

Univerza v Ljubljani FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO	STROJNI ELEMENTI 2	2005/06
---	---------------------------	---------

Vaja 1:

Analiza enolamelne avtomobilske sklopke

SE2-5		23.08.06
-------	--	----------

Kazalo

1	Definicija naloge	3
1.1	Zahteve naloge	3
1.2	Opis preizkuševališča, sklopke, potek meritev	3
2	Uvod.....	5
3	Preračun	5
3.1	Preračun krožnikastih vzmeti.....	5
3.2	Trdnostna kontrola vzmeti	11
3.2.1	Statistična obravnava vzmeti	12
3.2.2	Dinamična obravnava vzmeti.....	14
3.3	Torne razmere na lameli sklopke	16
3.3.1	Predpostavka o enakomernem tlaku na torni oblogi	16
3.3.1.1	Primer preračuna za $F = 3658,5535\text{N}$ ($s = 3,5\text{ mm}$)	16
3.3.2	Predpostavka o enakomerni obrabi torne obloge.....	17
3.3.2.1	Primer preračuna za $F = 3658,5535\text{N}$ ($s = 3,5\text{ mm}$)	17
3.3.3	Odnos med momentom sklopke in momentom motorja.....	20
3.3.4	Drzne hitrosti.....	20
3.4	Vozni upori	21
3.4.1	Upor strmine.....	21
3.4.2	Kotalni upor.....	22
3.4.3	Zračni upor.....	23
3.4.4	Vsota voznih uporov	24
3.5	Moment bremena na sklopki	26
3.6	Delo trenja pri speljevanju	29
3.7	Opredelitev temperature plašča sklopke po končanem zagonu	30
3.8	Dopustno delo trenja in asdrsenja sklopke	32
3.9	Preračun gredne vezi.....	33
4	Zaključek	35
5	Literatura.....	36
Priloga 1: Podatki in tabele za preračun		37

1 Definicija naloge

Za avtomobilsko enolamelno sklopko je potrebno izdelati analizo delovanja, analizo geometrijskih karakteristik (meritve) in osnovne konstrukcijske preraune. Osnovne podatke o sklopki je potrebno poiskati iz karakteristik pogonskega motorja vozila ($P_{E_{max}}$, $n_{E_{max}}$, $M_{E_{max}}$, $n_{E_{max}}$), ki mu sklopka pripada. Raunsko določite največjo zmogljivost sklopke.

1.1 Zahteve naloge

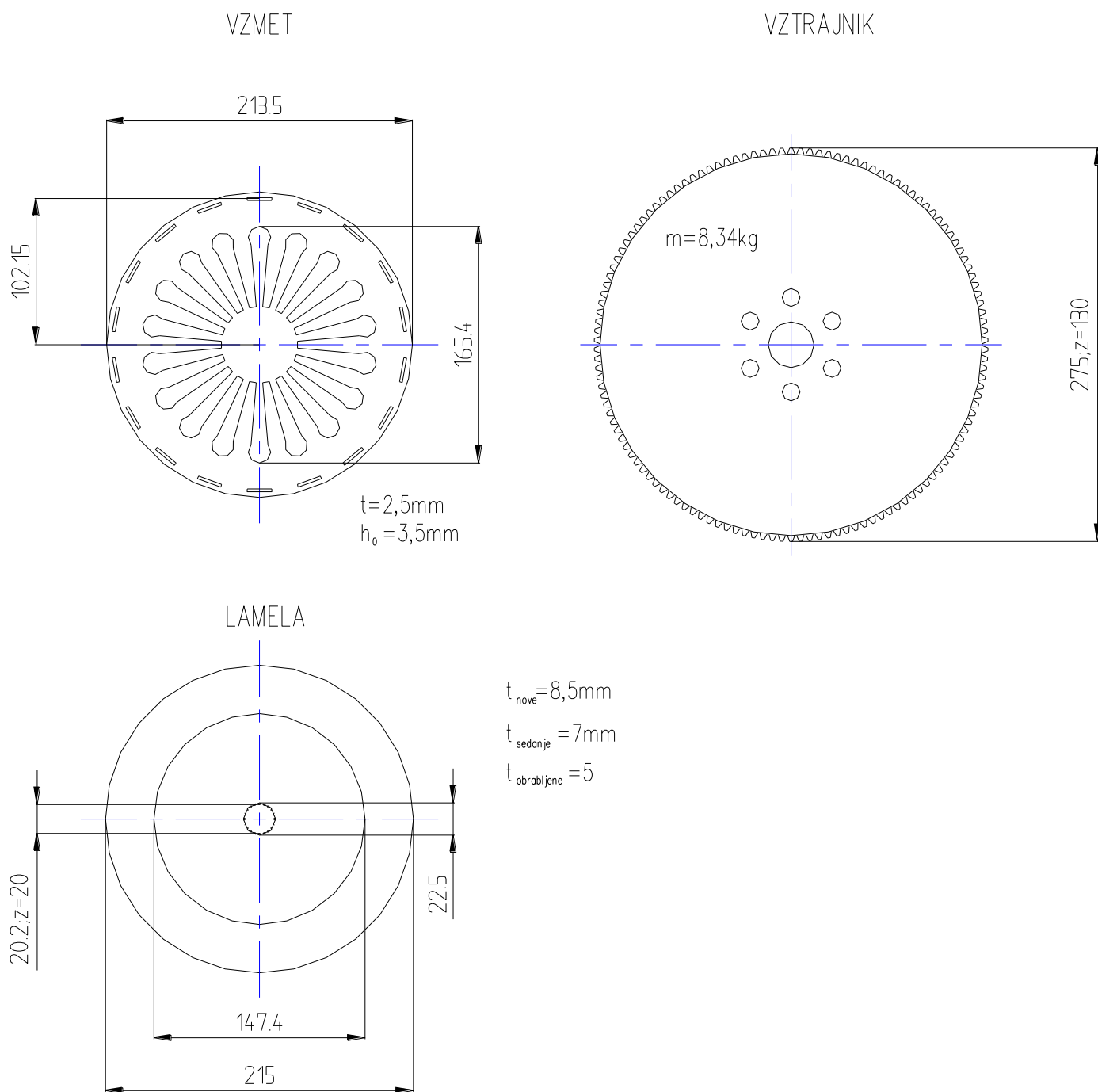
- Analizirajte delovanje sklopke, ugotovite skrajne meje delovanja in izdelajte preprost model (skico), ki bo služil kot osnova za osnovne konstrukcijske preraune najbolj kritičnih elementov.
- Analizirajte potisno vzmet (sila na potisno ploščo v odvisnosti od obrabe lamel, povezava med silama na potisno ploščo in silo na potisni ležaj, primerjava med teoretičnim izračunom in opravljenimi meritvami, osnovna trdnostna kontrola, primerjava med membransko vzmetjo in vijaknimi vzmetmi).
- Analizirajte to me razmere pri vkapljanju oz. izklapljanju sklopke ter ocenite največje zmogljivosti sklopke (generirana toplota, končna temperatura, največji moment, največji ožena s drsenja).
- Preverite gredno vez med lamelo in odgonsko gredjo (utorna, evolventna).

1.2 Opis preizkuševališča, sklopke, potek meritev

Na terenu oz. laboratorijskih vajah smo razstavili sklopko Alfa Romeo 156 1.6 Twin Spark 16 V ter izmerili dimenzije potrebne za nadaljnji preraun. Izmerili smo torej sledeče:

- dimenzije membranske vzmeti ter ohišja (vzmet je prednapeta)
- dimenzije lamele (torne obloge)
- dimenzije vztrajnika (določili smo tudi njegovo maso, število zob)
- dimenzije listnatih vzmeti
- dimenzije gredne vezi ter število utrov

Slika 1.1 prikazuje osnovne dele sklopke in dimenzije, potrebne za preraun.



Slika 1.1: Sestavni deli sklopke in njihove dimenzije

Poleg tega, da smo sklopko razstavili in določili dimenzije, smo opravili še meritve, s pomočjo katerih smo določili dejansko karakteristiko vzmeti sklopke. Izmerili smo silo na potisno ploščo v odvisnosti od hoda in sicer s pomočjo merilne sonde. Meritev smo opravljali v korakih po 0,5 mm, vzporedno pa smo v intervalih odčitavali položaj (hod). Rezultati meritev so zaradi preglednosti podani v tem poglavju (tabela 1.1).

1. meritev	pomik na urici	2. meritev	pomik na urici	3. meritev	pomik na urici	povprečne vrednosti
mm	s [mm]	mm	s [mm]	mm	s [mm]	s [mm]
0	0	0	0	0	0	0
0,5	2,39	0,5	2,33	0,5	2,31	2,3433
1	4,59	1	4,43	1	4,47	4,4967
1,5	4,86	1,5	4,83	1,5	4,84	4,8433
2	4,86	2	4,82	2	4,8	4,8267
2,5	4,86	2,5	4,54	2,5	4,65	4,6833
3	3,95	3	4,01	3	3,95	3,9700
3,5	3,55	3,5	3,61	3,5	3,55	3,5700
4	2,98	4	3,01	4	2,9	2,9633
4,5	2,53	4,5	2,58	4,5	2,47	2,5267
5	2,43	5	2,39	5	2,38	2,4000
5,5	2,55	5,5	2,58	5,5	2,7	2,6100

Tabela 1.1: Vrednosti terenskih meritev

2 Uvod

Na vaji smo razstavili sklopko in izmerili osnovno geometrijo, katero sem potem potreboval v nadaljnjih preraunih in analizah. Kot je že omenjeno, sem opravil trdnostno kontrolo membranske vzmeti (statično ter dinamično) v območju delovanja sklopke, skratka vzmet sem analiziral ter izrisal pomembne diagrame. Prav tako sem analiziral torne razmere, vozne upore, trenje, temperaturo sklopke pri speljevanju ter preraunal evolventno gredno vez na dopustni tlak. (OPOMBI:

- zaključek oziroma komentarji za celotno poročilo se nahajajo tekom poročila in v poglavju 4 – Zaključek
- vse vrednosti potrebne za izris grafov se nahajajo v prilogi)

3 Preraun

3.1 Preraun krožnikastih vzmeti

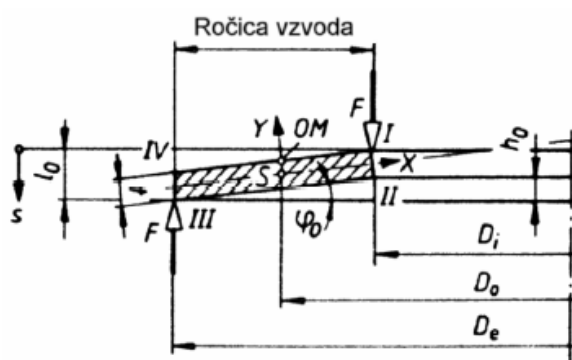
Približno silo vzmeti, odvisno od pomika izražamo po Almén-Laszló enačbi:

$$F(s) = \frac{4 E t^4 K_4^2 s}{(1 - \nu^2) K_1 D_e^2 t} K_4^2 \frac{h_0}{t} \frac{s}{t} \frac{h_0}{t} \frac{s}{2 t} + 1 \quad (\text{enačba 1.1}), \text{ kjer je}$$

- t debelina vzmeti (glej sliko 1.2)
 E elastični modul ($E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$)
 ν Poissonov količnik ($\nu = 0,3$)
 h_0 višina vzmeti (glej sliko 1.2)
 D_e zunanji premer vzmeti (slika 1.2)
 K_1 faktor, odvisen od razmerja med notranjim in zunanjim

premerom vzmeti ($K_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} \frac{1}{\ln \frac{D_e}{D_i}}}$, kjer je $\frac{D_e}{D_i}$)

- K_4 faktor, odvisen od tipa vzmeti (za skupino 2, v katero spada vzmet v našem primeru ($t=1,25$ do 6 mm) je $K_4 = 1$)
 s pomik vzmeti (slika 1.2)



Slika 1.2: Dimenzije vzmeti (leva polovica)

Potrebno je primerjati izmerjene sile na vzmet z teoretičnimi, to se pravi izračunanimi silami, katere dobimo za različne hode iz enačbe 1.1. Sile na vzmet pri meritvah dobimo preko karakteristike sonde, kjer namesto x vstavljamo s povprečni (tabela 1.1). Karakteristika merilne sonde:

$F[\text{kg}] = 0,0339 x^3 + 0,5938 x^2 + 167,72 x + 167,88$. Po zgoraj navedenem postopku dobimo sile

za različne pomike. Vrednosti sil so prikazane v tabeli 1.2. Izračunane teoretične sile so prikazane v tabeli 1.3.

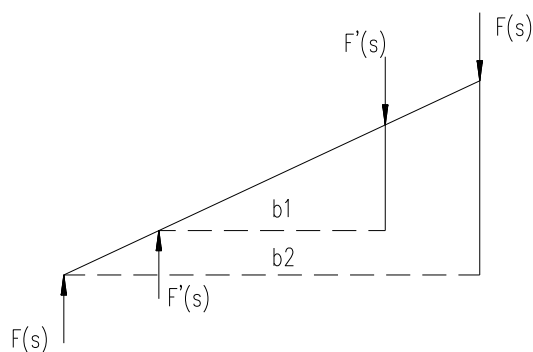
x [mm]	F [N]
0	0
2,343	2236,369
4,497	5839,16
4,843	6420,857
4,827	6392,885
4,683	6152,347
3,970	4956,072
3,570	4286,047
2,963	3271,267
2,527	2542,13
2,400	2330,853
2,610	2681,186

F(s) [N]	s [mm]
0	0
1065,381	0,5
1831,124	1
2347,168	1,5
2663,453	2
2829,919	2,5
2896,505	3
2913,152	3,5
2929,798	4
2996,385	4,5
3162,85	5
3479,136	5,5
3995,18	6
4760,922	6,5
5826,304	7
7241,263	7,5
7916,315	7,7

Tabela 1.2: Rezultati meritev

Tabela 1.3: Teoretični izračun sil

Ker pri teoretičnem izračunu ne upoštevamo, da sila prijemlje na krajši razdalji kot na sliki 1.2, moramo to silo (in posledično tudi moment) korigirati z nekim faktorjem (slika 1.3 ponazarja razliko med prijemališča sil).



Slika 1.3: Prijemališča sil (teoretično, dejansko)

Korigirani faktor enostavno dobimo iz momentne enačbe. Pazimo, da dejanska sila deluje na krajšem vzvodu, kar pomeni da mora biti sila $F'(s)$, torej dejanska sila toliko večja:

$F'(s) = b_1 F(s) + b_2 F'(s) - F(s) \frac{b_2}{b_1}$. Ker je $b_2 < b_1$, velja $\frac{b_2}{b_1} < 1$. To dokazuje trditev, ki pravi da je korigirana sila večja od izražene. Prav tako je potrebno korigirati pomik s in sicer na podoben način, le da delimo obratne vrednosti. Torej: $s' = s \frac{b_1}{b_2}$. Tabela 1.4 prikazuje korigirane sile in pomike.

F(s) ' [N]	s ' [mm]
0	0
1337,98528	0,398129
2299,6622	0,796258
2947,74882	1,194387
3344,9632	1,592516
3554,0234	1,990644
3637,64748	2,388773
3658,5535	2,786902
3679,45952	3,185031
3763,0836	3,58316
3972,1438	3,981289
4369,35818	4,379418
5017,44481	4,777547
5979,12173	5,175676
7317,10701	5,573805
9094,11871	5,971933
9941,89963	6,131185

Tabela 1.4: Korigirana sila in pomiki

(OPOMBA: v nadaljnjih preračunih se uporablja korigirana teoretična sila)

Kritična sila F_c se pojavi, ko je $t = h_0$ (takrat je vzmet izravnana). Tako se enačba 1.1 preoblikuje v:

$$F(s) = \frac{4 E t^4 K_4^2 h_0}{(1 - \frac{b_2}{b_1}) K_1 D_e^2 t} = 2913,152 N$$

Za vzmet lahko izražamo še togost in sicer zopet v odvisnosti od pomika:

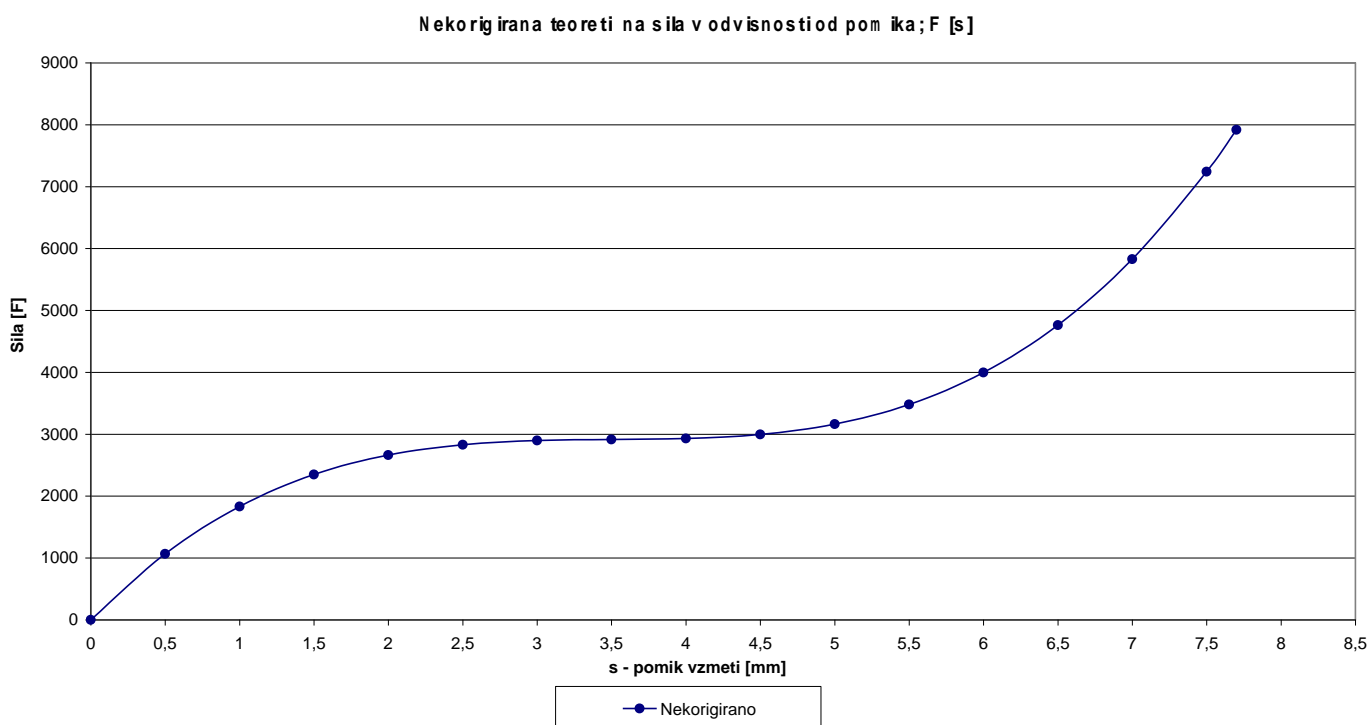
$$R(s) = \frac{4 E t^3 K_4^2}{(1 - \frac{b_2}{b_1}) K_1 D_e^2} K_4^2 \frac{h_0^2}{t} - 3 \frac{h_0}{t} \frac{s}{t} - \frac{3}{2} \frac{s^2}{t} - 1$$

Tabela 1.5 prikazuje vrednosti za togost vzmeti pri različnem pomiku.

R(s)[N/mm]	s [mm]
2463,6941	0
1814,4774	0,5
1265,1402	1
815,68249	1,5
466,10428	2
216,40556	2,5
66,586326	3
16,646581	3,5
66,586326	4
216,40556	4,5
466,10428	5
815,68249	5,5
1265,1402	6
1814,4774	6,5
2463,6941	7
3212,7902	7,5
3540,3949	7,7

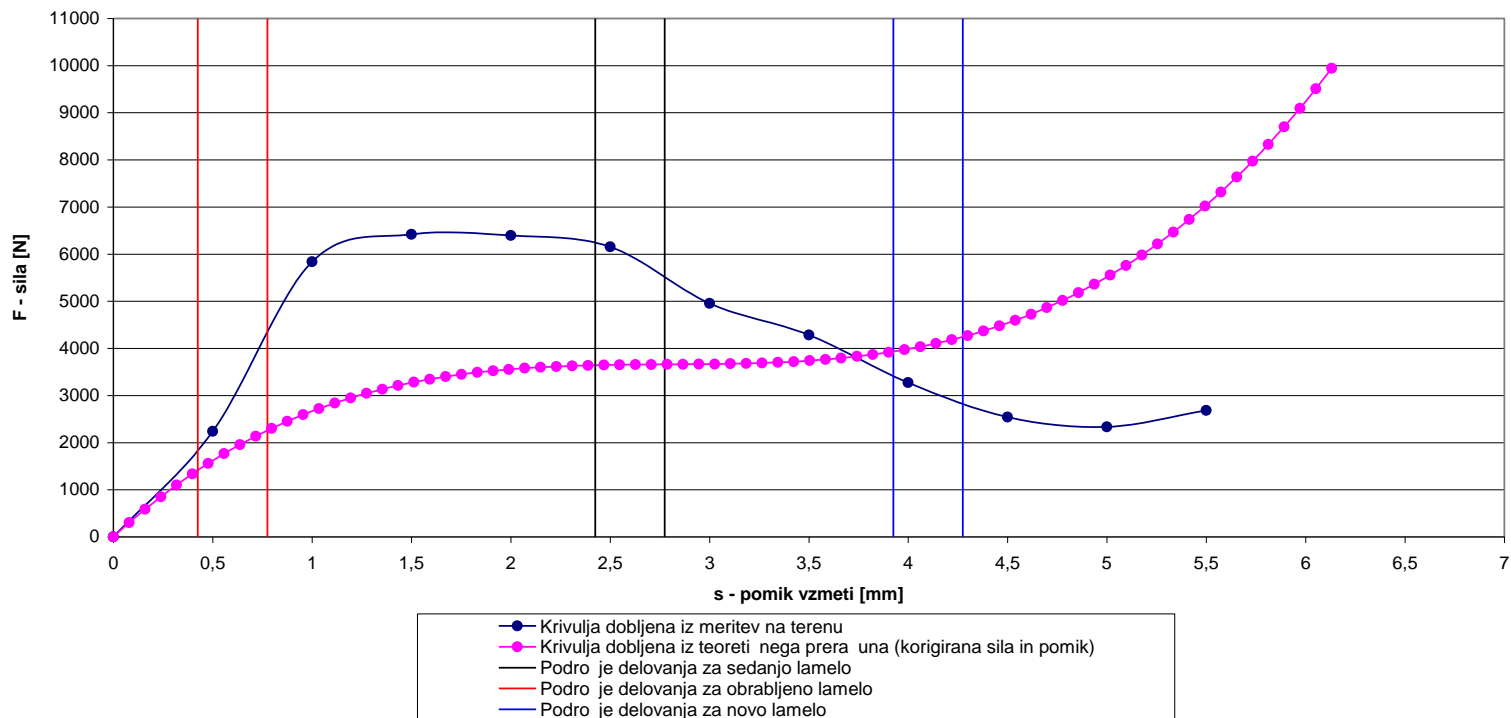
Tabela 1.5: Togost vzmeti pri dolo enih pomikih

Naslednji grafi prikazujejo analizo vseh izračunanih vrednosti v tem poglavju (vse vrednosti, potrebne za izris grafov se nahajajo v prilogi).



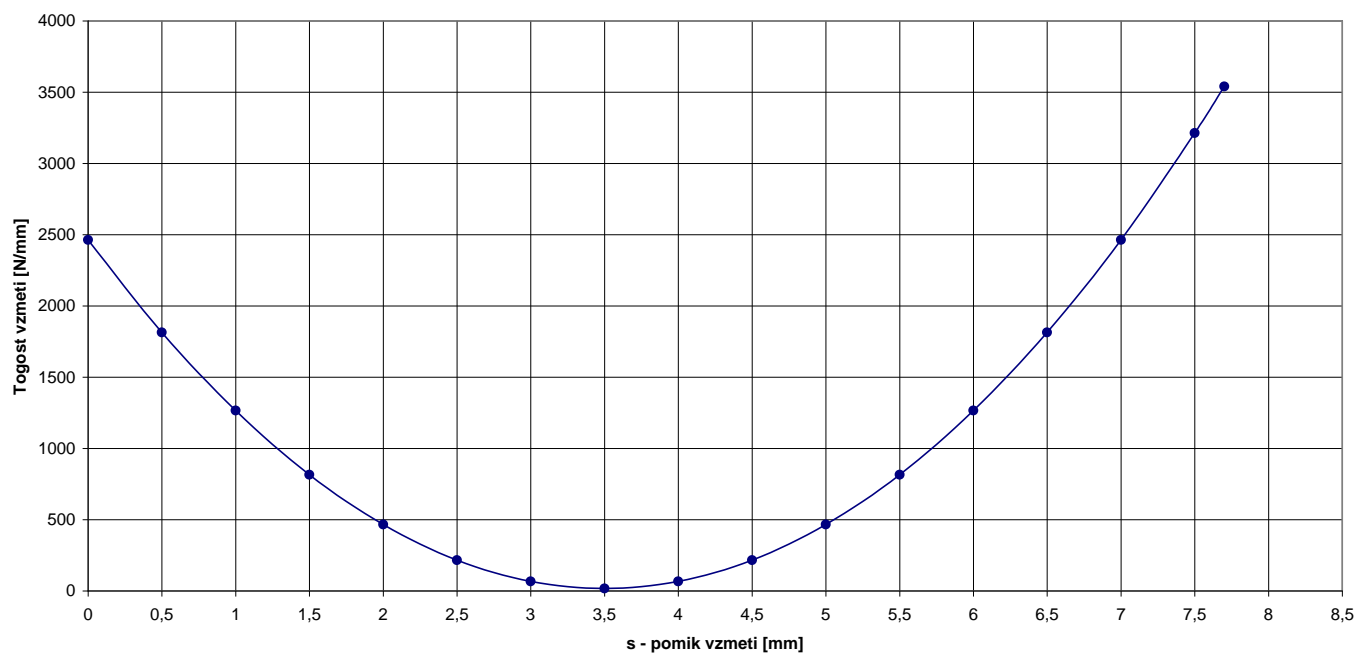
Graf 1.1: Prikaz vrednosti za nekorigirano teoretično silo v odvisnosti od pomika

Karakteristika vzmeti; F[s]



Graf 1.2: Prikaz vrednosti za korigirano teoreti no silo v odvisnosti od pomika, silo izmerjeno na terenu ter vris območij delovanja za novo, obrabljeno ter sedanjo lamelo

Togost vzmeti v odvisnosti od pomika; R[s]



Graf 1.3: Prikaz togosti vzmeti v odvisnosti od pomika

3.2 Trdnostna kontrola vzmeti

Kritična mesta na vzmeti, katera je potrebno dinamično ter stati no kontrolirati so prikazana na sliki 1.2 (poglavje 3.1). To so točke OM, I, II, III in IV. Napetosti v teh točkah (zopet v odvisnosti od pomika) se izražunajo po naslednjih enačbah:

$$(enačba 1.2) \quad \sigma_{OM}(s) = \frac{4 E t^2}{1 - 2 K_1 D_e^2} K_4 \frac{s}{t} \frac{3}{t}$$

$$(enačba 1.3) \quad \sigma_I(s) = \frac{4 E t^2}{1 - 2 K_1 D_e^2} K_4 \frac{s}{t} K_4 K_2 \frac{h_0}{t} \frac{s}{2t} K_3$$

$$(enačba 1.4) \quad \sigma_{II}(s) = \frac{4 E t^2}{1 - 2 K_1 D_e^2} K_4 \frac{s}{t} K_4 K_2 \frac{h_0}{t} \frac{s}{2t} K_3$$

$$(enačba 1.5) \quad \sigma_{III}(s) = \frac{4 E t^2}{1 - 2 K_1 D_e^2} K_4 \frac{s}{t} \frac{1}{t} K_4 (K_2 - 2 K_3) \frac{h_0}{t} \frac{s}{2t} K_3$$

$$(enačba 1.6) \quad \sigma_{IV}(s) = \frac{4 E t^2}{1 - 2 K_1 D_e^2} K_4 \frac{s}{t} \frac{1}{t} K_4 (K_2 - 2 K_3) \frac{h_0}{t} \frac{s}{2t} K_3$$

K_2 faktor, odvisen od razmerja med notranjim in zunanjim

premerom vzmeti ($K_2 = \frac{6}{1} \frac{\frac{1}{\ln} 1}{\ln} ,$ kjer je $\frac{D_e}{D_i}$)

K_3 faktor, odvisen od razmerja med notranjim in zunanjim

premerom vzmeti ($K_3 = \frac{3}{1} \frac{1}{\ln} ,$ kjer je $\frac{D_e}{D_i}$)

(OPOMBA: ostale oznake v enačbah 1.2 - 1.6 so razložene že v poglavju 3.1)

3.2.1 Stati na obremenitev vzmeti

Da bo vzmet vzdržala napram statičnim obremenitvam, orajo biti napetosti v toki 0 M (glej sliko 1.2) manjše od meje elastičnosti R_e , ki je v našem primeru 1400-1600 N/mm². V tem primeru ni potrebno preverjati napetosti v ostalih tokah (I, II, III, IV). V primeru, da gibanje poveča, je potrebno paziti, da izražene napetosti v teh tokah ne presežejo dopustnih

$$\left(\frac{D_e}{D_i} = 1,29 \quad \text{DOPIC} = 2600 \text{ N/mm}^2, \text{ kjer je } c = [0, I, II, V] \right).$$

Stati na kontrola za trenutno stanje po enabah 1.2-1.6 (ko je $s = st = 2,6 \text{ mm}$):

Točka 0 M :

$${}_{0M} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 2,6 \cdot 3 \text{ N/mm}^2 \quad | \quad 330,643 \text{ N/mm}^2 \quad 330,643 \text{ N/mm}^2$$

Točka I:

$${}^I = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 2,6 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{2,6}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$| \quad 694,066 \text{ N/mm}^2 \quad 694,066 \text{ N/mm}^2$$

Točka II:

$${}^{II} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 2,6 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{2,6}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$59,288 \text{ N/mm}^2$$

Točka III:

$${}^{III} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 2,6 \cdot \frac{1}{1,29} \cdot 1 \cdot (1,04 \cdot 2 \cdot 1,087) \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{2,6}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$559,525 \text{ N/mm}^2$$

To ka IV :

$${}^{IV} \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 2,6 \cdot \frac{1}{1,29} \cdot 1 \cdot (1,04 \cdot 2 \cdot 1,087) \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{2,6}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$| \quad 24,104 \text{ N/mm}^2 \quad 24,104 \text{ N/mm}^2$$

Stati na kontrola za stanje $2h_0$ po ena bah 1.2-1.6 (ko je $s = h_0 = 3,5\text{mm}$):

To ka OM :

$${}^{OM} \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 7 \cdot 3 \text{ N/mm}^2 \quad | \quad 890,19 \text{ N/mm}^2 \quad 890,19 \text{ N/mm}^2$$

To ka I:

$${}^I \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 7 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{7}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$| \quad 1014,13 \text{ N/mm}^2 \quad 1014,13 \text{ N/mm}^2$$

To ka II:

$${}^{II} \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 7 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{7}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$1014,13 \text{ N/mm}^2$$

To ka III:

$${}^{III} \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 - 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 7 \cdot \frac{1}{1,29} \cdot 1 \cdot (1,04 \cdot 2 \cdot 1,087) \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{7}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$785,65 \text{ N/mm}^2$$

To ka IV :

$$IV \quad \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2,5^2}{(1 \cdot 0,3^2) \cdot 0,380 \cdot 213,5^2 \cdot 2,5} \cdot 1 \cdot 7 \cdot \frac{1}{1,29} \cdot 1 \cdot (1,04 \cdot 2 \cdot 1,087) \cdot \frac{3,5}{2,5} \cdot \frac{7}{2 \cdot 2,5} \cdot 1,087 \text{ N/mm}^2$$

$$| \quad 785,65 \text{ N/mm}^2 \quad 785,65 \text{ N/mm}^2$$

Iz zgornjih preraunov vidimo, da bo vzmet vzdržala statične obremenitve, saj:

$$\boxed{R_e \quad 1400 \quad 1600 \text{ N/mm}^2} \text{ in } \boxed{R_c \quad 2600 \text{ N/mm}^2}.$$

3.2.2 Dinamične obremenitve vzmeti

Pri dinamični obremenitvi sta dve kritični mesti, katera moramo preraunati (in sicer to ka II in III na sliki 1.2). Delovno območje vzmeti predstavljajo pomiki med dvema mejnima območjema s_{\min} ter s_{\max} . Paziti moramo torej, da napetosti v območju delovanja ne presežejo dopustnih. Delovno območje je v našem primeru, ko je pedalo avtomobilske sklopke stisnjeno (to je niti vrednost, okoli katere vzmet rahlo niha) in vzmet rahlo niha v obe aksialni smeri (torej s_{\min} in s_{\max}). Dogovorjeno je, da je $s_{\min} \leq 0,05 h_0$ in $s_{\max} \leq 0,05 h_0$, kjer je s enak prednapetju vzmeti, kar je bilo v našem primeru izmerjeno in je enak 2,6 mm. Interval delovanja je torej (intervali delovanja za novo, obrabljeno in sedanjo lamelo so vrisani v graf 1.2 v poglavju 3.1):

$$\boxed{[s_{\min} \quad 2,6 \quad 0,05 \cdot 3,5 \quad 2,425 \text{ mm}; \quad s_{\max} \quad 2,6 \quad 0,05 \cdot 3,5 \quad 2,775 \text{ mm}]}$$

Da bo vzmet vzdržala dinamične obremenitve mora veljati:

$$h_{(II;III)} \leq \frac{\max(II;III)}{\min(II;III)} \cdot h_{DOP} \leq \frac{H}{S} \cdot \frac{\min(II;III)}{S} \quad (\text{enaba 1.7}) \quad \text{in}$$

$$\frac{\max(II;III)}{\min(II;III)} \leq \frac{\max DOP}{S} \quad (\text{enaba 1.8}), \text{ kjer je}$$

$$H = 710 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 1250 \text{ N/mm}^2$$

za krožnikaste vzmeti skupine 2.

$$0,33$$

$S = 1,4$; varnostni faktor

To ka II:

$$h_{(II)} \quad \max(II) \quad \min(II) \quad 76,752 \text{ N/mm}^2 \quad 43,524 \text{ N/mm}^2 \quad 33,227 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{DOP} = \frac{710N/mm^2}{1,4} \cdot 0,33 = 167,286N/mm^2$$

$$43,524N/mm^2 \quad 496,883N/mm^2$$

$$\max_{DOP} = \frac{1250N/mm^2}{1,4} = 892,857N/mm^2$$

To ka III:

$$h_{(II)} \quad \max_{(II)} \quad \min_{(II)} \quad 585,821N/mm^2 \quad 531,795N/mm^2 \quad 54,025N/mm^2$$

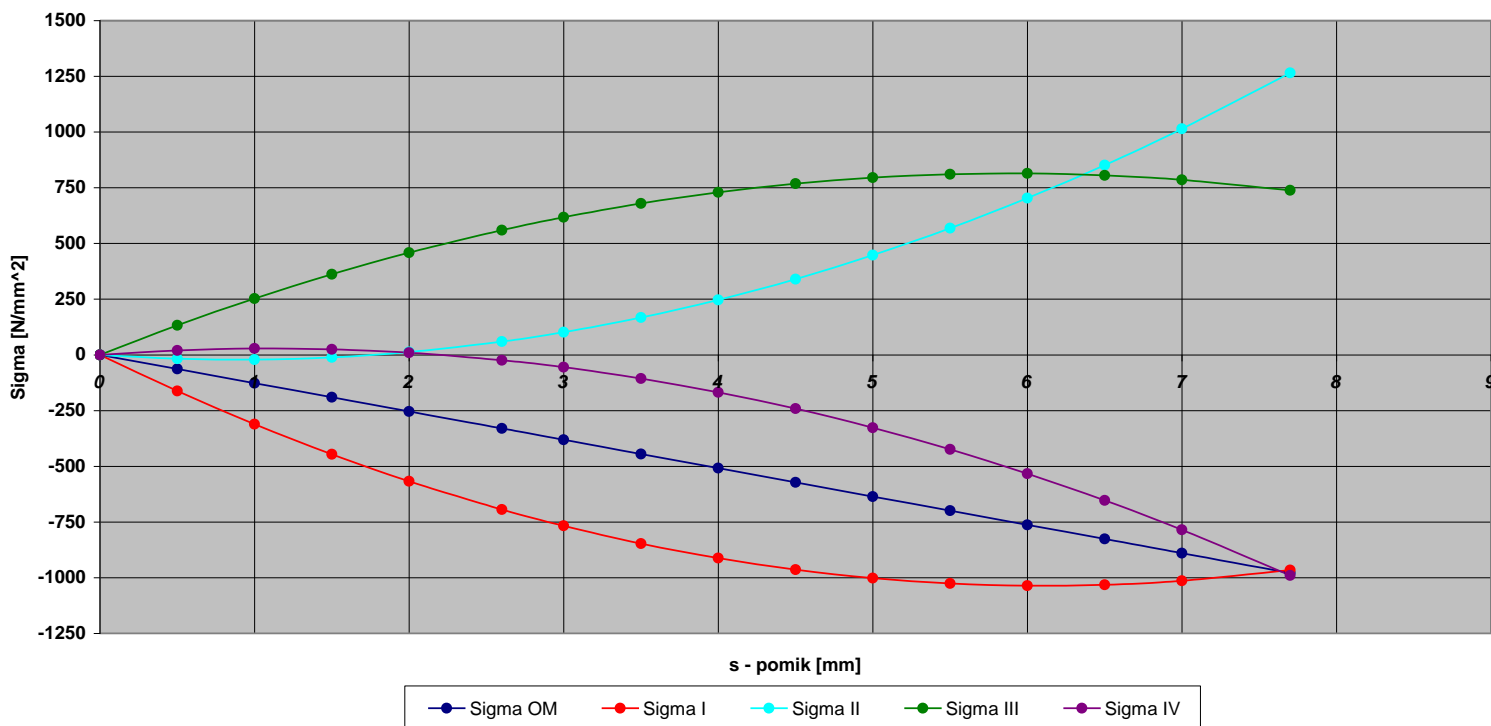
$$h_{DOP} = \frac{710N/mm^2}{1,4} \cdot 0,33 = 167,286N/mm^2$$

$$531,795N/mm^2 \quad 381,791N/mm^2$$

$$\max_{DOP} = \frac{1250N/mm^2}{1,4} = 892,857N/mm^2$$

Vidimo, da je pogojem, ki jih predstavljata ena bi 1.7 in 1.8, zadoš eno – m aterial bo vzdržal dinam i ne obrem enitve. G raf 1.4 predstavlja napetost v vseh to kah v odvisnosti od pom ika (vse vrednosti, potrebne za izris grafov se nahajajo v prilogi).

Sigma v odvisnosti od pomika; sigma (s)



G raf 1.4: N apetosti v to kah v odvisnosti od pomika

3.3 Torne razmere na lameli sklopke

Za izračun momenta trenja, ki ga sklopka lahko prenaša teoretično lahko izračunamo z dvema predpostavkama. Pri lamelni obliki privzamemo, da je tomi količnik vedno enak, površine pa idealno vzporedne, eprav vem o da se tomi količnik z obrabo spreminja. Maksimalen tlak na torno oblogo, dobimo takrat, ko je aksialna sila največja (v našem primeru je to pri $2h_0$, tlak je takrat $p_{max} = 0,4675 N/mm^2$). Dopusen tlak za našo torno oblogo pa je enak $p_{DOP} = 2 N/mm^2$.

3.3.1 Predpostavka o enakomernem tlaku na torni oblogi

Aksialna vzmet pri tej predpostavki zagotavlja enakomeren tlak (p) na površini torne obloge. Na diferencialni kolobar r in širine dr deluje diferencial normalne oz. aksialne sile:

$dF = 2 r dr p$. Če to enačbo integriramo v mejah r_{min} in r_{max} ter izrazimo tlak, dobimo

naslednji izraz: $p = \frac{F}{r_{max}^2 - r_{min}^2}$. Na podoben način dobimo še moment trenja za eno torno

površino: $dT = 2 r dr p r f$ | $T = \frac{2 f F}{r_{max}^2 - r_{min}^2} z$, kjer je

f tomi količnik ($f = 0,4$)

z število tmhp oviš ($z = 2$)

r_{max} zunanji radij torne obloge ($r_{max} = 215mm$)

r_{min} notranji radij torne obloge ($r_{min} = 147,4mm$)

3.3.1.1 Pri izpraznjenosti $F = 3658,553 N$ ($s = 35mm$)

$$p = \frac{F}{r_{max}^2 - r_{min}^2} = \frac{3658,553}{(215/2)^2 - (147,4/2)^2} N/mm^2 = 0,1901 N/mm^2$$

$$T = \frac{2 f F}{r_{max}^2 - r_{min}^2} z = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 3658,553}{(215/2)^2 - (147,4/2)^2} \cdot 2 = 268247,51 Nmm$$

3.3.2 Predpostavka o enakomerni obrabi torne obloge

e je koeficient trenja konstanten, je delo trenja proporcionalno produktu tlaka in drsne hitrosti. Drsna hitrost pri kolutni sklopki pa je odvisna od radija, zato sledi: $p \cdot r = p_{\max} \cdot p_{\min}$. Največji tlak nastopi na notranjem robu torne obloge in iz tega sledi:

$$F = 2 \cdot p_{\max} \cdot r_{\min} \cdot r_{\max} \cdot r_{\min} \cdot \text{in } T_s = p_{\max} \cdot r_{\min} \cdot f \cdot r_{\max}^2 \cdot r_{\min}^2 \cdot z. \text{ Iz tu sledi:}$$

$$p_{\max} = \frac{F}{2 \cdot r_{\min} \cdot r_{\max} \cdot r_{\min}} \text{ ter } T_s = F \cdot f \cdot \frac{r_{\max} \cdot r_{\min}}{2} \cdot z.$$

Največji moment sklopke se določi pri največjem dopustnem tlaku na torni oblogi:

$$T_{\max} = p_{\max} \cdot r_{\min} \cdot f \cdot r_{\max}^2 \cdot r_{\min}^2 \cdot z, \text{ največja dopustna sila na lamelo pa je pri tem enaka:}$$

$$F = 2 \cdot p_{\max} \cdot r_{\min} \cdot r_{\max} \cdot r_{\min}.$$

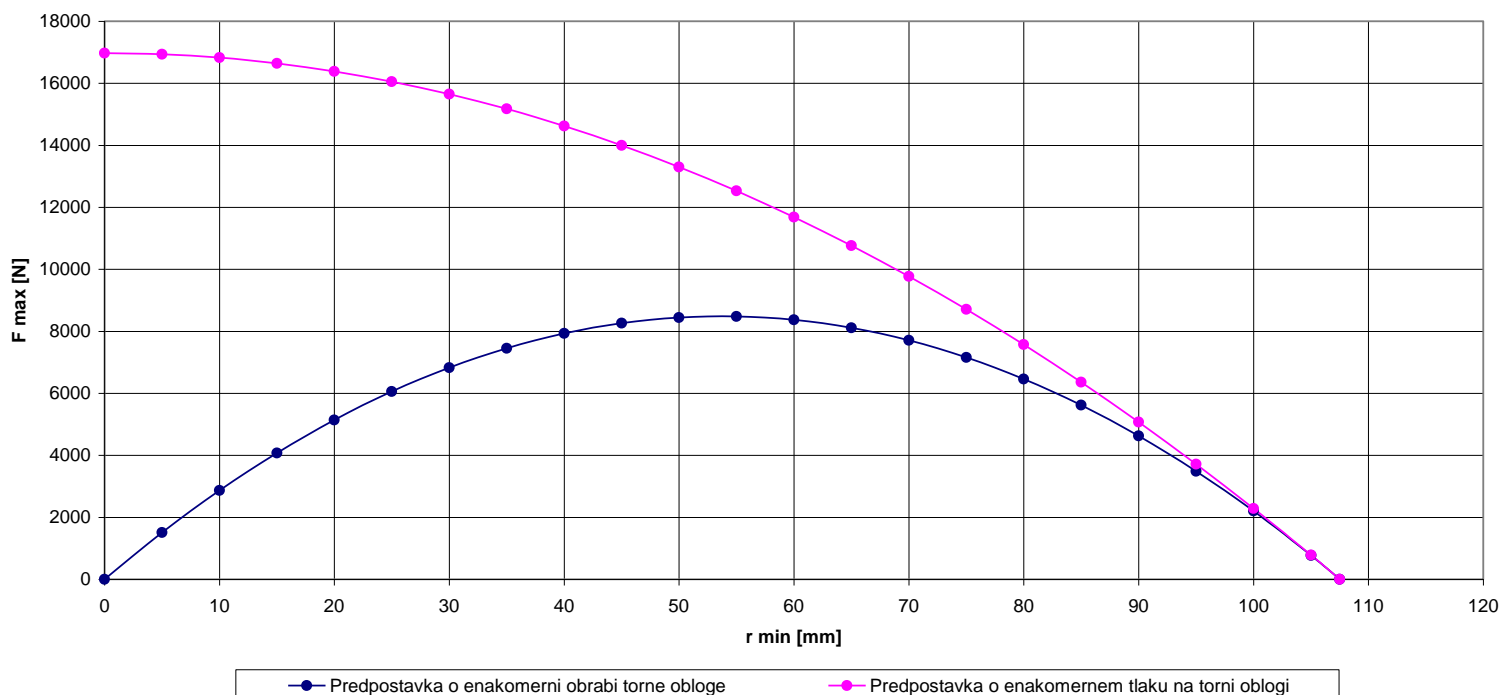
3.3.2.1 Primer preračuna za $F = 3658,5535 \text{ N}$ ($s = 3,5 \text{ mm}$)

$$p_{\max} = \frac{F}{2 \cdot r_{\min} \cdot r_{\max} \cdot r_{\min}} = \frac{3658,553}{2 \cdot (147,5/2) \cdot (215/2) \cdot (147,5/2)} \text{ N/mm}^2 = 0,2337 \text{ N/mm}^2$$

$$T_s = F \cdot f \cdot \frac{r_{\max} \cdot r_{\min}}{2} \cdot z = 3658,553 \cdot 0,4 \cdot \frac{(215/2) \cdot (147,5/2)}{2} \text{ Nmm} = 265171,96 \text{ Nmm}$$

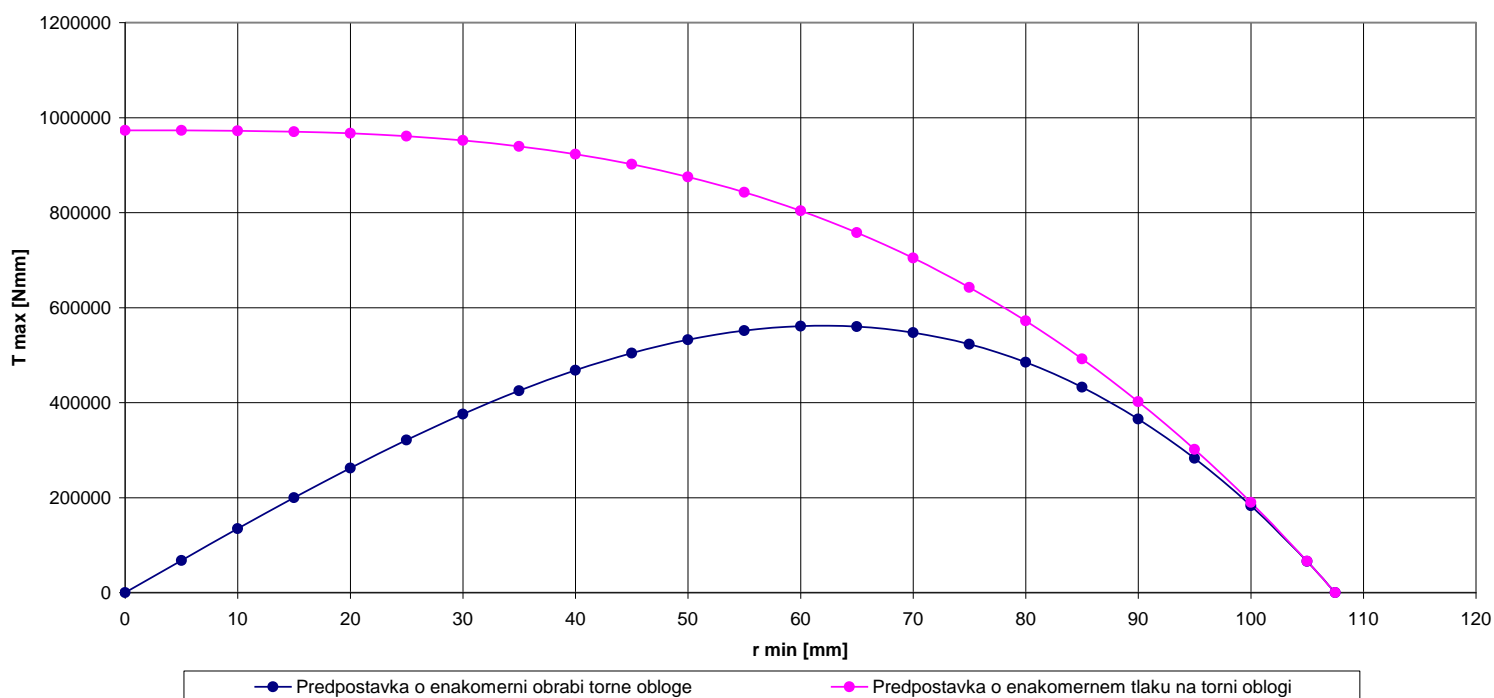
Vrednosti za obe predpostavki v odvisnosti od radija torne obloge so ponazorjene v grafu 1.5 in 1.6. Na grafu 1.7 ter grafu 1.8 je prikazan tlak oz. torni moment sklopke v odvisnosti od pomika vzmeti.

Največja dopustna normalna sila v odvisnosti od radija notranjega roba torne obloge



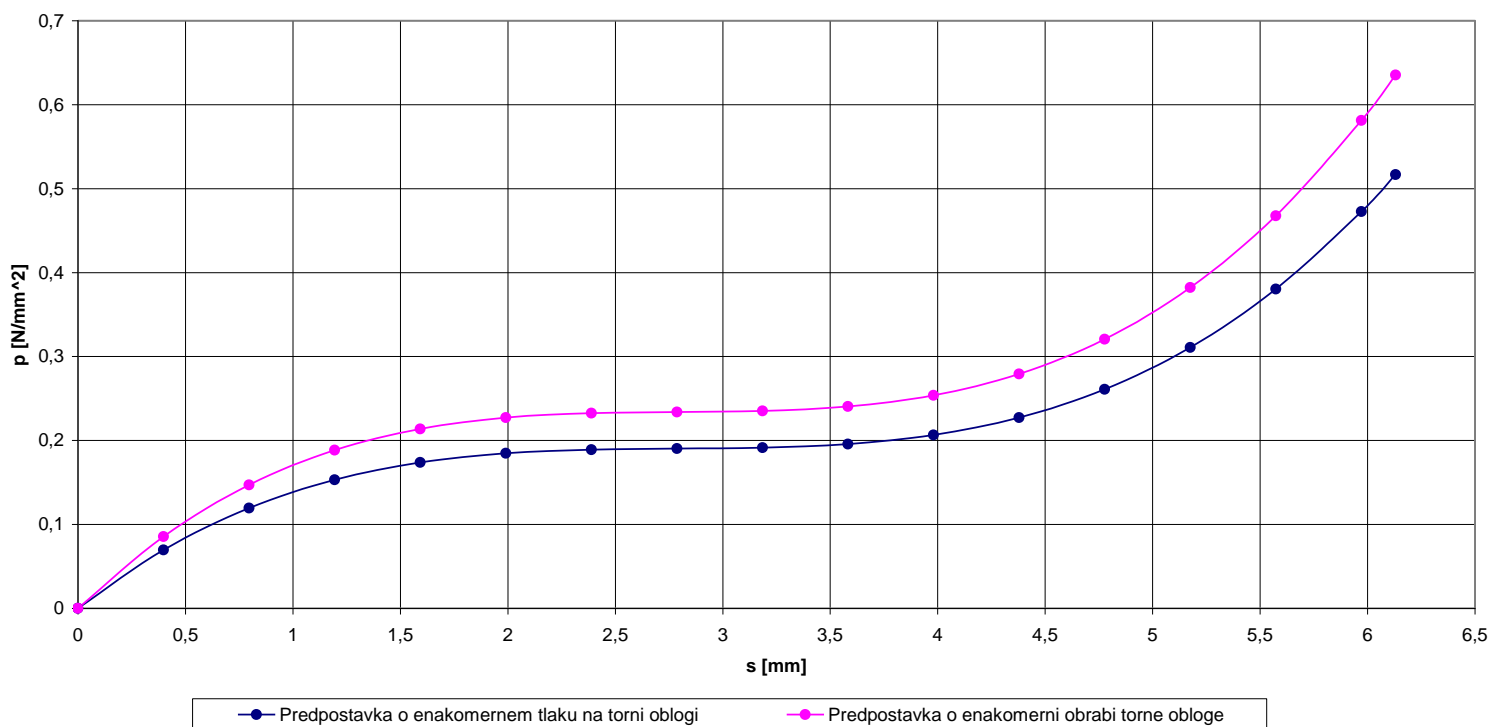
Graf 1.5: Aksialna sila na lamelo v odvisnosti od radija torne obloge

Največji moment sklopke v odvisnosti od radija notranjega roba torne obloge



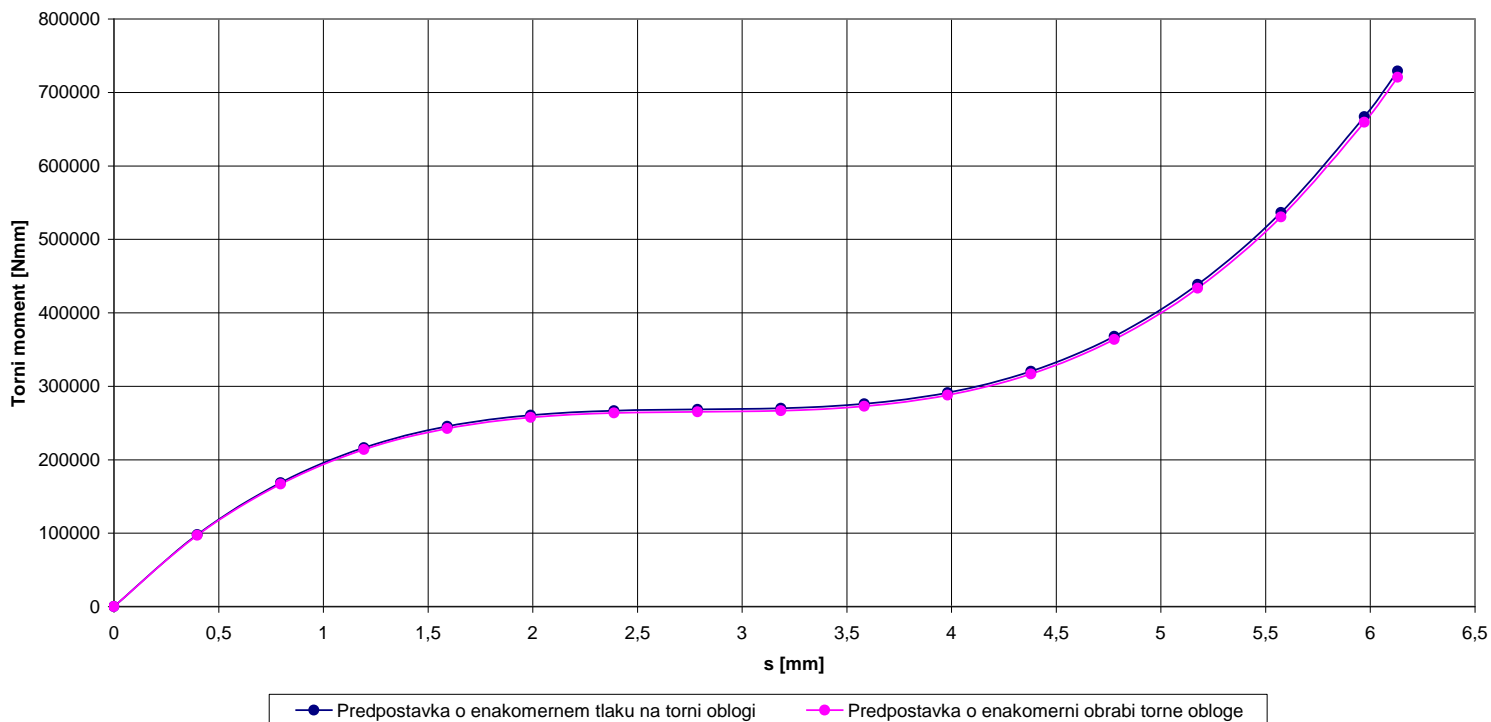
Graf 1.5: Moment sklopke na lamelo v odvisnosti od radija torne obloge

Tlak na torni oblogi v odvisnosti od pomika



Graf 1.7: Tlak v odvisnosti od pomika

Torni moment sklopke v odvisnosti od pomika



Graf 1.7: Moment v odvisnosti od pomika

3.3.3 Odnos med momentom sklopke in momentom motorja

Moment sklopke mora biti večji od momenta motorja pomnoženega z varnostnim faktorjem S_s , ki je v našem primeru 1,5.

Moment sklopke je odvisen od obrabe lamele:

1.) Nova lamela ($F(s) = 3689,16N$, $s = 4,1$ mm)

$$T_s = F \cdot f \cdot \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} \cdot z = 3689,16 \cdot 0,4 \cdot \frac{(215/2) - (147,5/2)}{2} \text{ Nmm} = 267390,31 \text{ Nmm}$$

$$T_m = \frac{T_s}{S_s} = 178260 \text{ Nmm}$$

2.) Obrabljena lamela ($F(s) = 1558,418N$, $s = 0,6$ mm)

$$T_s = F \cdot f \cdot \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} \cdot z = 1558,418 \cdot 0,4 \cdot \frac{(215/2) - (147,5/2)}{2} \text{ Nmm} = 112954,2 \text{ Nmm}$$

$$T_m = \frac{T_s}{S_s} = 75302,77 \text{ Nmm}$$

3.) Sedanja lamela ($F(s) = 3578,776N$, $s = 2,6$ mm)

$$T_s = F \cdot f \cdot \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} \cdot z = 3578,776 \cdot 0,4 \cdot \frac{(215/2) - (147,5/2)}{2} \text{ Nmm} = 259389,7 \text{ Nmm}$$

$$T_m = \frac{T_s}{S_s} = 172926,5 \text{ Nmm}$$

Iz teh preraunov je razvidno, da sklopka z obrabljeno lamelo ne daje zadovoljivega momenta, ker je moment sklopke pri nekaterih vrednostih (npr. vrednost za maksimalen moment motorja je 144000 Nmm) manjši od momenta motorja.

3.3.4 Drsne hitrosti

Poleg dopustnih tlakov moramo kontrolirati tudi dopustne drsne hitrosti. Drsne hitrosti so v našem primeru:

$$v_{\min} = \frac{r_{\min} \cdot n_{\text{pri max.moment motorja}}}{30} = \frac{0,07375 \cdot 4500}{30} \text{ m/s} = 34,754 \text{ m/s}$$

$$v_{\min} = \frac{r_{\max} \cdot n_{\text{pri max.moment motorja}}}{30} = \frac{0,1075 \cdot 4500}{30} \text{ m/s} = 50,658 \text{ m/s}$$

Dopustna drsna hitrost za neprekinjeno delovanje je v našem primeru $v_{DOP} = 15 \text{ m/s}$. Vidimo da so dejanske drsne hitrosti večje od dopustne, zato moramo dopustni tlak na tomo površino zmanjšati za koeficient, katerega dobimo, ko dopustno drsno hitrost delimo z maksimalno drsno hitrostjo.

Torej: $koef. = \frac{v_{\max}}{v_{DOP}} = \frac{50,658}{15} = 3,377$. Dopustni tlak na tomo površino, ki znaša 2 N/mm^2 ,

zmanjšamo za koeficient hitrosti: $p_{DOP} = \frac{2}{3,377} \text{ N/mm}^2 = 0,592 \text{ N/mm}^2$. Dobljeni dopustni tlak primerjamo z maksimalnim tlakom na torno oblogo iz poglavja 3.3 ($p_{\max} = 0,4675 \text{ N/mm}^2$) in vidimo, da je maksimalni tlak v mejah dopustnega tlaka na tomo površino.

3.4 Vozni upori

Vozni upori se pojavijo zaradi upora strmine, kotalnega upora ter zračnega upora. Potrebno je določiti vozne upore za tri naklone klanca (0° , 7° in 18°).

3.4.1 Upor strmine

Upor strmine je definiran z: $R_s = m_v \cdot g \cdot \sin$

m_v masa vozila za izračuna karakteristik ($m_v = 1850 \text{ kg}$)

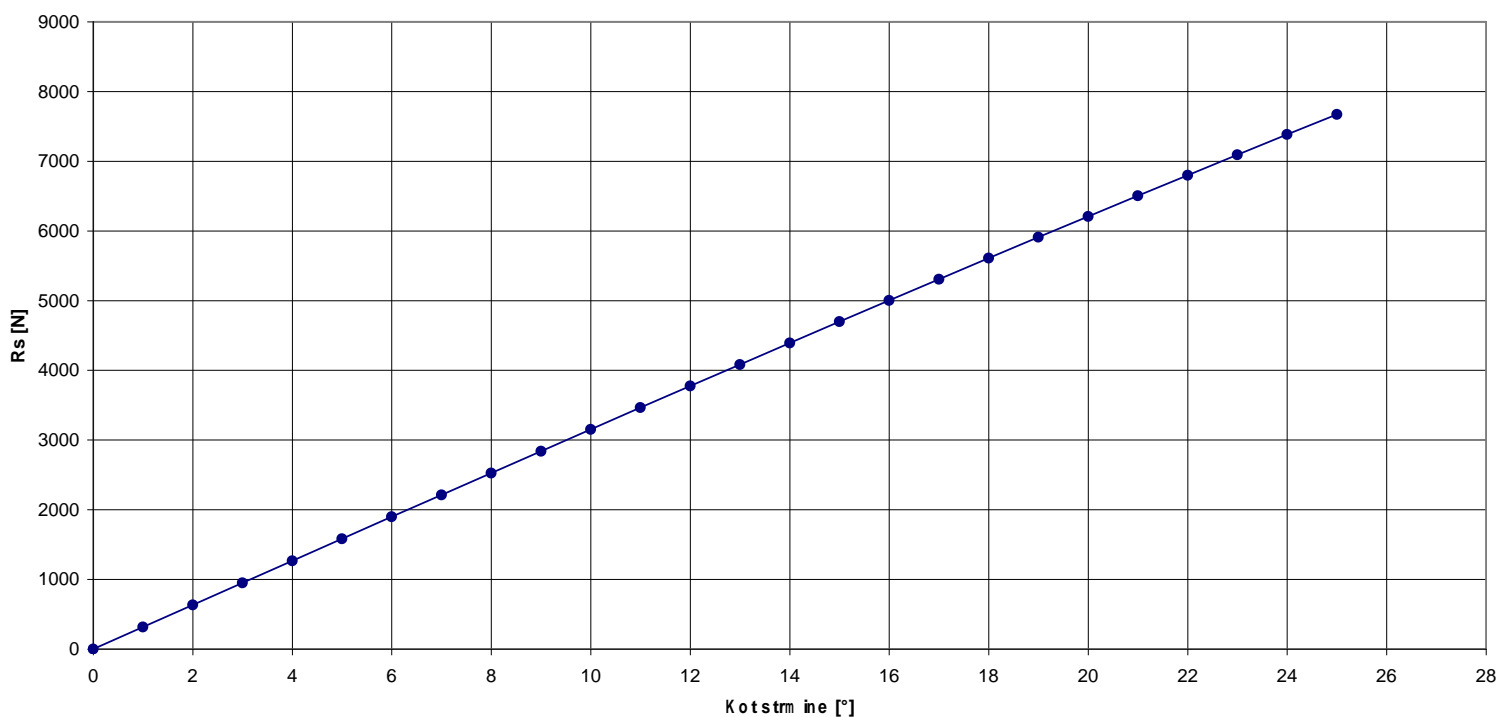
g gravitacijski pospešek

..... naklon klanca

Rs (alfa) [N]	alfa [°]
0	0
2211,7458	7
5608,1949	18

Tabela 1.6: Vrednosti upora strmine za tri naklone klanca

Upor strmine v odvisnosti od naklona strmine; R_s [°]



Graf 1.8: Upor strmine v odvisnosti od naklona strmine

3.4.2 Kotalni upor

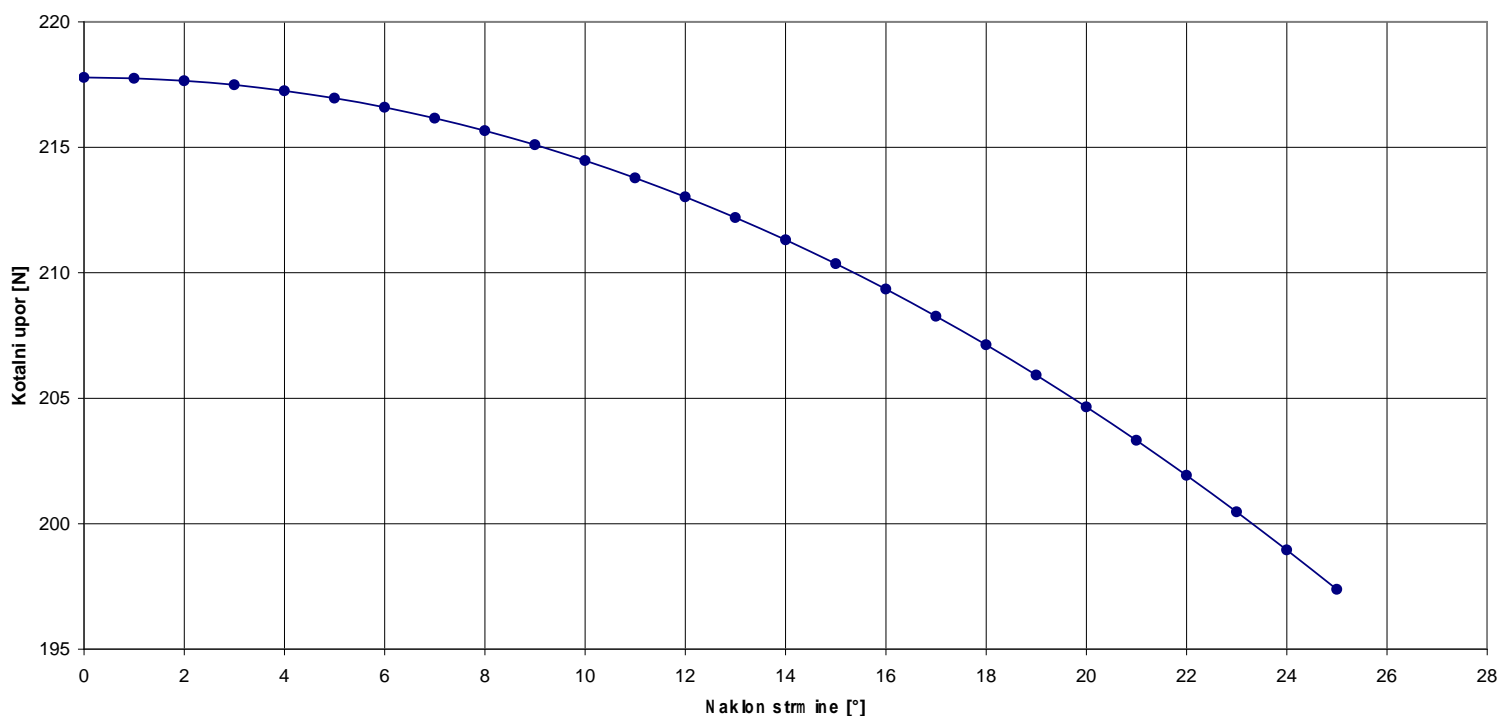
Kotalni upor je definiran kot : $R_f = m_v \cdot g \cdot \cos \alpha$

f_0 imenski faktor kotalnega upora glede na vozlišče ($f_0 = 0,012$)

R_f [N]	α [°]
217,782	0
216,15869	7
207,12299	18

Tabela 1.7: Vrednosti kotalnega upora za tri naklona

Kotalni upor v odvisnosti od naklona strmine; R_f [°]



Graf 1.8: Kotalni upor v odvisnosti od naklona strmine

3.4.3 Zračni upor

Zračni upor ni odvisen od naklona strmine, temveč le od hitrosti in je definiran kot:

$$R_z(v) = \frac{1}{2} c_x A_{prof} \frac{v^2}{3.6^2}$$

c_x koeficient zračnega upora ($c_x = 0,31$)

..... ~~gostota~~ zrak

A_{prof} celna površina vozila ($A_{prof} = 1,95m^2$)

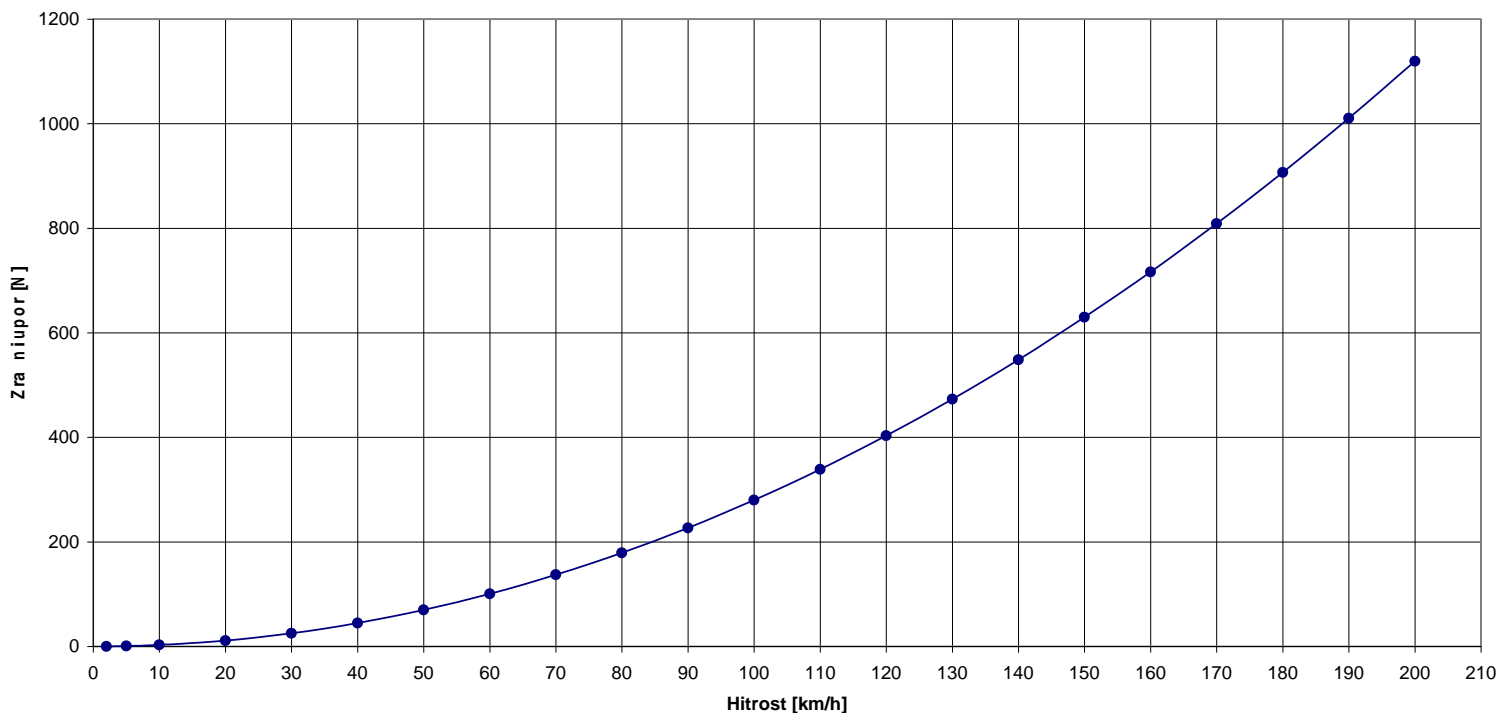
v hitrost vozila

R_z [v] [N]	v [m/s]
0,1119444	2
0,6996528	5
2,7986111	10
11,194444	20
25,1875	30
44,777778	40
69,965278	50
100,75	60
137,13194	70

179,11111	80
226,6875	90
279,86111	100
338,63194	110
403	120
472,96528	130
548,52778	140
629,6875	150
716,44444	160
808,79861	170
906,75	180
1010,2986	190
1119,4444	200

Tabela 1.7: Vrednosti zra nena upor za različne hitrosti vozila

Zra ni upor v odvisnosti od hitrosti vožnje; R_z [v]



Graf 1.8: Zra ni upor v odvisnosti od hitrosti vozila

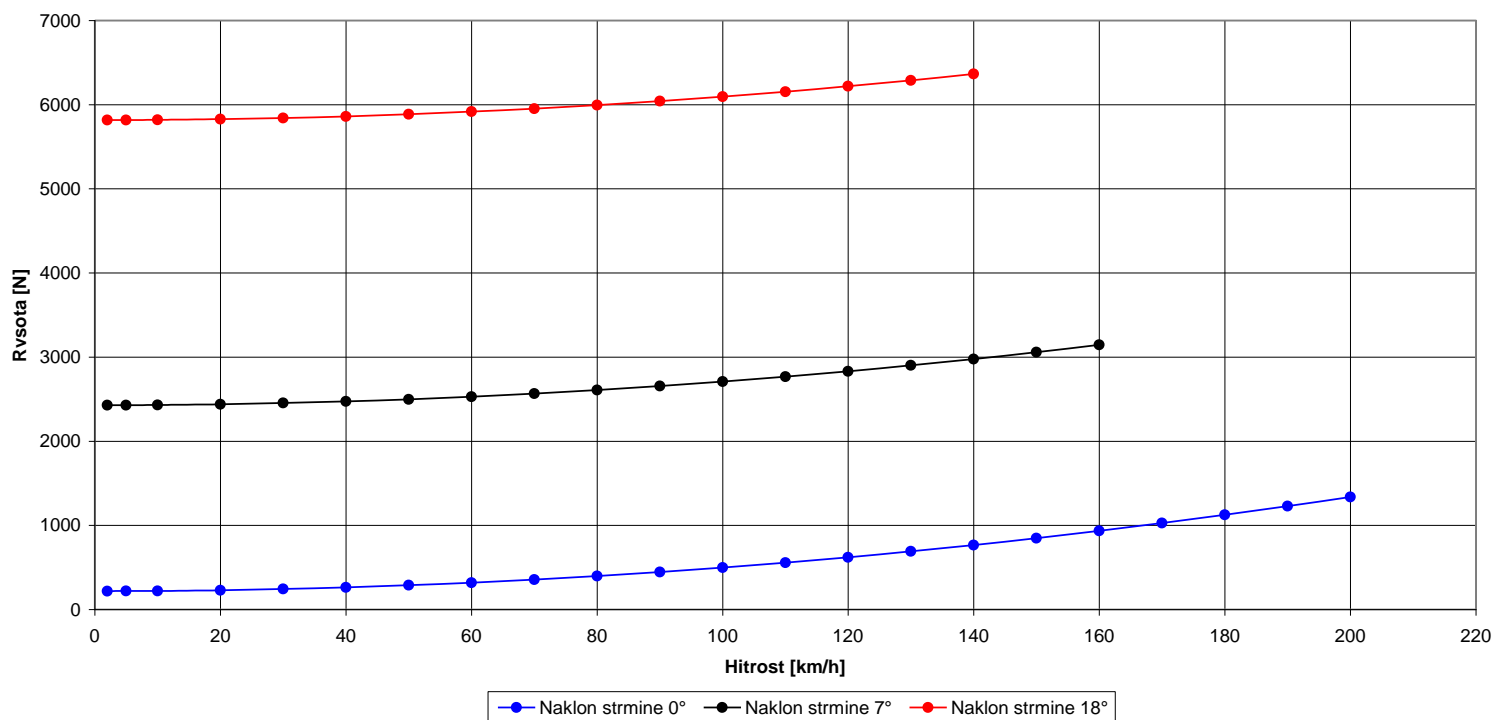
3.4.4 Vsota voznih uporov

Vsota voznih uporov je definirana z ena bo: $R_s(v) = R_f(v) + R_z(v)$. V tabeli so prikazane vrednosti voznih uporov za tri nakhone klanca v odvisnosti od hitrosti.

v [m/s]	Rz [v] [N]	0°	7°	18°
2	0,111944	217,8939	2428,016409	5815,42986
5	0,699653	218,4817	2428,604118	5816,01757
10	2,798611	220,5806	2430,703076	5818,11652
20	11,19444	228,9764	2439,098909	5826,51236
30	25,1875	242,9695	2453,091965	5840,50541
40	44,77778	262,5598	2472,682243	5860,09569
50	69,96528	287,7473	2497,869743	5885,28319
60	100,75	318,532	2528,654465	5916,06791
70	137,1319	354,9139	2565,036409	5952,44986
80	179,1111	396,8931	2607,015576	5994,42902
90	226,6875	444,4695	2654,591965	6042,00541
100	279,8611	497,6431	2707,765576	6095,17902
110	338,6319	556,4139	2766,536409	6153,94986
v [m/s]	Rz [v] [N]	0°	7°	18°
120	403	620,782	2830,904465	6218,31791
130	472,9653	690,7473	2900,869743	6288,28319
140	548,5278	766,3098	2976,432243	6363,84569
150	629,6875	847,4695	3057,591965	6445,00541
160	716,4444	934,2264	3144,348909	6531,76236
170	808,7986	1026,581	3236,703076	6624,11652
180	906,75	1124,532	3334,654465	6722,06791
190	1010,299	1228,081	3438,203076	6825,61652
200	1119,444	1337,226	3547,348909	6934,76236

Tabela 1.8: Vrednosti skupnih uporov pri različnih hitrostih za tri naklone klanca.

Vsota voznih uporov v odvisnosti od hitrosti vožnje in naklona strmine



Graf 1.9: Vozni upori v odvisnosti od hitrosti vožnje in naklona strmine

Zgornji graf prikazuje vožni upore v odvisnosti od hitrosti vožnje in naklona strm ine. Pri ve jih naklonih klanca sem obm o je hitrosti za vozne upore skrajšal, saj ni m ožno, da se z višanjem naklona klanca maksimalna hitrost ohranja.

3.5 Moment bremena na sklopki

V soto voznih uporov lahko izrazim o tudikot m om entbrem ena na sklopki, ki je pove ini odvisen

od naklona klanca in hitrosti: $T_b n, \frac{R_{vsota} v n, r_d}{i_t}$ (ena ba 1.9).

n število obratov m otorja

.....mehanski izkoristek trensm isije (0,96)

i_t celotna prestava transm isije vozila, e je m enjalnik v prvi

prestavi ($i_t i_0 i_{men,1}$ 3,714 3,909 14,518)

Hitrost v odvisnosti od vrtljajev se izra una po slede i form ulaciji: $v n \frac{3,6 n r_d}{30 i_t}$.

OPOMBA : število vrtljajev zagona je enako $n_z n_{max} 0,6 4500 \frac{1}{min} 0,6 2700 min^{-1}$. To uporabimo le pri speljevanju na poljubnem naklonu klanca (v našem prim eru 0°, 7° in 18°).

Vrednosti momenta bremena na sklopki v odvisnosti od vrtljajev motorja in naklona so podane v tabeli 1.9.

Tb [n,alfa] [Nm]			n [1/min]
0 °	7°	18°	
4,947269	54,10584	129,4503	1600
4,974698	54,13327	129,4777	1800
5,005353	54,16392	129,5083	2000
5,039236	54,1978	129,5422	2200
5,076345	54,23491	129,5793	2400
5,116682	54,27525	129,6197	2600
5,160245	54,31881	129,6632	2800
5,207035	54,3656	129,71	3000
5,257052	54,41562	129,76	3200
5,310296	54,46886	129,8133	3400
5,366767	54,52534	129,8698	3600
5,426464	54,58503	129,9295	3800
5,489389	54,64796	129,9924	4000
5,55554	54,71411	130,0585	4200
5,624919	54,78349	130,1279	4400
5,697524	54,85609	130,2005	4600
5,773356	54,93193	130,2763	4800
5,852415	55,01098	130,3554	5000
5,934701	55,09327	130,4377	5200

6,020214	55,17878	130,5232	5400
6,108954	55,26752	130,6119	5600
6,200921	55,35949	130,7039	5800
6,296115	55,45468	130,7991	6000
6,394535	55,5531	130,8975	6200
6,496183	55,65475	130,9992	6400
6,556617	55,71519	131,0596	6516

Tabela 1.9: Moment bremena na sklopki za tri naklone

Pri speljevanju iz mesta pa so vrednosti momenta na sklopki enake naslednjim:

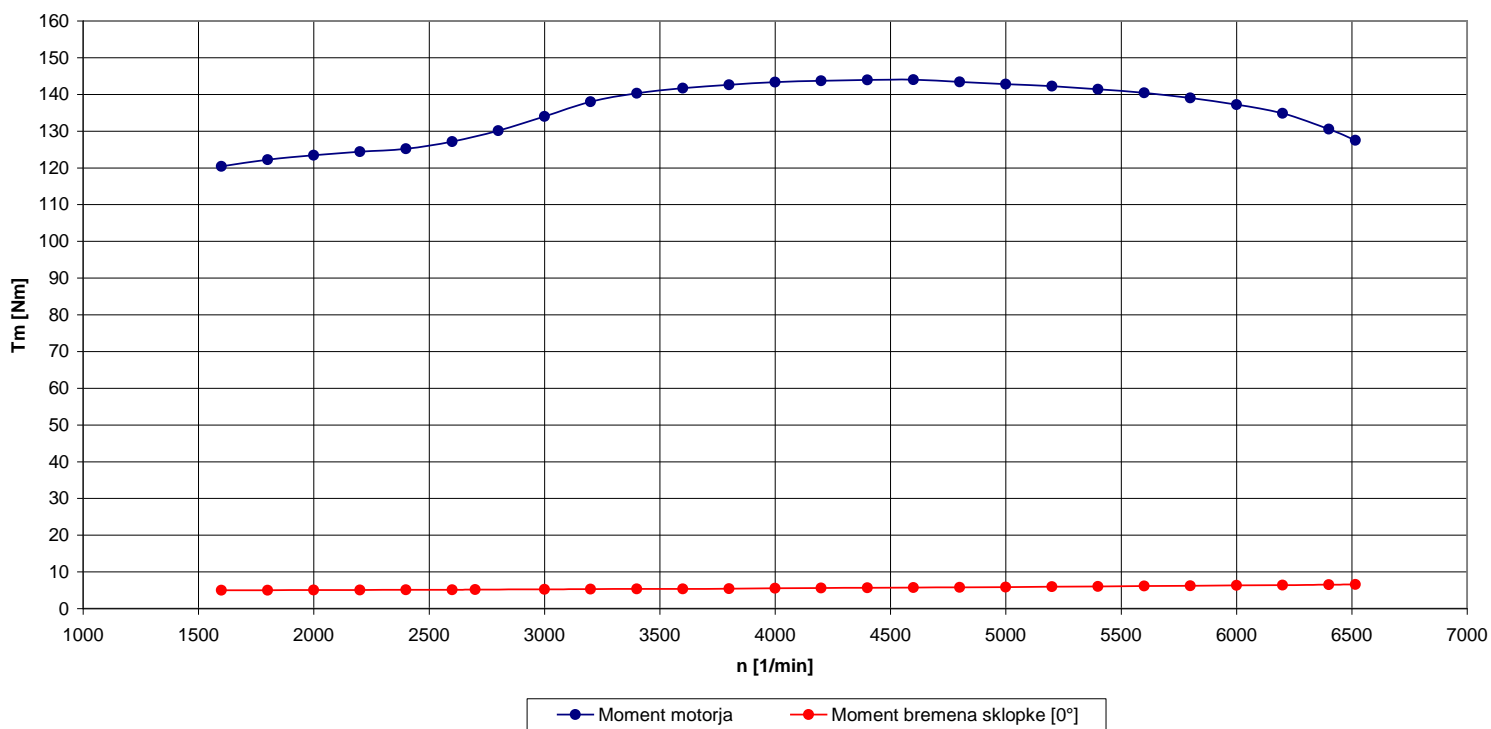
$$\text{Za } 0 \text{ po ena bi 1.9 dobimo: } T_b = \frac{231,0023 \cdot 0,31}{0,96 \cdot 14,518} \text{ Nm} = 5,138 \text{ Nm}.$$

$$\text{Za } 7 \text{ po ena bi 1.9 dobimo: } T_b = \frac{2441,1247 \cdot 0,31}{0,96 \cdot 14,518} \text{ Nm} = 54,297 \text{ Nm}$$

$$\text{Za } 18 \text{ po ena bi 1.9 dobimo: } T_b = \frac{5828,538 \cdot 0,31}{0,96 \cdot 14,518} \text{ Nm} = 129,641 \text{ Nm}$$

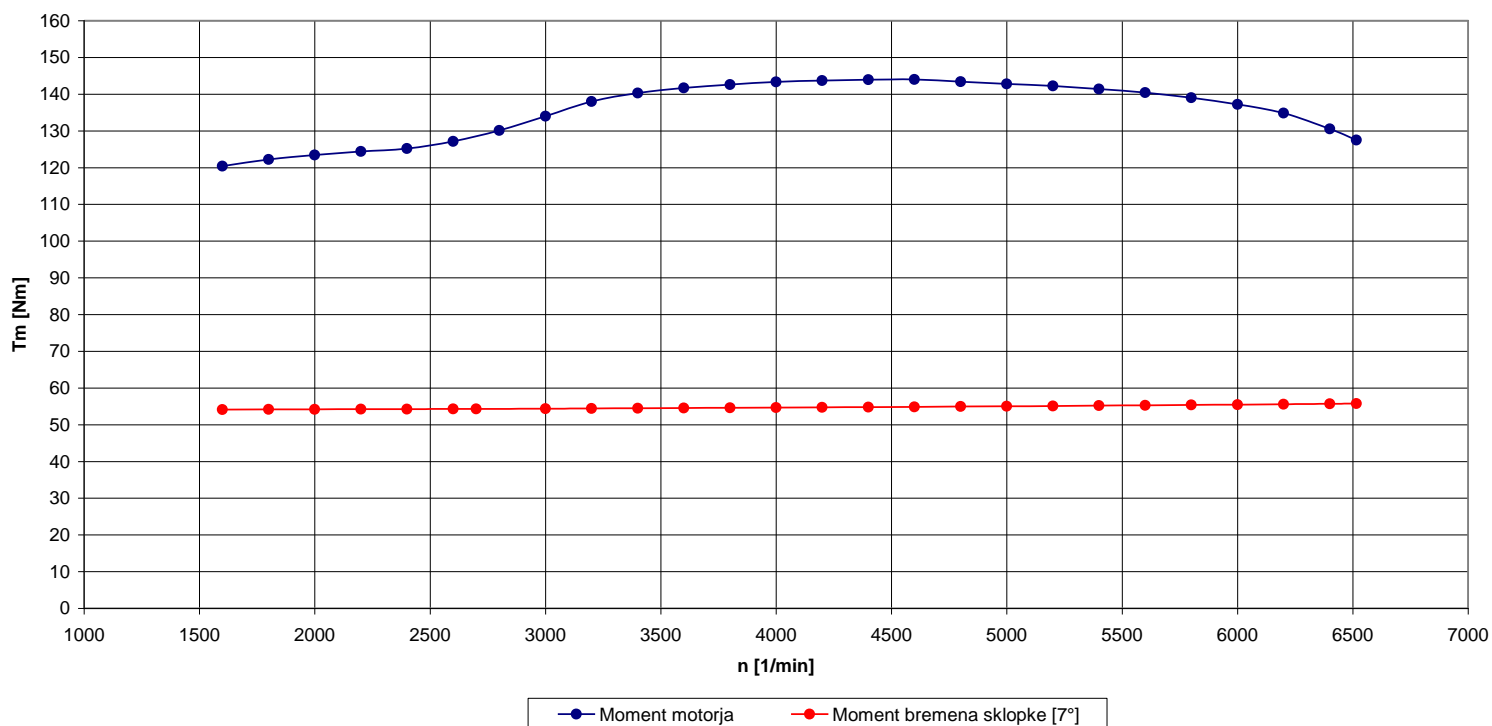
Grafi 1.10 do 1.12 prikazujejo primerjavo momenta sklopke (za različne naklone) z zunanjo karakteristiko motorja, medtem ko graf 1.13 prikazuje primerjavo momenta na sklopki za različne naklone. Vse vrednosti so odvisne od vrtljajev motorja.

Zunanja karakteristika motorja, primerjava z momentom bremena sklopke [naklon 0°]



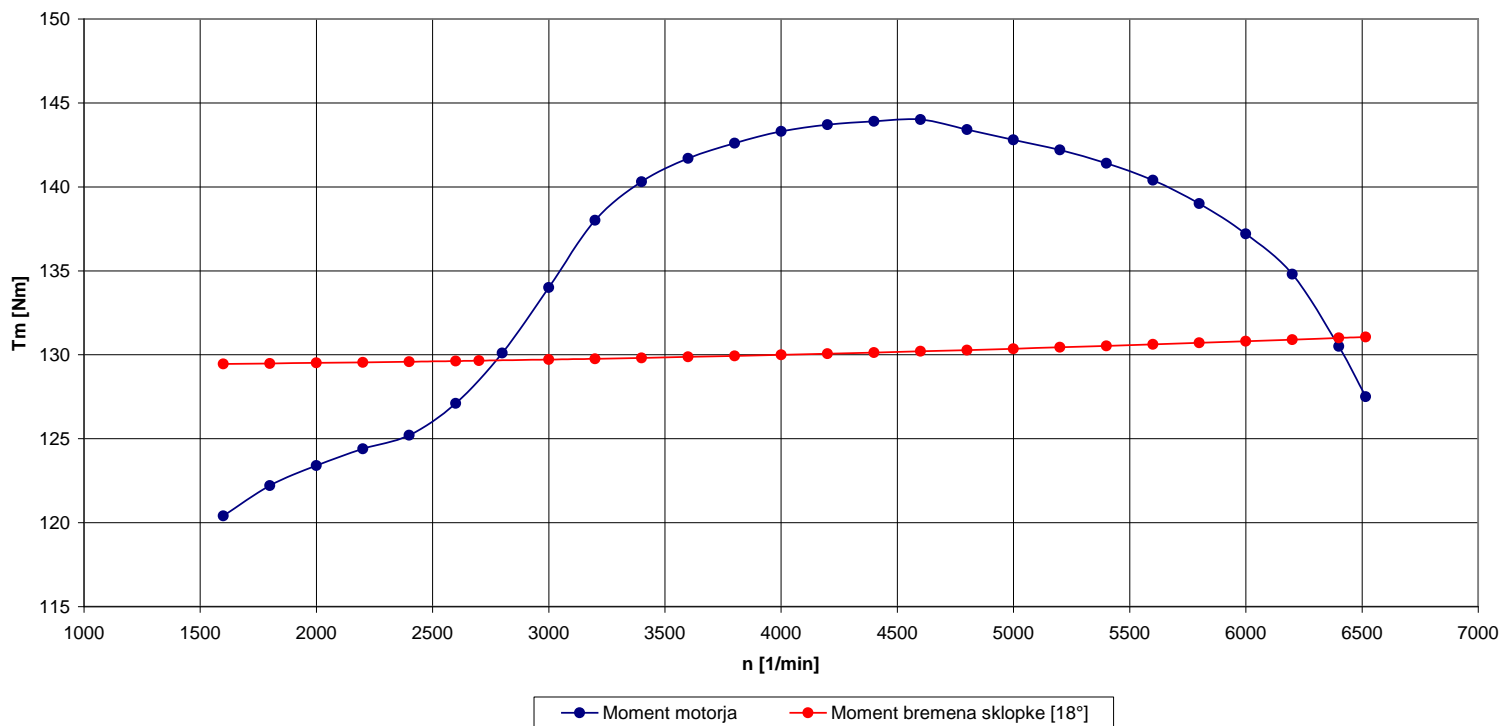
Graf 1.10: Primerjava momenta sklopke z karakteristiko motorja za naklon 0°

Zunanja karakteristika motorja, primerjava z momentom bremena sklopke [naklon 7°]



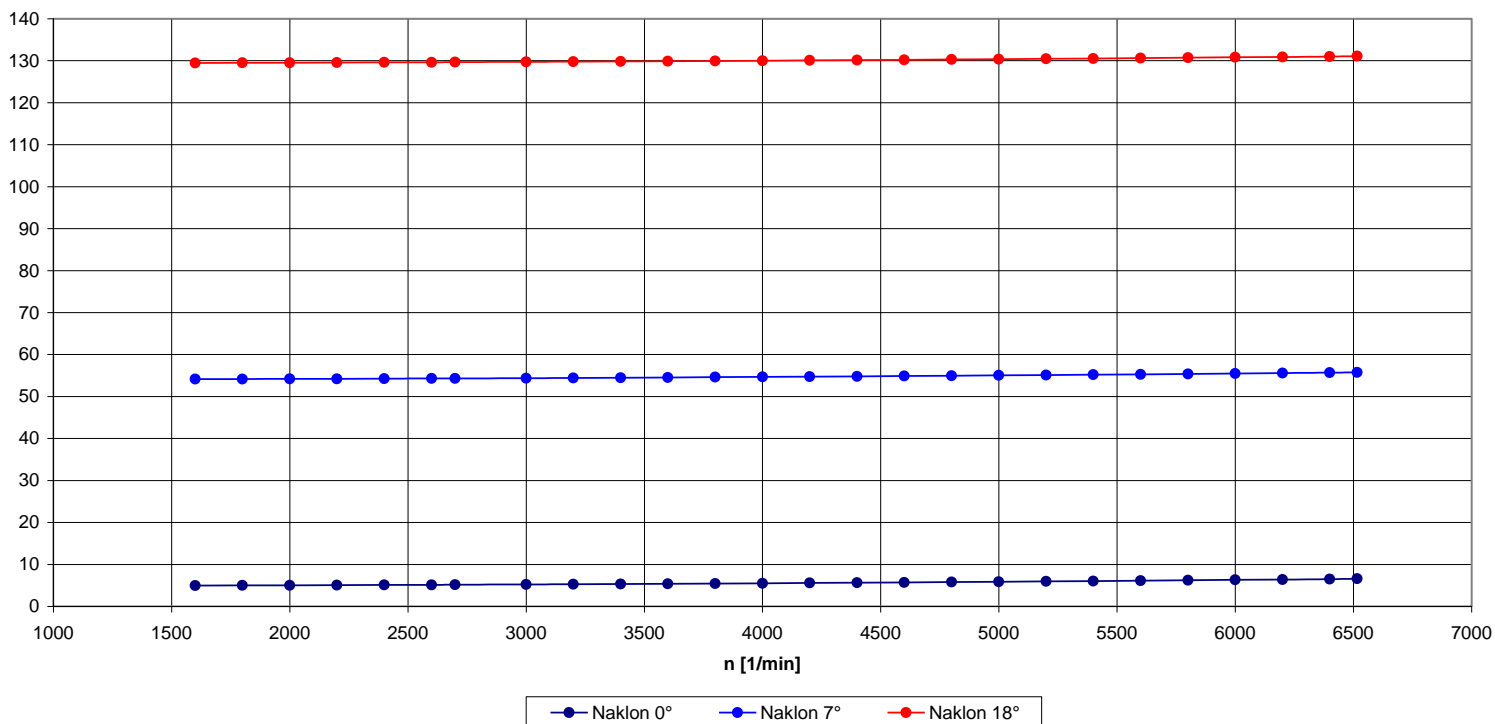
Graf 1.11: Primerjava momenta sklopke z karakteristiko motorja za naklon 7°

Zunanja karakteristika motorja, primerjava z momentom bremena sklopke [naklon 18°]



Graf 1.12: Primerjava momenta sklopke z karakteristiko motorja za naklon 18°

Moment bremena na sklopki v odvisnosti od vrtljajev in naklona



Graf 1.13: Prim erjava m om entov sklopke za razli ne naklone

3.6 Delo trenja pri speljevanju

Pri izra unu dela trenja se poslu žim o preproste, izkustvene ena be, ki nam om ogo a da približno dolo im o delo trenja, katero je potrebno za toplotni prera un sklopke. Delo trenja je torej:

$$W_{tr} () = \frac{5,6 m_v g T_{mmax} r_d^2 \frac{n_z^2}{100}}{i_t 0,95 i_t T_{mmax} f_0 \tan m_v g r_d} \quad (\text{ena ba 1.10}).$$

T_{mmax} najve j m om ent m otorja (T_{mmax} 144 Nm)

Ost ali ena bes o že opisani v prejšnjih poglavjih.

Tabela 1.10 prikazuje vrednosti delotrenja pri

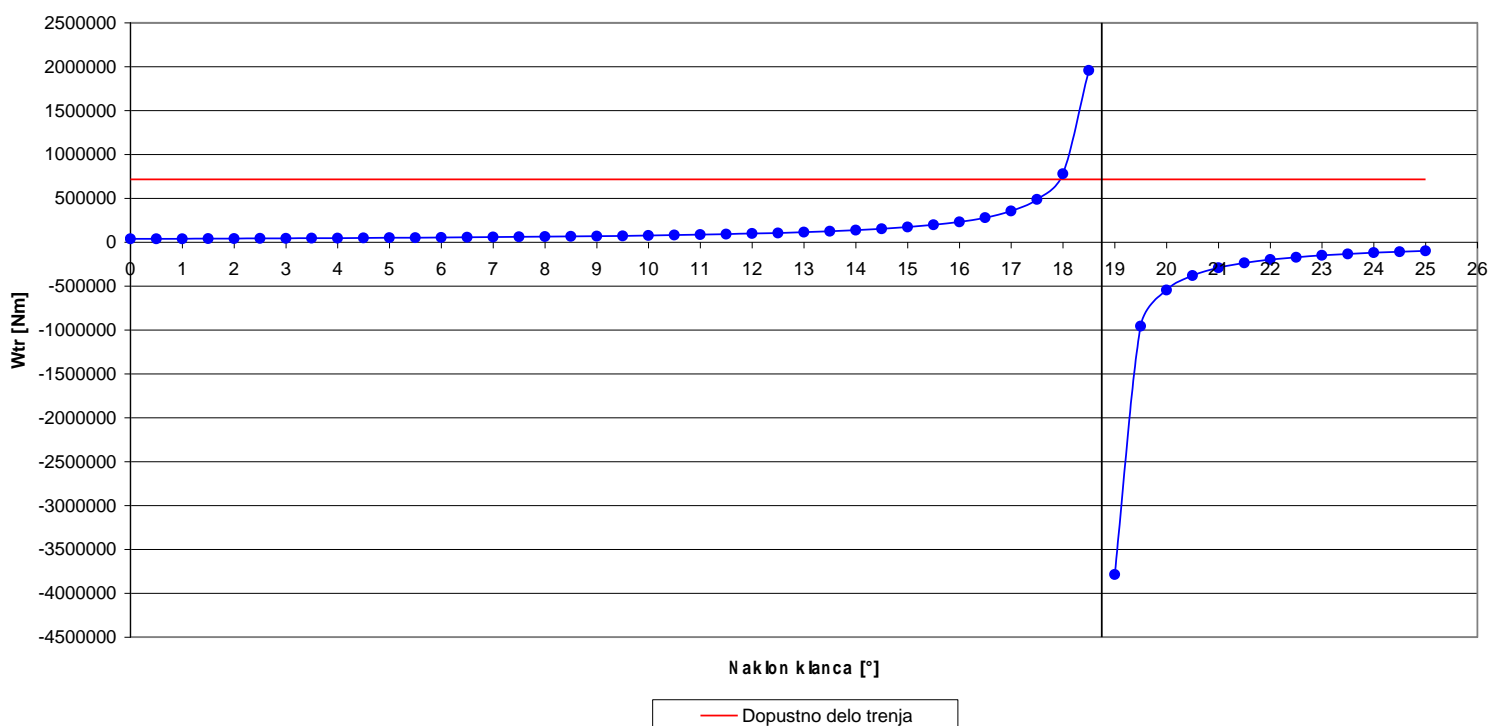
enaklonih klanc

alfa [°]	Wtr [J]
0	36809,56443
7	57520,14256
18	779965,058

Tabela 1.10: Delo trenja za tri naklone

Graf 1.14 prikazuje delo trenja speljevanja v odvisnosti od naklona strmine.

Delo trenja speljevanja v odvisnosti od naklona



Graf 1.14: Delo trenja speljevanja v odvisnosti od naklona strmine

3.7 Ocena temperature plaša sklopke po konanem zagonu

Ker se pri zagonu delo trenja v sklopki pretvarja v toploto, se le – ta pri ne odvajati v okolico ter v druge dele sklopke in motorja. Predpostavimo, da se toplota akumulira v plašu sklopke. Maso plaša smo določili na meritvah in znaša: $m_{pl} = 2,42kg$. Če predpostavimo, da ni izgub ter da se toplota porazdeli enakomerno po plašu sklopke, lahko zapišemo:

$$Q = W_{tr}(\alpha) = m_{pl} c_p \Delta T_{max} \quad (\text{ena ba 1.11})$$

W_{tr} delo trenja v odvisnosti od naklona strmine

.....koeficient segrevanja za plosno plošo (0,5)
 c_p specifna toplota materiala ploš a sklopke; $c_p = 477 J / (kgK)$
 m_k najve ja temperatura sklopke po zagonu
 o_k temperatura koefice ($o_k = 40 C$)

e izena bel 11 izrazim om aksin ahotemperaturo sklopke prizagonu, pri tem pa upoštevamo, da
 je odvisna od naklona strmine in edbimo

$$T_{max} = \frac{W_{tr}}{m_{pl} \cdot c_p} \quad (ena ba 1.12)$$

o za eta temperatura sklopke ($o = 40 C$)

DOP dopustna temperatura to me površine

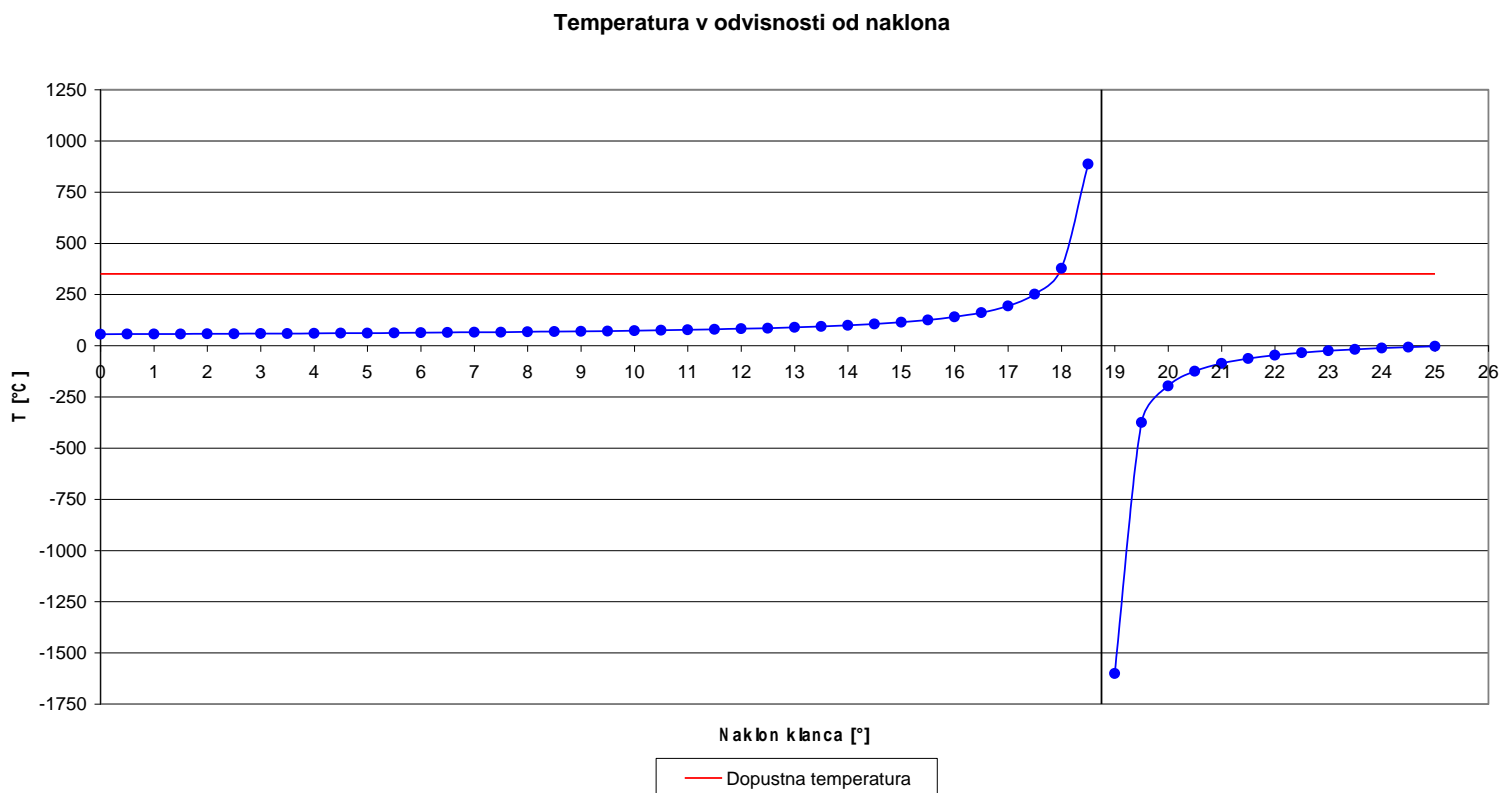
Sedaj lahko izra unamo temperaturo sklopke po enkratnem speljevanju za tri razli ne naklone strmine, kar prikazuje tabela 1.11 prikazuje.

alfa [°]	T max [°C]
0	55,94398723
7	64,9147316
18	377,8402628

Tabela 1.11: Vrednosti temperature sklopke po speljevanju za tri naklone strmine

Vidimo, da pri 18° naklonu strmine temperatura sklopke presega dopustno ($T_{max18} > DOP$).

Odvisnost temperature sklopke od naklona strmine je prikazano na grafu 1.15.



Graf 1.15: Odvisnost temperature sklopke od naklona strmine

3.8 Dopustno delo trenja in as drsenja sklopke

Če poznamo največjo dovoljeno temperaturo obloge sklopke in predpostavimo, da pri speljevanju ni ohlajanja, potem lahko izračunamo največje dopustno delo trenja pri zagonu:

$$W_{tr,DOP} = \frac{m_{pl} \cdot c_p}{DOP_{ok}} \quad (\text{enaba 1.13}), \text{ kjer je}$$

DOP_{ok} največja dovoljena temperatura sklopke po zagonu ($DOP_{ok} = 350 \text{ C}$)

Največje dopustno delo trenja je torej:

$$W_{tr,DOP} = \frac{m_{pl} \cdot c_p}{DOP_{ok}} = \frac{2,42 \cdot 477}{0,5} = 350 \cdot 40 \text{ J} = \underline{715690,8 \text{ J}}$$

Če želim speljevati z največjo močjo motorja in predpostavim, da je konstantna, potem lahko sklopka drsi le omejen čas, preden se pregreje:

$$t_{DOP} = \frac{W_{tr,DOP}}{1000 P_{mmax} [kW]} \quad (\text{ena ba 1.13}), \text{ kjer je}$$

P_{mmax} najve ja m o m o torja ($P_{mmax} = 88kW$)

D ovoljen as drsenja sklopke ob enkratnem speljevanju z m aksim alno m o jo m o torja je:

$$t_{DOP} = \frac{W_{tr,DOP}}{1000 P_{mmax} [kW]} = \frac{715690,8}{1000 \cdot 88} s = \underline{8,133s}$$

Sedaj lahko izra unam o še število enkratnih speljevanj za razli ne naklone strm ine. im ve ji bo naklon, tem m anj speljevanj bo m ožnih (za delo trenja glej tabelo 1.10, poglavje 3.6). V številu speljevanj uporabimo dopustno temperaturo tornega materiala za neprekinjeno delovanje (za prek injeno delovanje je dopustna tem peratura $350^{\circ}C$, kar sm o om enili že v poglavju 3.7, za neprekinjeno pa $250^{\circ}C$ – to tem peraturo uporabim o v naslednjem prera unu). Izra unam o dopustno delo trenja za neprekinjeno delovanje po ena bi 1.13 in nato poiš em o kvocient med dopustim delom trenja in delom trenja pri razli nih nak lonih strm ine.

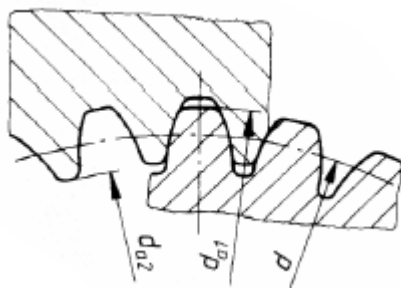
$$\text{Za } 0^{\circ}; \text{ št.speljevanj } \frac{W_{tr,DOP}}{W_{tr;0}} = \frac{484822,8}{36809,56443} = 13,171 \quad \underline{13}$$

$$\text{Za } 7^{\circ}; \text{ št.speljevanj } \frac{W_{tr,DOP}}{W_{tr;7}} = \frac{484822,8}{57520,143} = 8,43 \quad \underline{8}$$

Za 18° ; Pri tem naklonu temperatura sklopke presega dopustno že pri enem speljevanju!

3.9 Prera un gredne vezi

Gredna vez v našem prim eru je evolventna (slika 1.4). Pri evolventnem ozobju ima profil zoba obliko evolvente, glava zobnice pa je zaokrožena z nekim radiem . Prera un om ejim o sam o na kontrolo dopustnega bo nega tlaka, ki m ora biti m anjši od dopustnega ($p_{DOP} = \frac{R_e}{\sigma}$, kjer je R_e me ja plasti nosti šibkejšega m ateriala v zvezi, σ pa varnostni faktor).



Slika 1.4: Evolventna gredna vez

Pri laboratorijskih meritvah smo došli do naslednjih podatkov, za preračun gredne vezi:

- nosilna dolžina utorne zveze $l_t = 18\text{mm}$, $z = 20$ ustorov
- zunanji premer utorne zveze $d_z = 22,5\text{mm}$
- notranji premer utorne zveze $d_n = 20,2\text{mm}$
- iz zadnjih dveh podatkov dobimo delilni premer $d_m = \frac{d_z + d_n}{2} = 21,35\text{mm}$
- torzijski moment je maksimalen moment motorja $T_{\max} = 144\text{Nm}$

Iz teh podatkov lahko sedaj postopoma določimo božni tlak.

Najprej določimo nosilno višino: $h = 0,5 \cdot (d_z - d_n) = 0,22\text{mm}$, kjer je m modul, katerega se

izrauna: $m = \frac{d_m}{z} = \frac{21,35}{20} = 1,0675\text{mm}$.

$h = 0,5 \cdot (d_z - d_n) = 0,22\text{mm} = \underline{1,032575\text{mm}}$

Obodno silo se izrauna po formuli: $F_t = \frac{2 \cdot c_B \cdot T_{\max}}{d_m} = \underline{18210,772\text{N}}$, kjer je c_B faktor obratovanja in znaša v našem primeru 1,35. Sedaj lahko končno izračunamo božni tlak:

$p = k \cdot \frac{F_t}{h \cdot l_t \cdot z} = 1,35 \cdot \frac{18210,772}{1,032575 \cdot 18 \cdot 20} \text{N/mm}^2 = \underline{66,136\text{N/mm}^2}$, kjer je k faktor obratovanja in je

za evolventne zveze enak 1,35.

Sedaj je potrebno tlak še kontrolirati:

$p < p_{DOP} = 70\text{N/mm}^2$ (lahki udarci, dvosmerna obremenitev). Torej:

$66,136\text{N/mm}^2 < 70\text{N/mm}^2$

Evolventna utorna zveza bo vzdržala napram božnemu tlaku.

4 Zaključek

- Teoretični izračun sile vzmeti se tudi po korigiranju mogoče razlikuje od sile, katero smo izmerili z merilno sondo. Mogoče mnenje je, da je vzrok tega predvsem nenatančno merjenje geometrije ter poenostavljene enačbe, katere smo uporabili za izračun sile na vzmet.

- Če pogledamo diagram momenta bremena na sklopki (grafi 1.10 - 1.13), vidimo da je krivulja, katera povezuje toke momenta bremena v odvisnosti od vrtljajev, skoraj linearna. Torej se moment bremena sklopke z večanjem vrtljajev relativno malo spreminja.

- Delo trenja speljevanja je pri naklonih strmine 0° ter 7° v mejah dopustnega, vendar pa se delo trenja pri naklonu 18° mogoče poveča (celo toliko, da pade izven mej dopustnega dela trenja) in sklopka se v tem primeru pregreje. Delo trenja torej generira preveč toplote, pride do povišanja temperature, katera preseže dopustno temperaturo torne površine.

5 Literatura

- [1] Matek, W.; Muhs, D.; Wittel, H.; Becker, M.: Rollof/Matek Maschinenelemente, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1994.
- [2] Niemann G.: Maschinenelemente, Band 1., Springer Verlag Berlin, 1981.
- [3] Niemann G.: Maschinenelemente, Band 2., Springer Verlag Berlin, 1983.
- [4] Niemann G.: Maschinenelemente, Band 3., Springer Verlag Berlin, 1985.
- [5] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehni ka knjiga, Zagreb, 1987.
- [6] Juvinall R. C., Marshek K. M.: Fundamentals of machine Component Desig, John Wiley & Sons, 1991

Priloga 1: Podatki in tabele za preraun ...

Podatki o vozilu

i ₀	3,714			prestava kotnega gonila v diferencialu
n _{im}	5			število prestav menjalnika
i _{men 1}	3,909			prva prestava menjalnika
i _{men 2}	2,238			druga prestava menjalnika
i _{men 3}	1,52			tretja prestava menjalnika
i _{men 4}	1,156			etrta prestava menjalnika
i _{men 5}	0,971			peta prestava menjalnika
m ₀	1230	kg		masa praznega vozila
m _m	1750	kg		najveja skupna dovoljena masa vozila
m _v	1850	kg		masa za izraun karakteristik
A _{prof}	1,95	m ²		elna površina vozila
c _x	0,31			koeficient zra nega upora
eta	0,96			mehanski izkoristek transmisije
f ₀	0,012			imenski faktor kotalnega upora glede na vozliš e
r _d	0,31			dinami ni (kotalni) radij pogonskih pnevmatik
v _{max}	55,55556	m/s		tovarniško podana najveja hitrost vozila
P _{mmax}	88000	W	pri n=6300	to ka najve je mo i motorja
M _{mmax}	144	Nm	pri n=4500	to ka najve jega momenta motorja
g	9,81	m/s ²		gravitacijski pospsešek
ro	1,2	kg/m ³		gostota zraka

Podatki o sklopki

m _{pl}	2,42	kg	masa potisne loš e
m _{vz}	8,34	kg	masa vztrajnika
h _{1,max}	8,5	mm	za etna debelina lamele
l _s	7	mm	sedanja debelina lamele
l _k	5	mm	kon na debelina lamele
D _l	215	mm	zunanji premer lamele
D _n	147,4	mm	notranji premer lamele
da ₁	22,5	mm	zunanji premer utorne zveze
d _{nu}	20,2	mm	notranji premer utorne zveze
d _s	2,6	mm	špranja med vztrajnikom in ohišjem
d _{npo}	134,6	mm	notranji premer potisnega obro a
d _{zpo}	227,8	mm	zunanji premer potisnega obro a
t _{po}	12,5	mm	debelina potisnega obro a
z _p	204,3	mm	zunanje prijemališ e na vzmet
n _p	166	mm	notranje prijemališ e na vzmet
n _{duz}	18	mm	nosilna dolžina utorne zveze (22 - 2,2 - 1,8 = 18) (20 UTOROV)
d _{vz}	275	mm	premer vztrajnika do konca zob (130 ZOB)
h _{rv}	4,1	mm	višina zoba ztrajnika

K rožnikasta vzmet

h0	3,5	mm	višina vzmeti
t	2,5	mm	debelina
De, teor	213,5	mm	zunanj premer
Di, teor	165,4	mm	premer do konca listov
Dn	53,3	mm	notranji premer
Dz	29,4	mm	razdalja od zunanjega roba do listov

Preraun napetosti

sigmaOM [N/mm ²]	s [mm]	sigma I	sigma II	sigma III	sigma IV
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0	0	0	0	0	0
-63,5853	0,5	-162,605	-17,7293	132,1723	19,93591
-127,171	1	-311,338	-21,5867	252,644	28,17119
-190,756	1,5	-446,2	-11,5722	361,4151	24,70583
-254,341	2	-567,189	12,31412	458,4855	9,539842
-317,926	2,5	-674,307	50,07236	543,8553	-17,3268
-381,512	3	-767,553	101,7025	617,5244	-55,894
-445,097	3,5	-846,927	167,2045	679,4929	-106,162
-508,682	4	-912,429	246,5784	729,7608	-168,13
-572,267	4,5	-964,059	339,8242	768,3281	-241,8
-635,853	5	-1001,82	446,9418	795,1947	-327,169
-699,438	5,5	-1025,7	567,9314	810,3607	-424,24
-763,023	6	-1035,72	702,7928	813,826	-533,011
-826,608	6,5	-1031,86	851,5261	805,5908	-653,483
-890,194	7	-1014,13	1014,131	785,6549	-785,655
-979,213	7,7	-966,005	1265,083	738,0875	-990,353

Dinamični preraun

s del.obm	sigma II [N/mm ²]	sigma III [N/mm ²]
2,425	43,5243	531,7957
2,43	43,95112	532,6079
2,435	44,37934	533,4189
2,44	44,80894	534,2287
2,445	45,23993	535,0373
2,45	45,67231	535,8448
2,455	46,10607	536,6511
2,46	46,54122	537,4563
2,465	46,97776	538,2602
2,47	47,41568	539,063
2,475	47,855	539,8647
2,48	48,29569	540,6651
2,485	48,73778	541,4644
2,49	49,18126	542,2625
2,495	49,62612	543,0595
2,5	50,07236	543,8553

Vaja 1: Analiza enolamelne avtomobilske sklopke

2,505	50,52	544,6499
2,51	50,96902	545,4433
2,515	51,41943	546,2356
2,52	51,87123	547,0267
2,525	52,32441	547,8166
2,53	52,77898	548,6054
2,535	53,23494	549,393
2,54	53,69229	550,1794
2,545	54,15102	550,9646
2,55	54,61114	551,7487
2,555	55,07265	552,5316
2,56	55,53554	553,3134
2,565	55,99983	554,0939
2,57	56,46549	554,8733
2,575	56,93255	555,6516
2,58	57,40099	556,4286
2,585	57,87082	557,2045
2,59	58,34204	557,9792
2,595	58,81465	558,7528
2,6	59,28864	559,5251
2,605	59,76402	560,2964
2,61	60,24078	561,0664
2,615	60,71894	561,8353
2,62	61,19848	562,603
2,625	61,67941	563,3695
2,63	62,16172	564,1348
2,635	62,64542	564,899
2,64	63,13051	565,6621
2,645	63,61699	566,4239
2,65	64,10485	567,1846
2,655	64,5941	567,9441
2,66	65,08474	568,7024
2,665	65,57677	569,4596
2,67	66,07018	570,2156
2,675	66,56498	570,9704
2,68	67,06117	571,7241
2,685	67,55874	572,4766
2,69	68,0577	573,2279
2,695	68,55805	573,978
2,7	69,05979	574,727
2,705	69,56291	575,4748
2,71	70,06742	576,2214
2,715	70,57332	576,9669
2,72	71,0806	577,7112
2,725	71,58927	578,4543
2,73	72,09933	579,1963
2,735	72,61078	579,9371
2,74	73,12361	580,6767
2,745	73,63783	581,4151
2,75	74,15344	582,1524
2,755	74,67044	582,8885
2,76	75,18882	583,6235
2,765	75,70859	584,3572

2,77	76,22974	585,0898
2,775	76,75229	585,8213

Vsota voznihi uporov

v [m/s]	Rz [v] [N]	0°	7°	18°
2	0,111944	217,8939	2428,016409	5815,42986
5	0,699653	218,4817	2428,604118	5816,01757
10	2,798611	220,5806	2430,703076	5818,11652
20	11,19444	228,9764	2439,098909	5826,51236
30	25,1875	242,9695	2453,091965	5840,50541
40	44,77778	262,5598	2472,682243	5860,09569
50	69,96528	287,7473	2497,869743	5885,28319
60	100,75	318,532	2528,654465	5916,06791
70	137,1319	354,9139	2565,036409	5952,44986
80	179,1111	396,8931	2607,015576	5994,42902
90	226,6875	444,4695	2654,591965	6042,00541
100	279,8611	497,6431	2707,765576	6095,17902
110	338,6319	556,4139	2766,536409	6153,94986
120	403	620,782	2830,904465	6218,31791
130	472,9653	690,7473	2900,869743	6288,28319
140	548,5278	766,3098	2976,432243	6363,84569
150	629,6875	847,4695	3057,591965	
160	716,4444	934,2264	3144,348909	
170	808,7986	1026,581		
180	906,75	1124,532		
190	1010,299	1228,081		
200	1119,444	1337,226		

Predpostavka o enakomernem tlaku na torni oblogi

p [N/mm ²]	T [Nmm]
0	0
0,069539	98101,947
0,11952	168612,72
0,153202	216130,85
0,173847	245254,87
0,184712	260583,3
0,189058	266714,67
0,190145	268247,51
0,191231	269780,35
0,195578	275911,73
0,206443	291240,16
0,227087	320364,17
0,26077	367882,3
0,310751	438393,08
0,38029	536495,02
0,472646	666786,67
0,516707	728946,52

Predpostavka o enakomerni obrabi torne obloge

p [N/mm ²]	T [Nmm]
0	0
0,085484	96977,173
0,146926	166679,52
0,188333	213652,83
0,213711	242442,93
0,227068	257595,62
0,232411	263656,69
0,233747	265171,96
0,235082	266687,23
0,240425	272748,3
0,253782	287900,98
0,27916	316691,08
0,320567	363664,4
0,382009	433366,74
0,467493	530343,92
0,581027	659141,72
0,635192	720588,89

Predpostavka o enakomerni obrabi torne obloge

Tsm [Nmm]	[mm] [0 do r max]	Fsm [N]
0	0	0
67742,56	5	1505,39
134603,9	10	2863,913
199702,9	15	4075,569
262158,2	20	5140,357
321088,7	25	6058,278
375613,2	30	6829,331
424850,5	35	7453,517
467919,3	40	7930,836
503938,6	45	8261,288
532026,9	50	8444,872
551303,3	55	8481,589
560886,4	60	8371,438
559895	65	8114,42
547448	70	7710,535
522664,1	75	7159,783
484662,2	80	6462,163
432561	85	5617,676
365479,4	90	4626,321
282536	95	3488,099
182849,8	100	2203,01
65539,55	105	771,0535
0	107,5	0

Predpostavka o enakomernem tlaku na torni oblogi

Tsm [Nmm]	Fsm [N]	[mm] [0 do r max]
973081,79	16972,36	0
972983,87	16935,64	5
972298,49	16825,49	10
970438,17	16641,91	15
966815,45	16384,89	20
960842,84	16054,44	25
951932,89	15650,55	30
939498,12	15173,23	35
922951,07	14622,48	40
901704,26	13998,29	45
875170,23	13300,67	50
842761,5	12529,62	55
803890,61	11685,13	60
757970,09	10767,21	65
704412,47	9775,857	70
642630,28	8711,069	75
572036,04	7572,847	80
492042,3	6361,192	85
402061,58	5076,102	90
301506,41	3717,579	95
189789,32	2285,623	100
66322,842	780,2327	105
#DEL/0!	0	107,5

Moment bremena na sklopki

Tb [n,alfa] [Nm]			n [1/min]
0 °	7 °	18 °	
4,947269	54,10584	129,4503	1600
4,974698	54,13327	129,4777	1800
5,005353	54,16392	129,5083	2000
5,039236	54,1978	129,5422	2200
5,076345	54,23491	129,5793	2400
5,116682	54,27525	129,6197	2600
5,160245	54,31881	129,6632	2800
5,207035	54,3656	129,71	3000
5,257052	54,41562	129,76	3200
5,310296	54,46886	129,8133	3400
5,366767	54,52534	129,8698	3600
5,426464	54,58503	129,9295	3800
5,489389	54,64796	129,9924	4000
5,55554	54,71411	130,0585	4200
5,624919	54,78349	130,1279	4400
5,697524	54,85609	130,2005	4600
5,773356	54,93193	130,2763	4800

5,852415	55,01098	130,3554	5000
5,934701	55,09327	130,4377	5200
6,020214	55,17878	130,5232	5400
6,108954	55,26752	130,6119	5600
6,200921	55,35949	130,7039	5800
6,296115	55,45468	130,7991	6000
6,394535	55,5531	130,8975	6200
6,496183	55,65475	130,9992	6400
6,556617	55,71519	131,0596	6516

O cena tem p. p laš a sklopke po
kon anem zagonu, delo trenja pri
speljevanju

alfa [°]	alfa [rd]	Wtr [J]	T max [°C]
0	0	36809,56	55,94399
0,5	0,008727	37776,3	56,36273
1	0,017453	38795,34	56,80412
1,5	0,02618	39871,22	57,27014
2	0,034907	41009,01	57,76297
2,5	0,043633	42214,4	58,28508
3	0,05236	43493,8	58,83925
3,5	0,061087	44854,46	59,42862
4	0,069813	46304,59	60,05674
4,5	0,07854	47853,58	60,72768
5	0,087266	49512,15	61,44609
5,5	0,095993	51292,62	62,21729
6	0,10472	53209,27	63,04749
6,5	0,113446	55278,65	63,94383
7	0,122173	57520,14	64,91473
7,5	0,1309	59956,53	65,97005
8	0,139626	62614,82	67,12148
8,5	0,148353	65527,23	68,38299
9	0,15708	68732,55	69,77136
9,5	0,165806	72277,86	71,30701
10	0,174533	76220,94	73,01494
10,5	0,18326	80633,4	74,92619
11	0,191986	85605,19	77,07971
11,5	0,200713	91250,74	79,52507
12	0,20944	97718,06	82,32637
12,5	0,218166	105201,9	85,56797
13	0,226893	113963,7	89,36313
13,5	0,235619	124363,2	93,86765
14	0,244346	136908,9	99,30183
14,5	0,253073	152344,5	105,9877
15	0,261799	171801,6	114,4155
15,5	0,270526	197091,8	125,3699
16	0,279253	231306,6	140,19
16,5	0,287979	280191,3	161,3643
17	0,296706	355770,3	194,1012
17,5	0,305433	488148,1	251,4403
18	0,314159	779965,1	377,8403

Vaja 1: Analiza enolamelne avtomobilske sklopke

18,5	0,322886	1955800	887,1508
19	0,331613	-3787535	-1600,56
19,5	0,340339	-957835	-374,884
20	0,349066	-546790	-196,841