odrazila v znížení počtu hodín manuálnej práce a tým znížením nákladov na vyrobený tovar. Posledným veľkým odvetvím ľudskej činnosti, kde sa ešte využíva značná časť manuálnej práce je poľnohospodárstvo. V tomto sektore majú roboty veľkú perspektívu, či už by sa jednalo o zber plodov, ošetrovanie rastlín alebo aj spracovanie pôdy. Poľnohospodárstvo je oproti iným segmentom ľudskej činnosti veľmi špecifická oblasť a bude treba vynaložiť značné úsilie pre automatizáciu a robotizáciu tohto segmentu. Značná časť komplikácií spočíva v tom že rastliny, plody ale aj pôda sú živé a sústavne sa meniace prvky, ktorých rozmery a vlastnosti sa neustále menia, vývojári robotov a autonómnych zariadení pracujúcich v poľnohospodárstve sa budú musieť taktiež vysporiadať s meniacimi sa podmienkami na poľnohospodárskej pôde. Pôda ako živá zložka a stanovište rastlín mení svoje vlastnosti vplyvom zloženia, zmenou vlhkosti, pridávaním živín a spôsobom jej spracovania. Konštruktéri a výrobcovia autonómnych zariadení a poľnohospodárskych robotov, ktoré budú pracovať na pôde musia uvažovať s týmito meniacimi sa podmienkami pôdy aby sa zaručila dobrá prejazdnosť a nízke ovplyvňovanie vlastností pôdy strojmi. Preto je potrebné ešte pred zavedením robotizácie a automatizácie do poľnohospodárskej praxe skúmať teramechanické aspekty poľnohospodárskych robotov.

1 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce bolo analyzovať teramechanické aspekty práce robotov v oblasti poľnohospodárstva.

Pre splnenie cieľa bolo potrebné:

- zamerať pozornosť na pôdne prostredie ako dôležitú súčasť pohybu mobilných robotov,
- analyzovať pojazďové ústrojenstvo použiteľné v poľnohospodárstve,
- porovnať kolesové a pásové typy podvozkov,
- v ďalšej časti poukázať na príklady použitia rôznych robotických systémov pre pestovateľské a poľnohospodárske účely.

2 Metodika práce

Na základe stanoveného cieľa práce sme navrhli nasledovný postup vypracovania bakalárskej práce:

- zhromaždenie a preštudovanie dostupnej knižnej a časopisovej literatúry, vrátane zdrojov z internetu,
- spracovanie literárneho prehľadu o teramechanických aspektoch mobilných strojov a porovnaní hlavných typov mechanizmov,
- príklady aplikácie použitia rôznych robotických systémov pre pestovateľské a poľnohospodárske účely.

Pri spracovaní literárneho prehľadu o teramechanických aspektoch mobilnej techniky budeme postupovať nasledovne:

- popis pôdy a jej druhov,
- popis fyzikálnych vlastností pôd,
- vývoj poľnohospodárskych robotov,
- rozdelenie robotov podľa spôsobu pohybu:
 - a) kráčajúci podvozok,
 - b) kolesový podvozok,
 - c) pásový podvozok,
- porovnanie kolesových a pásových systémov.

3 Výsledky práce - štúdia o súčasnom stave riešenej problematiky

3.1 Pôda a jej druhy

Pri využívaní robotov v poľnohospodárstve je potrebné skúmať pôdne vlastnosti z hľadiska prejazdnosti robotov po povrchu pôdy. Každý prejazd po pôde taktiež pôsobí a vytvára mechanický zásah do jej štruktúry, ktorý je v prvom rade závislý od pôdných vlastností. Pre najefektívnejší prejazd po povrchu pôdy a pre elimináciu nežiaducich vplyvov na pôdne prostredie je potrebné poznať vlastnosti pôdy. Tieto vlastnosti spolu so spracovaním a príslušným obhospodarovaním mnohostranne pôsobia na pôdne prostredie a tým ovplyvňujú celý produkčný proces danej pôdy.

Pôdne druhy a ich zastúpenie:

- ľahké pôdy - 8,83 %
- piesočnaté (P)
- hlinito-piesočnaté (HP)
- stredne ťažké pôdy – 70,71 %
- piesočnato- hlinité (PH)
- hlinité (H)
- ťažké pôdy - 20,46 %
- ílovito-hlinité (IH)
- ílovité (IL)
- íl (I)

3.2 Fyzikálne vlastnosti pôd

Fyzikálne vlastnosti pôdy predstavujú celý rozsah pôdných vlastností ako napríklad zrnitosť pôdy, štruktúrnosť pôdy, merná hmotnosť pôdy, objemová hmotnosť pôdy a pórovitosť. Tieto vlastnosti závislé od disperznosti základných častíc pôdy a vzájomným vzťahom medzi pevnou fázou, kvapalnou fázou a vzduchom v pôde.

Základné fyzikálne vlastnosti pôdy sa delia na:

Zrornosť pôdy (textúra) patrí medzi najstarší klasifikačný systém triedenia pôdy, ktorý má význam pre obrábanie, jej hnojenie ale aj pri usmerňovaní rastu plodín.

Tento princíp je založený na stanovení podielu častíc rôznej veľkosti a na posúdení množstva jednej alebo viacerých kategórií elementov.

Štruktúrnosť pôdy predstavuje proces pri ktorom sa vytvárajú väčšie častice spájaním zín rôzneho priemeru, čo má za následok vznik špecifického pôdneho zloženia. Štruktúrnosť pôdy medzi fyzikálnymi vlastnosťami reprezentuje veľmi dôležité miesto, pretože významne ovplyvňuje vodný, vzdušný, živinový a teplotný režim pôd.

Pórovitosť interpretuje súhrnné percentuálne množstvo prázdneho priestoru, ktorý nie je vyplnený pevnými časticami pôdy. Pórovitosť je hlavným ukazovateľom kyprostí alebo uľahnutosti.

Merná hmotnosť pôdy je pomer hmotnosti pevnej fázy pôdy k hmotnosti vody toho istého objemu pri teplote 4 °C. Hodnota mernej hmotnosti je závislá od mineralogického zloženia pôdy a od obsahu humusu v pôde.

Objemová hmotnosť pôdy predstavuje hmotnosť určitého objemu zeminy v prirodzenom zložení (teda aj s pórmí), v ktorých sa môže nachádzať voda alebo vzduch. Hodnota objemovej hmotnosti je zakaždým nižšia ako hodnota mernej hmotnosti. Závisí od spôsobu vzájomného uloženia mechanických elementov pôdy, teda od zrnosti a štruktúrnosti pôdy.

Hydrofyzikálne a aeračné vlastnosti (vlhkosť, hygroskopickosť, vodná kapacita, priepustnosť, vzlínavosť, vzdušná kapacita a prevzdušnosť):

Vlhkosť zeminy je hodnota určená pomerom tiaže kvapalnej fázy k tiaži vysušenej zeminy.

Priepustnosť zemín je vlastnosť, ktorá vyjadruje schopnosť zeminy prepúšťať vodu. Rozhodujúcou vlastnosťou, ktorá ovplyvňuje priepustnosť je pórovitosť.

teplotné vlastnosti (teplotná kapacita, tepelná vodivosť a teplota pôdy)

Súdržnosť (kohéziu) pôdy patrí medzi fyzikálno-mechanické vlastnosti pôdy. Je to schopnosť pôdy odolávať vonkajšiemu tlaku zapríčiňujúcemu drobenie agregátov ako aj schopnosť klásť odpor pri vnikaní cudzích telies do pôdy. Je podmienená vzájomnou príťažlivosťou mechanických častíc. Súdržnosť ovplyvňuje najmä vlhkosť pôdy. U ílovitých a hlinitých zemín voda narušuje súdržnosť, pokým piesočnaté zeminy práve pri zvýšenom obsahu vody nadobúdajú dočasne malú súdržnosť.

Lipnavosť (adhézia) je schopnosť pôdy, ktorá je určená vzájomným priťahovaním pôdnych častíc s časticami telesa vnikajúceho do pôdy, čo sa prejavuje lipnutím pôdnej hmoty na teleso. Významným činiteľom, ktorý ovplyvňuje lipnavosť je vlhkosť pôdy. Voda tu pôsobí opačne ako pri súdržnosti pôdy. Zeminy majú za sucha najmenšiu lipnavosť, pri určitej vlhkosti nadobúdajú maximálnu lipnavosť. Ďalším zvyšovaním obsahu vody lipnavosť klesá.

Konzistencia (hutnosť) zemín je to vlastnosť zemín, ktorá je výsledkom pôsobenia vlastností pôd reprezentovaných stupňom súdržnosti, lipnavosti a odporu proti deformácii. Konzistencia závisí od obsahu vody v pôde a od schopnosti koloidných častíc viazať vodu. Rozličné pôdy pri rovnakej vlhkosti majú odlišnú konzistenciu.

Napučiavanie je to vlastnosť pôdy, ktorá je spojená s objemovými zmenami. Pribúdaním vody v pôde koloidy hydratujú a tým sa vzájomne oddeľujú od seba, čo spôsobuje zväčšenie ich objemu. Prejavom napučievania je zvyšovanie tlaku na okolie, ktoré sa dá zisťovať meraním tlaku. Taktiež sa môže vyjadriť aj množstvom prijímanej vody, alebo percentom zväčšenia objemu.

Usadzovanie je proces opačný ako napučievanie. Usadzovanie pôdy je dôsledok straty vody. Pri vysychaní ťažkých pôd a ich usadení vznikajú až 150 mm široké a 13 m hlboké praskliny. Jednou z príčin povrchového zosuvu pôd na svahovitom teréne býva usadenie pôdy.

Trenie pôdy je vlastnosť pôdy, ktorá sa prejavuje pri obrábaní pôdy. Vyplýva z odporu proti deformácii a z trecieho odporu pôdy. Trenie pôdy vzniká keď sa pôda kĺže po pracovných plochách nástrojov, alebo medzi jej časticami. Ak sa pôda kĺže po kovovom povrchu náradia, ide o vonkajšie trenie a keď nastáva kĺzanie zemín medzi sebou, ide o vnútorné trenie. Trenie sa zväčšuje zvyšovaním obsahu vody, maximum dosahuje pri 55 % pôdnej vlhkosti.

Orbový odpor je odpor, ktorý vytvára pôda pri krájaní, zdvihu, drobení a obracaní priečneho rezu orbového odvalu. Hodnota orbového odporu je závislá od rôznych základných fyzikálnych vlastností pôdy.

3.3 Vývoj poľnohospodárskych robotov

Robotizácia a automatizácia v poľnohospodárstve nie je nová myšlienka, no kvôli nehomogénosti pôdy, poľnohospodárskych plodín a rastlín bola zatlačená do úzadia. Avšak pokrok vo vývoji senzorov a mikropočítačov spolu so spustením globálneho pozičného systému umožňujú rozvoj aj tohto segmentu ľudskej činnosti.

Podľa Jurišicu (2007) mobilné roboty vytvárajú nové možnosti na automatizáciu prác, nahradenie ľudí pri nebezpečných činnostiach, pomoc pri prácach v rôznych odvetviach a pod.

3.3.1 Určovanie polohy robotov

Tak ako u každej činnosti ktorá sa má plne automatizovať a robotizovať je potrebné vedieť presnú polohu zariadenia vzhľadom na spracovávanú parcelu. Poľa spôsobu určenia polohy robota na poli rozoznávame zariadenia určujúce polohu pomocou:

a.) laserového lúča, ktorý je vysielaný z autonómneho zariadenia a odrážaný z reflexných zariadení na okraji pracovnej parcely späť k zariadeniu. Tento systém využíva meranie vzdialenosti na základe času odrazu lúča. Výhodou tohto systému je nezávislosť od externých signálov, no nevýhodou je použitie iba na parcele s reflexnými zariadeniami.

b.) signálu vysielaného zo siete pozemných staníc, ktoré zabezpečujú vysokú presnosť určenia polohy, ale pri obmedzenom dosahu.

c.) využitia družicového navádzania. Je to najrozšírenejší spôsob jeho nevýhodou je nižšia presnosť, ktorá je však kompenzovaná globálnym pokrytím.

d.) hybridného systému, ktorý využíva kombinácie výhod globálneho družicového navádzania a presnosti pozemných staníc.

3.3.2 Rozdelenie robotov podľa spôsobu pohybu

Roboty v poľnohospodárstve musia splňať mnoho funkcií, ktoré zabezpečia plynulý presun v rôznorodom prostredí. Terén v ktorom sa robot pohybuje veľakrát obsahuje rôzne prekážky v jeho naplánovanej trase, ktoré je potrebné prekonať bez bes nárazu alebo zaborenia sa čo by mohlo spôsobiť poškodenie alebo zničenie časti mobilného robota. Tato cesta je dopredu učená a naplánovaná pomocou modelu v ktorom sa bude

robot pohybovať. Väčšinou však tieto prekážky sú nepredvídateľné a preto je potrebné aby sa zabezpečil plynulý prechod alebo obídenie prekážky ktoré brania prechodu. Toto sa realizuje pomocou algoritmu ktorý preplánuje trasu mobilného robota. Nielen prekážky ktoré sú na naplánovanej trajektórii treba preplánovať ale aj nepredvídateľné nerovnosti terénu, ktoré dokážu zmariť plynulosť chodu poľnohospodárskeho mobilného robota. Aby bol schopný prekonávať takéto prekážky musí sa prispôbiť jeho mechanická konštrukcia k nerovnostiam terénu. Jednou z takýchto mechanických uprav je napríklad aj prispôbenie konštrukcie podvozku a trakčný návrh schopný utiahnuť aj predpokladaný náklad.

Podľa spôsobu pohybu po poli rozdeľujeme autonómne zariadenia na tri hlavné druhy, ktoré pre pohyb využívajú podvozok:

- kráčajúci
- kolesový
- pásový

Tieto podvozky nedokážu len zabezpečiť prechod určitými nerovno stany terénu ale taktiež sa do určitej miery podieľajú na stabilite celého systému. Pre zabezpečenie tejto stability je potrebné aj dokonale poznať mechanické a konštrukčné vlastnosti robotického systému a jeho konštrukcie podvozku ale aj rozmiestnenie hmotnosti po celom jeho subsystéme.

Hlavným dôvodom poznania konštrukcie mobilného rota a jeho súčasti umožňujúcich pohyb po rôznych terénnych nerovnostiach je potrebné zabezpečiť plynulú priechodnosť, manévrovateľnosť a hlavne technológiu pracovného procesu. Väčšina mobilných strojov v poľnohospodárstve majú pašove a kolesové podvozky. Správny vyber optimálneho podvozku závisí od cyklu v ktorom bude robot robiť t.j. kontinuálny alebo prerušovaný ďalej na rozmeroch daného pracovného robota, pôsobiacich síl na konštrukciu stroja a mobilnosťou ktorá je potrebná na danom teréne.

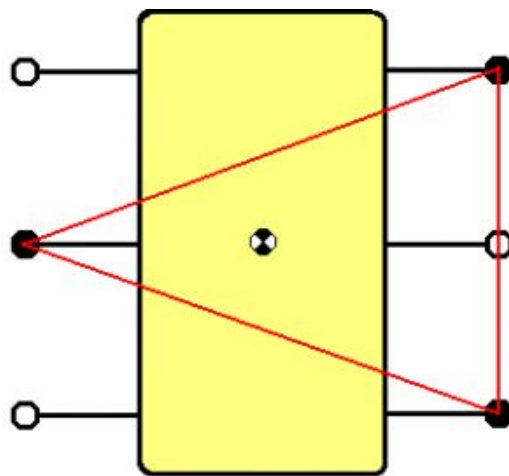
3.3.2.1 Kráčajúci podvozok

Zariadenia využívajúce pre pohyb po povrchu sústavu nôh sú vhodné všade tam kde je nežiaduce zanechávať koľajové stopy. V súčasnosti sú kráčajúce systémy v oblasti mobilnej servisnej robotiky druhou najrozšírenejšou alternatívou riešenia subsystému mobility po kolesových podvozkoch. Oproti kolesovým a pásovým systémom majú niekoľko výhod, ktoré im umožňujú praktické využitie v tam, kde iné typy podvozkov

nie je možné aplikovať. Na pohyb v zložitom teréne sú vhodné predovšetkým kráčajúce systémy. Tie sú schopné prekonávať prekážky, v teréne sa pohybovať bez poškodzovania prostredia, obvykle sú schopné pohybovať sa v ľubovoľnom smere a pod. Vzorom pre kráčajúce robotické systémy sú biologické systémy. Z toho vyplývajú dvojnohé, štvornohé a viacnohé systémy. Obvyklý je párný počet nôh. Boli však postavené robotické systémy s nepárnym počtom „končatín“.

Aplikácie týchto systémov sú veľmi široké. Ide o inšpekčné roboty, o roboty na prácu v lese, na pohyb v členitom teréne, pohybujúce sa na piesku a pod. Kolesové alebo pásové podvozky majú oproti kráčajúcim výhody v rýchlosti pohybu, rovnomernosti pohybu, v statickej stabilite systému, menšej spotrebe energie a pod. Kráčajúci robot je staticky stabilný ak je jeho stabilita zachovaná v každom časovom okamihu jeho pohybu. Formálne môžeme povedať že statická stabilita je zaistená ak je projekcia ťažiska robota vo všetkých časových okamihoch vo vnútri konvexného polygónu definovaného nohami, obr 1 ktoré sa aktuálne dotýkajú podložky. Ak je u robota zaistená statická stabilita má výhodu v tom, že sa nemôže prevrhnúť ani pri chybách vzniknutých pri nevhodnom synchronizovaní pohybu jednotlivých končatín, alebo pri nerovnakom kontakte končatín s povrchom vplyvom nerovnosti povrchu, či dokonca pri uviaznutí niektorej končatiny.

Ak je robot udržiavaný v riadenej chôdzi a pritom neodpovedá definícii statickej stability, hovoríme, že ide o stabilitu dynamickú. Je teda evidentné že pre dynamickú stabilitu medzi staticky stabilnými momentmi je nutné využiť zotrvačnosť hmoty, čo zvyčajne znamená komplikácie pri návrhu a tvorbe kráčajúceho mechanizmu.



Obr. 1 Usporiadanie staticky stabilnej konštrukcie kráčajúceho mobilného robota (Kostroš, 2009)

Pri šesť a viacnohých robotoch nie je potrebný presun ťažiska aby boli staticky stabilné, je to dané ich konštrukciou. Statická stabilita je jednoduchšia pri prevedení, ale limituje postavenie tela robota, maximálnu rýchlosť a rozsah pohybu.

Výhody kráčajúcich robotov:

- Môžu prekonávať relatívne vysoké prekážky.
- Môžu sa pohybovať po schodoch hore a dole.
- Môžu prekonávať priehlbiny a priekopy, pohybovať sa po extrémne členitom povrchu a zdolávať príkre svahy.
- Môžu sa plynulo pohybovať po značne nerovnom teréne pomocou nastaviteľnej výšky tela nad povrchom terénu a to zmenou natiahnutia (vysunutie, zdvihnutie) nohy a vyrovnávať tak vlnitosť povrchu.
- Nohy sa menej zabárajú do povrchu a spôsobujú menšie poškodenie podložia ako kolesové a pásové podvozky.

Nevýhody kráčajúcich robotov:

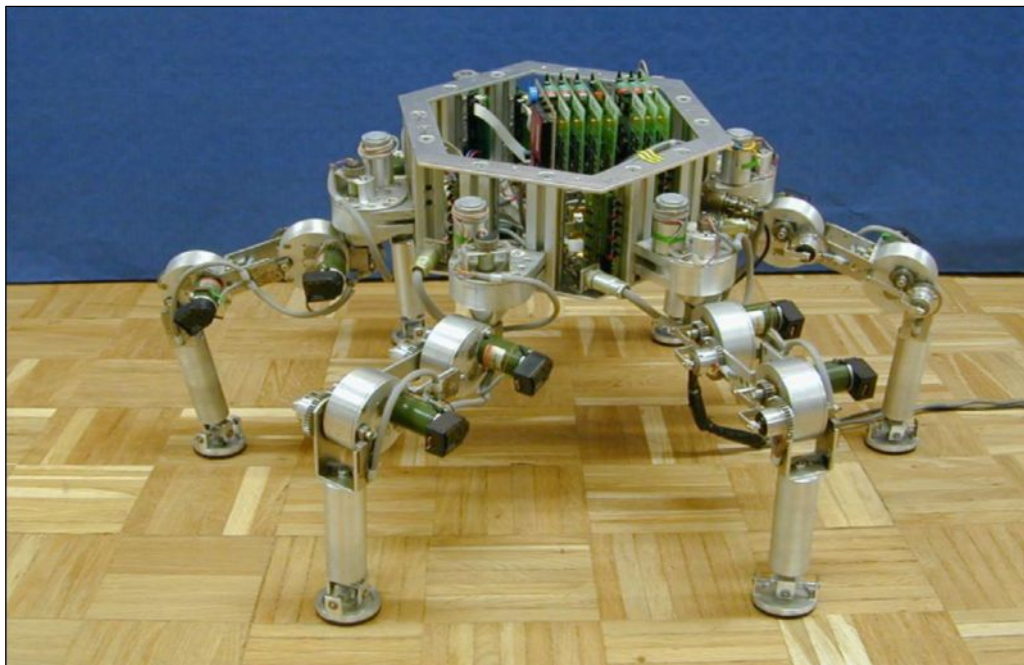
- Vyšší počet nezávisle riadených stupňov voľnosti.
- Vyšší počet akčných členov (pohony, prevody, senzory).
- Zložitejší riadiaci systém.
- Nutnosť dodávať energiu po dávkach do rôznych miest.
- Malá energetická účinnosť.
- Výrobná náročnosť.
- Zložité oživovanie.
- Nízka nosnosť.
- Vysoká hmotnosť.

Statická a dynamická stabilita pri kráčaní

Stabilita kráčajúceho robota závisí od množstva aspektov, hlavne od počtu nôh, ich vzájomnej pozície a ich pozícií k telu, od počtu stupňov voľnosti tela a od počtu stupňov voľnosti jednotlivých nôh.

Staticky stabilný systém vyžaduje, aby v kontakte s podložkou boli vždy najmenej 3 nohy, a aby ťažisko dopadalo do podporného polygónu. Pri šesť a viacnohých robotoch nie je potrebný presun ťažiska (pri nekontinuálnej chôdzi). Pri štvornožných robotoch je

nutné ťažisko pri chôdzi presúvať tak, aby stále dopadalo do podporného polygónu. Pokým sa telo robota podopiera menej než troma nohami, degeneruje sa podporný polygón na úsečku alebo na bod. V takejto situácii je systém dynamicky stabilný za predpokladu, že sa nachádza v rovnováhe. Pokiaľ sa má vždy zachovať statická stabilita, je systém silne limitovaný čo do rýchlosti a manévrovateľnosti. Dynamická stabilita je vždy nutná pre dvojnohé (existujú prípady dvojnohých robotov, pri ktorých nie je nutná dynamická stabilita, ak robot kráča pomaly) a jednoohé roboty, ale nie je nutná pre viacnohé roboty. Dynamická stabilita je čo do rýchlosti veľmi výhodná a žiaduca. Dynamická stabilita je však z hľadiska riadenia oveľa zložitejšia, je totiž nutné permanentne riadiť pohyb všetkých nôh tak, aby bola zachovaná stabilita.



Obr. 2 Robot Katharina (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2005)

Napriek nesporným výhodám tohto podvozku pri prekonávaní rôznych terénnych nerovnosti je malo využívaný pre svoju ekonomickú náročnosť.

3.3.2.2 Kolesový podvozok

Na trakčné vlastnosti kolesových strojov vplývajú tri základné faktory:

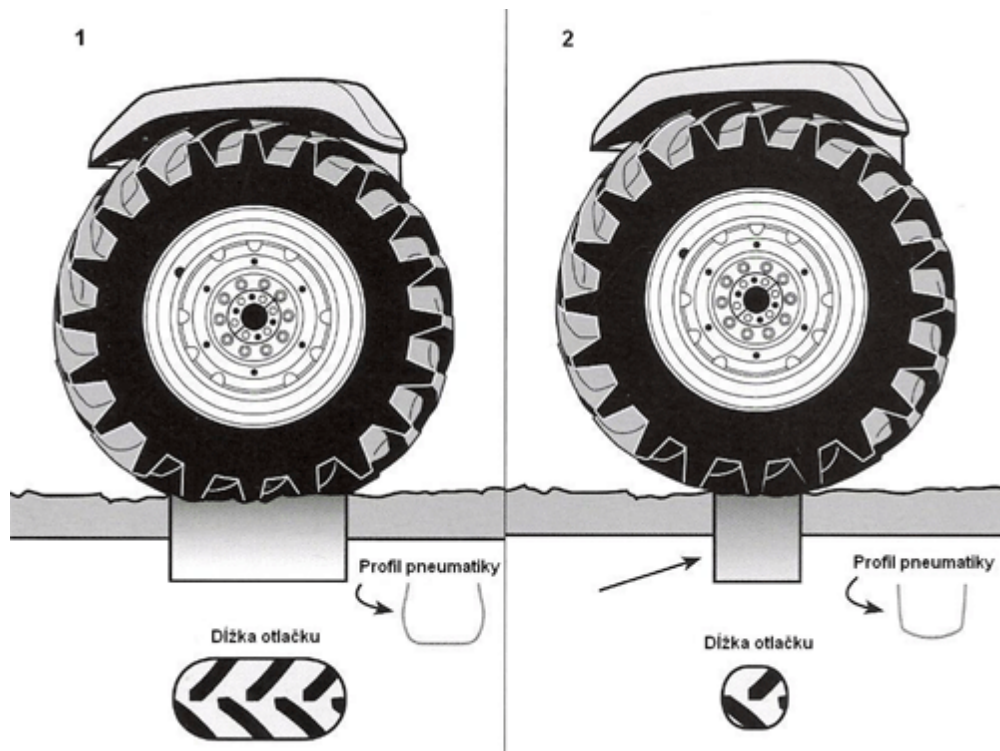
1. výber vhodného typu pneumatiky,
2. správne rozloženie hmotnosti,
3. tlak hustenia pneumatiky.

Tieto uvedené faktory a ich vzájomná súhra umožňuje plnohodnotne využitie energie motora používaného pri práci a dosiahnutie vysokého výkonu v ťažkých podmienkach pri prácach v poľnohospodárstve.

Takže v jednoduchosti je možné konštatovať že špičkovú výkonnosť traktora je možné dosahovať pri správnom výbere, správnomu doťažení a správnomu hustení pneumatík. Keď obsluhujúci pracovník venuje dostatočnú pozornosť týmto uvedeným faktorom tak je možné dosiahnuť tieto výhody:

- zvýši sa hnací výkon prenášaný z hnacích kolies na podložku po ktorej sa pohybuje traktor
- zníženie spotreby paliva a zvýšenie hospodárnosti paliva
- zlepšenie ťahových podmienok
- podstatne zníženie utlačenej pôdy, čo sa odzrkadlí na vyššej úrodnosti poľnohospodárskych plodín a prejavia sa aj lepšie vlastnosti pôdy
- obsluha traktora má podstatne pohodlnejšiu jazdu
- v neposlednom rade je zlepšenie manérovateľnosti a stability vozidla

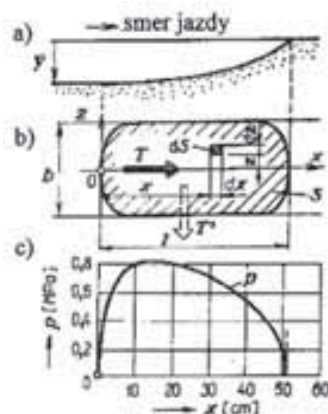
Kolesové podvozky a trakčné vlastnosti kolies s pneumatikou dochádza k hysteréznym stratám a to následkom deformácie a na niektorých miestach aj trecích strát na dosadanej ploche pneumatiky na mäkkej pôde. Týmto sa zmení aj profil odtlačku pneumatiky v pôde.



Obr. 3 Vplyv hustenia pneumatiky na veľkosť kontaktnej plochy (Nozdrovický, 2009)

1 - správne nahustená pneumatika umožňuje dosiahnuť väčšiu plochu otláčku, čím sa vytvárajú predpoklady pre prenos väčšieho výkonu a menšie utlačanie pôdy

2 - nesprávne (nadmerne) nahustená pneumatika má menšiu kontaktnú plochu, čo zhoršuje trakčné vlastnosti traktora



Obr. 1 Plocha otláčenja pneumatiky a rozloženie tlakov (Danko a kol., 2006)

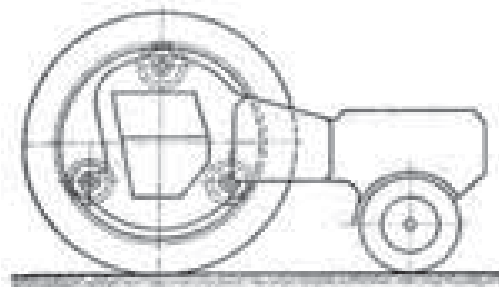
Kontaktný tlak pneumatiky na tuhej podložke sa približne rovná tlaku nahustenej pneumatiky. Pri pružnej podložke však bude rozdelenie tlakov úplne iné. Tvar otláčenia je zrejmý z obr. 1b. Povrch tvorí priestorová plocha málo zakrivená, preto ju môžeme pri výpočtoch nahradiť rovinným obrazcom. Šöne zisťoval priebeh kontaktného tlaku p v pozdĺž otláčenia l v pozdĺžnej rovine symetrie pneumatiky. Výsledný priebeh tlaku je na obr. 1c. Hĺbka zaborenia y (obr. 1a), spôsobená kontaktným tlakom p_z, pôsobiacim na povrch zeminy, sa určuje z Bernsteinovej rovnice:

$$P_z = k_z \cdot y^n \quad (1)$$

Pri priamej jazde má reakcia T smer naznačený na obr. 1b. Keď je však koleso nútené posúvať sa po zemine bočne, napríklad pri jazde prudkou zákrutou, potom reakcia má smer naznačený čiarkovane. Z pohľadu teramechaniky základná úprava kolies je podmienená zmenou jeho rozmerov, čím bude väčší priemer a šírka plášťa, tým sa bude pneumatika viac deformovať, čo spôsobí zväčšenie dotykovej plochy kolesa s terénom, tzv. Otláčenie pneumatiky. Zmenou šírky kolies sa ovplyvňuje aj oblasť pôsobenia na pôdu. Čím širšie koleso, tým menší tlak na pôdu, ktorý ovplyvňuje väčšinu plochy pôdy. Preto je výhodnejšia zmena priemeru kolesa na úkor jeho šírky.

Z tohto podkladu vychádzal aj Bekker (Danko a kol., 2009) pri návrhu optimálneho traktora (obr. 2) s veľkorozmernými kolesami. Veľkosť stykovej plochy zväčšuje aj radiálna deformácia pneumatiky a borení pneumatiky v teréne. Radiálnou deformáciou sa plocha pneumatiky predĺži a rozšíri. Túto plochu môžeme ovplyvniť zmenou hustenia pneumatiky.

V súčasnosti systém CTIS - centrálny systém ovládania tlakov v pneumatikách a s automatickým dopĺňaním vzduchu počas jazdy do ktorejkoľvek pneumatiky zvyšuje univerzálnosť terénneho použitia viacerých vozidiel (napr. terénne vozidlo Hummer z



Obr. 4 Bekkerova schéma optimálneho traktora (Danko a kol., 2009)

dielne americkej firmy General Motors). Napriek svojim nedostatkom (zvýšenie odporu valenia, opotrebenie plášt'a, potreba rozvodu vzduchu k jednotlivým kolesám, obmedzená účinnosť) je tento systém jedným z prvých poloautomatických systémov s poloautomatickým riadením veľkosti trakčných odporov vozidla, ktoré priamo počas jazdy zvláda prechod medzi upraveným podložím a terénom. Špeciálne vozidlá pre jazdu na zasnežených pláňach, rozmočenom aj barinatom teréne, v púšti a konečne na mesačnom povrchu, používajú na zlepšenie trakčných vlastností rôzne kolesové nadstavce, ktoré sa upevňujú na disk alebo behúň kolesa pred vstupom do terénu (napr. Snehové reťaze, reťaze pre lesné a zemné stroje, kolesové pásy, „vyprost'ovacie šliapadlá“, ktoré boli s veľkým úspechom využívané pri vozidle Tatra v ťažkom púštnom teréne pri pretekoch Rallye Paríž — Dakar). Častou úpravou terénnych vozidiel je dvoj- alebo aj trojmontáž kolies.

Najčastejšie používaným spôsobom pohybu autonómneho zariadenia po pôde sú kolesové zariadenia. Tieto sú vyhotovené buď ako zariadenia s hnacou a hnanou nápravou alebo ako zariadenia s nezávislým pohonom a prípadne aj riadením všetkých kolies.

Tieto kolesá môžu byť vyhotovené:

- s drážkami po obvode
- s výstupkami
- s gumovým povrchom.

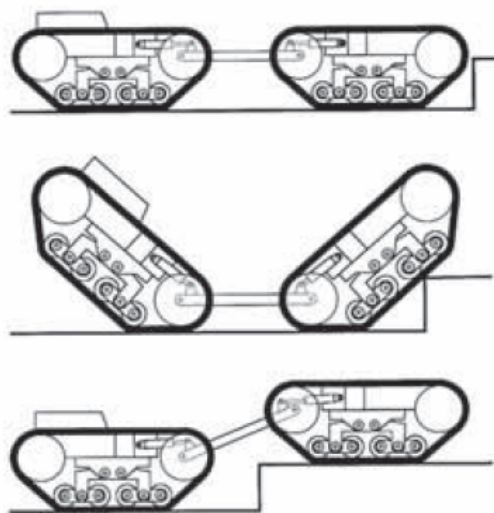


Obr. 5 Odburiňovací robot na cukrovú repu (Precision Agriculture 2005)

3.3.2.3 Pásový podvozok

Pásovú autonómne zariadenia sa používajú pre zvýšenie styčnej plochy s povrchom na miestach kde sa vyskytuje vlhkejšia pôda.

Pásovú mobilné stroje dosahujú vysokých ťahových síl s využitím celkovej hmotnosti vozidla, čo im umožňuje lepšie využívanie maximálneho výkonu motora. Vďaka veľkej stykovej ploche pásov s pôdou sa dosahuje malého merného tlaku na pôdu a zlepšujú sa ťahové vlastnosti oproti kolesovým vozidlám. Zníženie riadiacich odporov je možné aj delením pojazďového ústrojenstva na viac pásových jednotiek, pretože delením stykovej plochy sa znižujú momenty odporu zatáčania. Toto usporiadanie pojazdu umožňuje aj výhodnejšie kopírovanie terénu, čo značne zlepšuje priechodnosť vozidla v teréne. Riadenie je podobné ako pri kolesových vozidlách natáčaním riadiacich pásov, alebo pomocou zlomovacieho rámu. Konštrukcia pripojenia pásov väčšinou umožňuje jednoduchou montážou výmenu za kolesá a opačne. Japonský výskumný inštitút (Forestry and Forest Products Research Institute) na medzinárodnom sympóziu automatizácie a robotizácie v bioprodukcii a spracovateľskom priemysle v roku 1995 v Tokiu predstavil výsledky projektov návrhu podvozkov lesných strojov pre ťažko dostupné terénne podmienky (Obr. 6). Špeciálna úprava klbového prepojenia pásových jednotiek umožňuje okrem riadenia aj modifikáciu pojazdu v členitejšom teréne, ktorý by bol pre ostatné mobilné pracovné stroje nedostupný. Prvým z nich je pojazd, ktorého klbové prepojenie dvoch dvojpásových jednotiek umožňuje okrem samostatného natáčania aj modifikáciu nábehového uhla.

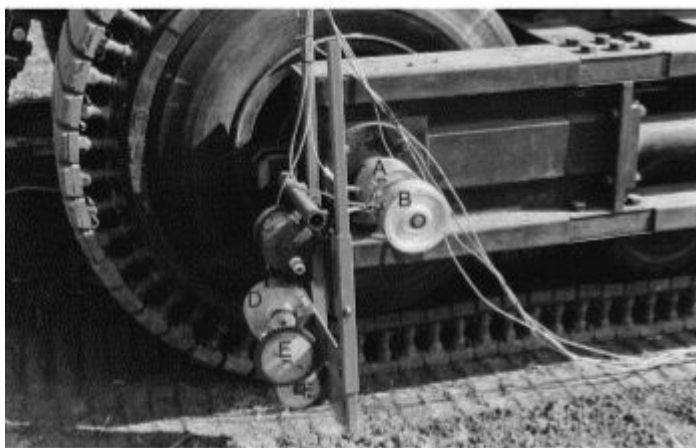


Obr. 6 Prekonávanie prekážky vozidlom PATV (Podvozky mobilných pracovných strojov 2006)

Druhým návrhom je trojité kĺbové prepojenie dvojpásových jednotiek, ktoré umožňuje zlepšenie kopírovania aj členitejšieho terénu. Konceptie podvozkov mobilných pracovných strojov smerujú k neustálemu zlepšovaniu kontaktných pomerov, t.j. Lepšej priechodnosti terénom, zníženia škodlivého vplyvu na životné prostredie (devastáciu terénu) a zabezpečujú využiteľnosť vozidla pri jeho hospodárnej spoľahlivej prevádzke.



a



b

Obr. 7 Allis Chalmers 8070 tractor (University of Pretoria 2006)

Je možné sledovať návrat k využívaniu princípov, ktoré sa síce vyskytovali na pojazdoch aj v minulosti, ale ich využitie bolo zriedkavé, resp. Obmedzené len na špeciálne aplikácie. Vďaka výraznému zvýšeniu využitia optimalizačných metód pojazdových konštrukcií a pokroku v oblasti pohonov pojazdov je možné nielen využiť,

ale aj inovovať tieto princípy a získať tak riešenia zodpovedajúce požiadavkám na moderné mobilné pracovné stroje.

Využitie pásových podvozkov

V tejto časti sa budeme zaoberať Experimentálnym pásovým traktorom, založeným na Allis Chalmers 8070 traktore /141 kW /, ktorý bol skúšaný na betóne pokrytej ploche a na kultivovanej piesočnej hline s obsahom vody 7,8; 13 a 21%. Dva článkovité pásy /500 mm šírka x 2000 mm kontaktná šírka s pôdou/ boli skonštruované z 500 mm dlhých a 70 mm širokých gumou pokrytých oceľových častí, ktorých držalo pohromade 5 oceľových lán s priemerom 36 mm. Pásy nedovoľovali vnútorný odklon ale umožňovali vonkajšie členenie medzi dvomi hladkými zadnými hnacími a dvomi hladkými prednými kolesami s priemerom 1060 mm na pás. Styčný tlak a ťažná sila na prvku pásu, takisto ako celkový točivý vstup na pás boli súčasne zaznamenané počas testov v šmyku a ťažnej sily.

Profily s rôznymi možnosťami tlakového rozloženia pod pásmi boli porovnávané so zaznamenanými údajmi. Navrhnuté sú 2 trakčné modely, jeden konštantný tlakový model pre minimálne vnútorné vychýlenie pásu a deformačný pásový model s vnútornou odchýlkou a vyšším styčným tlakom na oboch predných a zadných hnacích kolesách. Na oboch modeloch bola trakčná sila generovaná hlavne gumou, príľnavosťou a obmedzená sklonom terénu. Bola spozorovaná tesná zhoda medzi nameranými a predpokladanými styčnými tlakmi a trakčnou silou pre jednotlivé časti pásu, založená na modeli deformačného pásu. Zaznamenaný a prepočítaný koeficient trakcie založený na súhrne sily pre série pásových elementov boli porovnateľné ale boli značne nižšie ako predpovedané hodnoty, pravdepodobne kvôli zapusteniu. Trakčná účinnosť pre oba (mäkký aj tvrdý) pôdny povrch bola takisto neprijateľne nízka, pravdepodobne kvôli vnútornému pásovému treniu.

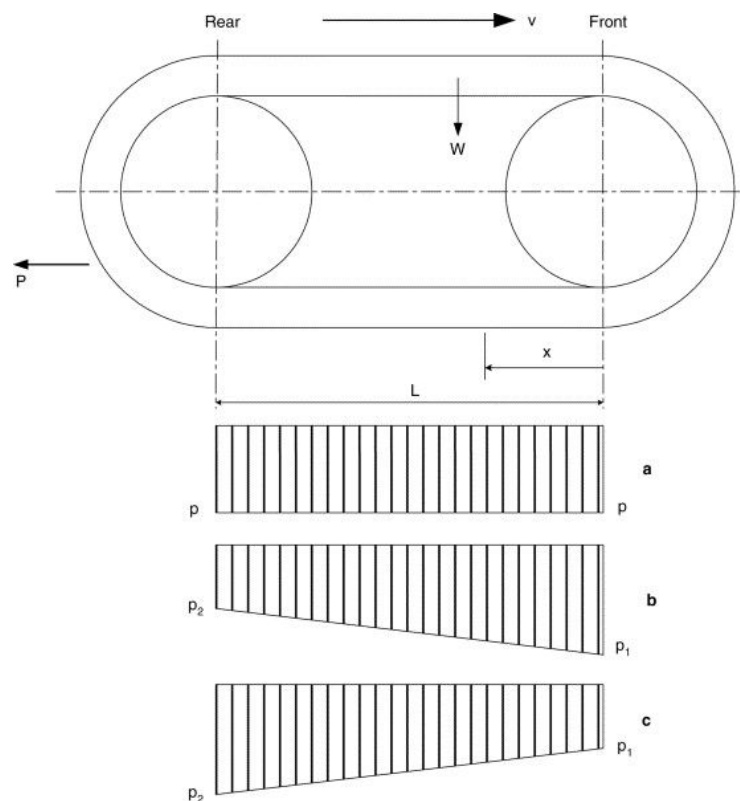
Gumené pásy alebo gumou pokryté oceľové pásy kombinujú výhody kolies a konvenčných oceľových pásov. Ponúkajú nižší hluk a nižšiu úroveň nebezpečných vibrácií pre operátora, sú spravidla jednoducho konštruované a môžu byť použité na asfaltové cesty bez poškodenia povrchu ciest taktiež vo vyšších rýchlostiach. Avšak súčasný gumový pásový aparát je náchylný k poškodeniu a keď sa poškodí, celý pás musí byť vymenený. Vodiace valčeky na gume a oceľovom páse vedú k vysokým styčným tlakovým vrcholom a stlačovaniu pôdy.

Analýza pre rôzne módy tlakového rozloženia

Wills (1963) vo svojej analýze konštatuje, že rozloženie kontaktného tlaku zapríčiňuje rozvoj trakčnej sily. Predpoklad rozloženia kontaktného tlaku je životne dôležitý v analytickom trakčnom rozdeľovaní pre kolesá a pás.

Úvodný projekt prototypového pásu sa zameriava na správanie takmer rovnakého rozloženia styčného tlaku s aplikovanou ťažnou silou (Obr. 8a).

Ťažisko testovacieho traktora sa nachádzalo pred stredným bodom pásu, s lichobežníkovou distribúciou styčného tlaku, keď traktor stál (Obr. 8b). Špeciálne masy boli použité k zaťaženiu pásu vpredu (Obr. 8c). So zvyšujúcou sa ťažnou silou poklesla hodnota styčného tlaku na konci pásu vpredu s nárastom na zadku, dosiahnutím skoro rovnakého rozdelenia styčného tlaku v špecifickej ťažnej sile alebo prevrátený lichobežník pre maximálny ťah.

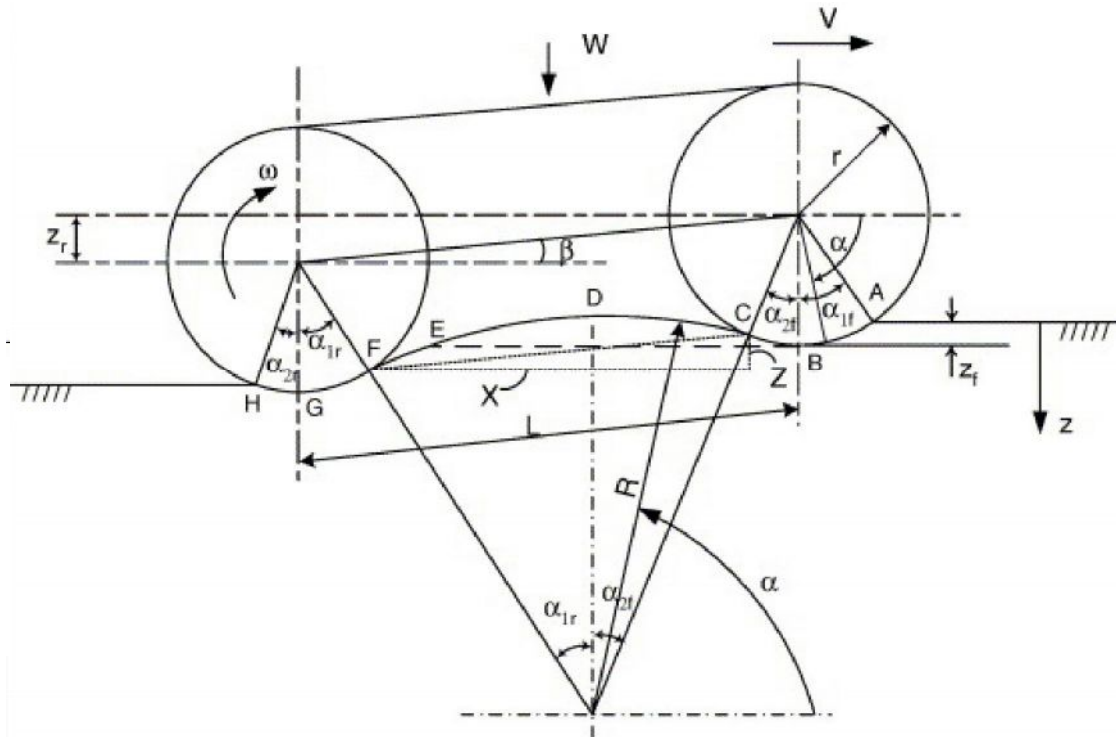


Obr. 8 Idealizované tlakové rozdelenie pre jednu koľaj a, zaťaženie takmer rovnakou styčnou silou b, styčný tlak keď traktor stojí na mieste c, zaťažený pred traktorom doplnkovým závažím (Bakker 2006)

Flexibilný pásový model

S nedostatočným pnutím a/alebo opotrebením pásu sa pás odkloní hore, keď sa dostane do kontaktu s povrchom pôdy. Pás a pretvorená pôda môže byť rozdelená na 2 typické segmenty:

Jeden v kontakte s kolesami a terénom, tak ako segmenty ABC a FGM na obr. 5



Obr. 9 Kruhový segment CDEF v kontakte s terénom (Bakker, 2006)

Prípona indikuje íty segment, ktorý má dĺžku pásu l_i so vstupným uhlom α_{i-1} a výstupným uhlom α_i . Sklz rýchlosti hocijakého bodu na povrchu interakcie pásu a pôdy závisiaceho od povrchu terénu je tangenciálna zložka absolútnej rýchlosti .

Modelovací postup pre model s flexibilným pásom

Pre model flexibilného pásu pokles predných kolies je počítaný na základe Bekkerovej (1969) rovnice poklesu predných kolies. Pokles zadných kolies sa chápe ako rovnosť poklesu predných kolies kým je zaťaženie zvyšované, čo je spôsobené presunom váhy, čo zapríčiňuje pokles zadných kolies. Uhol sklonu sa tiež berie na vedomie.

Flexibilný model pre pásovo-pôdnu interakciu

Nahromadený tlak predných kolies musí byť dosť vysoký pre prenos točivého momentu trením guma - guma, umožňujúci prácu kolies v tuhom režime. Pre tuhé kolesá na jemnom teréne, pokles predných a zadných kolies môže byť predpovedaný na základe

analýz pre tuhé kolesá a jemný terén podľa Bekkera (1969). Polomer R deformovaného pásu závisí od výstupného uhla predných kolies a na vstupnom uhle zadných kolies, vzdialenosťou medzi prednými a zadnými kolesami a priemerom kolesa. Wong (1989) naznačil, že vstupný a výstupný uhol pre pneumatické koleso sa vzťahuje a riadi reakciou na opakované kolmé zaťaženie.

Výstupný uhol predného kolesa má byť menší než hodnota počítaná v prípade pneumatického kolesa. Kvôli faktu, že odraz terénu je obmedzený napnutím pásu.

Karafiath a Nowatzki (1978) predpokladali výstupný uhol 10 stupňov a vstupné uhly 30-60 stupňov. Na základe tohto vzťahu sa výstupný uhol chápe ako 1/3 vstupného uhla.

Pre pásovú styčnú plochu rozdelenú do n- sekcií s odlišnými konfiguráciami, založených na rovnováhe.

Styčný tlak v každom bode vplývajúceho povrchu bol založený na vzťahu poklesu tlaku predpokladaného Bekkerom (1960).

Predpokladaný odpor pohybu

Aby sa zabránilo vtieraniu blata do trecieho povrchu pásu/kolesa, okraj trecieho povrchu pásového prototypu bol umiestnený 150-200 mm nad úroveň pôdy. Pohybový odpor medzi pásom a topografickým povrchom je hlavne kvôli hustote pôdy pod pásom.

3.3.3 Porovnanie kolesových a pásových systémov

Problematika výberu kolesových alebo pásových systémov pre prácu v teréne bola predmetom diskusií po dlhý čas. Súčasný záujem na vývoj strojov pre rýchle nasadenie ozbrojených zložiek dal nové impulzy k tejto diskusii. Podstatné analýzy na tému porovnania kolesových a pásových strojov boli zverejnené predovšetkým vo vedeckých publikáciách Journal of Terramechanics. Základným zámerom prác bolo porovnanie trakčnej sily kolesových a pásových vozidiel. Ďalej sú objasňované v základnej rovine hlavné rozdiely medzi kolesom a pásom. Sú identifikované základné faktory, ktoré spôsobujú podstatu trakcie kolesových a pásových strojov. Základom myšlienky je porovnanie viacnápravového kolesového vozidla s pásovým. Porovnanie je založené na dvoch počítačových simuláciách.

Simulačné počítačové modely:

- pre kolesové,
- pre pásové vozidlo.

Napríklad: kolesové vozidlo s pohonom 8x8 pripadajúce ako ľahké obrnené vozidlo bude porovnávané vo svojej pohyblivosti na rôznych povrchoch vozidlom s pásovým pohonom, ktoré je podobné pásovému transportéru. Komplexné porovnanie daných konštrukcií v náročnom prostredí nezahŕňa len ich silu, výkon, stabilitu smeru vedenia a iné charakteristiky, ale aj posúdenie ich nákladov (náklady na celú životnosť stroja), spoľahlivosť, údržbu, atď. Na vyhodnotenie sa použije metóda systémovej analýzy. Táto štúdia je zameraná analýzou základných faktorov, ktoré určujú trakciu vozidiel (stroje určené na prácu v mäkkom teréne).

Analýza trakcie strojov pásovým alebo kolesovým podvozkom

1. šmykové charakteristiky na teréne – preklzovanie podvozku na teréne je jedna z najdôležitejších podmienok trakčnej sily.

Preklz sa pre naše účely dá vyjadriť vzorcom navrhnutým Janosim a Hanamoto (1992) podľa Wonga – Weia (2006):

$$s = s_{\max}(1 - \exp(-j/K)) = (c + p \tan \phi) (1 - \exp(-j/K)) \quad (2)$$

2. Pre stroj s kolesovým podvozkom – sa predpokladá, že koleso má plochú dotykovú plochu s rovnomerným dotykovým tlakom pričom váha vozidla je rovnomerne rozložená na všetky kolesá, kde môžeme vyjadriť hrubú trakciu F_{ti} , vyvinutú n_{ti} kolesami pri danom pošmyknutí i môže byť vyjadrená ako:

$$F_{ti} = n_{ti}[c b t_i L_{ti} + \{W/n_{ti}\} \tan \phi] (1 - \exp(-i L_{ti}/K)) \quad (3)$$

3. Pre stroj s pásovým podvozkom – kde sa predpokladá, že pásy na pásovom stroji majú v zásade plochú a obdĺžnikovú styčnú plochu s rovnomerne rozloženým tlakom s tou istou kontaktnou dĺžkou L_{tr} , zaťaženie vozidla je rovnomerne distribuované pozdĺž pásov, potom hrubá trakcia F_{tr} vyvinutá pásovým vozidlom s n_{tr} pásmi v danom pošmyknutí i môže byť vyjadrená ako:

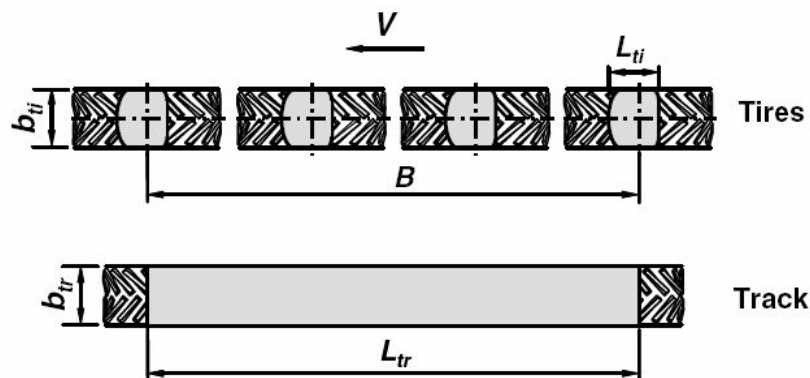
$$F_{tr} = n_{tr}[cb_{tr}L_{tr} + (W/n_{tr}) \tan(\phi)](1 - \exp(-iL_{tr}/K)) \quad (4)$$

4. Porovnanie trakcie kolesového stroja s pásovým strojom

Obrázok (Obr. 10) nižšie znázorňuje schému štyroch kolies na jednej strane kolesového vozidla s pohonom 8x8. Táto schéma môže byť použitá ako príklad na porovnanie trakcie kolesového a pásového vozidla. Predpokladá sa, že rázvor kolesového vozidla B, je ten istý ako dĺžka pásu L_{tr} pri pásovom vozidle. Predpokladá sa aj rovnaký odstup medzi pneumatikami vozidla s pohonom 8x8 kolesového vozidla. Na základe tejto schémy sa dá určiť efektívnosť kolesového pohonu pomocou pomeru trakcie.

Pomer výsledku kolesového vozidla k pásovému vozidlu, nazývaný výsledný pomer, môže byť vyjadrený ako:

$$F_{tr} = n_{tr}[cb_{tr}L_{tr} + (W/n_{tr}) \tan(\phi)](1 - \exp(-iL_{tr}/K)) \quad (5)$$



Obr. 10 Pomer styčnej plochy pásového a kolesového podvozku (J.Y. Wong, W. Huang, 2006)

Predpokladá sa teda, že:

-šírka kolies je zhodná so šírkou pásu: $b_{ti} = b_{tr} = 0,38$ metra,

-vzdialenosť prvého a posledného kolies kolesového vozidla je rovnaká s dĺžkou styčnej plochy pásu L_{ti} , $L_{tr} = B = 3,3$ metra,

-vonkajší priemer kolies je $0,984$ metra, to je zhodné s typom kolies 325/85R16,

- ťažové zaťaženie vozidla W je 110,57 kN,
- preklz je 20% pre oba typy vozidiel.

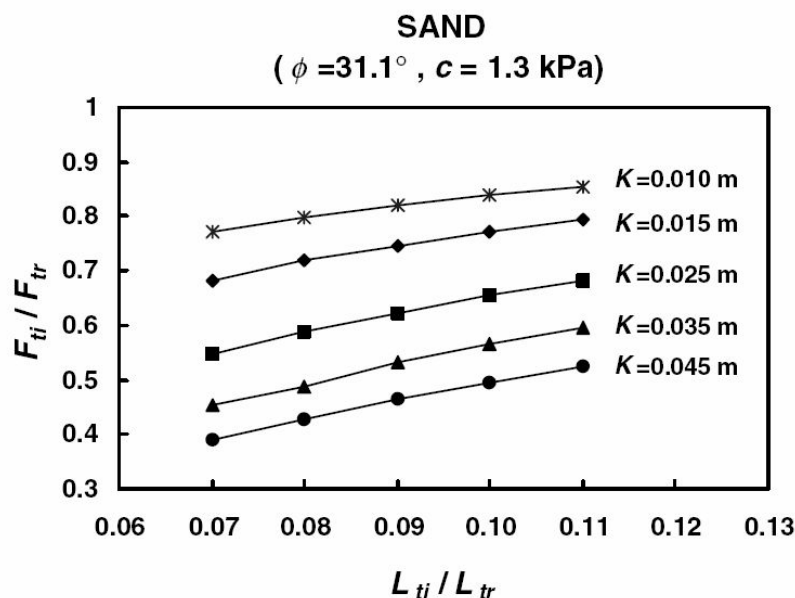
Na základe týchto predpokladov sa hodnotí celkový pomer trakcie kolesového podvozku k pasovému podvozku F_{ti}/F_{tr} pri kontaktnom dĺžkovom pomere L_{ti}/L_{tr} a šmykovom deformačnom parametri terénu K na týchto 4 typoch pôdy:

- piesok
- íl so strednou vlhkosťou
- íl s vysokým obsahom vlhkosti
- hlina.

Z výsledkov možno vidieť, že pomer F_{ti}/F_{tr} je vždy nižší ako 1, pri relatívne vysokom pomere kontaktnej dĺžky $L_{ti}/L_{tr} = 0,11$, ktorý zodpovedá nahusteniu pneumatík tlakom 100 kPa pre kolesá 325/85R16.

Porovnávaním boli zistené nasledovné výsledky:

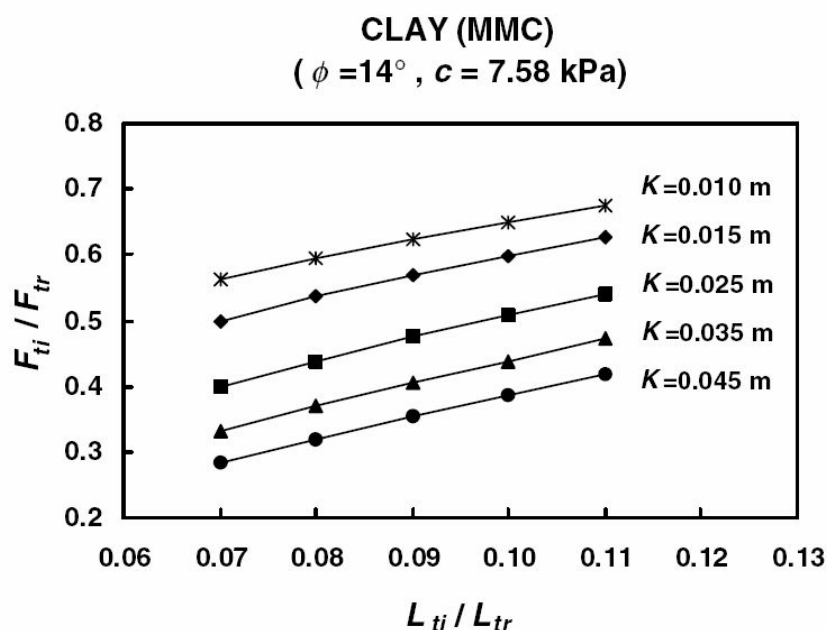
a. pre piesočnatú pôdu



Obr. 11 Pomer trakcie kolesového podvozku k pasovému podvozku s 20% preklzom pri rôznych pomeroch kontaktných dĺžok kolies a pásov na piesku (Wong - Huang, 2006)

Napríklad pri pieskovom povrchu s hodnotou šmykového deformačného parametra terénu $K = 0,0015 \text{ m}$ a pomerom kontaktnej dĺžky $L_{ti}/L_{tr} = 0,11$, celkový pomer F_{ti}/F_{tr} bude $0,792$, čo znamená že účinnosť vyvinutá kolesovým vozidlom s pohonom 8×8 voči pásovému vozidlu pri 20% preklze je len $79,2\%$.

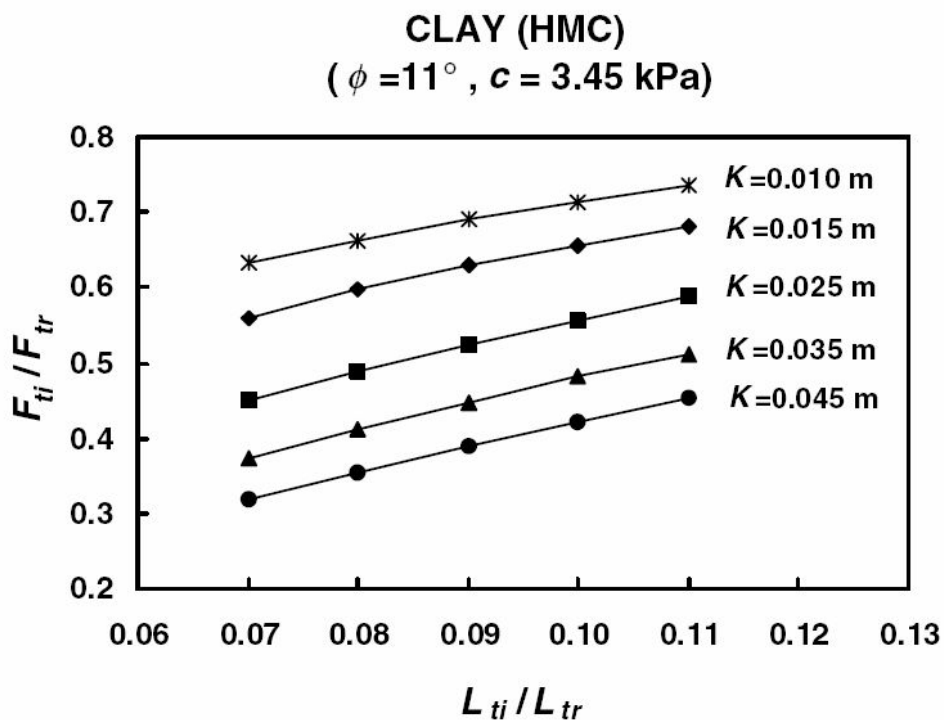
b. pre ílovitú pôdu so strednou hodnotou vlhkosti



Obr. 12 Pomer trakcie kolesového podvozku k pásovému podvozku s 20% preklzom pri rôznych pomeroch kontaktných dĺžok kolies a pásov na ílovej pode so strednou hodnotou vlhkosti (Wong - Huang, 2006)

Na ílovej pôde so stredným obsahom vlhkosti s $K = 0,025 \text{ m}$ a pomerom $L_{ti}/L_{tr} = 0,11$ bude hlavný pomer $F_{ti}/F_{tr} = 0,541$, čo znamená že účinnosť vyvinutá kolesovým vozidlom s pohonom 8×8 voči pásovému vozidlu bude $54,1\%$.

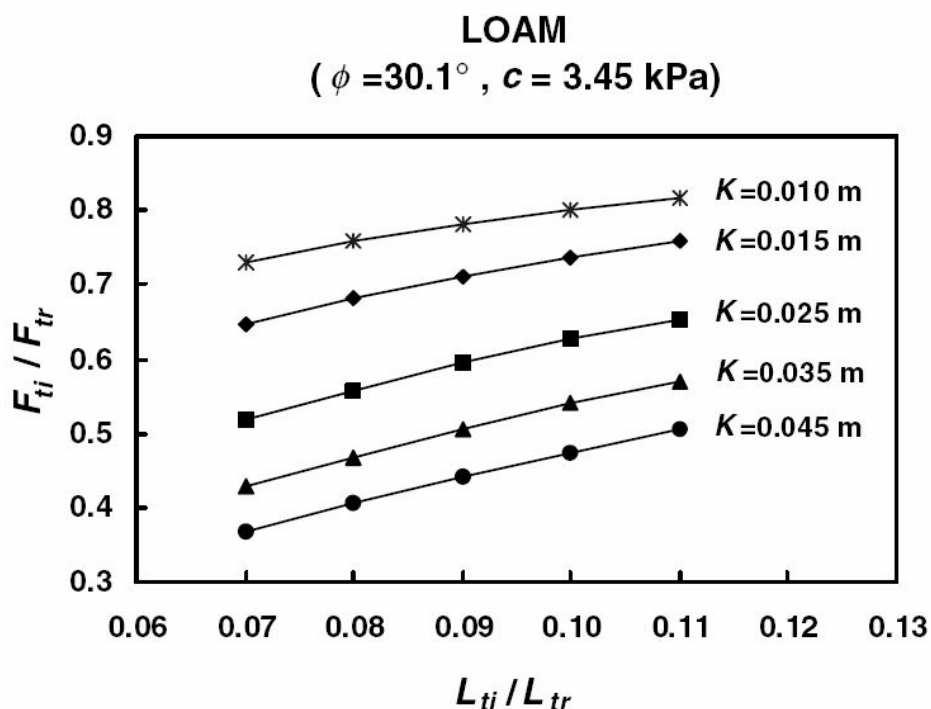
c. pre ílovitú pôdu s vysokou hodnotou vlhkosti



Obr 13 Pomer tracie kolesového podvozku k pasovému podvozku s 20% preklzom pri rôznych pomeroch kontaktných dĺžok kolies a pásov na ílovej pode s vysokou hodnotou vlhkosti (Wong - Huang, 2006)

Na ílovej pôde s vysokým obsahom vlhkosti s $K = 0,025$ m a pomerom $L_{ti}/L_{tr} = 0,11$ bude hlavný pomer $F_{ti}/F_{tr} = 0,588$, čo znamená že účinnosť vyvinutá kolesovým vozidlom s pohonom 8x8 voči pasovému vozidlu bude 58,8%.

d. pre hlinitú pôdu



Obr. 14 Pomer trakcie kolesového podvozku k pasovému podvozku s 20% preklzom pri rôznych pomeroch kontaktných dĺžok kolies a pásov na hline (Wong - Huang, 2006)

Na hline s $K = 0,045$ m a pomerom kontaktnej dĺžky $L_{ti}/L_{tr} = 0,11$ bude hlavný pomer $F_{ti}/F_{tr} = 0,504$, čo znamená že účinnosť vyvinutá kolesovým vozidlom s pohonom 8x8 voči pasovému vozidlu bude 50,4%.

Na záver možno spomenúť, že nižšia výsledná hodnota 8x8 kolesového vozidla oproti pasovému stroju je v prvom rade zapríčinená faktom, že kolesový stroj má o dosť kratšiu kontaktnú dĺžku.

5. Počítačové metódy pre vyhodnotenie trakčnej sily kolesového vozidla s pasovým vozidlom

Pod patronátom VSDC – Vehicle Systems Development Corporation (spoločnosť pre rozvoj vozidiel) boli vyvinuté tri počítačové metódy /počítačom simulované modely/, ktoré slúžia na realistické vyhodnotenie trakčnej sily kolesových a pasových vozidiel, sú známe ako:

-
- NWVPM - komplexný počítačový simulačný model pre vyhodnotenie výkonu terénnych kolesových strojov
 - NTVPM - komplexný počítačový simulačný model pre vyhodnotenie výkonu vozidiel s gumovým pásom
 - RTVPM - počítačový model pre výkonové ohodnotenie vozidiel/

NWVPM model berie do úvahy hlavné dizajnové parametre vozidla a pneumatiky, ktoré vplývajú na trakciu. Patria sem hlavne:

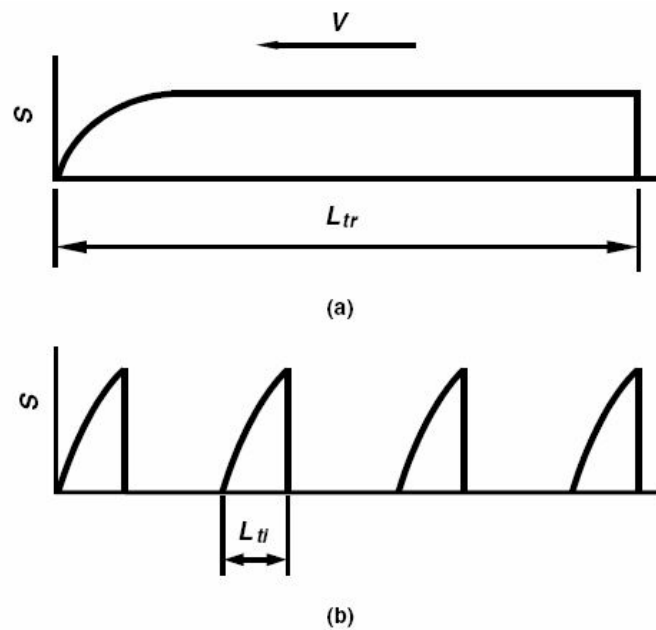
- váha vozidla
- umiestnenie ťažiska
- počet náprav
- typ nápravy (hnaná, nehnaná)
- zavesenie nápravy
- tuhosť nápravy
- priemer pneumatiky
- šírka behúňa pneumatiky
- výška prierezu
- výška výstupku
- šírka výstupku
- odstup výstupkov
- inflačný tlak
- konštrukcia pneumatiky (radial alebo bias).

NTVPM model je zameraný hlavne na armádne vozidlá – rýchle pásové vozidlá. Berie do úvahy hlavné dizajnové parametre vozidla a konštrukciu gumového pásu, ktoré majú vplyv na trakciu stroja s povrchom. Sú to hlavne:

- hmotnosť vozidla
- poloha ťažiska
- konfigurácia pásového systému
- počet kolies

- veľkosť a odstup kolies
- veľkosť a umiestnenie zubov na kolese
- rozmery a umiestnenie hnacieho koleša.
- RTVPM model zameraný na hlavne na nízko-rýchlostné poľnohospodárske traktore.

Analýza stykových plôch a ich porovnanie umožňuje znázorniť priebeh deformácií pôdy spôsobených šmykovým namáhaním v miestach styku kolies a pásov.



Obr. 15 Porovnanie priebehu šmykového napätia v kontakte pásov a kolies (Wong - Huang, 2006)

Ako vyplýva z práce Wonga - Huanga (2006), šmykové napätia a deformácie pod kolesami budú vyššie a spôsobia väčšie deformácie pôdy v kontakte pojazdrového ústrojenstva.

4 Dosiahnuté výsledky a diskusia

Na základe analýzy teramechanických aspektov, ako aj rozboru pojazdového ústrojenstva je zrejmé, že najjednoduchšími mechanickými systémami, použiteľnými u robotov v poľnohospodárstve sa javia kolesové a pásové podvozky. Pre málo únosné pôdy sú výhodnejšie pásové a pre pevnejšie pôdy kolesové systémy.

V poľnohospodárstve sa v súčasnosti úspešne skúšajú rôzne mobilné i stacionárne robotické systémy, niekoľko typických príkladov uvádzame v ďalšej časti práce.

Rice-planting robot

Ryža je základná potrava v Japonsku a výsadba ryžových polí je hrozne namáhavá. Farmári musia dlhé hodiny stráviť zaborený v bahne a vysádzať ryžové planty jednu po druhej. Boli prevedené výskumy vedcami z inštitúcie National Agricultural Research Center of the National Agriculture a Bio-oriented Research Organization s cieľom uľahčenia výsadby. V apríli 2005 po prvý krát zasadil RICE-PLANTING ROBOT prvé planty bez akýchkoľvek zásahov človeka. Jeho pohyb je riadený za pomoci GPS navigácie, snímaču sklonu a ďalších zariadení ktoré vypočítavajú uhol a smer. Robot môže vysadiť až 1 000 metrov štvorcových za 20minut bez toho aby musel dopĺňať sadivo. Robot dodržiava určitý smer výsadby a jeho presnosť je približne 10 cm. Tento robot určite uľahčuje prácu na ryžových poliach ľudom, ktorý vlastnia obrovské ryžové farmy v Japonsku.



Obr. 16 Rice-planting robot (Japan Echo Inc.2005)

Robot Ag Ant

Na univerzite v Illinois oddelení technickej údržby vyvinuli viacero poľnohospodárskych robotov. Jeden z nich je napríklad aj robot Ag Ant na obrázku 17.

Tento robot sa veľmi ľahko pohybuje medzi riadkami kukurice za pomoci snímačov, ktoré odosielajú signáli či už nastal koniec riadku alebo sa ma presunúť na ďalší.

Ag Ant zvláda úlohy ako je hľadanie burín, hmyzu alebo choroby, snímanie pôdy na určenie živín v pôde, pesticídov a herbicídov.



Obr. 17 Robot Ag Ant (Roak, Mekai, Cieslikowski)

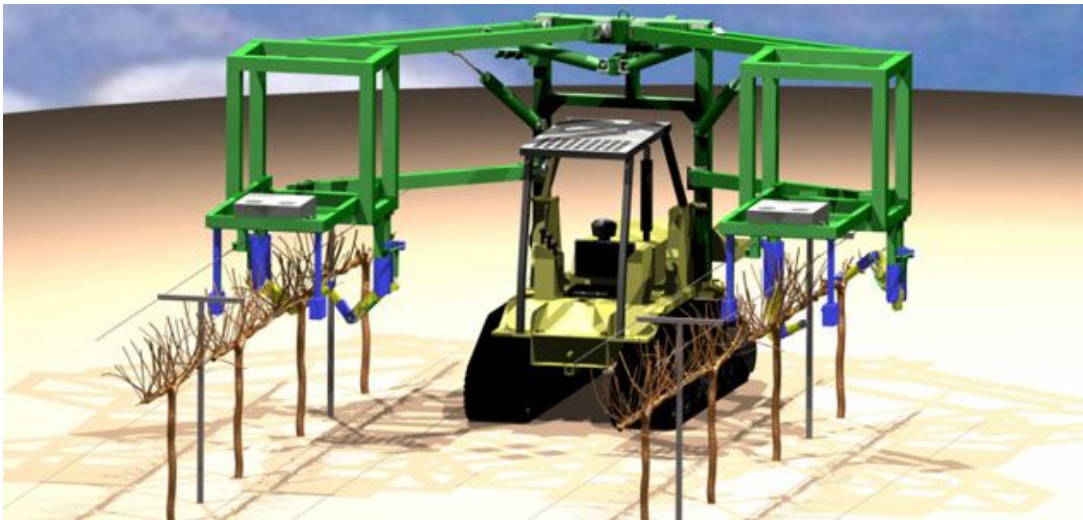
Robot na zber ovocia

Vision Robotics, firma v San Diegu, pracuje na niekoľkých robotoch, ktorí by sa prehnali sadow trhajúc pomaranče, jablká a iné ovocie zo stromov. Za niekoľko rokov, početná skupina strojov by mohla vykonávať zdĺhavú, nudnú a nákladnú prácu oberania plodov ovocia, ktorú v súčasnosti vykonávajú tisícky ľudí – predovšetkým brigádnikov každú sezónu.

Práca Vision Roboticsu bola podporená poľnohospodárskymi asociáciami. Farmári sú veľmi nervóznymi, čo sa týka dostupnosti a ceny práce v blízkej budúcnosti.

Poľnohospodárske skupiny dúfajú, že Vision Robotics postaví takýto kombajn na ovocie aby ním nahradil zástupy robotníkov. Inžinieri v spomínanej firme spravili prevratnú myšlienku práve v zbere pomarančov. Úloha je rozdelená medzi dvoch

robotov. Prvý by lokalizoval všetky pomaranče a ten druhý by ich zozbieral zo stromov pomocou osmych rúk. Keď už viete, kde je všetko to ovocie umiestnené, potom je jednoduchšie vypočítať najefektívnejšiu cestu ako ich zozbierať.



Obr. 18 Zberač ovocia (Strickland,2007)

Robotické vozidlo RecurDyn

Robotické vozidlo RecurDyn je určené na ťažobné účely na morskom dne na extrémne kohéznych mäkkých povrchoch bolo skonštruované v Námornom a morskom výskumnom inštitúte KORDI v Daejeone v Kórei. Prototyp umožňuje ovládanie pracovných častí robota z plávajúcej plošiny a dopravu materiálu odsávaním na plošinu.



Obr. 19 Robotické vozidlo RecurDyn (KORDI, 2009)

Záver

Bakalárska práca bola zameraná na získanie prehľadu rôznych systémov poľnohospodárskych robotov, ktoré sa využívajú v praxi alebo sú predmetom výskumu.

V práci je popísaných niekoľko druhov mobilných poľnohospodárskych robotov, ktoré sú rozdelené hlavne z hľadiska ich presunu po povrchu pôdy. Poľnohospodárske roboty z hľadiska ich pohybu boli rozdelené do troch základných kategórií na roboty s kolesovým, pásovým a kráčajúcim podvozkom. Každý z vyššie uvedených systémov má svoje výhody a nevýhody.

Napriek nesporným výhodám kráčajúceho podvozku pri prekonávaní rôznych terénnych nerovností je málo využívaný pre svoju drahú konštrukciu a obtiažne ovládanie. Preto sme sa v práci ďalej zameriavali na kolesové a pásové podvozky, ktoré sme vzájomne porovnávali z rôznych hľadísk.

Mobilné roboty vytvárajú nové možnosti na automatizáciu prác, nahradenie ľudí pri nebezpečných činnostiach, pomoc pri prácach v rôznych odvetviach a pod. V bežnom použití sa už vyskytujú roboty, ktoré pomáhajú v domácnostiach (automatické vysávače, kosačky trávnikov), tiež ako „obsluhujúci personál“ v nemocniciach a pod. Možno však už vidieť aj mobilné roboty s komplexnejším správaním, napr. na súťažiacich (Eurobot) alebo pri plnení úloh v náročných fyzikálnych podmienkach – na dne mora pri hľadaní nerastných surovín, v prieskume kráterov sopiek, čiže v prostrediach nebezpečných pre človeka. Pri konštruovaní a programovaní mobilných robotov vzniká veľké množstvo úloh a problémov. Úlohy, ktoré sa pre človeka javia ako veľmi jednoduché, sa pri riešení technickými prostriedkami môžu ukázať ako veľmi náročné. Problémy súvisiace s návrhom robota či už ako celku alebo len riadiaceho systému možno rozdeliť do viacerých kategórií. Jedno zo základných delení je: roboty na použitie vo vnútorných priestoroch – indoor roboty a na použitie vo vonkajších priestoroch – outdoor roboty.

Mobilné roboty poskytujú vo všeobecnosti možnosť pohybu zariadení v 3D priestore. Vznikajú tým možnosti vytvorenia technických systémov, ktoré budú môcť spolupracovať s operátorom, poskytovať pomoc, budú schopné pracovať v zložitom a pre človeka nevhodnom prostredí a pod. Tieto nové možnosti však zároveň prinášajú nové, náročné požiadavky na komplexné systémy riadenia týchto zariadení.

V budúcnosti sa predpokladá veľký rozvoj a použitie robotov.

Zoznam použitej literatúry

1. BAJLA, J. 1998. *Penetrometrické merania pôdnych vlastností*. Metódy, prístroje a interpretácia. Monografia. VES SPU Nitra, 112 s., ISBN 80-7137-543-8
2. MYSLIVEC, A. a kol. 1970. *Mechanika zemín*. 1. vydanie, SNTL/Alfa Praha-Bratislava, 388 s.
3. DANKO, R. - PODHORSKÝ, J. – HRČEKOVÁ, A. 2006. Podvozky mobilných pracovných strojov. In *Strojárstvo*, roč. 05/2006, s. 8,9.
4. RATAJ, V. 2003. *Tvorba vedeckého a odborného textu*. Skriptá. Nitra: VES SPU Nitra, 171 s., ISBN 80-8069-162-2
5. MURÁR, R. – KLÚČIK, M. - JURIŠICA, L. 2007. Mechatronické vyhodnotenie trakčného systému mobilného robota. In *AT&P journal PLUS1*, roč. 2007, s. 177-180.
6. *Traktory a ich využitie v poľnohospodárstve*. 2009 [online] aktualizované 2009. [cit. 2010-03-25]. Dostupné na: <<http://www.agrosidlo.info/sk/tt.html#tomenu>>.
7. NOZDROVICKÝ, L. 2009. *Základné predpoklady efektívneho využívania traktorov*. autor: [online] aktualizované 2009. [cit. 2010-01-05]. Dostupné na: <<http://www.agroporadenstvo.sk/stroje/clanky/traktory.htm>>.
8. *Kráčajúci mobilný robot Cricket I*. 2009 [online] aktualizované 2009 [cit. 2010-03-25]. Dostupné na: <<http://www.posterus.sk/?p=325>>.
9. PEDERSEN, S.M. – FOUNTAS, S. – HAVE, H. – BLACKMORE, B.S. 2005. *Agricultural robots: an economic feasibility study* [online] aktualizované 2009 [cit. 2010-01-05] Dostupné na: < [www.unibots.com. Papers105_AgRobots_5ECPA.pdf](http://www.unibots.com/Papers105_AgRobots_5ECPA.pdf)>
10. WONG, J.Y. – WEI, H.. 2006. *Wheels vs. Tracks* [online] aktualizované 2009 [cit. 2010-02-018]. Dostupné na: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V56-4DK65HJ-1&_user=10&_coverDate=01%2F31%2F2006&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1309836681&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d19a9c16be1f40ca2f81c9cc8bc7a412>

-
11. SCIRANKA, M. – EVIN, M. 2007. *Lokomočné mechanizmy humanoidných robotov* [online] aktualizované 2007 [cit. 2010-02-018] Dostupné na: www.sjf.tuke.sk/novus/papers/533-536.pdf
 12. Web Japan. 2005. Edited by Japan Echo Inc *RICE-PLANTING ROBOT* [online] aktualizované 2005 [cit. 2010-02-01] Dostupné na: <http://web-japan.org/trends/science/sci051014.html>
 13. ROAK, E. – MEKAI, E. – CIESLIKOWSKI, M. 2010. *Agrobots - Robots in Agriculture* [online] [cit. 2010-02-01] Dostupné na: exploring.external.lmco.com/.../07_Paper_Ely-Ely-Cieslikowski_6.pdf
 14. STRICKLAND, E. 2007. *Farms Fund Robots to Replace Migrant Fruit Pickers.* [online] Dostupné na: http://www.wired.com/science/discoveries/news/2007/06-robo_picker
 15. JURIŠICA, M. 2007 . *Robotické systémy a ich štruktúra.* In: *AT&P journal*, č. 11,2007