

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Modularni sestav traktorja s hidravličnim pogonom

DIPLOMSKA NALOGA UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Ivan Demšar

Ljubljana, september 2002

UNIVERZA V LJUBLJANI

Fakulteta za strojništvo

Modularni sestav traktorja s hidravličnim pogonom

DIPLOMSKA NALOGA UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Ivan Demšar

Mentor: prof. dr. Jože Duhovnik, univ. dipl. inž.

Ljubljana, september 2002

Samo po sebi ni nič dobro ali slabo,  
vse je odvisno od tega,  
kaj o stvari mislijo ljudje.

Shakespeare

# Zahvala

Najprej bi se rad zahvalil mentorju, prof. dr. Jožetu Duhovniku, za trud in pomoč, ki mi jo je nudil v času pripravljanja te diplomske naloge.

Posebna zahvala tudi domačim, ki so mi v vseh teh letih študija stali ob strani, me finančno in moralno podpirali ter me z zgledi in besedami usmerjali po pravi poti.

Zahvalil bi se rad tudi prijateljema in sošolcema Janezu Benedičiču in Janezu Rih-taršiču za njuno nesebično pomoč v času študija in pri izdelavi diplomske naloge.

Iskrena hvala Sandri van Bakel za vso njeno skrb, trud in potrpljenje v tem času.

Rad bi se zahvalil tudi doc. dr. Rajku Berniku in dr. Niku Herakoviču za njuno pomoč pri pripravi diplome.

Zahvaljujem se tudi vsem zaposlenim v laboratoriju LECAD, ki so mi pomagali z nasveti pri izdelavi in oblikovanju diplomske naloge.

Rad bi se zahvalil vsem, ki ste mi kakor koli pomagali na poti do diplome.

HVALA LEPA!

Naloga je bila izdelana v okviru projekta *Varen in okolju prijazen traktor za kmetij-stvo v omejenih razmerah*, ki poteka v sodelovanju Fakultete za strojništvo (LECAD, LASIM, LAVEK, CTD), Kmetijskega inštituta Slovenije in Agromehanike iz Kranja. Financiranje je bilo podprto s stani Ministrstva za znanost in tehnologijo, Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Agromehanike Kranj. Vsem hvala lepa.



Copyright © : Ivan Demšar .....

prof. dr. Jože Duhovnik .....

Kopiranje in kateri koli drug način razmnoževanja v celoti ali posameznih delov ni dovoljeno brez predhodnega pisnega dovoljenja nosilcev te pravice.

Zakon o avtorskih in sorodnih pravicah Ur.l.RS, št.21/1995 in Zakon o industrijski lastnini Ur.l.RS, št.13/1992, 13/1993, 27/1993, 34/1997 in 75/1997 določata še naslednje:

Diplomsko nalogo – arhivski izvod si je možno ogledati samo v prostorih knjižnice Fakultete za strojništvo v Ljubljani s pisnim dovoljenjem:

1. avtorja – diplomanta  
Ivan Demšar \_\_\_\_\_
2. mentorja  
prof. dr. Jože Duhovnik \_\_\_\_\_

Če ni avtorjevega – diplomantovega podpisa, je diplomska naloga v knjižnici Fakultete za strojništvo v Ljubljani nedostopna za vpogled.

## Modularni sestav traktorja s hidravličnim pogonom

Ivan Demšar

Ključne besede: traktor  
hidravlični pogon  
teorija konstruiranja  
spreminjanje širine koloteka  
standardi  
dimenzioniranje

### **Izveček:**

Delo opisuje razvoj posebnega traktorja s hidravličnim pogonom in spremenljivo širino koloteka za delo na strminah. Naredili smo pregled in razdelitev obstoječih traktorjev, ter pregledali ISO in SIST ISO standarde s področja kmetijskih traktorjev. Na osnovi zahtev in želja ter funkcijske strukture smo izdelali morfološko matriko in iz nje koncepte. Z ocenjevanjem posameznih konceptov smo izbrali najustrežnejšega. Z dimenzioniranjem smo preverili trdnostno ustreznost ključnih elementov konstrukcije nato pa smo izdelali 3D-model omenjenega traktorja.

(U) No.: 5250

UDC 631.372: 62-82

## Modular tractor with hydraulic drive

by

Ivan Demšar

Keywords: tractor  
hydraulic drive  
theory of construction  
variable track width  
standards  
dimensioning

### **Abstract:**

Work describes development of a special tractor with hydraulic drive and variable track width for work on steep slopes. Survey and classification of the existing tractors and survey of the ISO and SIST ISO standards from agricultural field was carried out. On the basis of the demands, wishes and functional structure we made morphological matrix from which the concepts were derived. Concepts were evaluated and the most suitable one was chosen. We controlled mechanical properties of the key elements and then 3D model of a tractor was made.

---

## Kazalo

---

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>7</b>
1.1	Zgodovinski razvoj traktorja . . . . .	7
1.2	Definiranje naloge . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Pregled in razvrstitev traktorjev</b>	<b>14</b>
2.1	Razvrstitev traktorjev po obliki . . . . .	14
2.1.1	Traktor goseničar . . . . .	15
2.1.2	Enosni traktor . . . . .	15
2.1.3	Standardni traktor . . . . .	16
2.1.4	Ogrodni traktor . . . . .	17
2.1.5	Sistemiški traktor . . . . .	17
2.1.6	Posebni traktorji . . . . .	18
2.2	Razvrstitev traktorjev po krmiljenju . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Pregled standardov</b>	<b>24</b>
3.1	Pregled ISO standardov s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Zasnova traktorja</b>	<b>31</b>
4.1	Konstruktivska naloga . . . . .	32
4.1.1	Specifikacija konstrukcije . . . . .	32
4.1.2	Časovni potek projekta . . . . .	34
4.1.3	”Black box”diagrama . . . . .	36
4.1.4	Tehnični proces . . . . .	36
4.2	Funkcijska struktura . . . . .	36
4.3	Morfološka matrika . . . . .	39
4.4	Koncepti . . . . .	47
4.4.1	Koncept 1 . . . . .	47
4.4.2	Koncept 2 . . . . .	48
4.4.3	Koncept 3 . . . . .	50
4.4.4	Koncept 4 . . . . .	51

---

4.4.5	Koncept 5 . . . . .	52
4.5	Vrednotenje . . . . .	53
4.6	Osnutek . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Dimenzioniranje ključnih elementov konstrukcije</b>	<b>57</b>
5.1	Izbira materiala . . . . .	58
5.2	Določitev obremenitev . . . . .	59
5.3	Kontrola osrednje cevi . . . . .	61
5.4	Kontrola nosilca kolesa . . . . .	65
5.4.1	Kontrola cevi . . . . .	65
5.4.2	Kontrola zvara . . . . .	68
5.4.3	Kontrola ušesnih nosilcev . . . . .	69
5.4.4	Kontrola vodil . . . . .	70
<b>6</b>	<b>3D model konstrukcije</b>	<b>71</b>
6.1	3D-modeli že obstoječih sklopov . . . . .	71
6.1.1	Motor . . . . .	72
6.1.2	Krmilo . . . . .	72
6.1.3	Sedež . . . . .	73
6.1.4	Hidravlika - zadnji dvižni mehanizem . . . . .	73
6.1.5	Vlečna kljuka . . . . .	74
6.2	3D-model nosilne konstrukcije . . . . .	75
6.2.1	Osrednja cev . . . . .	75
6.2.2	Zadnja os . . . . .	75
6.2.3	Prednja os . . . . .	76
6.3	3D-model traktorja . . . . .	78
6.3.1	Možnosti spreminjanja širine koloteka . . . . .	78
6.3.2	Možnosti krmiljenja traktorja . . . . .	78
<b>7</b>	<b>Zaključek</b>	<b>83</b>
	<b>Literatura</b>	<b>85</b>
<b>A</b>	<b>Določitev obremenitev na traktorju</b>	<b>1</b>
<b>B</b>	<b>Kontrola napetosti v osrednji cevi</b>	<b>8</b>

---

 Slike
 

---

1.1	Freulichov traktor iz leta 1892 [6]	8
1.2	Ivel traktor iz leta 1897 [7]	9
1.3	Traktor Fordson iz leta 1917 [16]	10
1.4	Legendarni Lanz Bulldog z žarilno glavo	10
1.5	Model Cassanijevega traktorja iz leta 1927 [8]	11
1.6	Prvi traktor s hidravličnim pogonom [16]	11
1.7	Traktor Fendt 926 Vario	12
2.1	Razdelitev traktorjev po zunanji obliki ( <i>po prof.dr.Heinz Dieter Kutzbach iz inštituta za kmetisko tehniko Univerze v Hohenheimu</i> )	14
2.2	Traktor gosenicar LAMBORGHINI	15
2.3	Enoosni traktor BCS 720	15
2.4	Standardni traktor	16
2.5	Ogrodni traktor Fendt GT	17
2.6	Sistemski traktor DEUTZ-FAHR	18
2.7	Sadjarsko-vinogradniški traktor LAMBORGHINI	18
2.8	Traktor vlačilec MB-trac	19
2.9	Transportni traktor Unimog	19
2.10	Gozdarski traktor TIMBERJACK	20
2.11	Gorski traktor RASANT	20
2.12	Komunalni traktor ANTONIO CARRARO	21
2.13	Jahalni traktor LANDINI	21
2.14	Krmiljenje prednjih koles z zasukom prednje preme NEW HOLLAND TN55V	22
2.15	Krmiljenje vseh štirih koles REFORM MOUNTY	22
4.1	Časovni potek projekta	35
4.2	"Black box" diagram	36
4.3	Tehnični proces	37
4.4	Funkcijska struktura operaterja	37

---

4.5	Funkcijska struktura stroja . . . . .	38
4.6	Delovni princip [2] . . . . .	39
4.7	Morfološka matrika - splošno . . . . .	39
4.8	Morfološka matrika 1/7 . . . . .	40
4.9	Morfološka matrika 2/7 . . . . .	41
4.10	Morfološka matrika 3/7 . . . . .	42
4.11	Morfološka matrika 4/7 . . . . .	43
4.12	Morfološka matrika 5/7 . . . . .	44
4.13	Morfološka matrika 6/7 . . . . .	45
4.14	Morfološka matrika 7/7 . . . . .	46
4.15	Koncept 1 . . . . .	47
4.16	Dodatna masa za spreminjanje težišča traktorja . . . . .	48
4.17	Koncept 2 . . . . .	48
4.18	Brezstopenjsko hidravlično spreminjanje širine koloteka . . . . .	49
4.19	Izvedba hidrostatičnega pogona . . . . .	49
4.20	Koncept 3 . . . . .	50
4.21	Možnosti posamičnega vzmetenja . . . . .	50
4.22	Koncept 4 . . . . .	51
4.23	Koncept 5 . . . . .	52
4.24	Grafični prikaz tehnične in ekonomske ocene . . . . .	54
4.25	Model osnutka traktorja (prikaz t.i. pasjega hoda) . . . . .	55
4.26	Model osnutka traktorja (različni pogledi) . . . . .	56
5.1	Skica izvedbe nosilca kolesa . . . . .	58
5.2	Obremenitve na stiku kolesa s podlago . . . . .	60
5.3	Fizikalni model obremenitve osrednje cevi . . . . .	61
5.4	Potek napetosti v prerezu . . . . .	62
5.5	Fizikalni model obremenitve nosilca . . . . .	65
5.6	Oblika prereza cevi in potek napetosti z označenimi kritičnimi točkami . . . . .	66
5.7	FEM analiza notranjega ušesnega nosilca . . . . .	69
5.8	FEM analiza zunanjega ušesnega nosilca . . . . .	69
5.9	Prenos obremenitev iz konstrukcije na podlago . . . . .	70
6.1	Motor LOMBARDINI LDW 1503 CHD . . . . .	72
6.2	Model krmila traktorja . . . . .	72
6.3	Model sedeža traktorja . . . . .	73
6.4	Model zadnjega dvižnega mehanizma . . . . .	73
6.5	Model vlečne kljuge . . . . .	74
6.6	Model osrednje cevi . . . . .	75
6.7	Model zadnje osi z osrednjo cevjo . . . . .	75
6.8	Prerez nosilca kolesa . . . . .	76
6.9	Model prednje osi . . . . .	76
6.10	Nosilna konstrukcija traktorja . . . . .	77
6.11	Model traktorja . . . . .	78
6.12	Normalna širina koloteka . . . . .	79

---

6.13 Spreminjanje širine koloteka prednje osi . . . . .	79
6.14 Spreminjanje širine koloteka leve strani . . . . .	80
6.15 Maksimalna širina koloteka . . . . .	80
6.16 Krmiljenje prednjih koles . . . . .	81
6.17 Krmiljenje zadnjih koles . . . . .	81
6.18 Možnosti krmiljenje vseh štirih koles . . . . .	82



---

Tabele

---

3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	25
3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	26
3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	27
3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	28
3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	29
3.1	ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev . . . . .	30
4.1	Specifikacija konstrukcije . . . . .	32
4.1	Specifikacija konstrukcije . . . . .	33
4.1	Specifikacija konstrukcije . . . . .	34
4.2	Tehnična ocena konceptov . . . . .	53
4.3	Ekonomska ocena konceptov . . . . .	54
5.1	Primerjalne napetosti za osrednjo cev . . . . .	64
5.2	Kontrola na utrujanje v osrednji cevi . . . . .	65
5.3	Primerjalne napetosti za nosilec kolesa . . . . .	66
5.4	Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto A . . . . .	67
5.5	Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto B . . . . .	67
5.6	Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto C . . . . .	67
5.7	Primerjalne napetosti za zvar . . . . .	68
5.8	Kontrola zvara na utrujanje . . . . .	68

# POGLAVJE 1

---

## Uvod

---

Beseda traktor izvira iz latinske besede *trahere*, kar pomeni vleči in iz katere lahko izpeljemo besedo vlačilec. Lahko pa jo izpeljemo tudi iz treh angleških besed: *gasoline traction engine - tractor* [13].

Definicija traktorja: Traktor je samopogonsko vozilo na kolesih z vsaj dvema osema ali vozilo na gosenicah, ki ga izdelujemo zato, da se z njim lahko nosi, vleče ali poganja kmetijske stroje ali naprave pri gibanju ali pri stacionarnem delu [13].

Traktor je danes osnovni ali vsesplošno uporaben stroj, katerega naloga je vleka, transport in pogon prevoznih in neprevoznih delovnih strojev [9].

Vleko in transport so stoletja, ponekod pa še danes bolj ali manj učinkovito opravljali z živalski vpregami. S pojavom traktorja kot takega je bilo možno nanj namestiti razne priključne stroje in orodja.

## 1.1 Zgodovinski razvoj traktorja

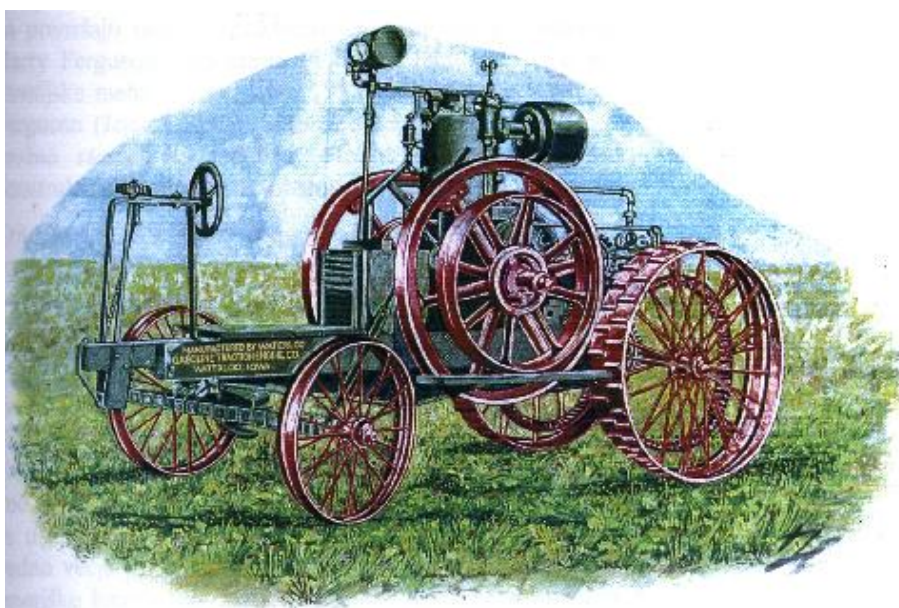
Razvoj parnega stroja leta 1858 je v kmetijstvu povzročil velike spremembe, saj je človeško in živalsko silo začela zamenjavati mehanska energija parnega stroja in kasneje motorji z notranjim izgorevanjem.

Druga letnica, ki je močno vplivala na razvoj traktorjev, je bilo leto 1867, ko je Nikolaj Avgust Otto izdelal prvi motor z notranjim izgorevanjem. Tako so leta 1890 v Ameriki na podvozje lokomobile namestili Ottov enovaljni motor z notranjim izgorevanjem, ki je zmogel vsega 15 kW (20 KM).

Trideset let kasneje (leta 1897) je Rudolf Diesel izdelal prvi dizelski motor, ki je

osnova sodobnih traktorjev. Ta motor je bil prvič vgrajen v traktor leta 1923, serijsko pa so jih začeli vgrajevati leta 1926.

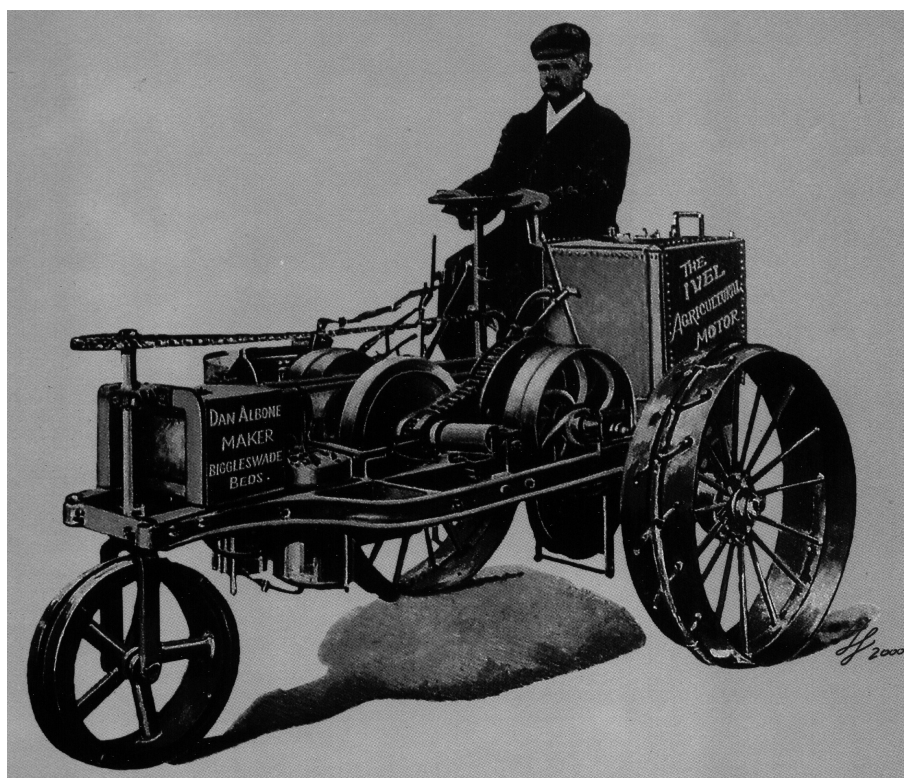
Freulichov traktor (slika 1.1), ki je bil izdelan že leta 1892 v ZDA [14], se je v zgodovino zapisal kot prvi traktor, ki je za takratne zahteve imel dobre karakteristike in je bil primerno zanesljiv. Poganjal ga je štiritaktni bencinski motor moči 15 kW (20KM). Imel je eno prestavo za vožnjo naprej in eno za vzratno vožnjo. Dosegal je dosegal hitrost do 3 milje/h.



**Slika 1.1:** Freulichov traktor iz leta 1892 [6]

Pet let po tem (leta 1897) je v Veliki Britaniji konstruktor Dan Albone začel s konstrukcijo traktorja z imenom *Ivel* (slika 1.2) V primerjavi z Freulichovim traktorjem, ki je bil bolj podoben samohodnemu stabilnemu motorju je imel Ivelov traktor že karakteristike pravega traktorja in koncepcijo, ki je bila aktualna še desetletja po njegovem nastanku in se je pri večini traktorjev obdržala do današnjega časa. Alboinov traktor je poganjal dvovaljni štiritaktni bencinski motor z nasproti ležečimi valji (bokser). Sedež za voznika je bil nameščen na zadnjem delu traktorja, za upravljanje je bil namenjen sredinsko nameščen volan. Na prednem delu je bilo nameščeno eno samo kolo, ki je omogočalo dobre manevrske sposobnosti. Upravljanje traktorja je bilo zelo enostavno, ker je bil traktor opremljen z menjalnikom, ki mu je omogočala vožnjo naprej, nazaj in nevtralen položaj. Imel je tudi diferencial in tračne zavore na zadnjih kolesih [7].

S prvo serijsko proizvodnjo traktorjev so začeli pri Fordu leta 1917, kjer so na tekočem traku začeli izdelovati traktorje Fordson (slika 1.3). Traktor je imel vgrajen štiritaktni bencinski motor s štirimi valji, ki je zmožel 16 kW (22 KM). Opremljen je bil z menjalnikom, ki mu je omogočal tri prestave za vožnjo naprej [16].



Slika 1.2: Ivel traktor iz leta 1897 [7]

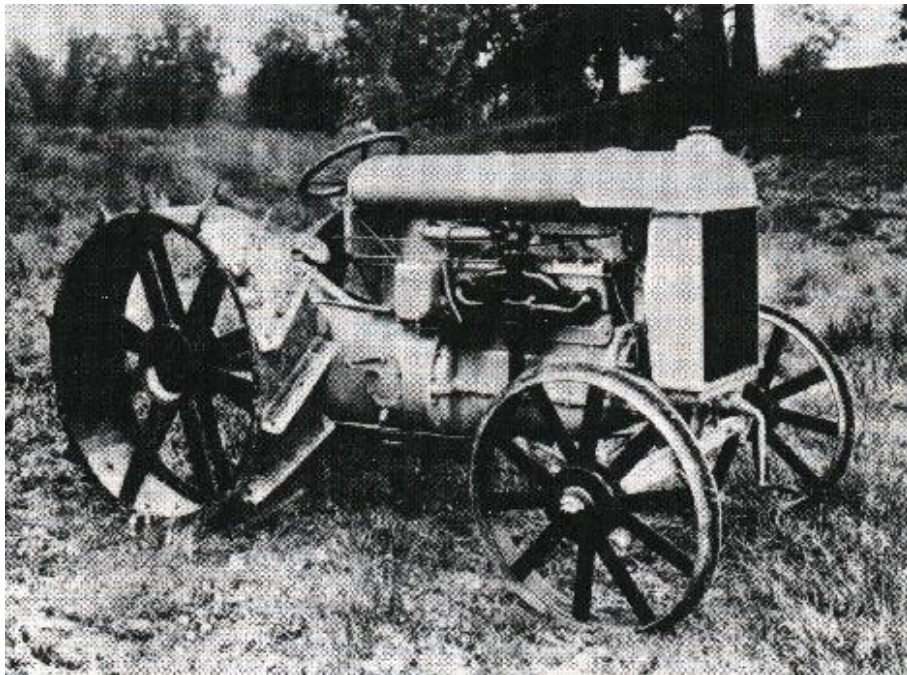
V času, ko so v ZDA in Angliji prevladovali izvedbe traktorjev s štiritaktnimi bencinskimi motorji, so v evropskem prostoru, posebno na območju Nemčije, Italije, Francije in Madžarske v dvajsetih in tridesetih letih prejšnjega stoletja kraljevale izvedbe traktorjev z žarilno glavo, ki so se zgledovale po legendarnem Lanz Bulldogu (slika 1.4).

Pravo popestritev v traktorski tehniki pa so pomenile prve izvedbe traktorjev z dizelskimi motorji, ki so se začele pojavljati v dvajsetih letih prejšnjega stoletja v Italiji, Nemčiji in ZDA. Francesco Cassani, ustanovitelj podjetja SAME (Societa in Accomandita Motori Endotermici) je leta 1927 izdelal traktor (slika 1.5), ki je bil opremljen z dvotaktnim dizelskim motorjem prostornine  $12.723 \text{ cm}^3$ , ki je zmogel 40 KM (Danes imajo takšno prostornino nekateri traktorji z močjo približno 350 KM). Menjalnik je imel tri hitrosti za gibanje naprej in eno za vzratno vožnjo. Maksimalna hitrost omenjenega traktorja je bila 15 km/h [8].

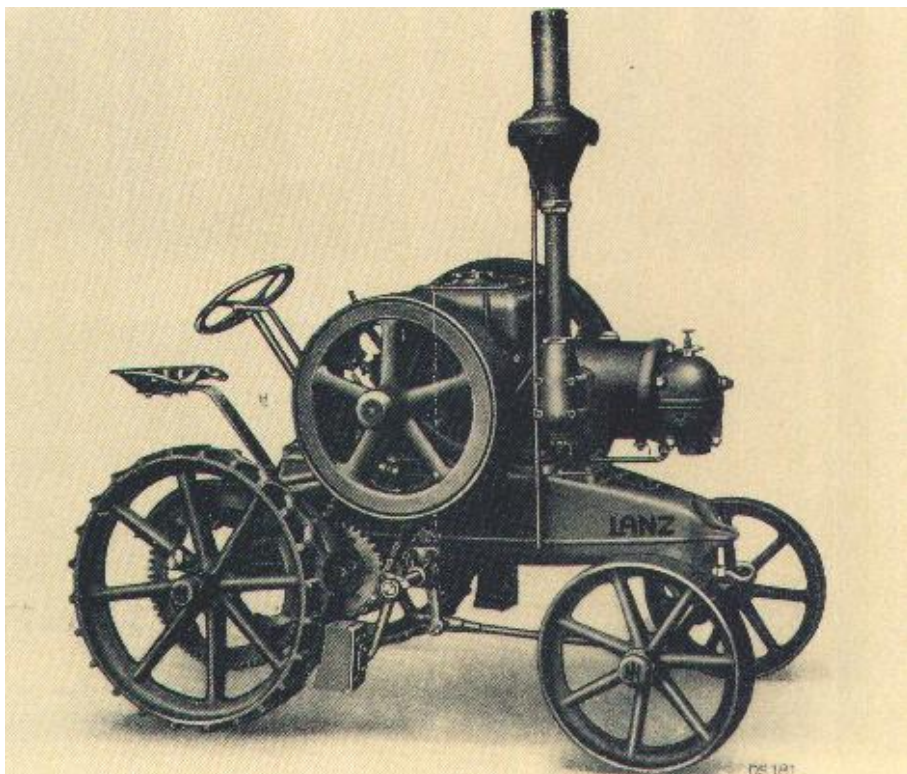
Po letu 1930 je sledil hiter razcvet traktorske industrije. Z iznajdbo hidravličnega dvigala s tritočkovnim pripetjem (H. FERGUSON leta 1925 [16]) in priključne gredi se je funkcionalnost traktorja zelo povečala.

Naslednja letnica, ki je zaznamovala razvoj traktorja je leto 1954, ko se je v Angliji pojavil prvi traktor s hidrostatičnim pogonom (slika 1.6). Motor je poganjal črpalko s spremenljivo iztisinino, ki je bila preko cevi povezana s hidromotorji, ki so

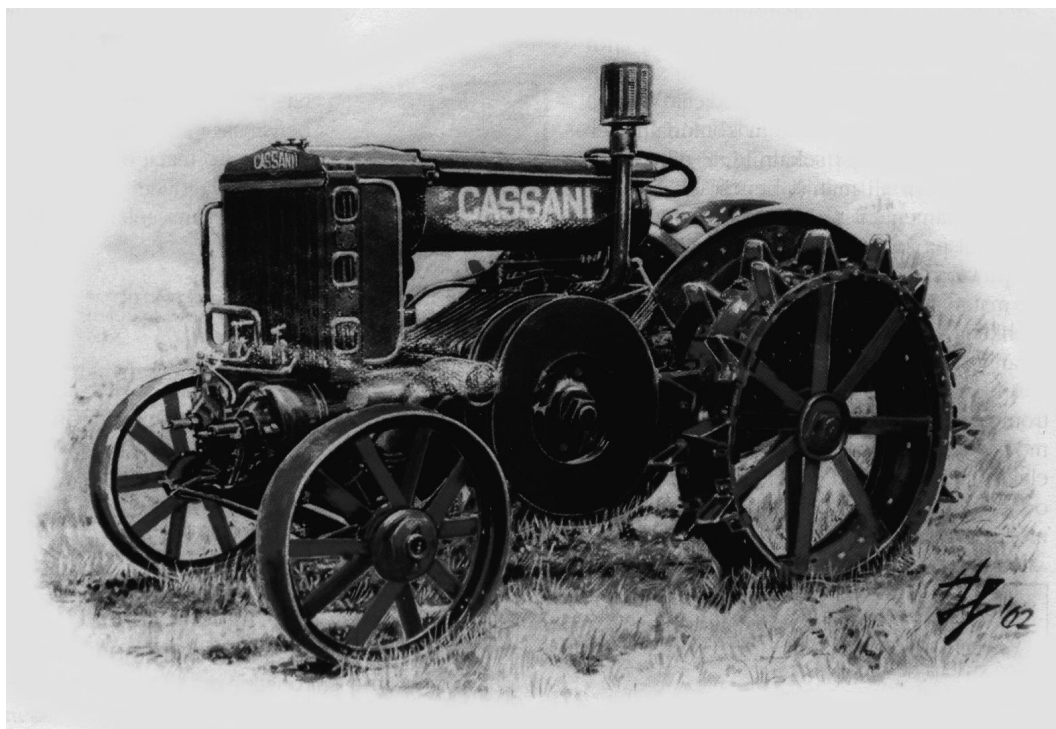




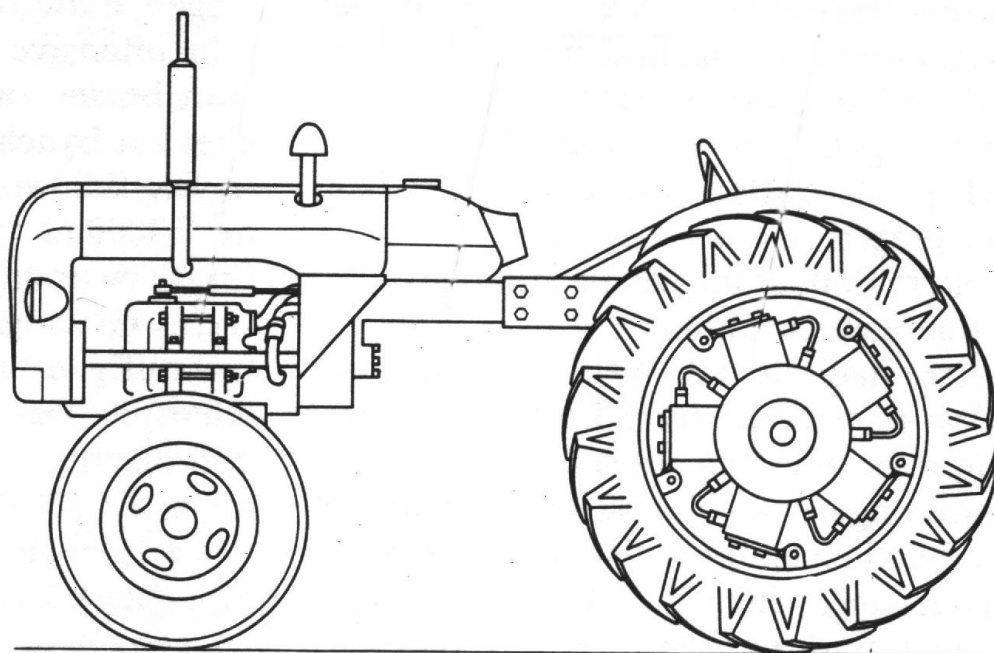
Slika 1.3: Traktor Fordson iz leta 1917 [16]



Slika 1.4: Legendarni Lanz Bulldog z žarilno glavo



Slika 1.5: Model Cassanijevega traktorja iz leta 1927 [8]



Slika 1.6: Prvi traktor s hidravličnim pogonom [16]



**Slika 1.7:** Traktor Fendt 926 Vario

bili nameščeni neposredno na zadnja kolesa. S spreminjanjem iztislnine črpalke se je spreminjala hitrost. S tem so dobili brezstopenjsko spreminjanje hitrosti.

Hidrostaticne transmisije imajo v primerjavi s mehanskimi precej slabši izkoristek, ob enam pa imajo to dobro lastnost, da omogočajo brezstopenjsko spreminjanje prestavnega razmerja. Ameriški proizvajalec traktorjev IH-CASE je zdržil obe transmisiji in leta 1967 na trgu ponudil traktor s hidromehansko transmisijo direktnega tipa [5]. V nemški tovarni Fendt so leta 1970 začeli z razvojem traktorja s hidromehansko transmisijo, ki so jih na trgu ponudili leta 1995 z oznako VARIO (izkoristek dosega 85 odstotkov) (slika 1.7).

Z razvojem novih transmisij pa se niso povečali samo izkoristki ampak tudi hitrosti vožnje. Skoraj vsi traktorji imajo cestno hitrost 40 km/h, nekateri tudi 50 km/h (Fendt, John Deere, Deutz-fahr,...). Trenutni trendi v traktorski industriji temeljijo predvsem na izboljšanju voznih lastnosti traktorjev. V ta namen že nekaj let vgrajujejo na traktorje vzmetenje prednje preme, vzmetenje kabine itd.

## 1.2 Definiranje naloge

Stanje traktorske tehnike se vse bolj nagiba k specialnim traktorjem, ki so primerni za posamezna področja in opravila. Na eni strani se srečujemo z velikimi in močnimi traktorji, primernimi predvsem za ravninska področja in transport, na drugi strani pa s specialno prilagojenimi traktorji za delo na strminah, v sadovnjakih, vinogradih, itd. Res je, da je vsak traktor, ki je prilagojen posebej za posamezno področje oz. opravilo izdelan tako, da najbolje izpolnjuje nalogo, za katero je namenjen. Vemo pa, da na malih in srednje velikih kmetijah, kakor tudi drugje ne moremo imeti celo vrsto strojev, s katerimi bi lahko varno opravljali potrebna dela.

Velik problem nastaja predvsem na strmih in težko dostopnih področjih. V primeru, da imamo traktor, ki ima ozek oz. normalen kolotek, s katerim se lahko vozimo po poteh in cestah, ne moremo z njim na strmino, ker je prevelika nevarnost prevrnitve. Na drugi strani pa se s širokim in nizkim traktorjem ne moremo po poteh cestah. Problem pa ni samo na travnikih, temveč tudi v vinogradu in sadovnjakih, ko s preširokim traktorjem ne moremo med nasadi. Pri obdelovanju polj pa je pomembno, da širino traktorja prilagodimo razmaku med posameznimi vrstami, da ne poškodujemo kulture, ki jo gojimo.

Namen te naloge je, skušati poiskati primerno rešitev konstrukcije traktorja, s katerim bi lahko hitro, enostavno, kvalitetno, predvsem pa varno opravljali vsakodnevna opravila. S tem mislim predvsem na možnost uporabe brezstopenjskega spreminjanja širine koloteka in na možnost uporabe hidrostatičnega pogona.



## POGLAVJE 2

### Pregled in razvrstitev traktorjev

Iz prvotnega poljedelskega traktorja se je razvil širok spekter precej različnih strojev, ki jih danes srečamo v svetu. Traktor danes imenujemo samopogonski stroj, ki ima tritočkovno priključno drogovje in priključno gred.

### 2.1 Razvrstitev traktorjev po obliki

Razdelitev traktorjev glede na zunanjo obliko (slika 2.1) je kriterij s katerim razdelimo traktorje v posamezne skupine. Vsaka skupina je izdelana oz. namenjena predvsem za določena področja in opravila. Traktor iz določene skupine je možno uporabljati tudi za druga opravila, vendar je tovrstna uporaba navadno zahtevnejša in bolj zamudna.



Slika 2.1: Razdelitev traktorjev po zunanji obliki (po prof.dr.Heinz Dieter Kutzbach iz inštituta za kmetisko tehniko Univerze v Hohenheimu)

### 2.1.1 Traktor goseničar

Specialna izvedba traktorja je t.i. traktor goseničar (slika 2.2), ki ima namesto vozniških koles gosenice. Uporablja se za velike vlečne sile na mehkih tleh. V kmetistvu je uporaba precej majhna, ker je zaradi nizke transportne hitrosti in velike obrabe pogonskih verig prepovedana vožnja po javnih cestih. V zadnjem času se precej uporablja za zahtevna dela v gozdarstvu. Njegova prednost je velika okretnost in majhen površinski pritisk na površino.



Slika 2.2: Traktor gosenicar LAMBORGHINI

### 2.1.2 Enoosni traktor

Enoosni traktor (slika 2.3) ima eno samo os. Pogonja ga motor moči od 5 do 12 kW. Primeren je za lažja dela in transport. Nanj lahko priključimo razna orodja, predvsem za obdelavo tal. Namenjen je za dela na manjših površinah in rastlinjakih. Odlikuje ga zelo majhna poraba goriva, preprosta konstrukcija in enostavno vzdrževanje.



Slika 2.3: Enoosni traktor BCS 720

### 2.1.3 Standardni traktor

Standardni traktorji so najbolj razširjena skupina traktorjev. So dvoosni z razponom moči od 25 do 250 kW. Glede na število pogonskih koles ločimo med traktorji s pogonom samo na zadnja kolesa ( $2\times 4$ ), (slika 2.4(a)) in traktorji s pogonom na vsa štiri kolesa ( $4\times 4$ ), (slika 2.4(b)). Prednost traktorjev z dvokolesnim pogonom je predvsem v večji okretnosti. Prednost štirikolesnega pogona je v boljši porazdelitvi moči na posamezno kolo in posledično v večji vlečni sili.



(a) z dvokolesnim pogonom URSUS



(b) s štirikolesnim pogonom DEUTZ-FAHR

**Slika 2.4:** Standardni traktor

### 2.1.4 Ogrodni traktor

Ogrodni traktor (slika 2.5) se uporablja predvsem za nego in zaščito posevkov. Podobno kot sistemski traktor omogoča odličen pogled na stroje ki so naj priključeni bodisi spredaj, med kolesi ali zadaj.



Slika 2.5: Ogrodni traktor Fendt GT

### 2.1.5 Sistemski traktor

Sistemski traktor (slika 2.6) se od standardnih razlikuje po tem, da ima kabino pomaknjeno naprej, kar omogoča dober pogled pred traktor, za kabino ima dodaten prostor za orodja, npr.: rezervoar za škropivo, gnojilo, seme, itd.





Slika 2.6: Sistemski traktor DEUTZ-FAHR

### 2.1.6 Posebni traktorji

So traktorji, ki ne spadajo v nobeno od naštetih skupin, vendar imajo eno konstrukcijsko lastnost drugačno od naštetih, kar jih uvršča med posebne traktorje zato, da določeno delo boljše opravimo.

- **Sadjarsko vinogradniški traktor**

Ta traktor (slika 2.7) ima zelo ozek kolotek, da se z njimi lahko gibljemo med posameznimi nasadi. Majhen obračalni krog (5 do 7 m) nam omogoča enostavno prehajanje iz ene vrste v drugo.



Slika 2.7: Sadjarsko-vinogradniški traktor LAMBORGHINI

- **Vlečni traktor**

Koncept MB-trac (slika 2.8) je tipični primer traktorja vlačilca, ki se uporablja za najtežja dela v kmetijstvu in gozdarstvu. Spredaj nameščen motor zagotavlja enakomerno obremenitev koles in s tem veliko vlečno silo.



Slika 2.8: Traktor vlačilec MB-trac

- **Transportni traktor**

Transportni traktor bolje poznamo pod imenom *Unimog* (slika 2.9). Dosega hitrost do 80 km/h in se največ uporablja za transport in komunalna dela. Njegova prednost je predvsem velika transportna hitrost in popolno vzmetenje.



Slika 2.9: Transportni traktor Unimog



- **Gozdarski traktor**

Gozdarski traktor (slika 2.10) je namenjen vleki, nakladanju in transportu lesa. Odlikuje ga odlično zavarovan prostor za voznika in posebna oprema.



Slika 2.10: Gozdarski traktor TIMBERJACK

- **Gorski traktor**

Je namenjen za delo na velikih strminah. Odlikuje ga širok kolotek in nizko težišče (slika 2.11).



Slika 2.11: Gorski traktor RASANT

- **Komunalni traktor**

Njegov namen je predvsem obdelava javnih površin (parkov, cestišč, zelenic, itd.). Zanj je značilno, da ima kolesa s cestnim profilom in je navadno zgibne izvedbe (slika 2.12).



Slika 2.12: Komunalni traktor ANTONIO CARRARO

- **Jahalni traktor**

Odlikuje ga visok prost prehod pod traktorjem, kar omogoča vožnjo nad posevki (slika 2.13).



Slika 2.13: Jahalni traktor LANDINI

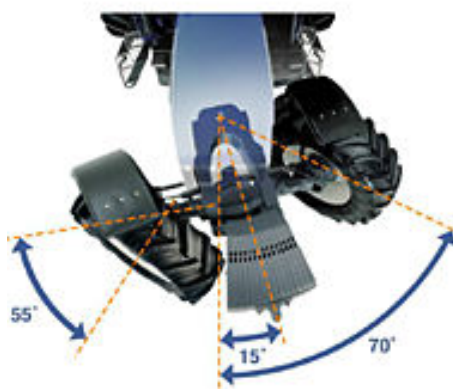


## 2.2 Razvrstitev traktorjev po krmiljenju

Glede na način krmiljenja ločimo tri skupine traktorjev:

- **krmiljenje na prednja kolesa,**

Je najpogostejši način krmiljenja traktorjev. Prednja kolesa, ki so običajno manjša (standardni traktorji) zasučemo za določen kot. Slabost tega načina je sorazmerno velik radij obračanja. Za odpravo te slabost imajo nekateri sadjarsko-vinogradniški traktorji vgrajen sistem, da se celotna prednja prema zasučé za določen kot (slika 2.14).



**Slika 2.14:** Krmiljenje prednjih koles z zasukom prednje preme NEW HOLLAND TN55V

- **krmiljenje na vsa štiri kolesa**

Pri tem načinu krmiljenja se krmilijo prednja in zadnja kolesa s čimer se močno zmanjša radij obračanja. Traktorji s tovrstnim načinom krmiljenja imajo navadno tudi možnost ti. *pasjega hoda* (slika 2.15).



**Slika 2.15:** Krmiljenje vseh štirih koles REFORM MOUNTY

- **zglobno krmiljenje.**

Traktorji z zglobnim krmiljenjem imajo vsa štiri kolesa enakega premera. Upravljamo jih z zgibanjem traktorja okrog središčnega zgloba. Tak način krmiljenja omogoča majhen radij obračanja in je največkrat uporabljen pri manjših komunalnih traktorjih in pri gozdarskih traktorjih (slika 2.12, 2.10).

## POGLAVJE 3

---

### Pregled standardov

---

Standard je dokument, ki nastane s konsensom in ga odobri priznani organ. Določa pravila, smernice ali značilnosti za dejavnosti in njihove rezultate. Namenjen je za občo in večkratno rabo in je usmerjen v doseganje optimalne stopnje urejenosti na danem področju.

Standardi so uradni dokumenti, ki zagotavljajo skladnost ter zamenjlivost izdelkov ter sistemov med partnerji. Na trgu omogočajo red in lažje komuniciranje. Omogočajo prosto gibanje blaga in storitev ter prispevajo k izboljšanju kakovosti življenja [9].

Standard ni obvezen dokument, razen če se nanj sklicuje tehnični predpis ali pogodba [3].

### **3.1 Pregled ISO standardov s področja kmetijskih traktorjev**

Standardi sestavljajo osnovni okvir, ki mu mora ustrezati določena konstrukcija. Pomembno je, da se pred snovanjem novega izdelka seznanimo s standardi in zahtevami, ki so pogojeni z novo snovano konstrukcijo.

S področja kmetijstva so najpomembnejši ISO (*Internacional Standard Organization*) standardi. V tabeli 3.1 so zbrani standardi, ki zadevajo kmetijske traktorje. V omenjeni tabeli so označeni tudi standardi, ki se uporabljajo v slovenskem prostoru (SIST ISO standardi) [19].

Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
500	Kmetijski traktor	Zadnja priključna gred	Tipi 1, 2 in 3	×
730-1	Kmetijski kolesni traktor	Zadnje tritočkovno priključno drogovje	1.,2.,3. in 4. kategorije	×
730-2		Tritočkovno priključno drogovje	Kategorija 1 N	×
789-1	Kmetijski traktor	Postopki preizkušanja	Preizkušanje moči na priključni gredi	×
789-2			Zadnje tritočkovno drogovje - dvizna sposobnost	×
789-3			Premer obračalnega kroga in kroga, ki ga opiše skrajna zunanja točka traktorja	×
789-4			Meritve izpušnih plinov	×
789-5			Delna moč priključne gredi - nemehanski prenos moči	×
789-6			Težišče	×
789-7			Določitev moči na gredeh	×
789-8			Filter za zrak na motorju	×
789-9			Preizkus vlečne moči	×
789-10			Hidravlična moč na spoju <i>traktor - priključek</i>	×
789-11			Krmilna sposobnost kolesnih traktorjev	×
789-12			Nizko temperaturni zagon	
2057	Kmetijski traktor	Neposredna kontrola krmilnih hidravličnih cilindrov		
2332	Kmetijski traktorji in stroji	Trtitočkovni priključni spoj	Območje gibanja	
3339	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Klasifikacija in terminologija	Klasifikacija sistema in klasifikacija	

Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
3463	Kolesni traktorji za kmetijstvo in gozdarstvo	Zaščitna struktura	Metode dinamičnega preizkušanja in pogoji sprejemljivosti	×
3600	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji, oprema za nego trate in vrta	Navodila za uporabo	Vsebina in predstavitev	×
3767-1	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji, oprema za nego trate in vrta	Simboli in drugi znaki za krmilne elemente	Splošni simboli	×
3767-2			Simboli za kmetijske traktorje in stroje	×
3767-3			Simboli za opremo za nego trate in vrta	×
3767-4			Simboli za gozdarske stroje	×
3767-5			Simboli za ročno prenosne gozdarske stroje	
3776	Traktorji za kmetijstvo	Sidrišče za varnostni pas		
3778	Kmetijski traktorji	Maksimalna sila potrebna za upravljanje komand		
3789-1	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji, gnana vrtna oprema	Namestitev in delovanje krmilnih elementov	Splošni krmilni elementi	×
3789-2			Krmilni elementi kmetijskih traktorjev in strojev	×
3795	Cestna vozila, traktorji ter kmetijski in gozdarski stroji	Ugotavljanje obnašanja notranjih oblog v požaru		×
3965	Kmetijski kolesni traktorji	Največje hitrosti	Metode ugotavljanja	×
4004	Kmetijski traktorji in stroji	Širina koloteka		×

Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
4251-1	Pnevmatike in platišča za kmetijske traktorje in stroje	Označbe pnevmatik in dimenzije		
4251-2		Ocenitev obremenitve pnevmatike		
4251-3		Platišča		
4251-4		Klasifikacija pnevmatik in nomenklatura		
4251-5		Pnevmatika za delo v gozdu		
4252	Kmetijski traktorji	Vozniški prostor, dostop in izhod	Mere	×
4253	Kmetijski traktorji	Vozniški sedež	Prilagodljivost - mere	×
4254-1	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Tehnični minimum zagotovitve varnosti	Splošno	×
4254-2			Za uporabo amonijevega anhidrida	
4254-3			Traktorji	×
4254-4			Gozdarska vitla	
4254-5			Delovni pripomoček	
4254-6			Pripomočki za zaščito pridelka	
4254-7			Kombajni za krmo in bombaž	
4254-9			Pripomočki za setev in raztros mineralnega gnojila	
5007	Kolesni traktorji	Sedež voznika	Laboratorijske meritve prenosa vibracij	×
5008	Kmetijski traktorji in poljski stroji	Merjenje vibracij celotnega telesa voznika		×
5131	Akustika - Traktorji in stroji za kmetijstvo in gozdarstvo	Merjenje hrupa na voznikovem mestu	Pregledna metoda	×

Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
5353	Stroji za obdelavo zemlje in traktorji in stroji za kmetijstvo in gozdarstvo	Karakteristična točka sedeža		
5673	Kmetijski traktorji in stroji	Priključne gredi in namestitve priključkov		×
5674-1	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Zaščita krdanske gredi	Trdnostni preizkus	×
5674-2			Trajnostni preizkus	×
5675	Kmetijski traktorji in stroji	Hitro razstavljiva hidravlična spojka za splošni namen		×
5676	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Hidravlična sklopka	Kolutna zavora	
5700	Kolesni traktorji za kmetijstvo in gozdarstvo	Zaščitne strukture	Metode statičnega preizkušanja in sprejemljive metode	×
5711	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Dimenzije pritrditve koles		
5721	Kmetijski traktor	Vidno polje traktorista		×
6489-1	Kmetijska vozila	Mehanični priklop na vlečnih vozilih	Vrsta zapenjalne kljuge	×
6489-2			Dimenzije	×
6489-3			Zapenjalni del na traktorju - njivska prečka	×
7072	Traktor, kmetijski in gozdarski stroji	Varnostni zatič in vzmetni zatič	Mere in zahteve	×
7216	Akustika - kmetijski in gozdrski stroji	Meritev glasnosti		

Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
7867-1	Pnevmatike in platišča za kmetijske traktorje in stroje	Označbe pnevmatik in dimenzij z označbo uskladitve pnevmatike in platišča		
7867-2		Opis dela in ocenitev obremenitve		
8664	Kmetijski traktor	Pnevmatike pogonskih koles	Indeks obremenitev - histrostni simbol	
8759-1	Kmetijski kolesni traktorji	Prednje tritočkovno drogovje in prednja priključna gred	Priključna gred	×
8759-2		Prednje tritočkovno drogovje in prednja priključna gred	Prednje tritočkovno drogovje	×
8935	Traktorji za kmetijstvo in gozdarstvo			
10448	Kmetijski traktor	Tlak hidravličnega fluida za zunanje porabnike		×
10998	Kmetijski kolesni traktor	Zahteve za upravljanje		
11001-1	Kmetijski traktorji in priključni stroji	Tritočkovni priključni spoji	U-priključni okvir	×
11001-2			A-priključni okvir	×
11001-3			Pripenjalne kljuge	×
11001-4			Vlečni drog	×
11374	Kmetijski traktorji in priključni spoji	Štiritočkovni togi priključni spoj	Opis	×
11471	Kmetijski traktorji in stroji	Označevanje hidravličnih priključkov in krmilnih elementov		×



Tabela 3.1: ISO standardi s področja kmetijskih traktorjev

Št.	Splošni naslov	Področje obravnave	Podrobnejši opis	SIST
11684	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Motorni vrtnarski stroji	Varnostne oznake in oznake za nevarnost	×
11783-2	Traktorji, kmetijski in gozdarski stroji	Serijski kontroler in komunikacija podatkovnega omrežja	Fizikalna plast	
11783-3			Podatkovna plast	
11783-4			Mrežna plast	
11783-5			Mrežno upravljanje	
11783-9			Traktor ECU	
11786	Kmetijski traktorji in stroji	Traktor z vgrajenim vmesnim senzorjem	Specifikacija	
11795	Pnevmatike kmetijskih traktorjev	Metoda za merjenje oboda kotalje-nje pnevmatike		
12369	Kmetijski traktorji in stroji	Električna energija	Transmisija, prenos preko konektorjev	
14269-1	Traktorji in samohodni stroji za kmetijstvo in gozdarstvo	Upravljač obsega okolja	Slovar	
14269-2			Ogrevanje, ventilacija in test in metoda klime	
14269-3			Določba efekta solarnega ogrevanja	
14269-4			Zračni filter	
14269-5			Metoda testa za vzdrževanje normalnega zračnega tlaka	

Iz zgornje tabele je razvidno, da je v Sloveniji veljavnih le del standardov, ki jih ima Evropa v zvezi z kmetijskimi traktorji. Predvsem gre tu za novejšje standarde v zvezi s komunikacijami na traktorjih in delovnim prostorom operaterja.

## POGLAVJE 4

---

### Zasnova traktorja

---

Zasnova izdelka je prva faza v razvojno-konstruktivnem procesu s katerim omogočimo, da se ideja o zadostitvi nove funkcije v naravi smiselno predeljuje do najmanjšega detajla in se predstavi v nematerialni obliki kot izdelek [15].

Razvoj izdelka se v celoti odvija v konstruktivnem procesu, v katerem so posamezne faze pri različnih avtorjih modelov opredeljene različno. Najbolj poznane metode razvoja izdelka so [15]:

- konstruktivni proces po priporočili VDI 2221,
- heuristične metode v konstruktivnem procesu,
- generalizirana metoda,
- integriran konstruktivni proces,
- iterativni konstruktivni proces,
- aksiomatično konstruiranje,
- simultani inženiring,
- primerjalni inženiring.

Razvoj traktorja temelji na *integriranem konstruktivnem procesu*. Le-ta pa izhaja iz opredelitve tehničnega procesa [17],[18].

## 4.1 Konstrukcijska naloga

### 4.1.1 Specifikacija konstrukcije

V tem delu specificiramo zahteve in želje, ki jih mora izpolnjevati novo zasnovana konstrukcija oz. izdelek. V našem primeru gre za konstrukcijo traktorja primerneza za delo v posebnih pogojih (poglavje 1.2). V tabeli 4.1 so predstavljene najvažnejše zahteve in želje.

Kot je že bilo omenjeno, so osnova vsake konstrukcije standardi, ki to konstrukcijo opredeljujejo.

**Tabela 4.1:** Specifikacija konstrukcije

Specifikacija konstrukcije	Zahteva	Želja
FUNKCIJA		
Transport in pogon priključkov	×	
POGOJI TEHNIČNEGA PROCESA		
<i>Priključki na traktorju</i>		
Zadaj priključeni priključki	×	
Spredaj priključeni priključki		×
Priklop na ogrodje		×
Pogon preko priključne gredi	×	
Pogon s pomočjo hidravlične energije	×	
Električni priključek	×	
<i>Transport in pogon priključkov</i>		
Minimalna moč motorja 26 kW	×	
Možnost uporabe motorja moči 40 kW		×
Brezstopenjsko spreminjanje hitrosti od 0 - 30 km/h	×	
Brezstopenjsko spreminjanje hitrosti od 0 - 40 km/h		×
Posamično vzmetenje koles z možnostjo blokade		×
Izbira smeri vožnje	×	
Brezstopenjsko spreminjanje širine koloteka	×	
Pogon na vsa štiri kolesa	×	
Krmiljenje vseh štirih koles	×	
Možnost t.i. pasjega hoda		×
Kontrola zdrsa		×
Zadnji tritočkovni priklop	×	
Prednji tritočkovni priklop		×
Vlečna kljuka zadaj/spredaj	×	
Pogonska gred zadaj s 540 in 1000 vrt./min	×	

Tabela 4.1: Specifikacija konstrukcije

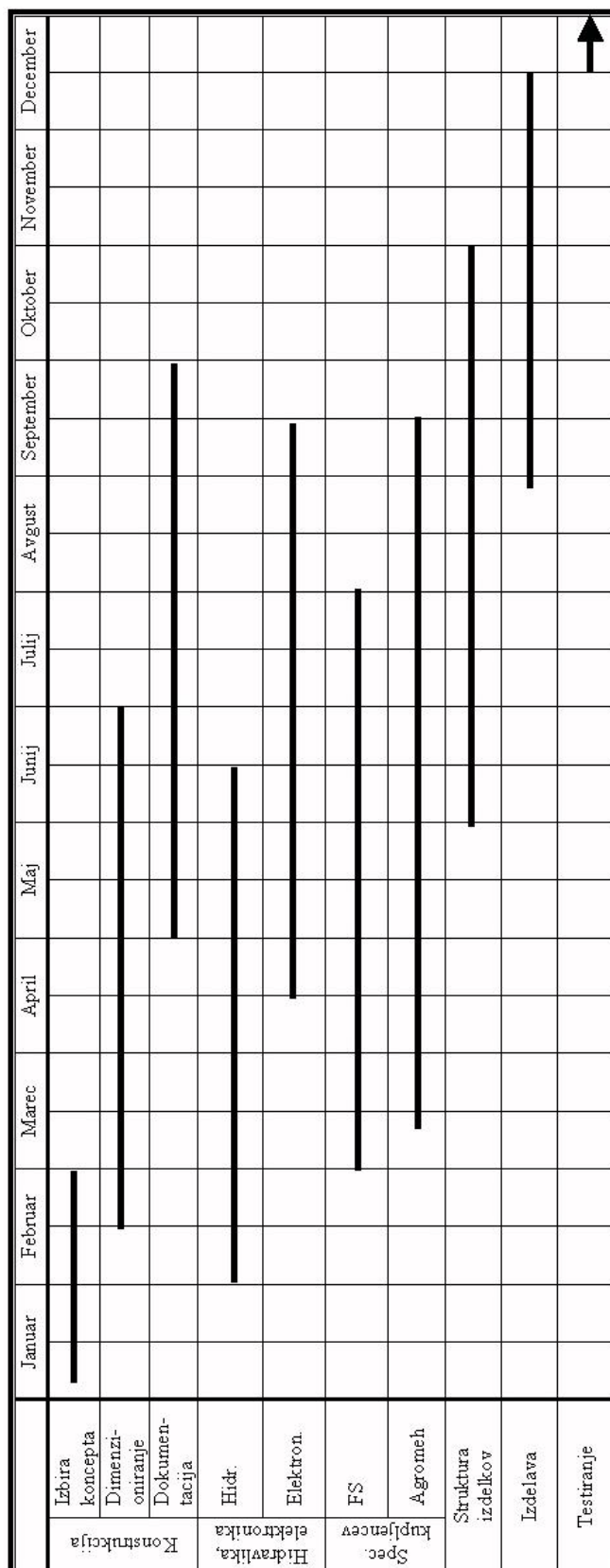
Specifikacija konstrukcije	Zahteva	Želja
Pogonska gred spredaj		×
Sinhronizirana pogonska gred		×
Vrtenje priključne gredi neodvisno od smeri in hitrosti vožnje	×	
Možnost spreminjanja smeri vrtenja priključne gredi levo/desno		×
Dva hidravlična priključka za pogon priključkov	×	
<i>Okolje</i>		
Delo na strmini (bočno min. 30°)	×	
Delo na strmini (bočno min. 40°)		×
Majhna poškodba podlage	×	
Uporaba za kmetijske in komunalne namene	×	
<i>Konstrukcija</i>		
Modularna zgradba	×	
Enostavnost	×	
Nizko težišče	×	
Visok prosti prehod pod traktorjem		×
Uporaba standardnih in že obstoječih elementov	×	
Prilagoditev standardom in tehničnim specifikacijam (poglavje 3)	×	
Optimiranje konstrukcije - majhna lastna masa		×
<i>Varnost</i>		
Izpolnjevanje standardov SIST ISO 1152, 3463, 4254-3, 5700,	×	
Izpolnitev zahtev TVS 309, 310, 316, 318, 319, 321	×	
Blokada koles pri ugasnjem traktorju	×	
Zagon traktorja samo pri izključeni pogonski gredi in nevtralnem položaju smeri vožnje	×	
Takojšna ustavitev traktorja v primeru napake na sistemu za vožnjo		×
Zaščita vseh ostrih delov	×	
OPERATIVNE LASTNOSTI		
Enostavno upravljanje	×	
Minimalna življenska doba 10.000 delovnih ur	×	
Zanesljivost delovanja		×
Enostavno servisiranje in vzdrževanje		×
Mazanje vsakih 50 ur delovanja	×	
Uporaba biološko razgradljivih maziv		×
Rezervoar za gorivo vsaj 50 l	×	

Tabela 4.1: Specifikacija konstrukcije

Specifikacija konstrukcije	Zahteva	Želja
ERGONOMIČNE LASTNOSTI		
Nastavljiv sedež z blažilcem sunkov	×	
Zračno vzmeten sedež		×
Volan nastavljiv po nagibu in višini		×
Priročna namestitvev komandnih ročic in gumbov		×
Dobra preglednost na dogajanje okrog traktorja		×
IZGLED		
Oblika in barva traktorja naj bo prijetna za oko in rokovanje in naj ne bo izstopajoča		×
PROIZVODNJA		
Minimalno 50 kos/leto		×
DOBAVNI ROK, PLAN		
Dobava iz zaloge ali v času 2 meseca od naročila		×
CENA		
Cena primerljiva oz. nekoliko višja od podobnih traktorjev z mehansko transmisijo		×

#### 4.1.2 Časovni potek projekta

Časovni potek izvajanja projekta je bil narejen na začetku izvajanja naloge, nato pa se je prilagajal dejanskemu stanju. Slika 4.1 prikazuje predvideno izvajanje projekta v letošnjem letu.



Slika 4.1: Časovni potek projekta

### 4.1.3 "Black box" diagrama

Vsak tehnični proces si lahko predstavljamo kot črno skrinjico (*black box*). V tem primeru, ko je tehnični proces transport in/ali pogon priključkov imamo sledeče vhodne veličine:

- **material**

V primeru transporta je material snov, ki jo želimo transportirati iz enega mesta na drugo. V primeru, ko gre za pogon priključkov pa je material lahko zemlja, trava, sneg itd.

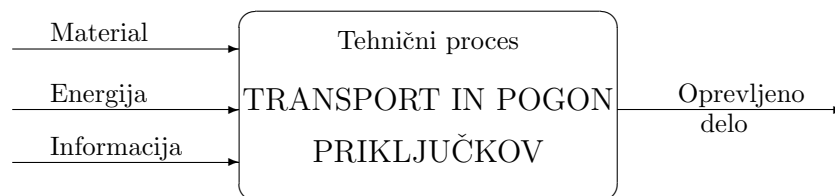
- **energija**

Traktor navadno dobiva energijo od motorja, ki ga poganja, ta pa iz goriva (plinsko olje - *nafta*).

- **informacija**

Za informacije skrbi voznik oz. upravljaec traktorja. Krmiljenje je lahko neposredno ali daljinsko.

Na izhodu dobimo željen rezultat, ki je v obliki opravljenega dela (prepeljan tovor, obdelana zemlja, splužen sneg, itd.) (slika 4.2).



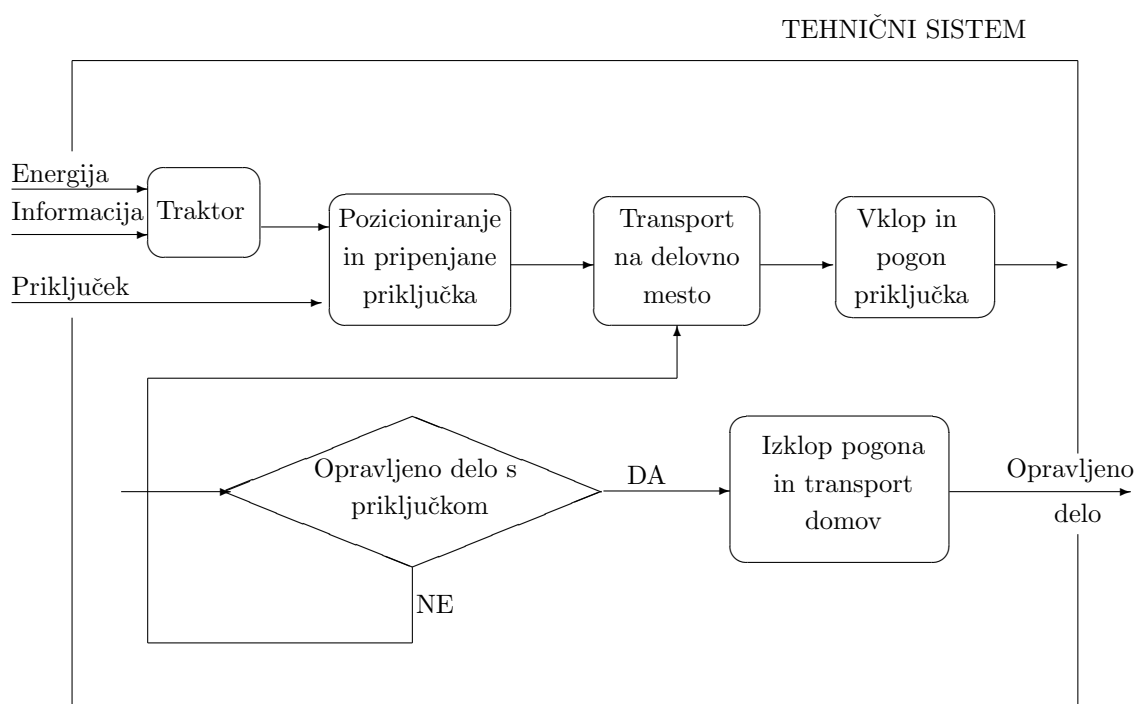
Slika 4.2: "Black box" diagram

### 4.1.4 Tehnični proces

V tem koraku je potrebno "črno skrinico" (slika 4.2) odpreti in pogledati, kako je sestavljen proces, ki skrbi, da iz vhodnih parametrov dobimo željen rezultat. V našem primeru gre za tehnični proces transporta in pogona priključkov (slika 4.3).

## 4.2 Funkcijska struktura

Za celovit pristop h konstrukcijski nalogi je potrebno razdelati funkcijsko strukturo, ki se izvaja v tehničnem procesu. Za izvajanje tehničnega procesa sta potrebna tako operater stroja kakor sam stroj. Vsak opravlja svojo funkcijo, tako da imamo:

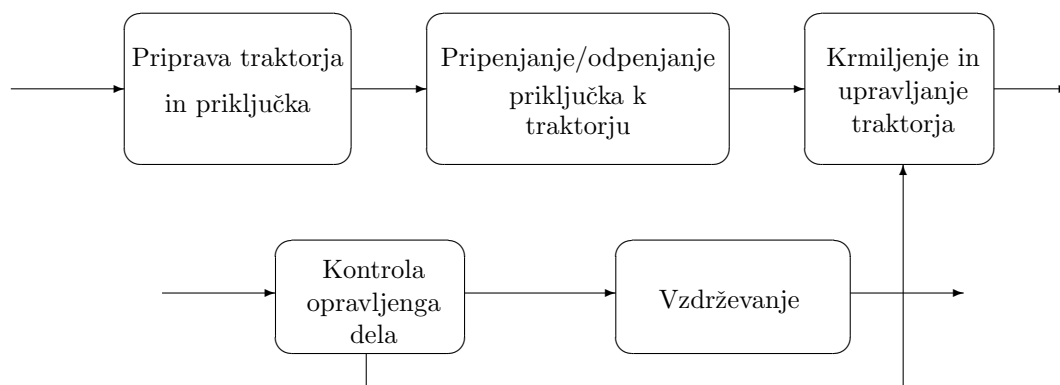


Slika 4.3: Tehnični proces

- **funkcijska struktura operaterja**

Vsak tehnični proces mora imeti operaterja, ki zanj skrbi. Vključevanje operaterja v tehnični proces je odvisno od zahtevnosti procesa in njegove avtomatizacije. Z avtomatizacijo lahko delno nadomestimo operaterja, ne moremo pa ga čisto izključiti iz procesa.

Na sliki 4.4 so prikazane funkcije operaterja omenjenega traktorja, ki s svojim znanjem in usposobljenostjo lahko veliko pripomore k hitrosti in kakovosti opravljenega dela.



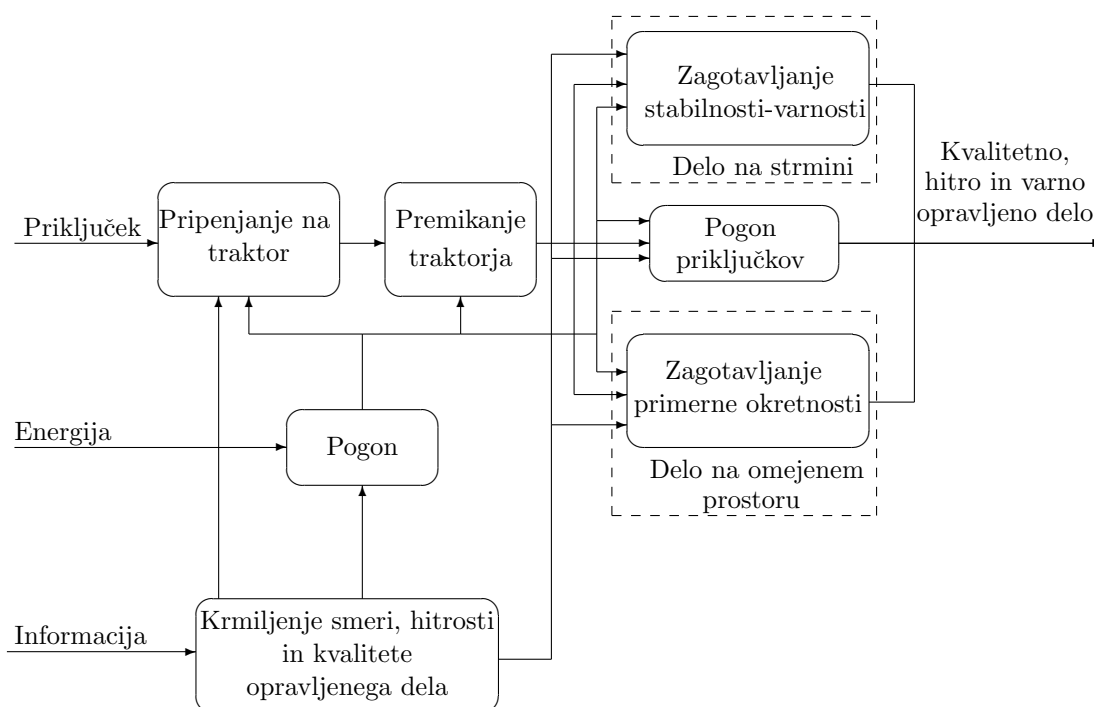
Slika 4.4: Funkcijska struktura operaterja



- **funkcijska struktura stroja**

Prav tako je rezultat dela odvisen od stroja, ki na ukaz operaterja izvede določeno zaporedje funkcij. Vsaki funkciji iz funkcijske strukture (slika 4.5) kasneje določimo delovne principe, s katerimi zadovoljimo izbrano funkcijo.

V našem primeru, ko gre za izredno kompleksen stroj, je zelo pomembno, da pretirano ne drobimo funkcije na podfunkcije, s čimer bi lahko zameglili glavni problem. Na sliki 4.5 so prikazane tiste funkcije, za katere je traktor še posebno namenjen.



**Slika 4.5:** Funkcijska struktura stroja

### 4.3 Morfološka matrika

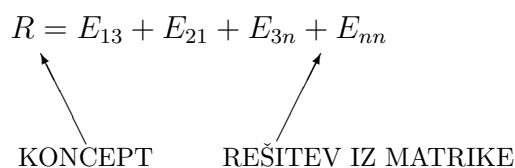
Morfološka matrika (slika 4.7) je tabela funkcij iz funkcijske strukture in alternativnih delovnih principov. Delovni princip je odvisen od funkcije, ki jo moramo izpolniti in funkcijskega zakona, ki ustreza izbrani funkciji (slika 4.6).



Slika 4.6: Delovni princip [2]

Iz morfološke matrike izbiramo delovne principe za posamezno funkcijo iz funkcijske strukture in tako postopoma gradimo koncept [2].

ZAHTEVE	DELOVNI PRINCIPI			
FUNKCIJA 1	DELOVNI PRINCIP 11	DELOVNI PRINCIP 12		DELOVNI PRINCIP 1n
FUNKCIJA 2	DELOVNI PRINCIP 21	DELOVNI PRINCIP 22		DELOVNI PRINCIP 2n
FUNKCIJA 3	DELOVNI PRINCIP 31	DELOVNI PRINCIP 32		DELOVNI PRINCIP 3n
FUNKCIJA k	DELOVNI PRINCIP k1	DELOVNI PRINCIP k2		DELOVNI PRINCIP kn

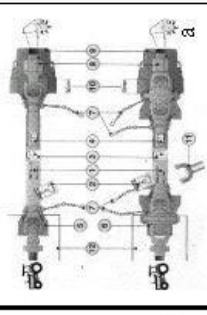

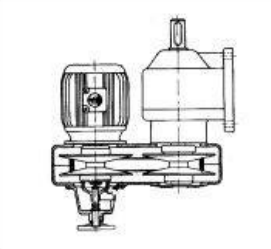


Slika 4.7: Morfološka matrika - splošno

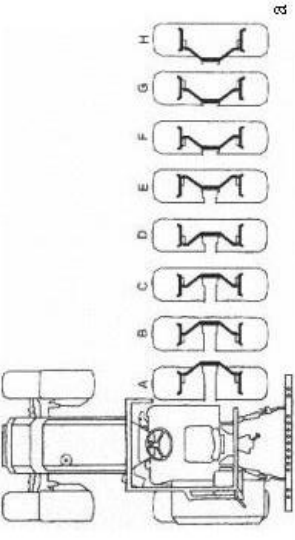
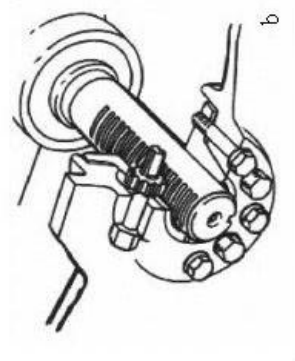
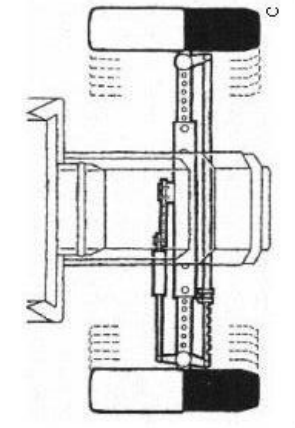
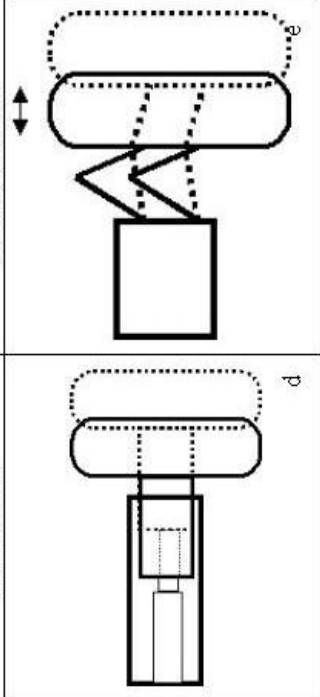
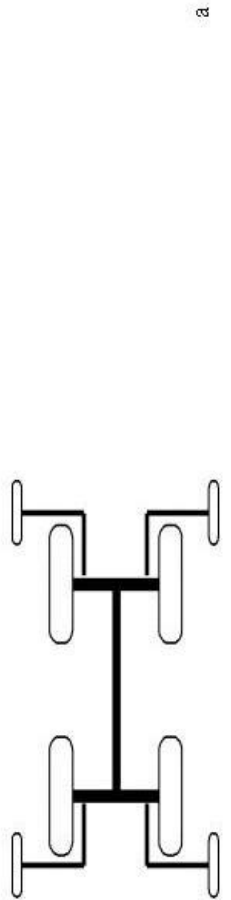
Morfološka matrika (slika 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14) prikazuje možne delovne principe za zadovoljitev funkcij, ki so prikazane na sliki 4.5. Prikazani so že poznani delovni principi in novi, še ne poznani. Posebno pozornost smo namenili funkciji *zagotovitev stabilnosti-varnosti*, funkciji *zagotovitev primerne okretnosti* in funkciji *krmiljenja*.

FUNKCIJA		NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP				
1	PRIPENJANJE PRIKLJUČKA NA TRAKTOR ZADAJ / SPREDAJ	TRITOČKOVNI PRIKLOP			VLEČNA KLJUKA	
		NAVADEN	AVTOMATSKI	SPODNJA	AVTOMATSKA	NASTAVLJIVA
2	PREMIKANJE	Z VILJAKI			S PRISLONOM	
		NA KONSTRUKCIJO			NOGE	
1	KOLESA	S SORNIKI			GOSENICE	
		DVOJNA			GUMJASTE	
2	ENAKA RAZLIČNA	ENOJNA			KOVINSKE	
		1			3	
2	1	2			4	
		1			5	
2	2	6			7	
		8			5	

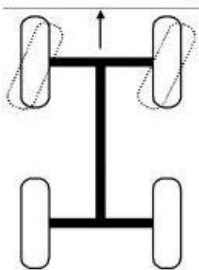
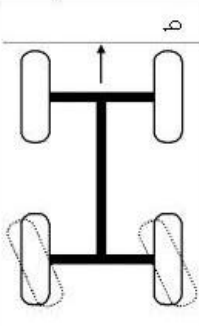
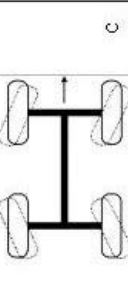
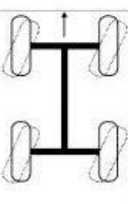
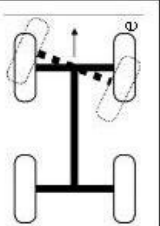
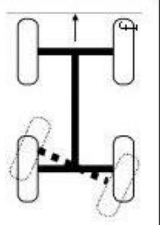
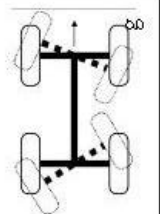
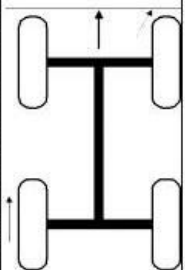
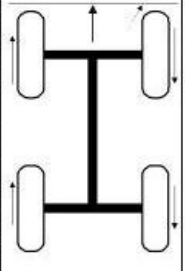
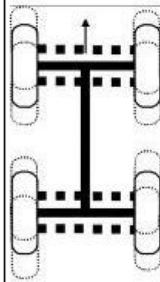
Slika 4.8: Morfološka matrika 1/7

NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP			
FUNKCIJA	MEHANSKI	1	KOMBINIRANI
POGON PRIKLJUČKOV	KRDANSKA GRED		
	JERMENSKI / VERIŽNI POGON		
			
			MEHANSKI + HIDRAVLIČNI
ZAGOTAVLJANJE STABILNOSTI - VARNOSTI	HORIZONTALNO		
	PRMIK DODATNE MASE		
	LEVO / DESNO	NAPREJ / NAZAJ	LEVO / DESNO
	ZAMIKANJE KOLES		
4	VERTIKALNO		
	DVIĞANJE / SPUŠČANJE KOLES		
	DODAJANJE DODATNE MASE		
	8		


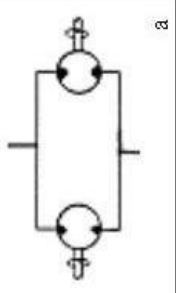
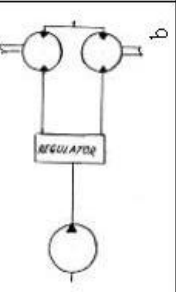

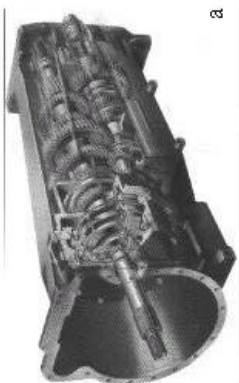
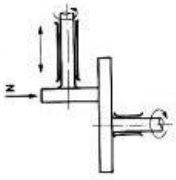

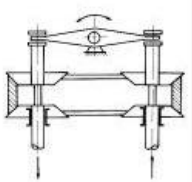
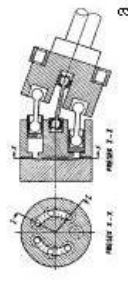
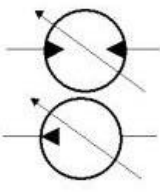
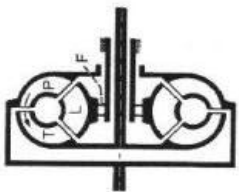
Slika 4.9: Morfološka matrika 2/7

FUNKCIJA		NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP			
ZAGOTAVLJANJE STABILNOSTI - VARNOSTI	4	Z OBRACANJEM KOLES OZ. PLATIŠČA	ROČNO S POMIKANJEM KOLESA PO PESTU	Z RAZTEZANJEM NOSILCA	
		POVEČANJE ŠIRINE KOLOTEKA			
	2	TELESKOP	HIDRAVLIČNO	AVTOMATSKO	
			MEHANIZEM	S KRMILJENJEM KOLES MED VOŽNJO	
DODATNA OPORNA KOLESA	3				

Slika 4.10: Morfološka matrika 3/7

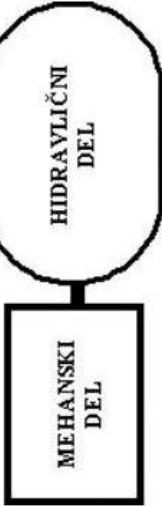
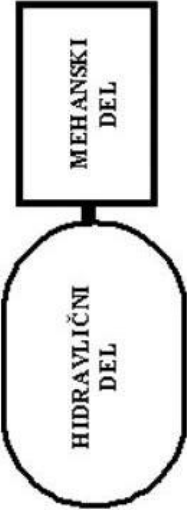
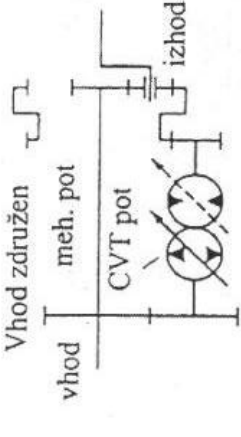
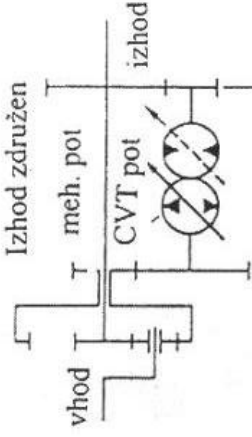
FUNKCIJA	<b>NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP</b>				
	Z OBRAČANJEM KOLES				
ZAGOTAVLJANJE OKRETNOSTI	PREDNJA		VSA ŠTIRI		
	ZADNJA		VOŽNJA V KROGU	VOŽNJA BOČNO (PASJI HOD)	
					
	Z ZGIBANJEM KONSTRUKCIJE				
	ZASUK CELOTNE PREME		SREDINSKO ZGIBANJE		
	PREDNJA	ZADNJA	OBE		
					
	Z RAZLIČNIMI HITROSTMI KOLES				
	Z USTA VLJANJEM		Z VRTENJEM V NASPROTNI SMERI		
					
KOMBINACIJE					
S SPREMINJANJEM MEDOSNE RAZDALJE					
					
5	S KRMILJENJEM			2	

Slika 4.11: Morfološka matrika 4/7

NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP					
FUNKCIJA	6	POGON IN DELITEV MOČI	MEHANSKI	1	KOMBI-NIRANI
		DELITEV MOČI NA KOLESIH	DIFERENCIAL		2
			BREZ ZAPORE a	ROČNA ZAPORA b	AVTOMATSKA ZAPORA c
					
					
					
			MEHANSKO		
FUNKCIJA	7	KRMILJENJE HITROSTI	STOPENJSKO	BREZSTOPENJSKO	
				TORNO	VERIŽNO
					
			MEHANSKO		
			HIDRAVLIČNO		
			HIDROSTATIČNO		
			Z REGULACIJO IZTISNINE	Z REGULACIJO IZTISNINE	HIDRODINAMIČNO
			ČRPALKE	ČRPALKE IN HIDROMOTORJA	
					
			ELEKTRIČNO (VRIAK, FERKVENČNA REGULACIJA)		

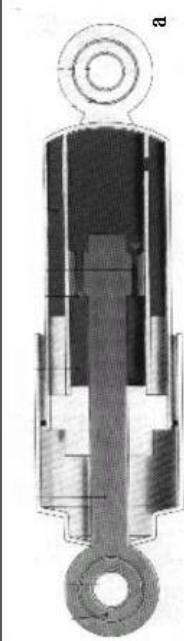

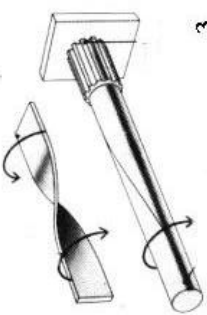
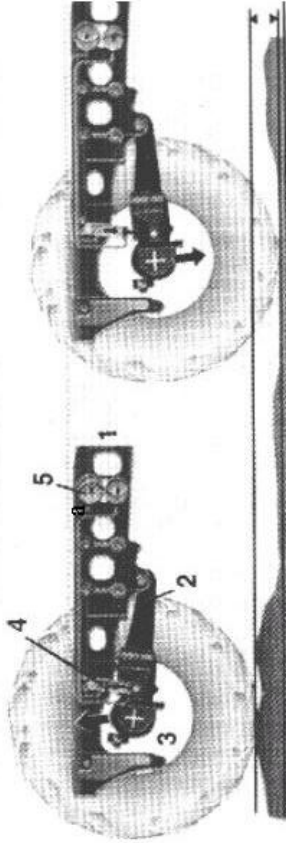
Slika 4.12: Morfološka matrika 5/7



FUNKCIJA	NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP	
<p style="text-align: center;">KRMILJENJE HITROSTI</p>	<p style="text-align: center;">MEHANSKI DEL + HIDRAVLIČNI DEL</p>  <p style="text-align: center;">a</p>	<p style="text-align: center;">HIDRAVLIČNI DEL + MEHANSKI DEL</p>  <p style="text-align: center;">b</p>
	<p>HIDROMEHANSKO - DIREKTNO</p>	
<p style="text-align: center;">7</p>	<p style="text-align: center;">HIDROMEHANSKO Z DELITVLJO MOČI</p>  <p style="text-align: center;">a</p>	 <p style="text-align: center;">b</p>

Slika 4.13: Morfološka matrika 6/7



FUNKCIJA	NOSILEC FUNKCIJE / DELOVNI PRINCIP		1	
	TOGA POVEZAVA KOLESA IN KONSTRUKCIJE		1	
TOG PRENOS	HIDRAVLIČNI BLAŽILNIK		2	
	BLAŽILNI ELEMEN		BLAŽILNIK S PLINSKIM TLAKOM	
VZMETENJE	ELASTIČNI ELEMEN		4	
	VIAČNA VZMET		VZVOJNA PALICA	
8	HIDROPNEVMATSKO VZMETENJE		5	
	PRENOS SUNKOV NA KONSTRUKCIJO			

Slika 4.14: Morfološka matrika 7/7

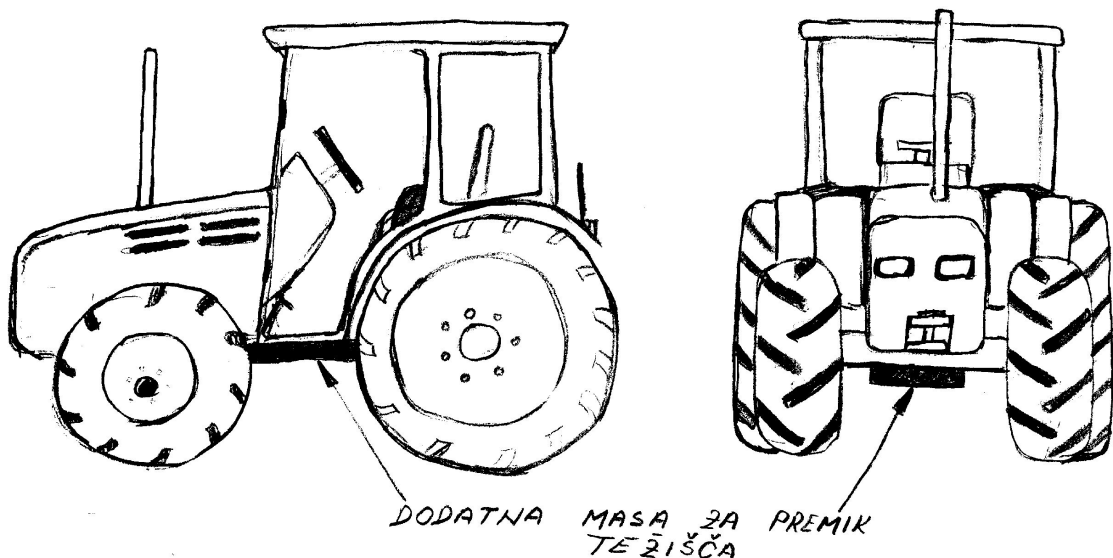
## 4.4 Koncepti

S pomočjo morfološke matrike smo pripravili več konceptov rešitve konstrukcije omenjenega traktorja. V nadaljevanju bomo te koncepte ocenili in izbrali najprimernejšo rešitev.

Izbrani koncepti so zasnovani tako, da skušamo čimbolj zadostiti zahtevam in željam (tabela 4.1). Nekateri koncepti so izbrani tako, da skušamo uporabiti že obstoječe izvedbe in jih z minimalnimi spremembami oz. dopolnitvami uporabiti v našem primeru. Drugi koncepti pa odkrivajo nove rešitve, ki pri kmetijskih strojih še niso v uporabi.

### 4.4.1 Koncept 1

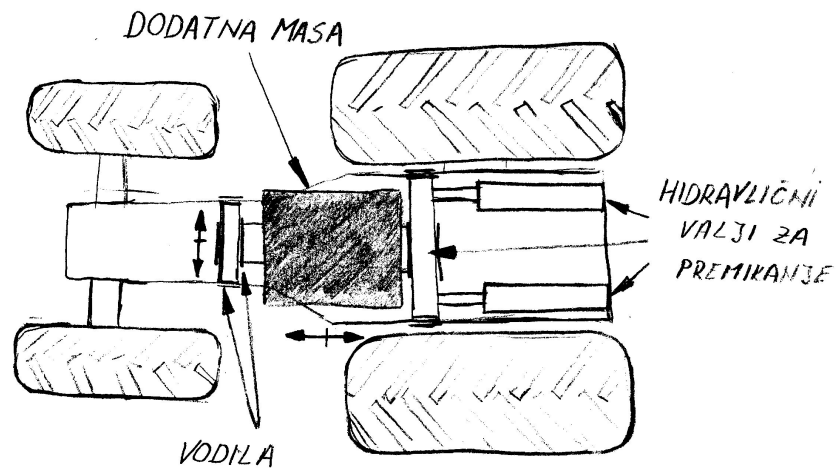
$$R = E_{12,15} + E_{2b1} + E_{31a,32} + E_{41a,b} + E_{42a} + E_{51a} + E_{61c} + E_{71a} + E_{825}$$



Slika 4.15: Koncept 1

Koncept 1 (slika 4.15) je poznana izvedba standardnega traktorja (2.4(b)). Opremljen je z avtomatskim tritočkovnim priklopom in nastavljivo vlečno kljuko zadaj. Vsa štiri kolesa so pogonska s tem, da so zadnje nekoliko večje od prednjih. Za pogon priključkov sta predvidena zadnja priključna gred in hidravlična črpalka.

Razlika tega koncepta od standardnega traktorja je v tem, da je dodatno poskrbljeno za varnost oz. stabilnost. Premik težišča (slika 4.16), izveden s pomočjo dodatne mase, ki jo pomikamo levo/desno in naprej/nazaj, skrbi za to, da je varnost zagotovljena tudi na velikih strminah. Dodatno pa povečujemo stabilnost tudi s povečanjem širine koloteka, ki jo spreminjamo s pomočjo obračanja koles.

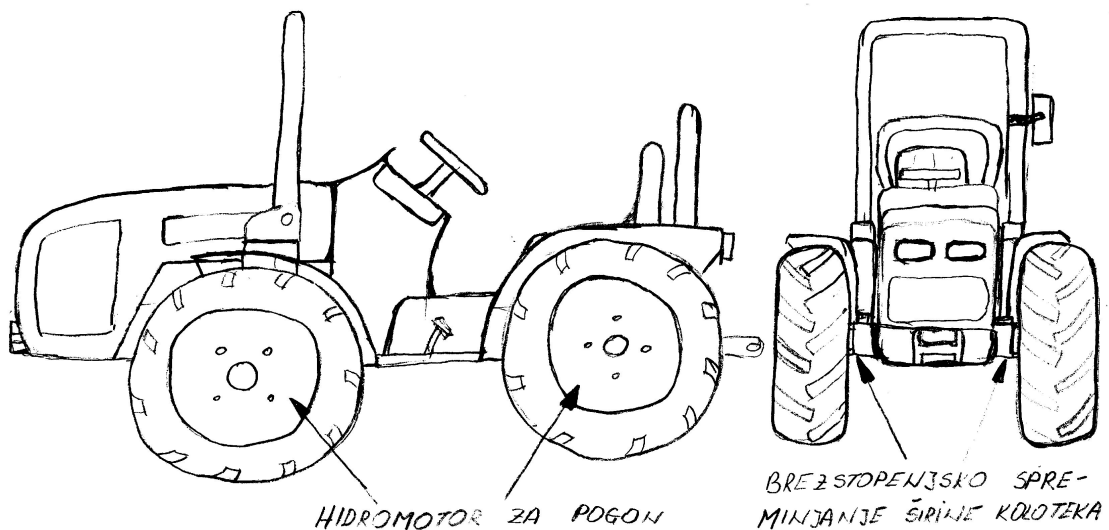


Slika 4.16: Dodatna masa za spreminjanje težišča traktorja

Krmiljenje traktorja ostane enako kakor pri standardnih traktorjih. To pomeni, da se krmilijo prednja kolesa. Mehanska transmisija skrbi za pogon traktorja. Moč se prenaša iz motorja preko ročnega menjalnika na prednji in zadnji diferencial z avtomatsko zaporo.

#### 4.4.2 Koncept 2

$$R = E_{11,15} + E_{a1} + E_{31a,32} + E_{42a,42d} + E_{51c,51d} + E_{62b} + E_{72a} + E_{81}$$

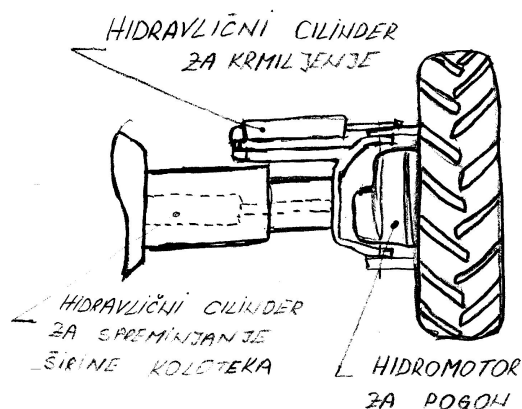


Slika 4.17: Koncept 2

Koncept 2 (slika 4.17) predstavlja novo dobo traktorjev. Klasično pripenjanje priključkov na trotočkovni priklop in vlečo kljuko omogoča uporabo široke palete

priključkov. Enaka kolesa na prednji in zadnji premi zagotavljajo dober oprijem in veliko vlečno silo. Prav tako je za pogon priključkov predvidena klasična krdanska gred in hidravlična črpalka.

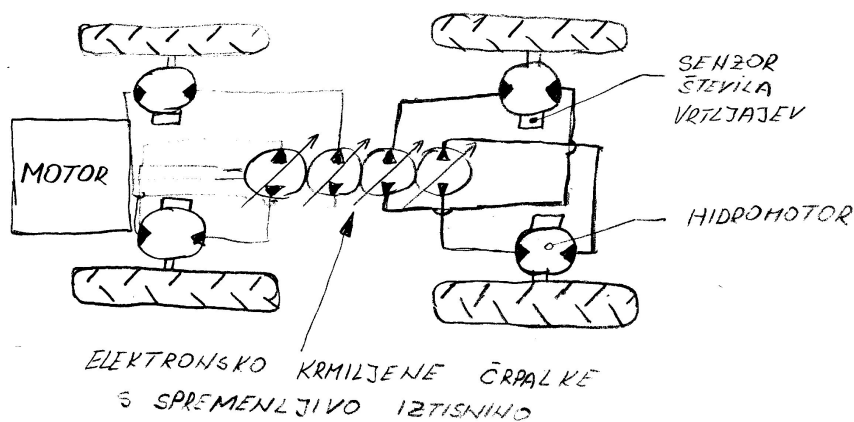
Novost, ki jo predstavlja ta koncept je brezstopenjsko hidravlično spreminjanje širine koloteka (slika 4.18), ki skrbi za hitro in enostavno prilagajanje traktorja delovnim okoljem. Z obračanjem koles pa lahko dodatno povečamo širino koloteka oz. grobo nastavimo območje brezstopenjske regulacije. Naslednja lastnost omenjenega



Slika 4.18: Brezstopenjsko hidravlično spreminjanje širine koloteka

koncepta je krmiljenje vseh štirih koles. Možnost krmiljenja vsake osi posebej nam daje dodatne možnosti vožnje (pasji hod), s čimer še dodatno povečamo uporabnost in priročnost. Lahko pa krmiljenje zadnjih koles blokiramo in dobimo klasično krmiljenje prednjih koles.

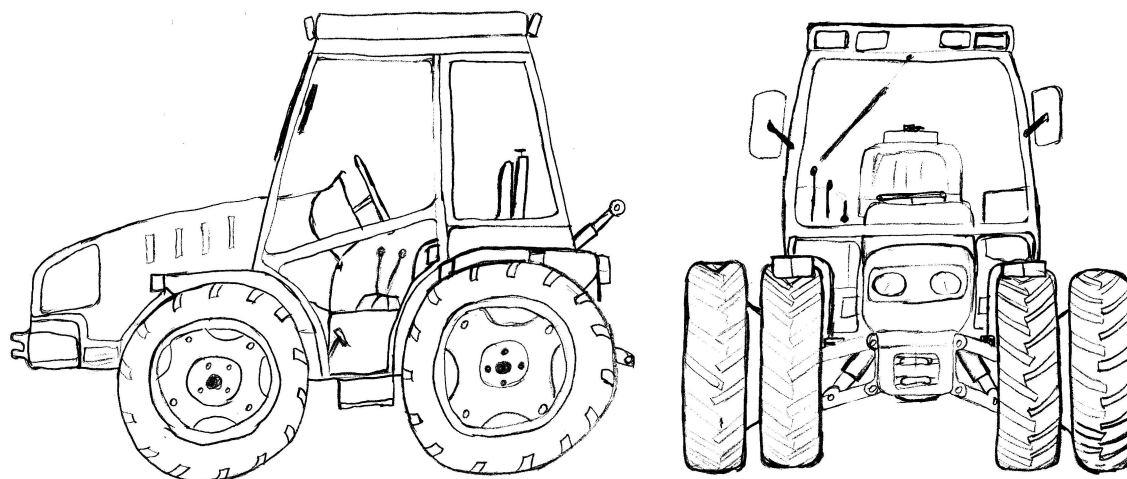
Hidrostatski pogon je izveden tako, da ima vsako kolo svoj hidromotor. Štiri elektronsko krmiljene črpalke s spremenljivo iztisnino skrbijo, da vsako kolo dobiva toliko moči kot jo rabi in da ne prihaja do zdrsov posmeznega kolesa (slika 4.19).



Slika 4.19: Izvedba hidrostatskega pogona

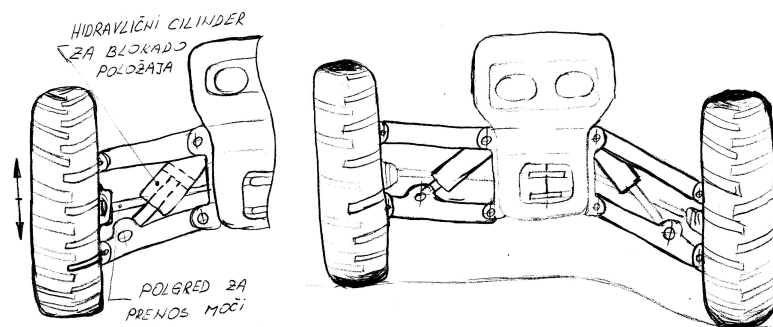
## 4.4.3 Koncept 3

$$R = E_{11,15} + E_{a1(a2)} + E_{31a,32} + E_{41e,42a} + E_{51c,51d} + E_{61b} + E_{71a} + E_{82a1}$$



Slika 4.20: Koncept 3

Koncept 3 (slika 4.20) je nekoliko posodobljena oblika že obstoječega traktorja (*CAST*). Priklop in pogon priključkov je izveden podobno kakor pri že prej omenjenih konceptih. Za pogon in premikanje so predvidena štiri enaka kolesa. Možna je montaža dodatnih koles, s čimer povečamo naležno površino in zmanjšamo pritisk na podlago.



(a) Vzmetenje koles z možnostjo blokade

(b) Poravnava traktorja na nagnjenem terenu

Slika 4.21: Možnosti posamičnega vzmetenja

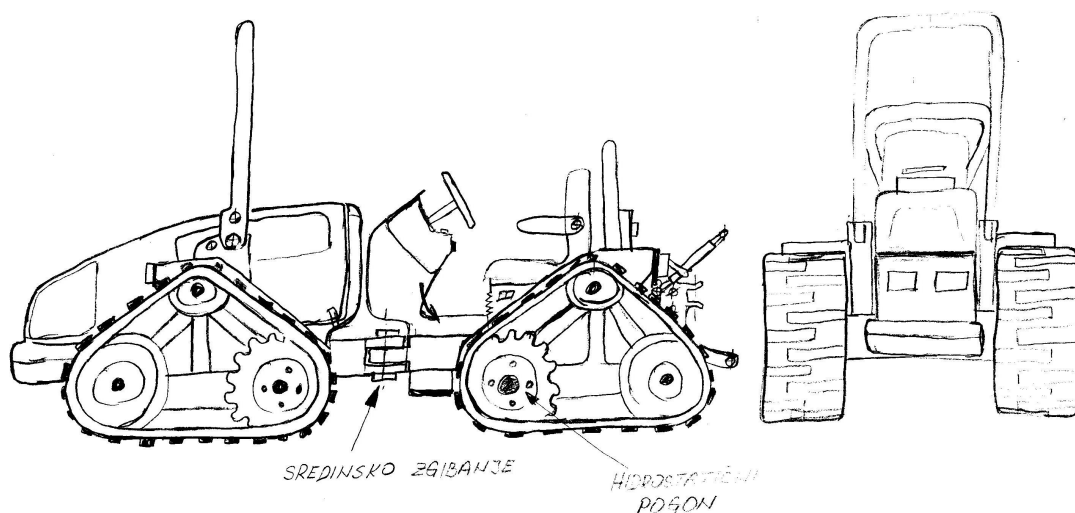
Posamično vzmetenje koles zagotavlja dobre vozne lastnosti. Ob enem pa s posebnimi hidravličnimi blažilniki, ki jih lahko blokiramo v poljubnem položaju zagotovimo potrebno stabilnost (slika 4.21(a)). Omenjen sistem nam tako omogoča spreminjanje

prostega prehoda pod traktorjem in s tem stabilnosti, ob enem pa je možen nagib traktorja glede na podlago (slika 4.21(b)).

Krmiljenje je izvedeno podobno kot pri konceptu 2. To pomeni, da lahko krmilimo vsako kolo posebej, s čimer povečamo okretnost traktorja. Klasična mehanska transmisija z visokim izkoristkom skrbi za dober prenos moči od motorja, preko menjalnika in diferenciala z ročno zaporo na kolesa.

#### 4.4.4 Koncept 4

$$R = E_{11,15} + E_{24} + E_{31a,32} + E_{51h,51j} + E_{62b} + E_{72a} + E_{81}$$



Slika 4.22: Koncept 4

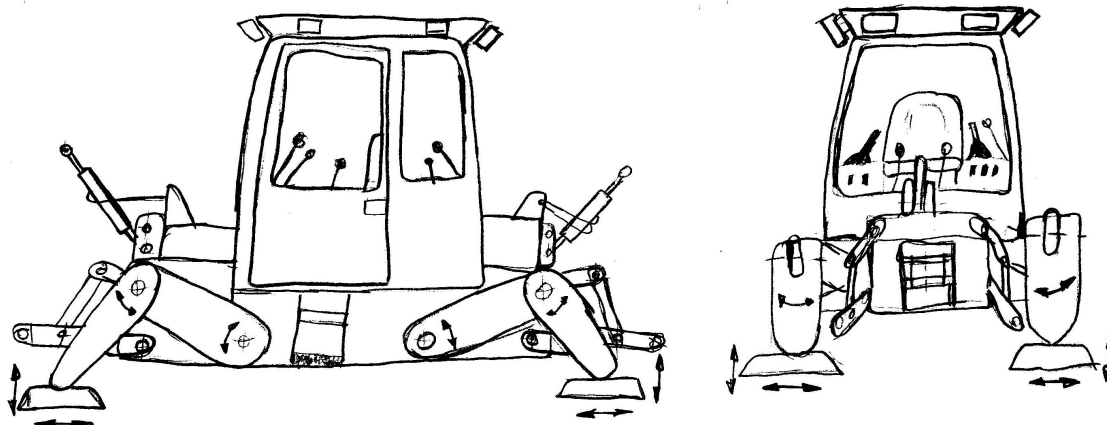
Podobno kakor koncept 3 je tudi koncept 4 (slika 4.22) deloma že poznan (*CASE-IH, QUADTRAC*). Tudi v tem primeru je pripenjanje in pogon priključkov izveden enako kakor pri vseh konceptih do sedaj.

Posebnost tega koncepta je, da je trakcijski sistem izveden s pomočjo gumijastih gosenic. Štiri gosenice zagotavljajo veliko naležno površino, s tem manjši površinski pritisk na podlagi in posledično manjše poškodbe podlage. Krmiljenje je izvedeno s sredinskim zgibanjem konstrukcije, kar nam omogoča majhne premere obračalnega kroga in s tem veliko okretnost. Druga možnost krmiljenja, ki jo ponujajo gosenice in hidrostatični pogon pa je nasprotno vrteče gosenice (princip pri bagrih in buldožerjih), ki omogoča izjemno okretnost. S kombinacijo obojega pa bi se okretnost še povečala.

Kot je zgoraj omenjeno je pogon gosenic hidrostatičen, kar pomeni, da motor poganja črpalke s spremenljivo iztislino, le-te pa hidromotorje za posamezne gosenice (slika 4.19).

#### 4.4.5 Koncept 5

$$R = E_{11,15} + E_{25} + E_{31a,32} + E_{41c^*,41d^*} + E_{51c^*,51d^*} + E_{62b} + E_{72c} + E_{81}$$



Slika 4.23: Koncept 5

Koncept 5 (slika 4.23) je v kmetijski tehniki še dokaj nepoznan, pri čemer se je v gozdarski tehniki pojavil že leta 1995 (izdelek finskega podjetja *Timberjack*). Njegova značilnost je, da za premikanje uporablja "noge".

Glede na to, da je ta koncept bolj primeren za statična dela na ekstremnih pogojih, je zasnovan tako, da je pripenjanje priključkov spredaj in zadaj, kabina pa je nameščena sredinsko. Celotni komandni pult je moč zavrteti za 360°, tako da lahko delamo v vseh smereh. Za pogon priključkov sta predvidena krdanska gred, ki je gnana s hidromotorjem, kar omogoča enostavno spreminjanje število vrtljajev in šest hidravličnih priključkov.

Sama stabilnost stroja je zagotovljena z nogami, ki se gibljejo v vse smeri, tako da omogočajo gibanje stroja v poljubni smeri. Pogon je v celoti hidrostatičen. Celoten sistem je elektronsko krmiljen, tako da je upravljanje enostavno. "Noge" omogočajo tudi spreminjanje prostega prehoda pod traktorjem in s tem enostavno spreminjanje težišča.

Prednost tega koncepta so predvsem dobre manevrske sposobnosti na težkih terenih. Slaba stran *hodečega* traktorja pa je njegova sposobnost za transport.

## 4.5 Vrednotenje

Vrednotenje je pomemben korak v snovanju konstrukcije. S pravilno odločitvijo v fazi zasnove lahko močno vplivamo predvsem na ceno konstrukcije. Vsako spreminjanje konstrukcije v kasnejši fazi povzroča večje stroške.

Koncepte iz prejšnjega poglavja smo vrednotili na dva načina:

- **tehnična ocena**

V tem delu smo ocenjevali koncepte predvsem na njihovo izpolnjevanje zahtev in želja, ki so predstavljene v tabeli 4.1. Izbrali smo osem kriterijev, ki so najpomembnejši iz tehnične plati. Ker pa niso vsi kriteriji enako pomembni, smo tudi kriterije vrednotili z ocenami od 1 do 10. Nato pa smo znotraj vsakega kriterija vrednotili še posamezne koncepte. Rezultate tehnične ocene prikazuje tabela 4.2.

**Tabela 4.2:** Tehnična ocena konceptov

KRITERIJ	K.1	K.2	K.3	K.4	K.5	IDEAL
Spreminjanje hitrosti	5	10	5	10	7	10
Spreminjanje širine koloteka	6	10	6	0	10	10
Vzmetenje	0	10	4	0	0	5
Okretnost	5	7	7	8	9	9
Delo na strmini	6	9	7	5	10	10
Poškodba podlage	3	4	5	7	8	8
Mobilnost	8	8	8	6	1	8
Skupaj absolutno	33	48	42	36	45	60
Skupaj relativno	0.55	0.8	0.7	0.6	0.75	1

Rezultati kažejo, da omenjenim tehničnim kriterijem najbolje ustreza koncept 2 (slika 4.17).

- **ekonomska ocena**

V tabeli 4.3 je prikazano ocenjevanje konceptov po ekonomski plati. Tu gre predvsem za storške, ki so povezani s konstrukcijo. To so predvsem stroški izdelave in vzdrževanja. S stroški je povezan tudi izkoristek (predvsem transmisij). Sem smo umestili tudi modularnost in končno ceno.

Kot vidimo v tabeli 4.3 je tudi v tem primeru najbolje ocenjen koncept 2 (slika 4.17).

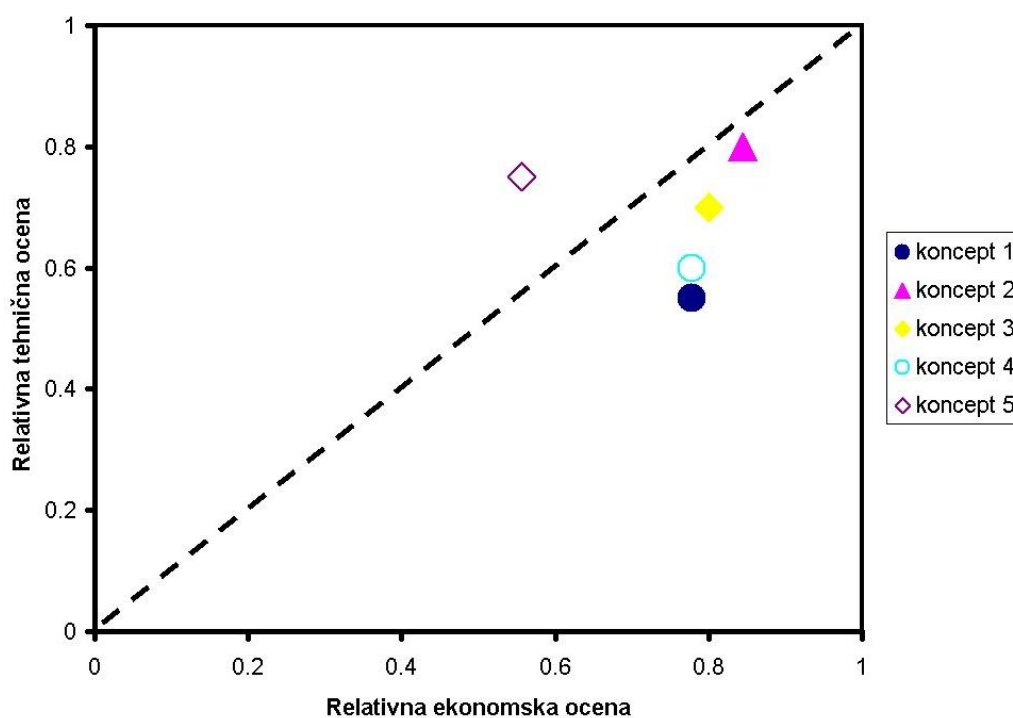


Tabela 4.3: Ekonomska ocena konceptov

KRITERIJ	K.1	K.2	K.3	K.4	K.5	IDEAL
Modularnost	4	7	6	5	4	8
Izdelava	6	10	7	8	4	10
Vzdrževanje	8	7	7	8	6	9
Izkoristek	8	6	8	6	5	8
Cena	9	8	8	8	6	10
Skupaj absolutno	35	38	36	35	25	45
Skupaj relativno	0.78	0.84	0.8	0.78	0.56	1

Grafično ponazoritev tehnične in ekonomske ocene prikazuje graf na sliki 4.24. Črtkana črta ponazarja idealno linijo.

Naloga konstrukterja je, da oblikuje konstrukcijo, ki se na omenjenem grafu nahaja čim višje na idealni liniji. V našem primeru je to koncept 2 (slika 4.17).

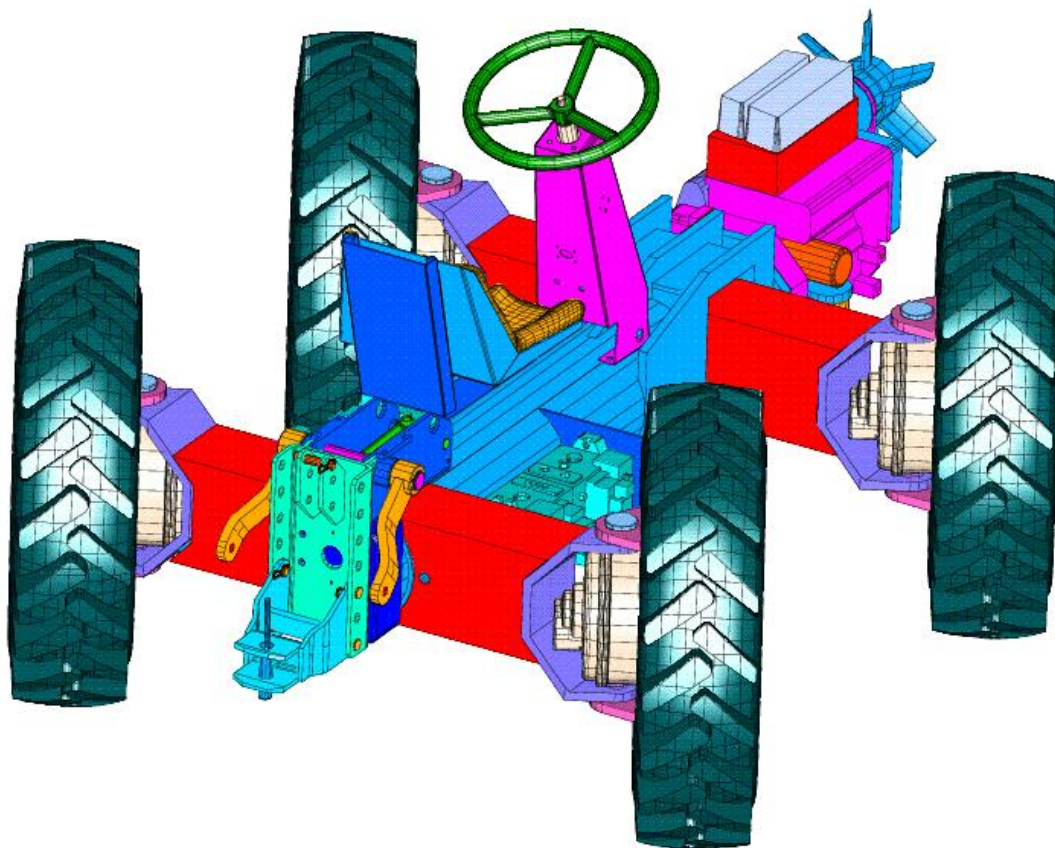


Slika 4.24: Grafični prikaz tehnične in ekonomske ocene

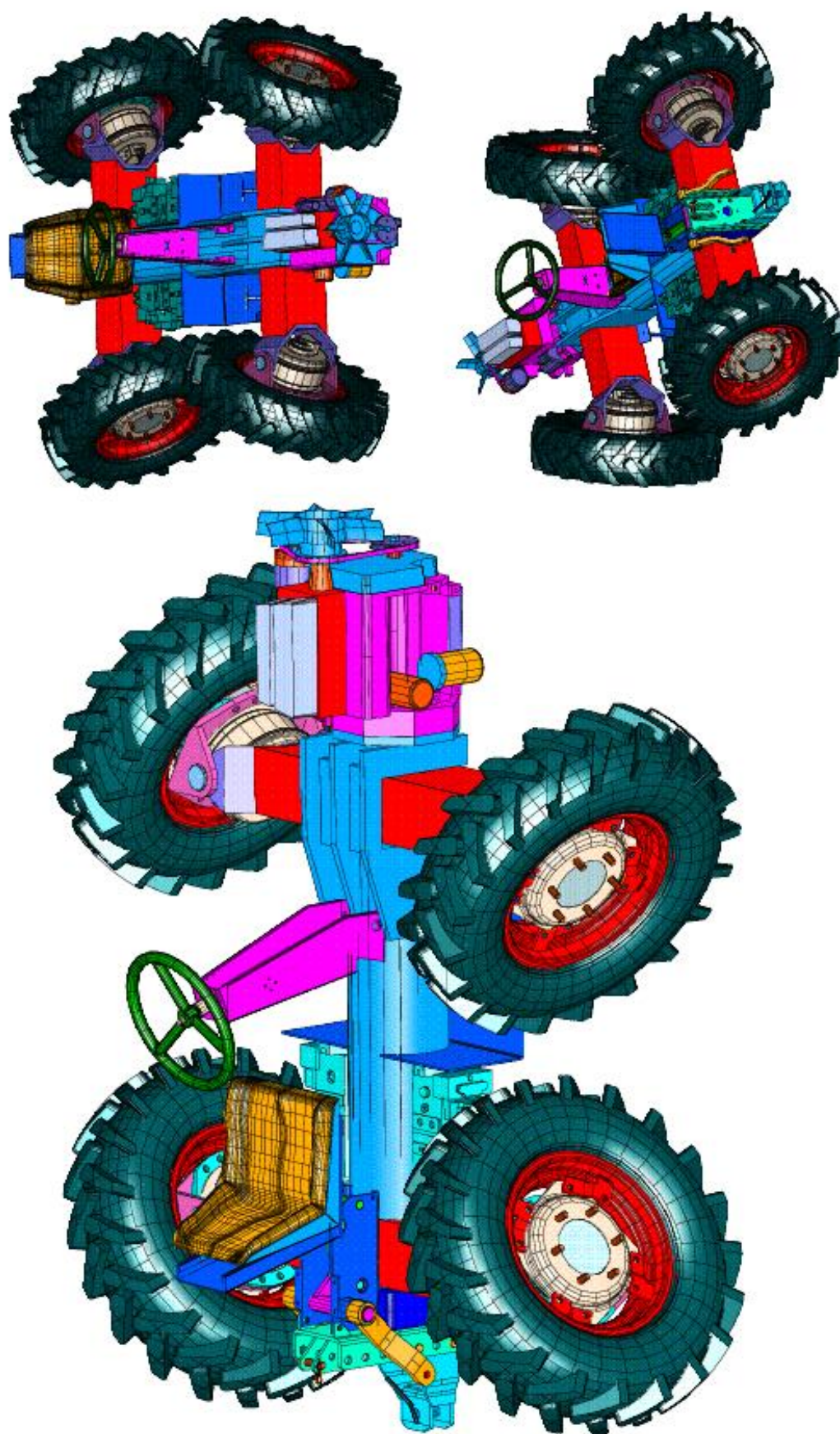
## 4.6 Osnutek

Vrednotenje posameznih konceptov je pokazalo, da je najprimernejši koncept 2 (slika 4.17). Na sliki 4.25 je prikazana model osnutka traktorja z natančnejšo postavitvijo in obliko posameznih elementov. Tako je predvidena drevesna struktura, pri čemer je "deblo" okrogla cev, ki je torzijsko izredno stabilna, nanjo pa so privarjeni teleskopski nosilci koles, izdelani iz kvadratnih cevi, ki omogočajo brezstopenjsko spreminjanje širine koloteka.

Modularnost konstrukcije je tudi v tem, da so uporabljeni posamezni moduli (zadnji tritočkovni priklop, vlečna kljuka, nosilec volana, ...) že obstoječih traktorjev (AGT, Agromehanika), s čimer znižamo stroške razvoja in izdelave.



Slika 4.25: Model osnutka traktorja (prikaz t.i. pasjega hoda)



Slika 4.26: Model osnutka traktorja (različni pogledi)

## POGLAVJE 5

---

### Dimenzioniranje ključnih elementov konstrukcije

---

Dimenzioniranje je eden ključnih korakov konstruiranja. Z njim ugotovimo trdnostno ustreznost izbrane konstrukcije.

V tem delu smo izbrali ustrezne konstrukcijske elemente omenjenega traktorja. Ključne elemente smo trdnostno preverili, da smo tako dobili osnovo za izdelavo 3D modela.

Posebna konstrukcija, predstavljena na sliki 4.25 predstavlja sledeče ključne elemente:

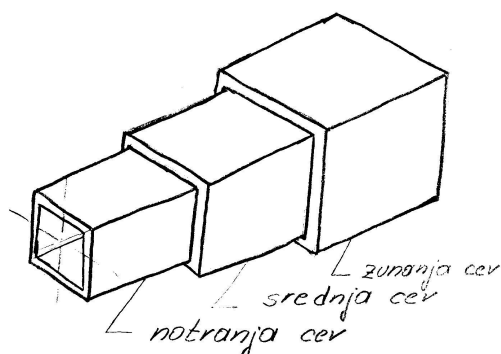
- **osrednja cev**

Je okrogla brezšivna cev, premera 219.1 mm in debelino stene 8 mm [11], ki povezuje prednji in zadnji del traktorja. Na prednjem delu je nameščen dizelski motor (LOMBARDINI LDW 1503, moči 26,4 kW). Po sredini cevi je speljana gred za prenos moči na zadnji del, kjer so levo in desno nameščene črpalke. Zadaaj je tudi sklopka in menjalnik za pogon priključkov.

- **nosilec kolesa**

Je ključni modul pri prenosu obremenitev iz konstrukcije na podlago. Izdelan je iz kvadratnih jeklenih cevi [11], ki so medseboj vodene z vodili iz litega poliamida [1]. Konstrukcija je zasnovana tako, da je nosilec sestavljen iz dvojnega teleskopa. Nosilne cevi so potem (slika 5.1):

- notranja cev:  $180 \times 180 \times 6.3$ ,
- srednja cev:  $200 \times 200 \times 6.3$ ,
- zunanja cev:  $220 \times 220 \times 6.3$ .



Slika 5.1: Skica izvedbe nosilca kolesa

- vodila

So namenjena vodenju in prenosu obremenitev med posameznimi nosilci (cevmi).

V nadaljevanju je izveden preračun za omenjene dele konstrukcije. Pri preračunu nosilnih elementov smo upoštevali švedski standard za dvigala *F.E.M.*

## 5.1 Izbira materiala

Nosilni elementi bodo izdelani iz konstrukcijskega jekla S 355 (St 52), ki se uporablja za izdelavo jeklenih konstrukcij. Z izbiro jekla glede na varnost proti krhkemu lomu določimo kvalitetno skupino jekla, ki pove garantirano žilavost

### 1. Kombinirani vpliv zaostalih nateznih napetosti v zvarnem spoju in natezne napetosti s strani stalnih obremenitev

III. skupina in tretja vplivna linija: *kopičenje zvarnih spojev*

Maksimalna natezna napetost zaradi trajne obremenitve

$$\sigma_G = 65 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna natezna napetost za jeklo St 52 in varnost  $\nu = 1.5$

$$\sigma_a = 236 \frac{N}{mm^2}$$

$$Z_1 = 2 \frac{\sigma_G}{\sigma_a} + 1, \quad Z_1 = 1.55$$

## 2. Občutljivost na vpliv debeline nosilnega elementa

Debelina osrednje cevi,  $t = 8\text{mm}$

$$Z_2 = \frac{9}{2500}t^2, \quad Z_2 = 0.23$$

## 3. Občutljivost na vpliv temperature montaže ali obratovanja nosilnega elementa

Minimalna predvidena temperatura:  $T = -40^\circ\text{C}$

$$Z_3 = \frac{-2.25T - 33.75}{10}, \quad Z_3 = 5.63$$

Posamezne vplive aritmetično seštejemo in dobimo:

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3, \quad Z = 7.41$$

Izberemo jeklo četrte kvalitetne skupina (S 355 J2, St 52-3N), ki ima minimalno žilavostno delo 27 J pri temperaturi  $-20^\circ\text{C}$ . Materialne karekteristike so podane v katalogu [11].

## 5.2 Določitev obremenitev

Vse obremenitve, ki nastajajo na traktorju se preko konstrukcije in nazadnje preko koles prenesejo na podlago. Izhodišče za določitev obremenitev posameznih elementov konstrukcije so sile, ki delujejo na stiku kolesa s podlago (slika 5.2).

Celoten postopek določitve obremenitev na stiku kolesa s podlago je prikazan v dodatku A. V tem delu bomo predstavili samo rezultate:

- **vertikalna obrmenitev**

Maksimalna vertikalna obremenitev:  $F_{z_{max}} = 15700\text{N}$

Minimalna vertikalna obremenitev:  $F_{z_{min}} = -2000\text{N}$

- **radialna obremenitev (obodna sila)**

Maksimalna radialna obremenitev:  $F_{y_{max}} = 11000\text{N}$

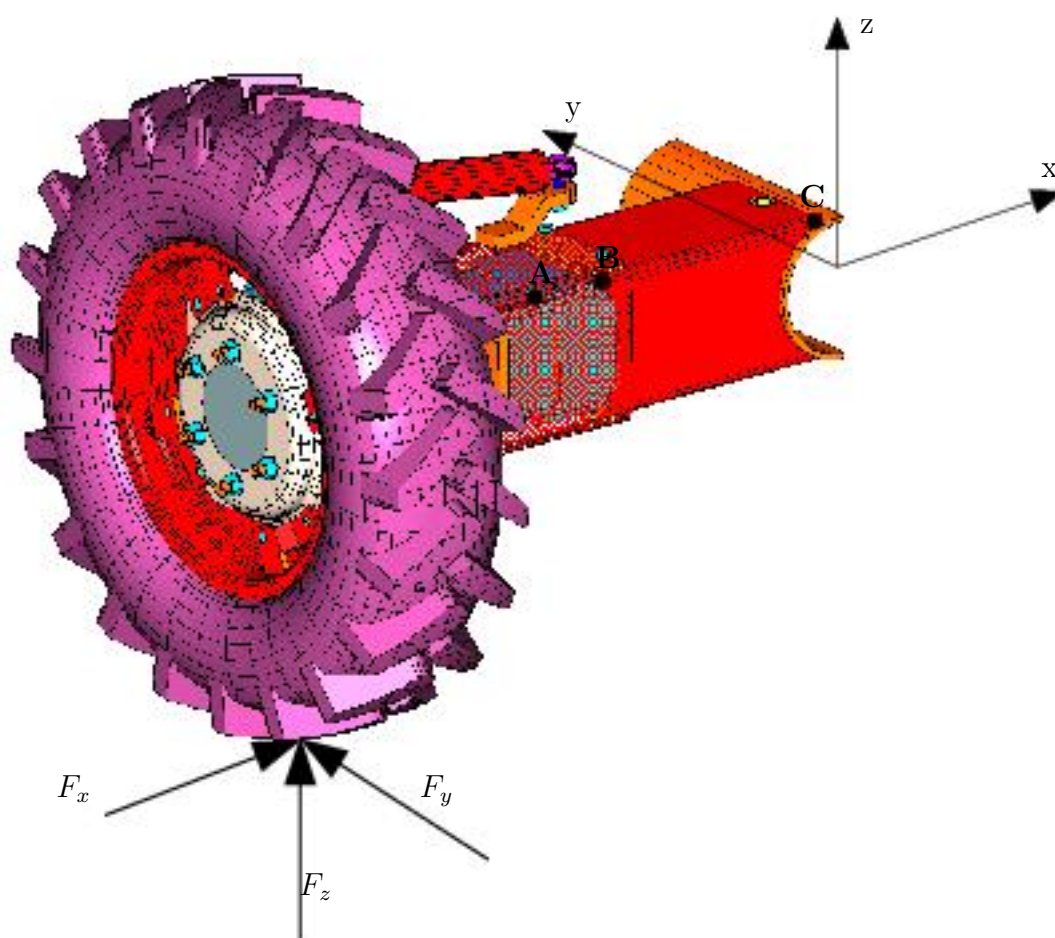
Minimalna radialna obremenitev:  $F_{y_{min}} = -11000\text{N}$

- **aksialna obremenitev**

Maksimalna aksialna obremenitev:  $F_{x_{max}} = 11000\text{N}$

Minimalna aksialna obremenitev:  $F_{x_{min}} = -11000\text{N}$



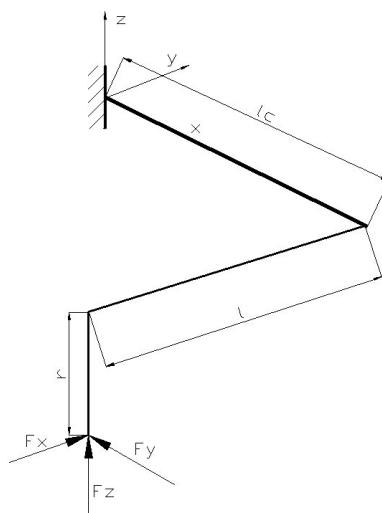


Slika 5.2: Obremenitve na stiku kolesa s podlago

## 5.3 Kontrola osrednje cevi

Osrednjo cev smo trdnostono kontrolirali na statiko in na utrujanje. Celoten preračun je izveden s pomočjo programa *Mathcad* in je v celoti predstavljen v internem poročilu [4]. V tem delu je predstavljen potek reševanja z ustreznimi rezultati.

Kontrola osrednje cevi je narejena za primer, ko je obremenitev na kolesu največja (poglavje 5.2).



Slika 5.3: Fizikalni model obremenitve osrednje cevi

### 1. Določitev notranjih sil in momentov

Ravnotežne enačbe:

Vsota vseh sil in momentov v posamezni smeri mora biti enaka nič:

$$\sum F_i = 0 \quad (5.1)$$

$$\sum M_i = 0 \quad (5.2)$$

### 2. Določitev napetosti v prerezu

Oblika prereza in potek napetosti je prikazan na sliki 5.4. V prerezu se pojavljata dve vrsti napetosti [10]:

- Normalne napetosti

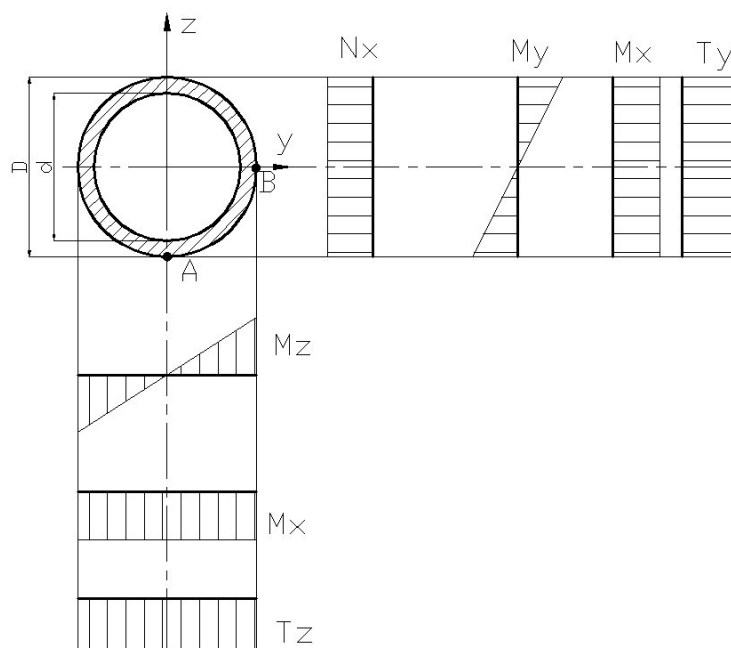
Napetosti zaradi natega oz. tlaka

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5.3)$$

Napetosti zaradi upogiba

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (5.4)$$





Slika 5.4: Potek napetosti v prerezu

- Tangencialne napetosti

Napetost zaradi striga

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (5.5)$$

Napetost zaradi torzije

$$\tau = \frac{M_t}{W_t} \quad (5.6)$$

Pri tem pomeni:

$F$  ... sila, ki obremenjuje prerez

$A$  ... ploščina prereza

$M$  ... upogibni moment

$W$  ... odpornostni moment prereza

$M_t$  ... torzijski moment

$W_t$  ... torzijski odpornostni moment prereza

### 3. Določitev napetosti v posameznih točkah prereza

Znotraj vsakega prereza moramo poiskati točko oz. vlakno, ki je najbolj obremenjeno.

- Točka A (slika 5.4)

V tej točki hkrati nastopajo največje normalne napetosti zaradi osne sile  $N_x$  in upogibnega momenta  $M_y$ .

$$\sigma_A = \sigma_{N_x} + \sigma_{M_y} \quad (5.7)$$

Tangencialna napetost v točki A pa je sestavljena iz tangencialne napetosti zaradi torzijskega momenta  $M_x$  in tangencialnih napetosti zaradi strižnih sil  $T_y$  in  $T_z$ .

$$\tau_A = \tau_{M_x} + \sqrt{\tau_{T_y}^2 + \tau_{T_z}^2} \quad (5.8)$$

- Točka B (slika 5.4)

V tej točki hkrati nastopajo največje normalne napetosti zaradi osne sile  $N_x$  in upogibnega momenta  $M_z$ .

$$\sigma_B = \sigma_{N_x} + \sigma_{M_z} \quad (5.9)$$

Tangencialna napetost v tej točki je enaka kakor v točki A (enačba 5.8).

#### 4. Statična kontrola

Najprej določimo dopustno napetost za statično obremenitev:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p0.2}}{\nu} \quad (5.10)$$

Dopustna napetost v primeru, da imamo prvi obremenitveni primer ( $\nu = 1.5$ ) in jeklo S 355 ( $R_{p0.2} = 355 \frac{N}{mm^2}$ ) znaša:

$$\sigma_{dop} = 236.67 \frac{N}{mm^2}$$

Za upoštevanje vpliva tangencialne napetosti uporabimo Misesovo porušitveno hipotezo [10]:

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (5.11)$$

Pri kontroli na statiko je pomembno, da je dopustna napetost večja oz. enaka od primerjalne:

$$\sigma_{pr} \leq \sigma_{dop} \quad (5.12)$$

V tabeli 5.1 so prikazane primerjalne napetosti za osrednjo cev.

Tabela 5.1: Primerjalne napetosti za osrednjo cev

OSREDNJA CEV	$\sigma_{pr} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	
	Mesto A	Mesto B
	103.39	61.24

### 5. Kontrola na utrujanje

Pri kontroli na utrujanje je potrebno za vsako točko prereza določiti minimalno in maksimalno napetost, iz katerih izračunamo razmerje napetosti:

$$\kappa_{\sigma} = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (5.13)$$

$$\kappa_{\tau} = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}} \quad (5.14)$$

Dinamično dopustno napetost za normalne napetost izračunamo po enačbi 5.15:

$$\sigma_{D.dop} = \frac{5}{3 - 2\kappa_{\sigma}} \sigma_w \quad (5.15)$$

pri čemer je  $\sigma_w$  trajnodinamična trdnost za čisto izmenično napetost ( $\kappa_{\sigma} = -1$ ).

Podobno določimo še dinamično dopustno napetost za tangencialno napetost:

$$\tau_{D.dop} = \frac{\sigma_{D.dop}(\tau)}{\sqrt{2}} \quad (5.16)$$

pri čemer je  $\sigma_{D.dop}(\tau)$  dopustna dinamična napetost za normalne napetost za dejansko razmerje tangencialnih napetosti ( $\kappa_{\tau}$ ).

Trdnostna ustreznost glede na utrujanje je podana s koeficientom  $k$ , katerega vrednost mora biti manjša od 1 ( $k < 1$ ) in ga izračunamo po enačbi 5.17

$$k = \sqrt{\left( \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{D.dop}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{max}}{\tau_{D.dop}} \right)^2} \quad (5.17)$$

Rezultati za osrednjo cev so zbrani v tabeli 5.2.

Tabela 5.2: Kontrola na utrujanje v osrednji cevi

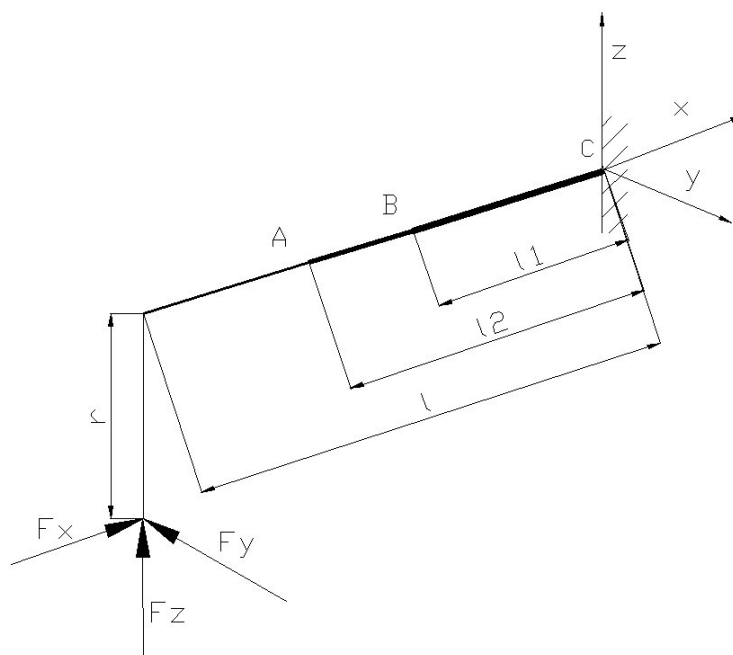
OSREDNJA CEV	Mesto A	Mesto B
Razmerje normalnih napetosti $\kappa_\sigma$ [-]	-0.27	-1
Dopustna norm. napetost $\sigma_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	169.36	120
Razmerje tangencialnih napetosti $\kappa_\tau$ [-]	-1	-1
Dopustna tang. napetost $\tau_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	84.85	84.85
Koeficient $k$ [-]	0.602	0.482

## 5.4 Kontrola nosilca kolesa

### 5.4.1 Kontrola cevi

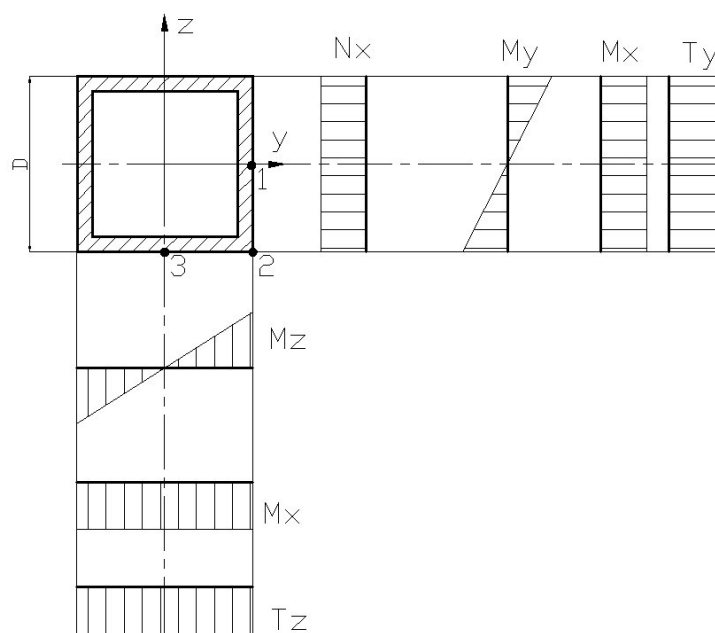
Nosilec kolesa je sestavljen iz treh jeklenih profilov (slika 5.1). Kontrolo smo izvedli tako, da smo v vsakem nosilcu kontrolirali najbolj obremenjene prereze (prerez A, B, C na sliki 5.2), znotraj teh prerezov pa posamezne kritične točke (1, 2, 3, slika 5.6).

Na sliki 5.5 je prikazan fizikalni model omenjenega nosilca, ki je bil osnova za kontrolo cevi.



Slika 5.5: Fizikalni model obremenitve nosilca

Oblika prereza in potek napetosti v njem je prikazan na sliki 5.6, na kateri so označene tudi kritične točke prereza.



Slika 5.6: Oblika prereza cevi in potek napetosti z označenimi kritičnimi točkami

## Rezultati

Potek preračuna je podoben kakor pri *dimenzioniranju osrednje cevi* (poglavje 5.3)

- **Statična kontrola**

Tabela 5.3 prikazuje primerjalne napetosti v posameznih točkah prereza.

**Tabela 5.3:** Primerjalne napetosti za nosilec kolesa

NOSILEC KOLESA	$\sigma_{pr} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$		
	Prerez A	Prerez B	Prerez C
Točka 1	37.11	31.28	32.34
Točka 2	71.42	59.60	86.44
Točka 3	58.58	48.01	60.45

- **Kontrola na utrujanje**

Vsaka točka posameznega prereza je bila kontrolirana tudi glede utrujanja. Rezultati so podani v tabelah 5.4, 5.5, 5.6.

**Tabela 5.4:** Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto A

NOSILEC KOLESA - prerez A	Mesto 1	Mesto 2	Mesto 3
Razmerje normalnih napetosti $\kappa_{\sigma}$ [-]	-1	-0.668	-0.541
Dopustna norm. napetost $\sigma_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	120	138.37	147
Razmerje tangencialnih napetosti $\kappa_{\tau}$ [-]	-0.811	/	-1
Dopustna tang. napetost $\tau_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	91.80	/	84.85
Koeficient $k$ [-]	0.24	0.516	0.398

**Tabela 5.5:** Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto B

NOSILEC KOLESA - prerez B	Mesto 1	Mesto 2	Mesto 3
Razmerje normalnih napetosti $\kappa_{\sigma}$ [-]	-1	-0.643	-0.497
Dopustna norm. napetost $\sigma_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	120	139.99	150.21
Razmerje tangencialnih napetosti $\kappa_{\tau}$ [-]	-0.795	/	-1
Dopustna tang. napetost $\tau_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	92.43	/	84.85
Koeficient $k$ [-]	0.203	0.426	0.321

**Tabela 5.6:** Kontrola nosilca kolesa na utrujanje - mesto C

NOSILEC KOLESA - prerez C	Mesto 1	Mesto 2	Mesto 3
Razmerje normalnih napetosti $\kappa_{\sigma}$ [-]	-1	-0.536	-0.374
Dopustna norm. napetost $\sigma_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	120	147.35	160.05
Razmerje tangencialnih napetosti $\kappa_{\tau}$ [-]	-0.558	/	-1
Dopustna tang. napetost $\tau_{D.dop} [\frac{N}{mm^2}]$	103.33	/	84.85
Koeficient $k$ [-]	0.274	0.587	0.381

### 5.4.2 Kontrola zvara

Zvarni spoj na mestu C (slika 5.2) je izdelan zgoraj in spodaj z  $\frac{1}{2}$  V zvarom ob straneh pa s  $\frac{1}{2}$  V zvarom in kotnim zvarom S kvalitete.

- **Statična kontrola**

Statična kontrola zvara je podobna kot kontrola osnovnega materiala. Drugačna je le prerezna ploskev zvara. Enačba za dopustno napetost je oblike:

$$\sigma_{z.dop} = k \cdot \sigma_{dop} \quad (5.18)$$

pri čemer je  $k$  koeficient zmanjšanja dopustne napetosti, ki ga dobimo v standardu *JUS U.E7.150, tabela 2*,  $\sigma_{dop}$  pa je dopustna napetost osnovnega materiala (enačba 5.10). Statična dopustna napetost zvarnega spoja je potem:

$$\sigma_{z.dop} = 153.83 \frac{N}{mm^2}$$

V tabeli 5.7 so prikazane vrednosti primerjalnih napetost v zvarnem spoju. Oblike prereza in potek napetosti je prikazan na sliki 5.6.

**Tabela 5.7:** Primerjalne napetosti za zvar

ZVAR	$\sigma_{pr} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$		
	Točka 1	Točka 2	Točka 3
	26.38	62.17	48.7

- **Kontrola na utrujanje**

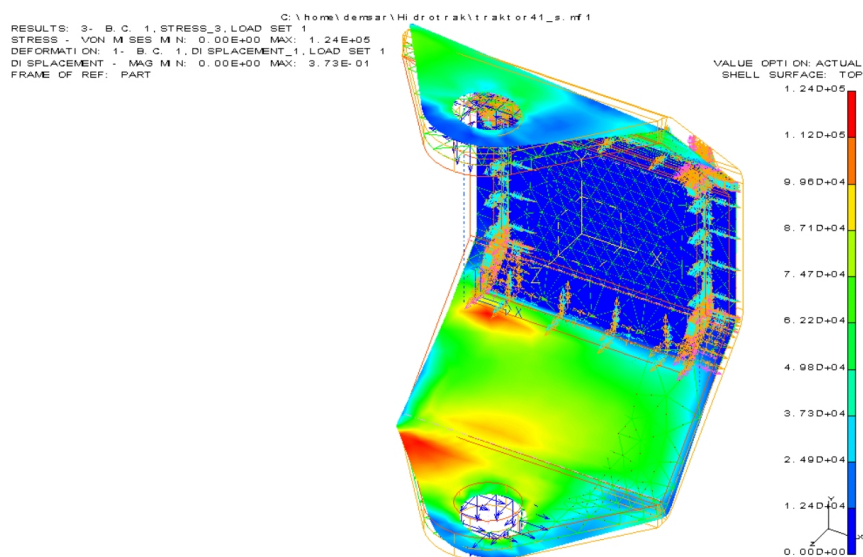
Pri utrujanju je kritičen prerez tik ob zvaru, zato je postopek podoben kakor pri kontroli osnovnega materiala, le da so Dopustne napetosti drugačne. V tabeli 5.8 so prikazani rezultati kontrole zvara na utrujanje.

**Tabela 5.8:** Kontrola zvara na utrujanje

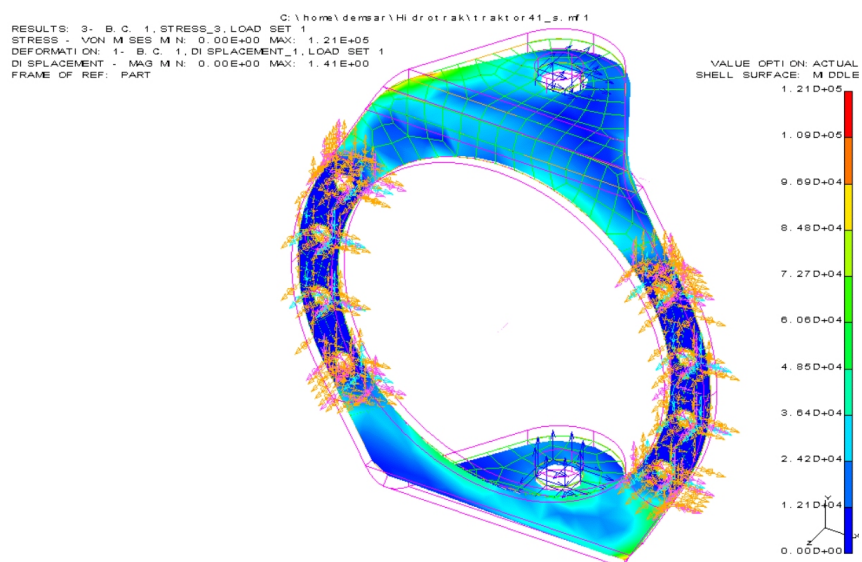
ZVAR	Mesto 1	Mesto 2	Mesto 3
Razmerje normalnih napetosti $\kappa_{\sigma} [-]$	-1	-0.541	-0.370
Dopustna norm. napetost $\sigma_{D.dop} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	63	77.15	84.24
Razmerje tangencialnih napetosti $\kappa_{\tau} [-]$	-0.839	/	-1
Dopustna tang. napetost $\tau_{D.dop} \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$	63.47	/	59.40
Koeficient $k [-]$	0.325	0.806	0.565

### 5.4.3 Kontrola ušesnih nosilcev

Ušesni nosilci (slika 5.2) so izdelani iz krivljene pločevine. Trdnostno kontrolo smo izvedli s pomočjo metode končnih elementov (FEM). Rezultati so prikazani na slikah 5.7 in 5.8.



Slika 5.7: FEM analiza notranjega ušesnega nosilca

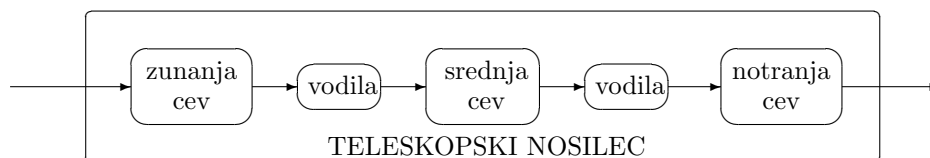


Slika 5.8: FEM analiza zunanjega ušesnega nosilca



#### 5.4.4 Kontrola vodil

Potek obremenitev v teleskopskem nosilcu je prikazan na sliki 5.9. Vemo, da se vse obremenitve na vodilih prenašajo s pomočjo površinskega pritiska.



**Slika 5.9:** Prenos obremenitev iz konstrukcije na podlago

Dopustni površinski pritisk za material *NOVILON Gf (PA 6 G Gf)* pri dolgotrajni obremenitvi po navedbi proizvajalca [1] znaša:

$$p_{dop} = 30MPa$$

Preračun vodil [4] je pokazal, da dejanski tlak na najbolj obremenjenem vodilu ne presega dopustne vrednosti:

$$p_{max} = 29.2MPa$$

Glede na dejstvo, da se taka obremenitev pojavi samo v izjemnih primerih, ugotovljamo ustreznost izbranih vodil.

Za pritrditev vodil na nosilce je predviden lepljeni spoj. Proizvajalec priporoča uporabo cianoakrilatnega lepila KEMISKOL M522 [12].

## POGLAVJE 6

---

### 3D model konstrukcije

---

3D-modeliranje ima v fazi zasnove pomembno vlogo, saj z njim močno povečamo nazornost. Model omenjenega traktorja smo izdelali s pomočjo programskega paketa EDS - IDEAS.

Glede na to, da je zgradba traktorja modularna in da smo zaradi nižjih srtoškov uporabili že obstoječe module, ki so vgrajeni na traktorju AGT 835, ki ga izdeluje slovenski proizvajalec Agromehanika iz Kranja, je izdelava 3D-modela nujno potrebna, saj edino na ta način lahko dobro prilagodimo ostalo konstrukcijo. Poleg tega pa nam 3D-model omogoča tudi analizo posameznih elementov. Zaradi nazornega prikaza celotne konstrukcije in posameznega elementa nam izdelava 3D-modela kasneje zniža stroške izdelave in nenazadnje tudi stroške materiala, kar vpliva na ceno izdelka.

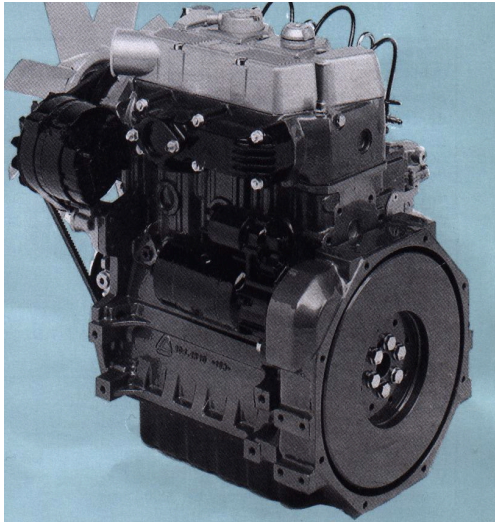
Izdelava modela je potekala v dveh fazah. Najprej smo izdelali 3D-modele že obstoječih sklopov. V drugi fazi pa smo izdelali model konstrukcije, ki temelji na lastnem razvoju. Kasneje pa smo oba dela združili.

### 6.1 3D-modeli že obstoječih sklopov

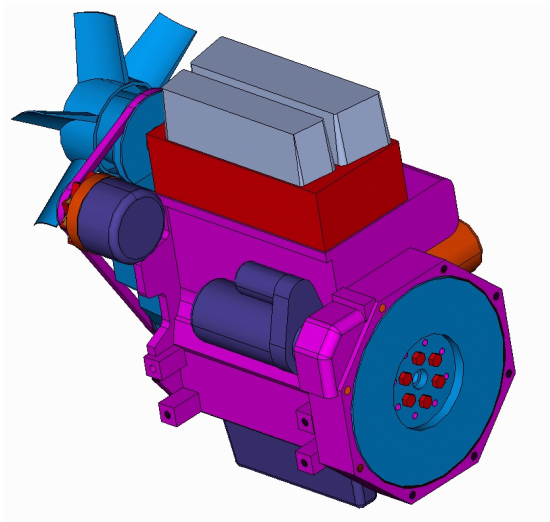
V tej fazi smo izdelali 3D-modele že obstoječih sklopov, ki jih Agromehanika vgrajuje na svoj model traktorja AGT 835. Pri proizvajalcu smo dobili delavniško dokumentacijo posameznih sklopov, ki je bila osnova za izdelavo 3D modelov posameznih elementov in celotnih sklopov.

### 6.1.1 Motor

Za pogon hidravličnega traktorja bo služil lombardinijev tri valjni motor (LOMBARDINI DIESEL LDW 1503 CHD) moči 26.4 kW (36 KM) pri 3000 vrt/min (slika 6.1).



(a) Slika motorja



(b) Model motorja

**Slika 6.1:** Motor LOMBARDINI LDW 1503 CHD

### 6.1.2 Krmilo

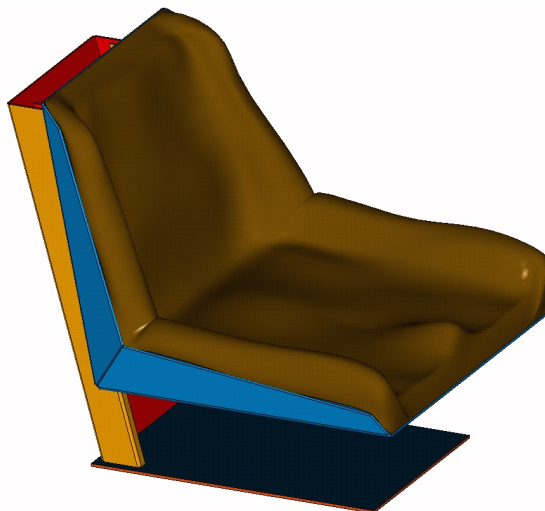
Hidrostatično krmiljenje bo izvedeno s pomočjo klasičnega volanskega obroča. Vsaka os je krmiljena s svojim ventilom (glavo). S posebnim ventilom bomo lahko preklapljali med krmiljenjem posameznih osi. Slika 6.2 prikazuje model krmila.



**Slika 6.2:** Model krmila traktorja

### 6.1.3 Sedež

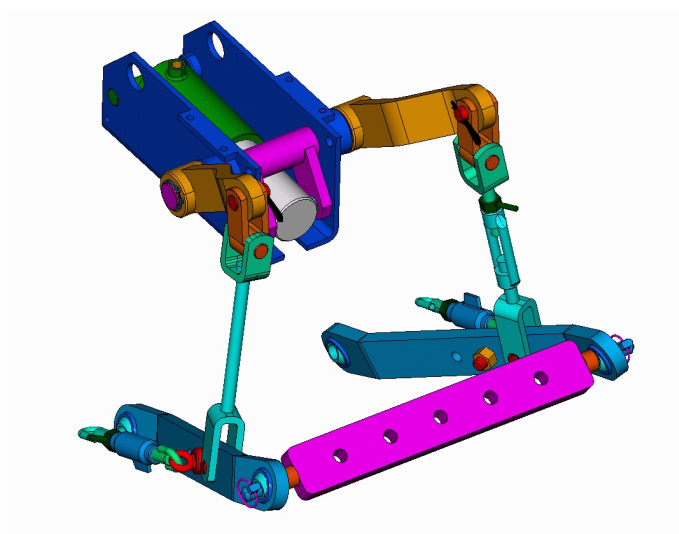
Traktor bo opremljen s sedežem z mehanskim vzmetenjem (slika 6.3), ki ga proizvaja italijanski proizvajalec SEAT. Primeren je za lažje in težje voznike, saj ga je moč nastaviti glede na maso voznika od 50 do 120 kg. Prevleka je iz umetnega usnja.



Slika 6.3: Model sedeža traktorja

### 6.1.4 Hidravlika - zadnji dvižni mehanizem

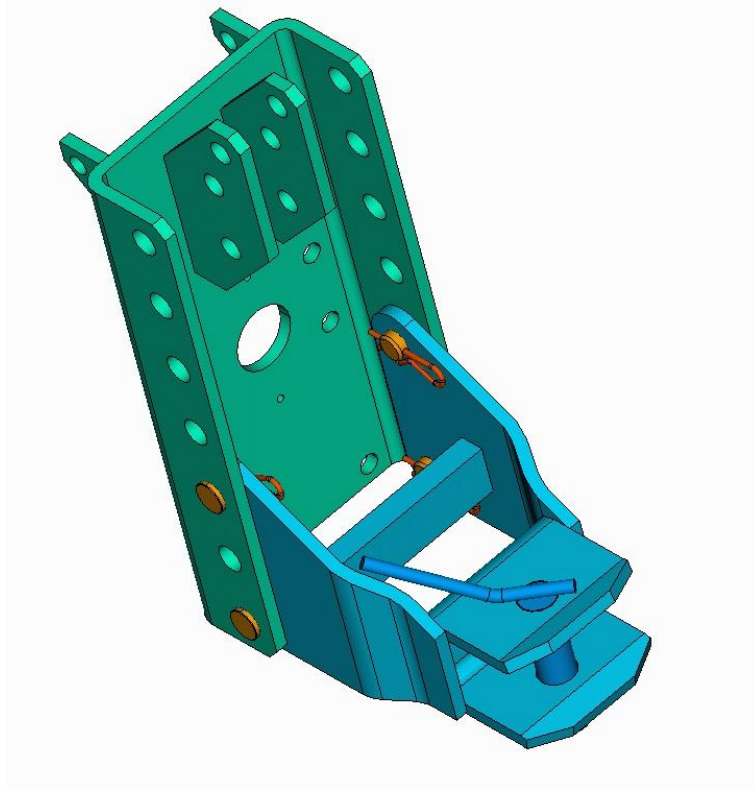
Zadnji dvižni mehanizem (slika 6.4), ki skupaj s centralnim drogom tvori tritočkovni priključek, se uporablja za priključevanje strojev in orodij. Predviden je tritličkovni prikllop prve kategorije.



Slika 6.4: Model zadnjega dvižnega mehanizma

### 6.1.5 Vlečna kljuka

Vlečna kljuka (slika 6.5) služi za priklop enoosnih in večosnih priključkov, ki jih traktor vleče za sabo. Izdelana je tako, da jo je možno nastavljati po višini.



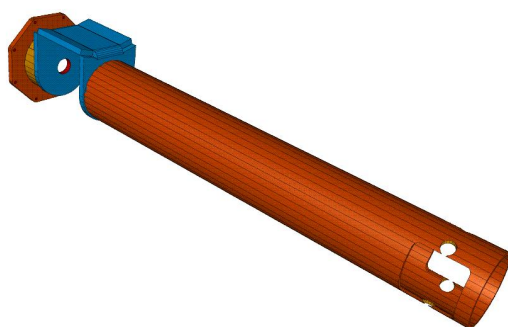
Slika 6.5: Model vlečne kljuke

## 6.2 3D-model nosilne konstrukcije

Nosilna konstrukcija je plod lastnega razvoja. Na osnovi preračuna posameznih elementov nosilne konstrukcije smo izdelali modele elementov konstrukcije, ki smo jih potem sestavili v posamezne module.

### 6.2.1 Osrednja cev

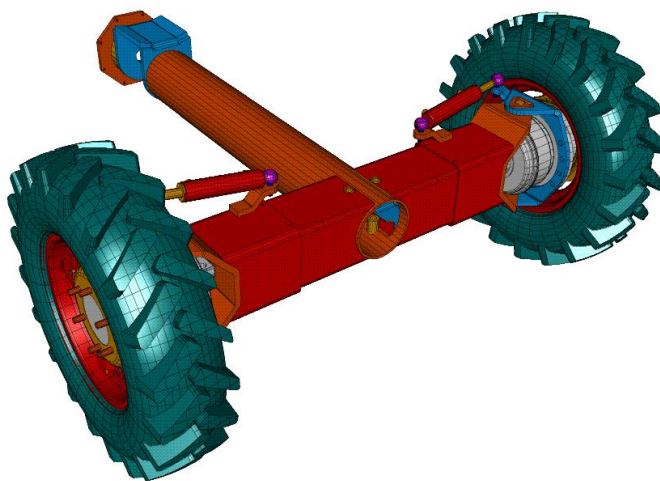
Osrednja cev (slika 6.6) je izdelana iz okrogle cevi premera 219.1 mm, kjer je na prednjem delu privarjen nosilni jarem, ki omogoča zasuk prednje preme in s tem prilagajane traktorja terenu.



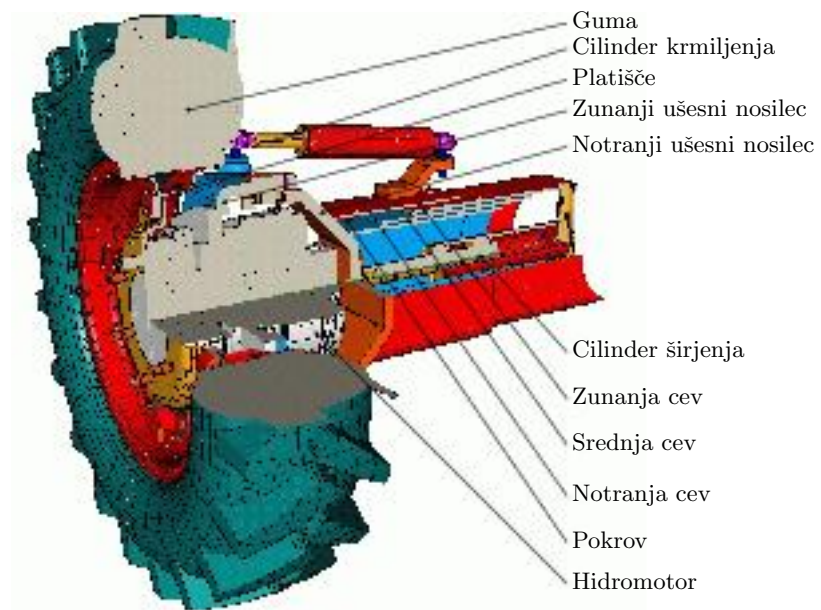
Slika 6.6: Model osrednje cevi

### 6.2.2 Zadnja os

Zadnjo os sestavljata levi in desni nosilec kolesa, ki sta privarjena na nosilno cev (slika 6.7). Na sliki 6.8 je prikazan sestav nosilca kolesa.



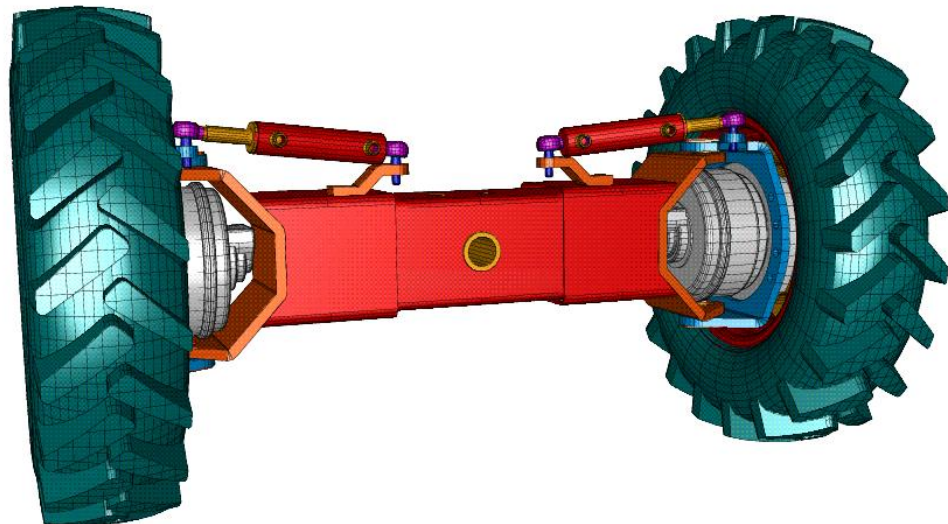
Slika 6.7: Model zadnje osi z osrednjo cevjo



Slika 6.8: Prerez nosilca kolesa

### 6.2.3 Prednja os

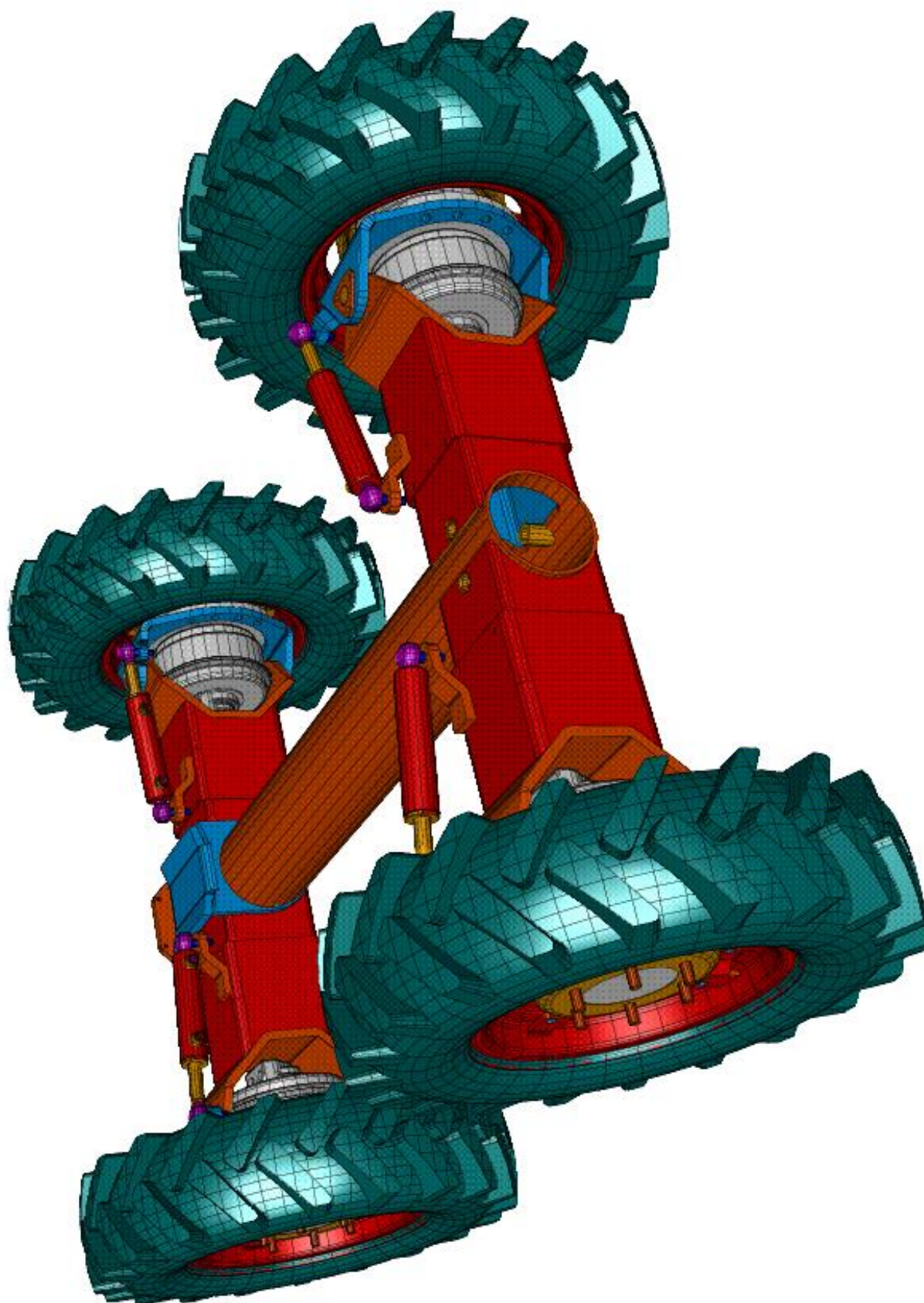
Prednja os (slika 6.9) je podobna zadnji, razlika je le v zunanji cevi nosilca kolesa, ki je v tem primeru izdelan iz enega dela, tako da povezuje levi in desni nosilec. Z nihajnim vpetjem na jarem osrednje cevi (slika 6.6) zagotovimo potrebno nihanje prednje osi in s tem prilagajanje terenu.



Slika 6.9: Model prednje osi

Na sliki 6.10 je prikazana nosilna konstrukcija traktorja.



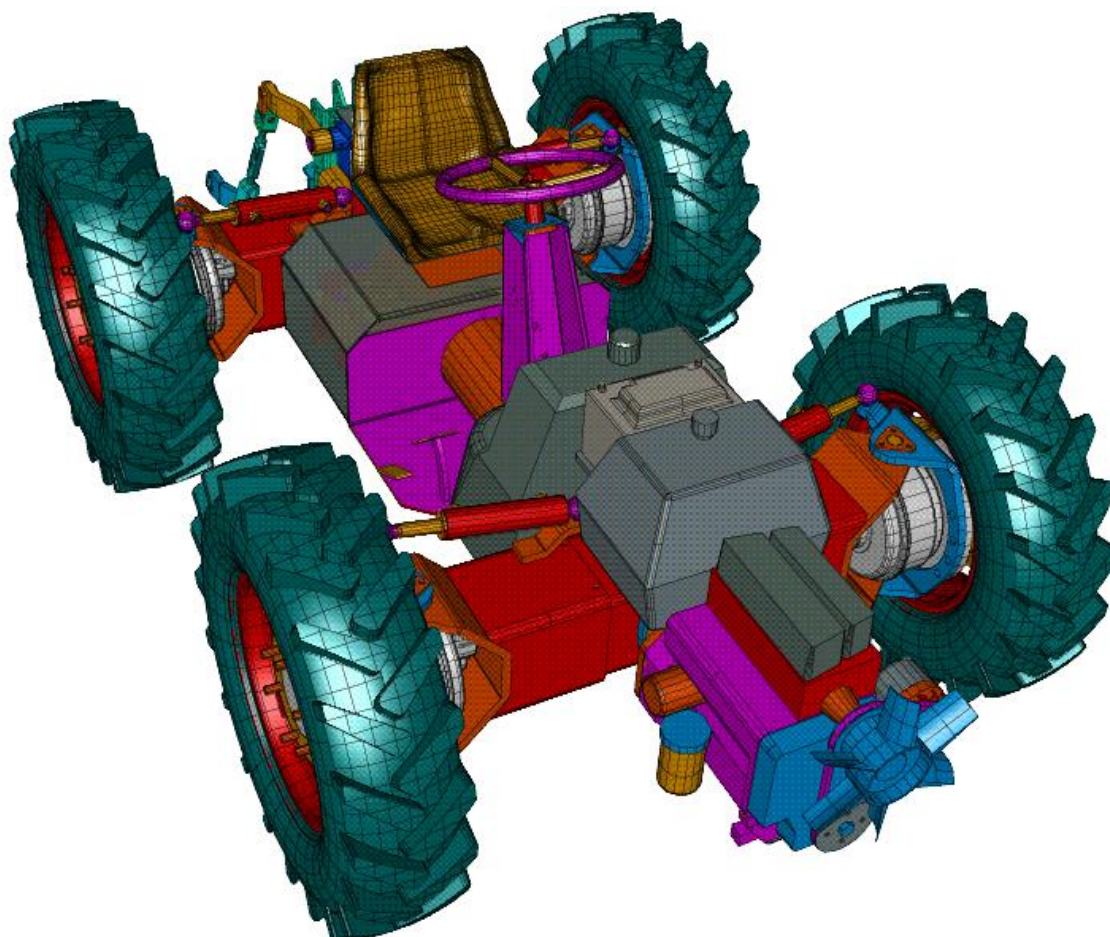


Slika 6.10: Nosilna konstrukcija traktorja



## 6.3 3D-model traktorja

V tem delu bomo pokazali celoten model traktorja (slika 6.11) s prikazom nekaterih njegovih značilnosti. Poudarek je predvsem na brezstopenjskem spreminjanju širine koloteka in možnosti krmiljenja posameznih koles.



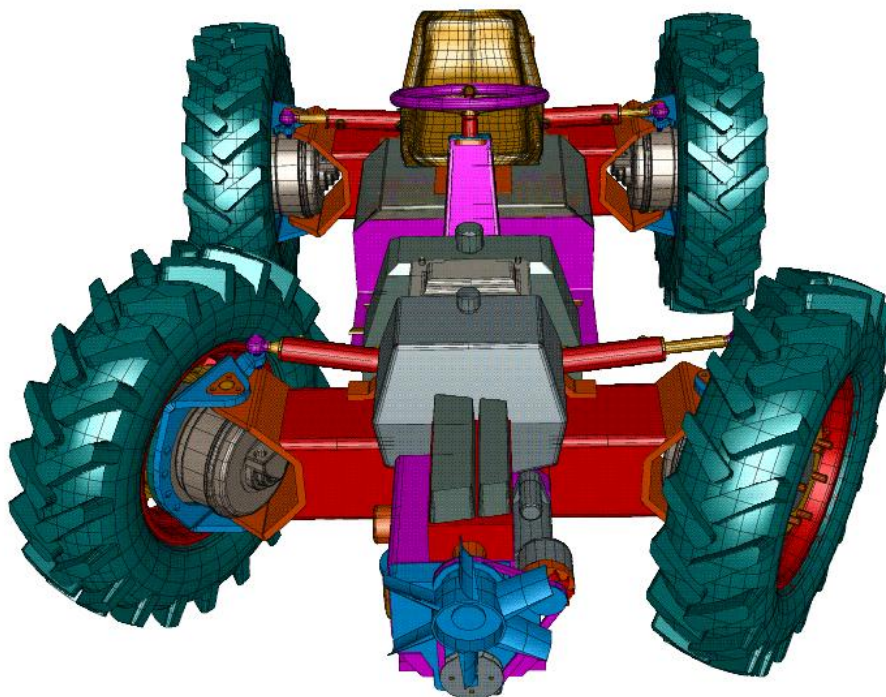
Slika 6.11: Model traktorja

### 6.3.1 Možnosti spreminjanja širine koloteka

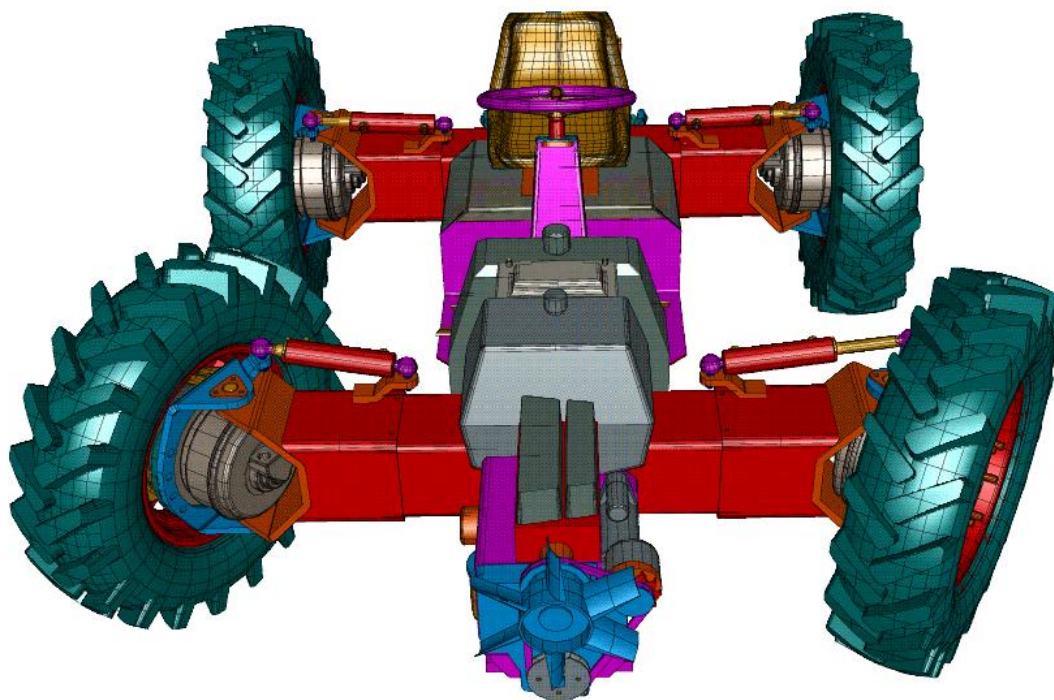
Prva značilnost hidravličnega traktorja je gotovo brezstopenjsko spreminjanje širine koloteka. Možnosti, ki nam jih ponuja ta način spreminjanja širine koloteka so prikazane na slikah 6.12, 6.13, 6.14, 6.15.

### 6.3.2 Možnosti krmiljenja traktorja

Druga značilnost predstavljenega traktorja je v ločenem krmiljenju vseh štirih koles. V primeru transporta po javnih površinah je zaradi večje varnosti možno blokirati krmiljenje zadnjih koles (slika 6.16) in imamo klasično krmiljenje na prednja kolesa.

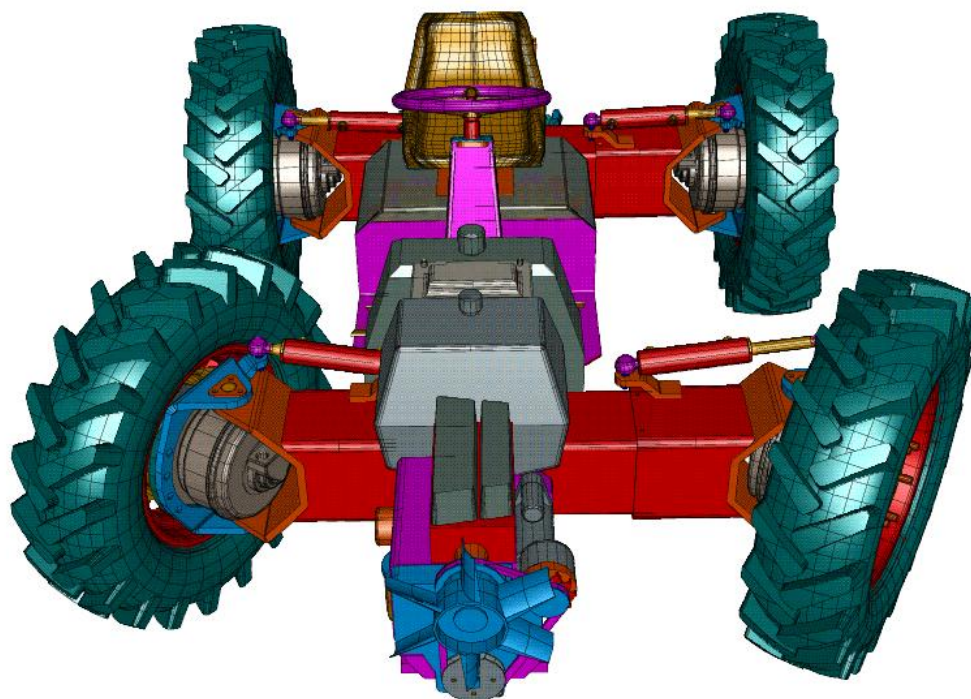


Slika 6.12: Normalna širina koloteka

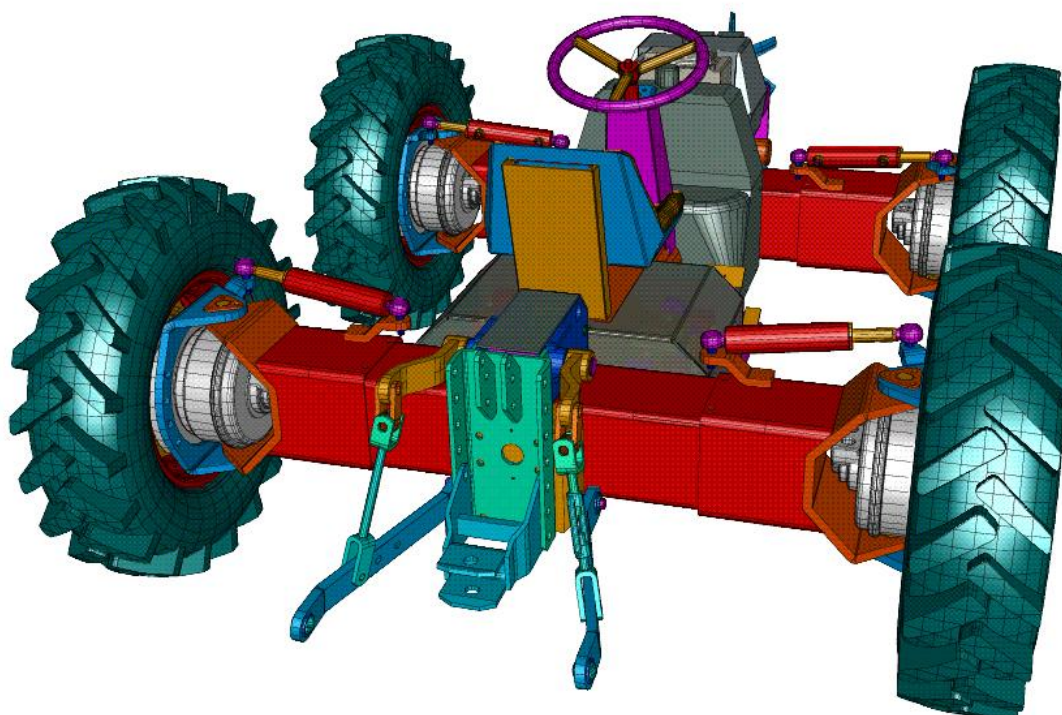


Slika 6.13: Spreminjanje širine koloteka prednje osi

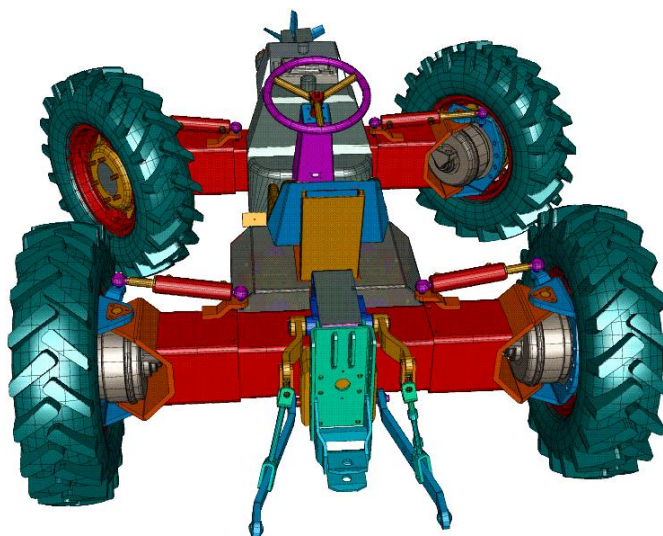




Slika 6.14: Spreminjanje širine koloteka leve strani

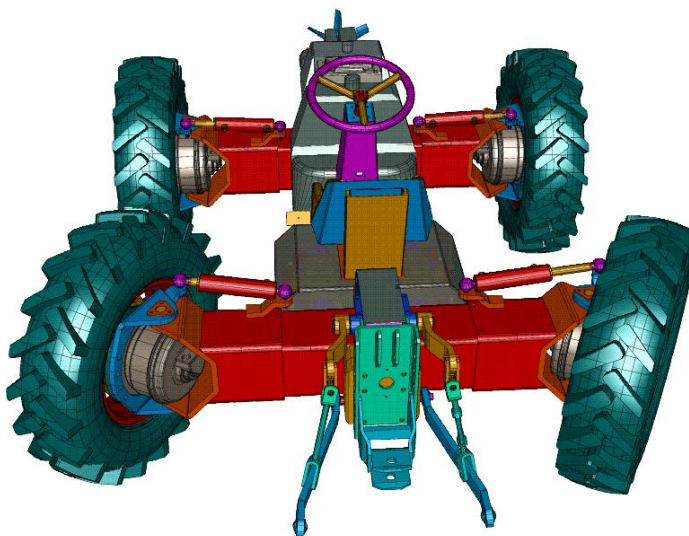


Slika 6.15: Maksimalna širina koloteka



Slika 6.16: Krmiljenje prednjih koles

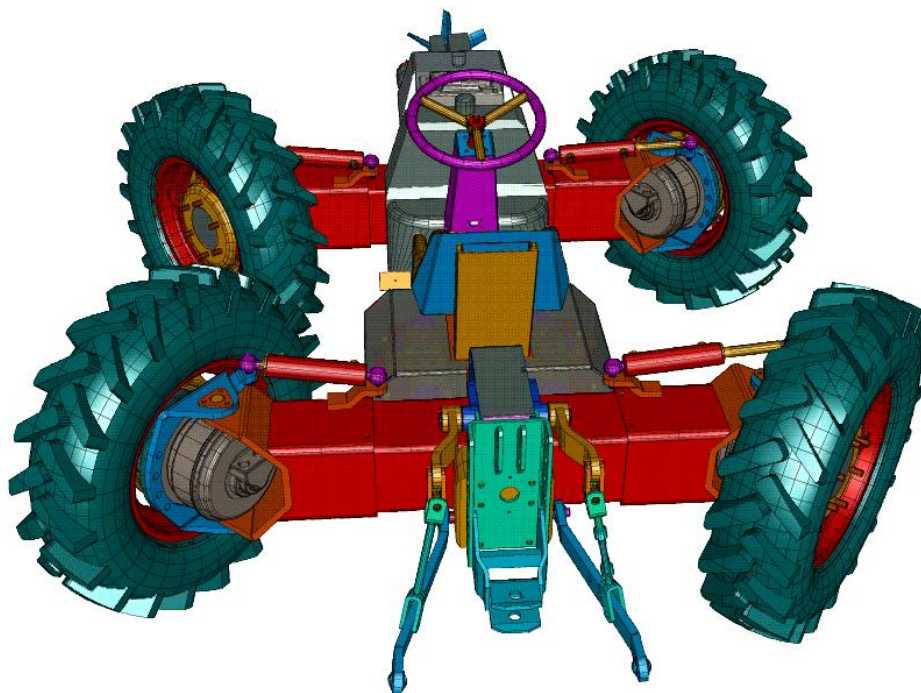
Podobno kakor prednjo os, je možno krmiliti samo zadnjo os (slika 6.17). To pride predvsem v poštev, če imamo reverzibilno izvedbo traktorja. V tem primeru dobimo dobre vozne lastnosti pri vzratni vožnji.



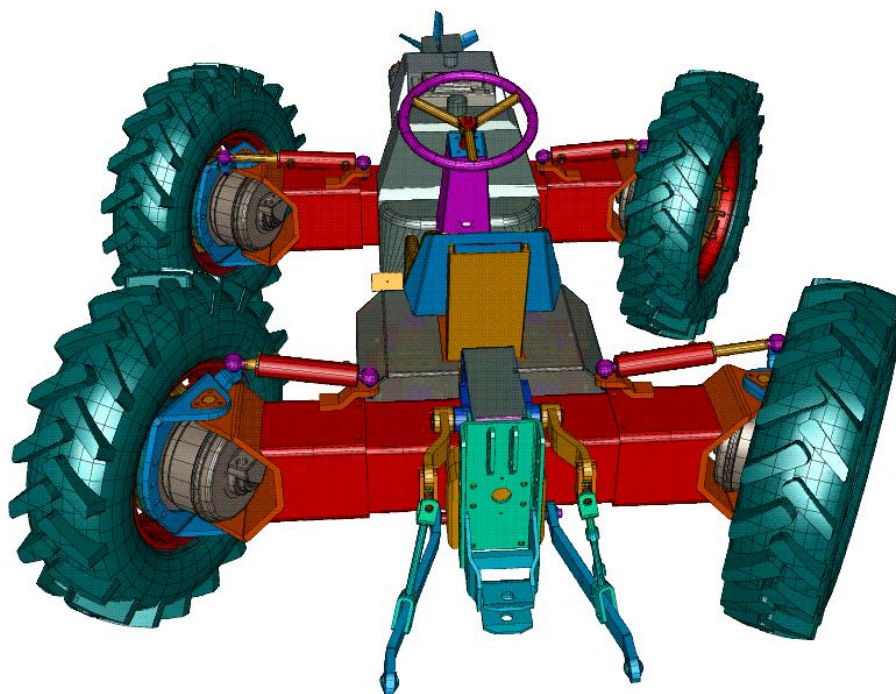
Slika 6.17: Krmiljenje zadnjih koles

S krmiljenjem obeh osi lahko zelo povečamo okretnost traktorja (slika 6.18(a)). V primeru, da vsa kolesa zasučemo v isto smer pa dobimo bočno premikanje traktorja - pasji hod (slika 6.18(b))





(a) Povečanje okretnosti



(b) bočni, t.i. pasji hod

**Slika 6.18:** Možnosti krmiljenje vseh štirih koles

## POGLAVJE 7

---

### Zaključek

---

Namen te diplomske naloge je bilo poiskati primerno konstrukcijsko rešitev traktorja, s katerim bi lahko hitro, predvsem pa varno opravljali dela na zahtevnih in strmih področjih.

Pred pričetkom iskanja konkretne rešitve je pomembno, da se seznanimo z osnovnimi pojmi v zvezi s traktorjem in na kratko spoznamo razvoj traktorja skozi čas. Spoznali smo, da so *sodobni* traktorji vse bolj tehnično dovršeni in prijazni uporabniku.

Pomembno je, da vemo, za katero skupino oz. za katero področje je naš izdelek namenjen. V ta namen smo razvrstili traktorje v posamezne skupine, za katere veljajo določene značilnosti. Traktor, katerega zasnova je predstavljena v tej diplomski nalogi, ima značilnosti gorskega traktorja, s tem, da ga je kot večino drugih možno uporabljati tudi v ostale namene.

S pregledom standardov v zvezi s kmetijskimi traktorji smo izdelali osnovni okvir traktorja, ki smo mu potem dodali še dodatne lastnosti, s katerim smo ga naredili drugačnega, primernejšega. V sloveniji so v uporabi t.i. SIST ISO standardi, ki so v celoti prevzeti po ISO standardih. V nalogi smo pregledali ISO standarde s področja kmetijskih traktorjev in ugotovili, da je večina le-teh uporabljena tudi v Sloveniji. Vidi se dejstvo, da je evropska zakonodaja ostrejša od slovenske. Z upoštevanjem evropskih standardov bo naša konstrukcija primerna za prodajo in uporabo tudi na evropskih trgih.

Jedro naloge je vsekakor zasnova traktorja, v kateri smo najprej opredelili zahteve in želje, ki naj bi jih konstrukcija izpolnjevala. Nato je bila izdelana analiza tehničnega procesa in iz nje izpeljana funkcijska struktura. S pomočjo morfološke matrike, v kateri smo predstavili najpomembnejše funkcije in delovne principe za za-

dovoljitev posameznih funkcij, smo izdelali pet konceptov. Z vrednotenje posameznih konceptov glede na izbrane kriterije se je izkazalo, da je najugodnejša rešitev koncept št. 2.

Z dimenzioniranjem ključnih elementov konstrukcije (osrednja cev, nosilec kolesa) smo ugotavljali dimenzijsko ustreznost izbranih elementov glede trdnostnega kriterija (statika, utrujanje).

V zadnjem delu je predstavljen 3D-model omenjene konstrukcije, pri katerem smo skušali uporabiti čim več sklopov oz. elementov že obstoječega traktorja, s čimer bomo znižali stroške izdelave prototipa.

Hiter razvoj kmetijske tehnike, posebno še traktorjev je pogojen z razvojem elektrone. Počasi se bo uveljavilo daljinsko krmiljenje in upravljanje traktorjev preko satelitov.

---

## Literatura

---

- [1] AKRIPOL. *Novilon - liti poliamid*. AKRIPOL, proizvodnja in predelava polimerov d.d., 1999.
- [2] Janez Benedičič. *Trosenje hlevskega gnoja pod posebnimi pogoji*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2002.
- [3] Rajko Bernik. Standardi in tehnična zakonodaja v kmetijski tehniki. *Sodobno kmetijstvo*, (31), 1998.
- [4] Jože Duhovnik , Ivan Demšar. *Zasnova konstrukcije hidravličnega traktorja - interno poročilo*. 2001.
- [5] Viktor Jejčič. Kontinuirane variabilne transmisije. *Trendi v razvoju kmetijske tehnike*.
- [6] Viktor Jejčič. Hanomag wd. *Tehnika in narava*, 1998.
- [7] Viktor Jejčič. Zgodovina traktorske tehnike. 4. *Slovensko srečanje ljubiteljev stare kmetijske tehnike*, 2001.
- [8] Viktor Jejčič. Cassanijev traktor - predhodnik traktorjev same. *Tehnika in narava*, 2002.
- [9] Katarina Jeraj. *Vrednotenje traktorjev na kmetijah*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
- [10] Bojan Kraut. *Krautov strojniški priročnik*. Tehniška založba Slovenije, 1994.
- [11] MERKUR. *Katalog izdelkov črne in barvne metalurgije*. Merkur d.d. Kranj, 2001.
- [12] KEMIS PLUS. *Predstavitev proizvodnega programa*. Kemis plus d.o.o., 2000.
- [13] Tomaž Poje. Mogoče niste vedeli. *Tehnika in narava*, 1997.



- 
- [14] Rohrbach R.P. Srivastava A.K., Goering C.E. *Engineering principles of agricultural machines*. American Society of Agricultural Engineers, 1993.
- [15] Jože Duhovnik , Jože Tavčar. *Elektronsko poslovanje in tehnični informacijski sistemi*. LECAD, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [16] Renius T.K. *Traktoren, Zweite durchgesehene Auflage*. BLV Verlagsgesellschaft München, 1987.
- [17] Hubka V. *Theorie der Konstruktionsprozesse*. Springer Verlag Berlin, 1976.
- [18] Hubka V., Eder W.E. *Theory of technical System*. Springer Verlag, 1988.
- [19] Urad RS za standardizacijo in meroslovje. *Katalog SIST 2001*. Urad RS za standardizacijo in meroslovje, 2001.

## IZJAVA

Diplomsko nalogo sem samostojno izdelal pod vodstvom mentorja prof. dr. Jožeta Duhovnika.

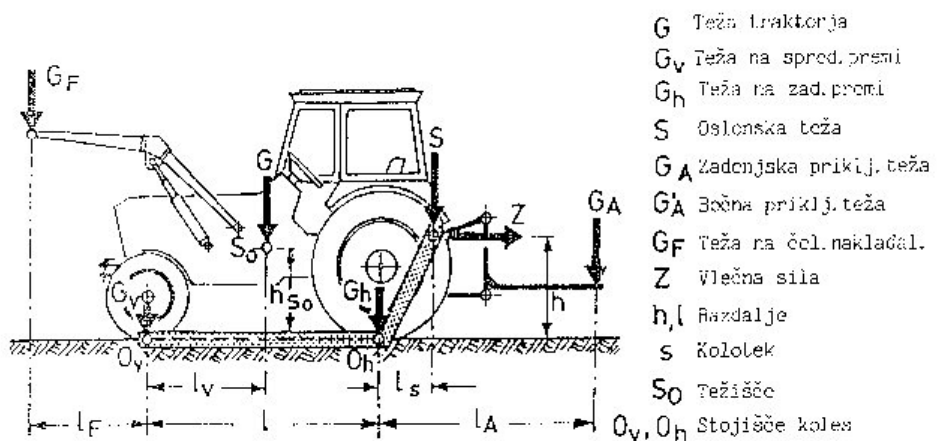
Ivan Demšar

Ljubljana, 28.8.2002

## DODATEK A

## Določitev obremenitev na traktorju

## Razporeditev teže na premah



$G_r$  Teža na desnih kolesih

$G_l$  Teža na levih kolesih

## Podatki

Podatki so dobljeni na osnovi meritev na podobnih traktorjih (Ferrari) oz so določeni iz izkušenj:

$G := 1600\text{kg}$	Predpostavljena teža traktorja
$S := 1500\text{kg}$	Teža na priklopu enosnega priključka
$G_A := 1200\text{kg}$	Dvizna sila zadnjega tritockovnega priklopa
$G'_A := 400\text{kg}$	Teža rotacijske kosilnice
$G_F := 400\text{kg}$	Zeljena dvizna sila celnega nakladalca in lastna teža nakladalca

Vlecno silo izračunamo na osnovi vlecne moci traktorja (na suhem asfaltu). Vlecna sila je enaka sili trenja med kolesom in podlago

$\mu := 0.4$  Trenje med gumo in asfaltom (SP, str. 109)

$F_N := G + S + G_F$  Maksimalna normalana sila na podlago

$F_{tr} := F_N \cdot \mu$  Sila trenja med kolesi in podlago

$Z := F_{tr}$   $Z = 1.4 \times 10^3 \text{ kg}$

$Z := 1400 \text{ kg}$  Predpostavljena vlecna sila

Mere traktorja predpostavimo enake kakor so pri FERRARI-ju SYSTEM 50 RS (knjizica str. 34-39)

$l := 1450 \text{ mm}$  Medosna razdalja

$l_A := 678 \text{ mm}$  Razdalja od zadnje osi do tritockovnega priklopa

$l_s := 470 \text{ mm}$  Razdalja od zadnje osi do priklopa

$h := 630 \text{ mm}$  Maksimalna visina priklopa

Glede na podano razporeditev teze praznega traktorja (45% zadaj in 55% spredaj)

$k_v := 0.55$  Koeficient obremenitve prednje preme

$k_h := 0.45$  Koeficient obremenitve zadnje preme

$l_h := 1 \cdot k_h$   $l_h = 652.5 \text{ mm}$   $l_v := 1 \cdot k_v$   $l_v = 797.5 \text{ mm}$

$h_{G0} := 480 \text{ mm}$  Predpostavljena visina tezisca

$l_F := 400 \text{ mm}$  Izmerjena sirina na domacem celenem nakladalcu

## Izračun teze na posamezni premi

$$G_v := G \cdot k_v \quad G_v = 880 \text{ kg}$$

$$G_h := G \cdot k_h \quad G_h = 720 \text{ kg}$$

## Sprememba teze zaradi dodatnih priključkov

## Zadnja prema

$$\Delta G_{hZ} := Z \cdot \left( \frac{h}{l} \right) \quad \Delta G_{hZ} = 608.276 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi vlecne sile}$$

$$\Delta G_{hS} := S \cdot \left( 1 + \frac{l_s}{l} \right) \quad \Delta G_{hS} = 1.986 \times 10^3 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teže zaradi vlečne teže}$$

$$\Delta G_{hA} := G_A \cdot \left( 1 + \frac{l_A}{l} \right) \quad \Delta G_{hA} = 1.761 \times 10^3 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi priključne teze}$$

$$\Delta G_{hF} := -G_F \cdot \left( \frac{l_F}{l} \right) \quad \Delta G_{hF} = -110.345 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi celnega nakladalca}$$

## Prednja prema

$$\Delta G_{vZ} := -Z \cdot \left( \frac{h}{l} \right) \quad \Delta G_{vZ} = -608.276 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi vlecne sile}$$

$$\Delta G_{vS} := -S \cdot \left( \frac{l_s}{l} \right) \quad \Delta G_{vS} = -486.207 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi vlecne teze}$$

$$\Delta G_{vA} := -G_A \cdot \left( \frac{l_A}{l} \right) \quad \Delta G_{vA} = -561.103 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi priključne teze}$$

$$\Delta G_{vF} := G_F \cdot \left( 1 + \frac{l_F}{l} \right) \quad \Delta G_{vF} = 510.345 \text{ kg} \quad \text{Sprememba teze zaradi celnega nakladalca}$$

## Najvecja obremenitev posamezne osi

Potrebno je poiskati najneugodnejši primer, oz. primer v katerem je obremenitev posameznih prem najvecja.

### 1. Traktor s celnim nakladalcem, za katerega je pripeta enoosna prikolica (vlecna in oslonska sila)

$$G_{h1} := G_h + \Delta G_{hS} + \Delta G_{hZ} + \Delta G_{hF} \quad G_{h1} = 3.204 \times 10^3 \text{ kg} \quad \text{Zadnja os}$$

$$G_{v1} := G_v + \Delta G_{vS} + \Delta G_{vZ} + \Delta G_{vF} \quad G_{v1} = 295.862 \text{ kg} \quad \text{Prednja os}$$

### 2. Traktor s celnim nakladalcem in bremenom na tritockovnem priklopu - vitla (Priključna teža + vlecna sila)

$$G_{h2} := G_h + \Delta G_{hZ} + \Delta G_{hA} + \Delta G_{hF} \quad G_{h2} = 2.979 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$G_{v2} := G_v + \Delta G_{vZ} + \Delta G_{vA} + \Delta G_{vF} \quad G_{v2} = 220.966 \text{ kg}$$

### 3. Traktor s celnim nakladalcem (maksimalna obremenitev prednje preme)

$$G_{h3} := G_h + \Delta G_{hF} \quad G_{h3} = 609.655 \text{ kg}$$

$$G_{v3} := G_v + \Delta G_{vF} \quad G_{v3} = 1.39 \times 10^3 \text{ kg}$$

## Maksimalna obremenitev na kolesih

Zadnja os:

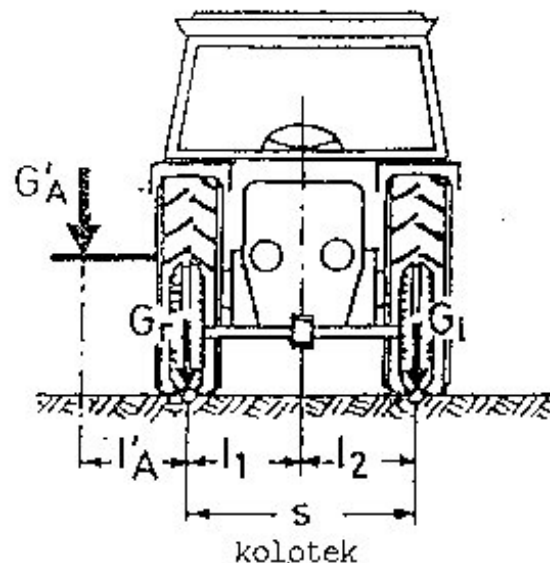
$$G_{hmax1} := \frac{G_{h1}}{2} \quad G_{hmax1} = 1.602 \times 10^3 \text{ kg}$$

Prednja os:

$$G_{vmax1} := \frac{G_{v3}}{2} \quad G_{vmax1} = 695.172 \text{ kg}$$

### Bocni premik teze zaradi priključne bocne teze

Bocni premik teze dodatno obremeni tisto kolo, na katero stran je zamaknjeno breme. Pojavlja se le na zadnji premi, ker je sprednja vrtljivo vpeta, zato se torzijski moment ne prenaša na predno premo.



$$s_{\min} := 1400\text{mm}$$

Predpostavljena minimalna sirina koloteka

$$s_{\max} := 1800\text{mm}$$

Predpostavljena maksimalna sirina koloteka

$$l'_{A\min} := 1200\text{mm} - \frac{s_{\max}}{2}$$

Razdalja od kolesa do tezisca prikljucka

$$l'_{A\max} := 1200\text{mm} - \frac{s_{\min}}{2}$$

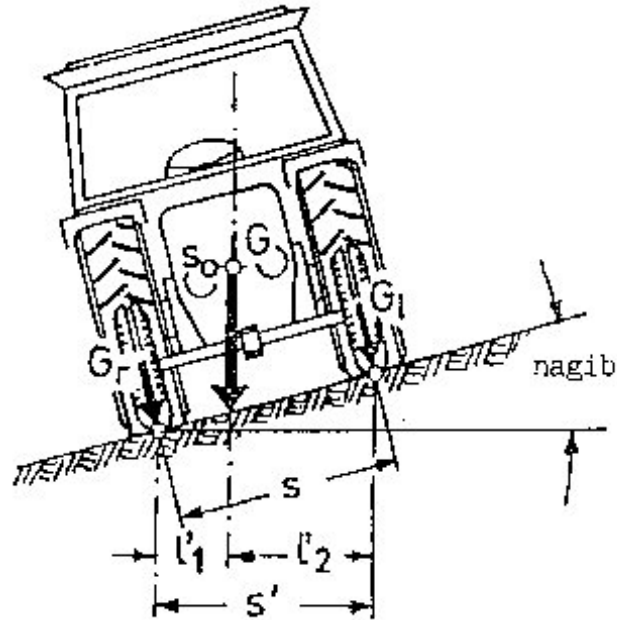
$$\Delta G_{\min} := G'_A \cdot \left( 1 + \frac{l'_{A\min}}{s_{\max}} \right)$$

$$\Delta G_{\min} = 466.667 \text{ kg}$$

$$\Delta G_{\max} := G'_A \cdot \left( 1 + \frac{l'_{A\max}}{s_{\min}} \right)$$

$$\Delta G_{\max} = 542.857 \text{ kg}$$

## Delo v nagibu



Maksimalen dovoljen nagib traktorja pri maksimalni sirini je  $30^\circ$  (50%), pri najmanjši sirini pa  $20^\circ$  (35%).

$$\alpha_1 := 30 \text{ deg}$$

Maksimalni nagib pri maksimalni sirini

$$\alpha_2 := 20 \text{ deg}$$

Maksimalni nagib pri minimalni sirini

$$s'_1 := s_{\max} \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$s'_1 = 1.559 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$s'_2 := s_{\min} \cdot \cos(\alpha_2)$$

$$s'_2 = 1.316 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$l_{11} := \left( \frac{s_{\max}}{2} - h_{S0} \cdot \sin(\alpha_1) \right) \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$l_{11} = 571.577 \text{ mm}$$

$$l_{12} := \left( \frac{s_{\min}}{2} - h_{S0} \cdot \sin(\alpha_2) \right) \cdot \cos(\alpha_2)$$

$$l_{12} = 503.516 \text{ mm}$$

## Dejanska teza na spodnjem kolesu:

$$G_{Y1} := G \cdot \left( 1 - \frac{l_{11}}{s'_1} \right)$$

$$G_{Y1} = 1.013 \times 10^3 \text{ kg}$$

Teza na spodnjem kolesu pri maksimalni sirini

$$G_{Y2} := G \cdot \left( 1 - \frac{l_{12}}{s'_2} \right)$$

$$G_{Y2} = 987.622 \text{ kg}$$

Teza na spodnjem kolesu pri minimalni sirini



## Maksimalna obremenitev spodnjega kolesa

Maksimalno obremenitev spodnjega kolesa dobimo v primeru, ko imamo na strmini priključeno bocno tezo na spodnji strani:

$$G_{hmax2} := G_{y1} + \Delta G_{rmax} \qquad G_{hmax2} = 1.556 \times 10^3 \text{ kg}$$

## SKLEP

### Vertikalna sila

Zgornji rezultati kažejo, kolikšna je vertikalna sila na kolo pri različnih obremenjevanjih traktorja. Preracune smo izvedli za ekstremne pogoje obratovanja, ki se v praksi običajno ne pojavljajo, vendar pa so možni!

Vidimo, da v primeru obremenitve traktorja na ravnini znasala maksimalna sila na zadnje kolo 1602 kg, kar pomeni, da je obremenitev zadnje osi 3204 kg.

Pri delu v strmini pa znasa maksimalna obremenitev na spodnje kolo 1556 kg. Do prevrnitve traktorja pride v primeru, da bi celotno maso prenašal spodnje kolo (1600 kg).

Za praracun konstrukcije bomo potem takem predpostavil maksimalno vertikalno silo 15700 N (1600 kg).

### Horizontalna obremenitev (obodna sila)

Iz maksimalne obremenitve zadnje osi in koeficienta trenja (SP str. 109) določimo obodno silo vsakega kolesa (vzdolžni zdrs)!

$$\begin{aligned} \mu_{max} &:= 0.65 & G_{hmax} &:= 1600 \text{ kg} \\ F_{omax} &:= G_{hmax} \cdot \mu_{max} & F_{omax} &= 1.04 \times 10^3 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maximalna horizontalna obremenitev je 11000N ( 1220kg)

### Aksialna obremenitev

Podobno kot pri horizontalni obremenitvi, le da gledamo bocni zdrs!

Maksimalna obremenitev znasa potem enako kot zgoraj 11000 N (1220 kg).

## DODATEK B

---

**Kontrola napetosti v osrednji cevi**

---

***Določitev napetosti v nosilcu*****Obremenitve**

Osrednjo cev dimenzioniramo na maksimalne obremenitve kolesa! ( Dodatek A)

$$F_x := 11000\text{N}$$

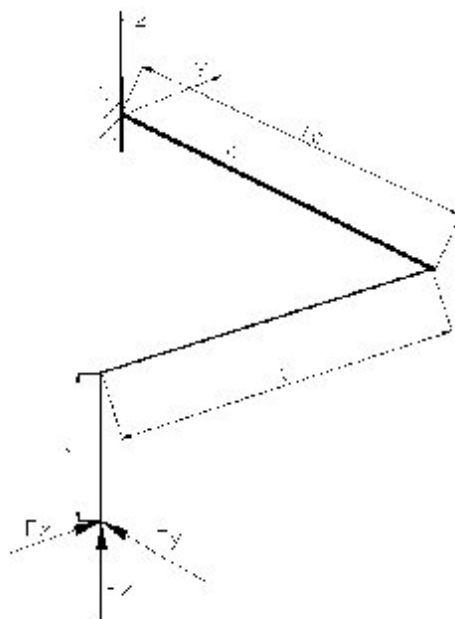
$$F_y := 11000\text{N}$$

$$F_z := 15700\text{N}$$

$$l_c := 1450\text{mm}$$

$$l := 940\text{mm}$$

$$r := 460\text{mm}$$



Slika 1: Staticni model konstrukcije

**Določitev notranjih sil in momentov**

$$N(x) := -F_x$$

$$N_x := -F_x$$

$$N_x = -1.1 \times 10^4 \text{ N}$$

$$T_y(x) := -F_y$$

$$T_y := -F_y$$

$$T_y = -1.1 \times 10^4 \text{ N}$$

$$T_z(x) := -F_z$$

$$T_z := -F_z$$

$$T_z = -1.57 \times 10^4 \text{ N}$$

$$M_x(x) := F_y \cdot r$$

$$M_x := F_y \cdot r$$

$$M_x = 5.06 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_y(x) := F_x \cdot r + F_z \cdot (l_c - x)$$

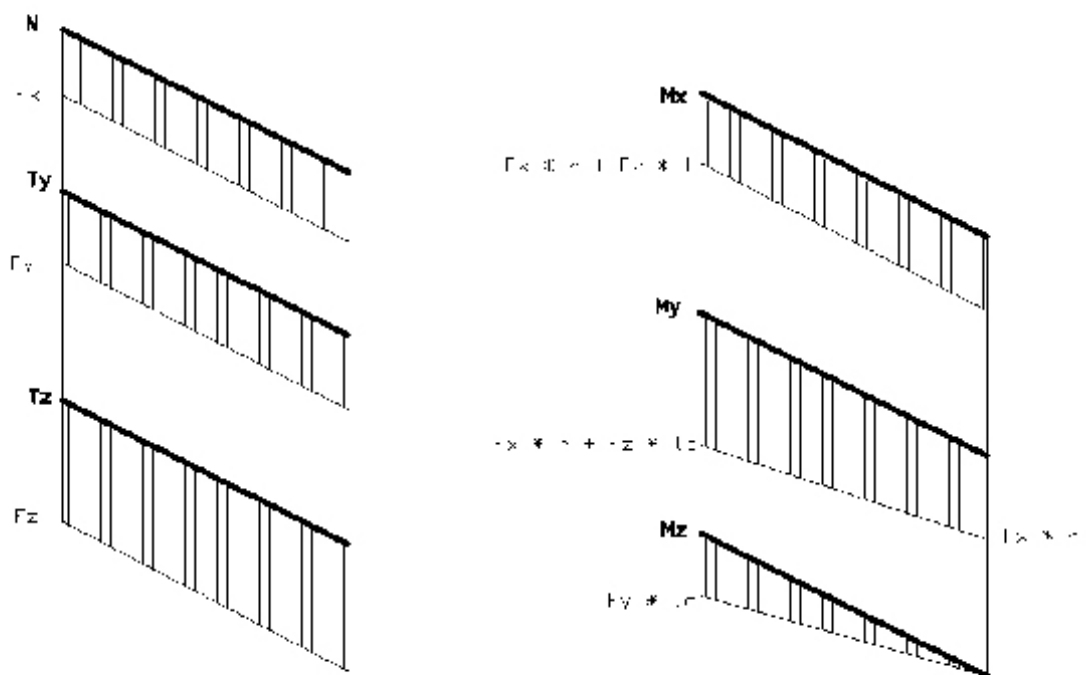
$$M_y := F_x \cdot r + F_z \cdot l_c$$

$$M_y = 2.783 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M_z(x) := F_y \cdot (l_c - x)$$

$$M_z := F_y \cdot (l_c)$$

$$M_z = 1.595 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$$



Slika 2: Diagrami notranjih sil in momentov

Cev 219.1 x 8 x 1450 (Merkurjev katalog str. 158)

$$D := 219.1 \text{ mm} \quad t := 8 \text{ mm} \quad l_c = 1.45 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$d := D - 2 \cdot t \quad d = 203.1 \text{ mm}$$

Izračunane karakteristike prereza (SP, str.116-118)

$$I_y := \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$I_y = 2.96 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$I_z := I_y$$

$$I_z = 2.96 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

$$W_t := \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

$$W_t = 540.325 \text{ cm}^3$$

$$A := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

$$A = 53.055 \text{ cm}^2$$

**Določitev maksimalnih napetosti v prerezu:**

$$\sigma_{Nx} := \frac{N_x}{A}$$

$$\sigma_{Nx} = -2.073 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Mx} := \frac{M_x}{W_t}$$

$$\tau_{Mx} = 9.365 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{My} := \frac{M_y \cdot \frac{D}{2}}{I_y}$$

$$\sigma_{My} = 102.993 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Ty} := \frac{T_y}{A}$$

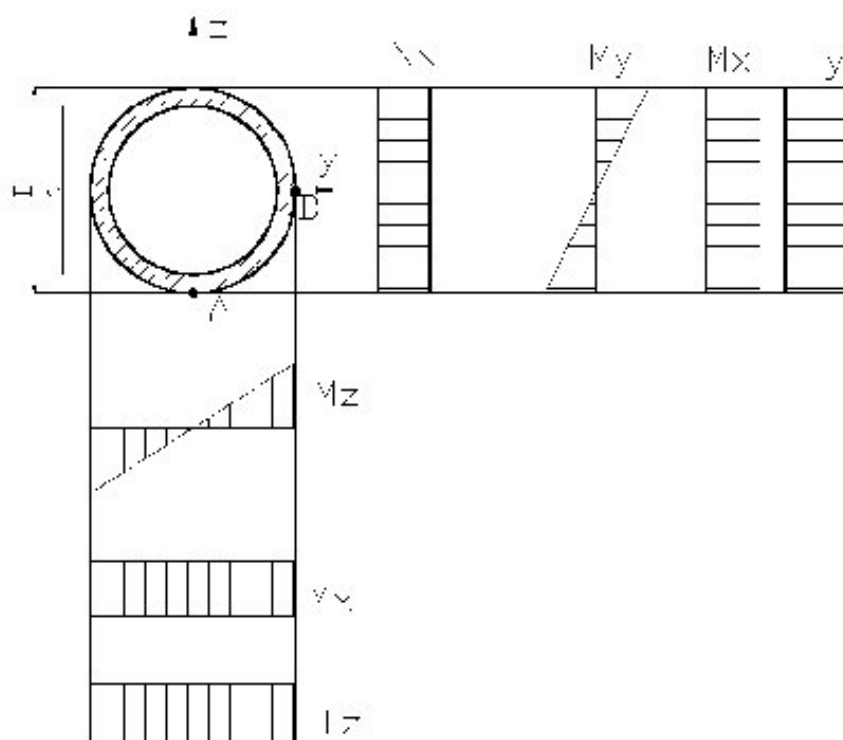
$$\tau_{Ty} = 2.073 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{Mz} := \frac{M_z \cdot \frac{D}{2}}{I_z}$$

$$\sigma_{Mz} = 59.038 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{Tz} := \frac{T_z}{A}$$

$$\tau_{Tz} = 2.959 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Slika 3: Porazdelitev napetosti v prerezu

**Kontrola napetosti v nosilcu**

Statična kontrola

$$v := 1.5$$

Varnost

$$R_{p0.2} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Meja plasticnosti  $t = 8 \text{ mm}$ :

$$\sigma_{\text{dop}} := \frac{R_{p0.2}}{v}$$

$$\sigma_{\text{dop}} = 236.667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dopustna napetost za statično obr.

**Določitev napetosti v prerezu****Točka A**

$$\sigma_A := \sigma_{N_x} + \sigma_{M_y}$$

$$\sigma_A = 100.92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_A := \tau_{M_x} + \sqrt{\tau_{T_y}^2 + \tau_{T_z}^2}$$

$$\tau_A = 12.978 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**primerjalna napetost**

$$\sigma_{\text{pr.A}} := \sqrt{\sigma_A^2 + 3 \cdot \tau_A^2}$$

$$\sigma_{\text{pr.A}} = 103.393 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{pr}} < \sigma_{\text{dop}}$$

**Zdrži!****Točka B**

$$\sigma_B := \sigma_{N_x} + \sigma_{M_z}$$

$$\sigma_B = 56.965 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_B := \tau_{M_x} + \sqrt{\tau_{T_y}^2 + \tau_{T_z}^2}$$

$$\tau_B = 12.978 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**primerjalna napetost**

$$\sigma_{\text{pr.B}} := \sqrt{\sigma_B^2 + 3 \cdot \tau_B^2}$$

$$\sigma_{\text{pr.B}} = 61.24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{pr}} < \sigma_{\text{dop}}$$

**Zdrži!**

**Kontrola na utrujanje**

Določitev maksimalnih in minimalnih napetosti v posameznih točkah

$$\sigma_{A,max} := 100.92 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{A,min} := -27.39 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{A,max} := 7.257 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{A,min} := -7.257 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{B,max} := 56.956 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{B,min} := -56.956 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{B,max} := 7.257 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{B,min} := -7.257 \frac{N}{mm^2}$$

**Točka A**

Vrsta detajla W 01

**Normalne napetosti:**

$$\kappa_{\sigma A} := \frac{\sigma_{A,min}}{\sigma_{A,max}}$$

$$\kappa_{\sigma A} = -0.271$$

Razmerje napetosti

$$\sigma_w := 120 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost (izmenična obr.)

$$\sigma_{D,dop.A} := \frac{5}{3 - 2 \cdot \kappa_{\sigma A}} \cdot \sigma_w$$

$$\sigma_{D,dop.A} = 169.357 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost

**Tangencialne napetosti**

$$\kappa_{\tau A} := \frac{\tau_{A,min}}{\tau_{A,max}}$$

$$\kappa_{\tau A} = -1$$

Razmerje napetosti

$$\sigma_{D,dop} := \frac{5}{3 - 2 \cdot \kappa_{\tau A}} \cdot \sigma_w$$

$$\sigma_{D,dop} = 120 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost za nateg

$$\tau_{D,dop.A} := \frac{\sigma_{D,dop}}{\sqrt{2}}$$

$$\tau_{D,dop.A} = 84.853 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna tan. napetost

$$k := \sqrt{\left(\frac{\sigma_{A,max}}{\sigma_{D,dop.A}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{A,max}}{\tau_{D,dop.A}}\right)^2}$$

$$k = 0.602$$

**Zdrži!**

**Točka B**

Vrsta detajla W 01

**Normalne napetosti:**

$$\kappa_{\sigma B} := \frac{\sigma_{B.min}}{\sigma_{B.max}}$$

$$\kappa_{\sigma B} = -1$$

Razmerje napetosti

$$\sigma_w := 120 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost (izmenična obr.)

$$\sigma_{D.dop.B} := \frac{5}{3 - 2 \cdot \kappa_{\sigma B}} \cdot \sigma_w$$

$$\sigma_{D.dop.B} = 120 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost

**Tangencialne napetosti**

$$\kappa_{\tau B} := \frac{\tau_{B.min}}{\tau_{B.max}}$$

$$\kappa_{\tau B} = -1$$

Razmerje napetosti

$$\sigma_{D.dop} := \frac{5}{3 - 2 \cdot \kappa_{\tau B}} \cdot \sigma_w$$

$$\sigma_{D.dop} = 120 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna napetost za nateg

$$\tau_{D.dop.B} := \frac{\sigma_{D.dop}}{\sqrt{2}}$$

$$\tau_{D.dop.B} = 84.853 \frac{N}{mm^2}$$

Dopustna tan. napetost

$$k := \sqrt{\left(\frac{\sigma_{B.max}}{\sigma_{D.dop.B}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{B.max}}{\tau_{D.dop.B}}\right)^2}$$

$$k = 0.482$$

**Zdrži!**