



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

**PRIMERJAVA MED KLASIČNIMI
DIZELSKIMI IN BENCINSKIMI MOTORJI V
TOVORNEM TRANSPORTNEM SISTEMU Z
IZRAČUNOM TERMIČNEGA IZKORISTKA
TER RAZVOJA NAVORA IN MOČI**

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. str.
Lektorica: Lucija Hrženjak, prof. slov. in biol.

Kandidat: Vlado Arbeiter

Ljubljana, februar 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za vso podporo in vodenje skozi izdelavo diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Hrženjak, da je moje zaključno delo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebno zahvalo podarjam partnerici Edy za pomoč in podporo v času mojega študija.

IZJAVA

Študent Vlado Arbeiter izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu primerjamo klasični dizelski in Ottov motor z notranjim zgorevanjem. Primerjamo njun teoretični termični izkoristek in razvoj navora in moči. S pridobljenimi podatki razložimo, zakaj se v transportnih sistemih za transport težkega tovora uporabljajo dizelski motorji in zakaj se v manjših sistemih uporabljajo Ottovi motorji.

Predvidevamo, da se dizelski motor z notranjim zgorevanjem bolje obnese pri težkih transportnih sistemih, saj ima boljši termični izkoristek in boljši navor pri nižjih obratih, medtem ko se bencinski Ottov motor z notranjim zgorevanjem bolje obnese pri manjših transportnih sistemih, saj razvije večjo moč, a pri višjih obratih delovanja.

KLJUČNE BESEDE

- teoretični termični izkoristek
- motor z notranjim zgorevanjem
- Ottov motor
- dizelski motor

ABSTRACT

In Thesis we are going to compare classic Diesel and Otto engine. We are going to compare their theoretical thermal efficiency and development of torque and power. With the obtained data we are going to explain why the Diesel engines are used in transport systems for the transport of heavy cargo, and why Otto engines are used in smaller transport systems. Our assumption is that the Diesel ICE proves better for heavy transport systems, as it has better thermal efficiency and better torque at lower engine speeds, and the petrol Otto ICE is better for smaller transport systems, as such an engine develops higher power, but at higher engine operating speeds.

KEYWORDS

- Theoretical thermal efficiency
- Internal combustion engine
- Otto engine
- Diesel engine

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Predpostavke in omejitve	1
1.4	Metode dela	1
2	MOTORJI Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM	2
2.1	Zgodovina motorjev z notranjim zgorevanjem	2
2.2	Delovanje motorja z notranjim zgorevanjem.....	3
2.3	Vrste motorjev z notranjim zgorevanjem glede na pogonsko gorivo	3
2.4	Pogonska goriva za motorje z notranjim zgorevanjem.....	4
2.5	Takti delovanja motorja z notranjim zgorevanjem.....	5
3	TOPLOTNI IZKORISTEK, KOMPRESIJSKO RAZMERJE, MOČ IN NAVOR	8
3.1	Termični izkoristek	8
3.2	Kompresijsko razmerje.....	10
3.3	Navor	11
3.4	Konjska moč	12
4	IZRAČUNI IN GRAFI PRIKAZA RAZVOJA MOČI IN NAVORA.....	14
4.1	Izračun toplotnega izkoristka ottovega motorja.....	15
4.2	Izračun termičnega izkoristka dizelskega motorja.....	17
4.3	Ugotovitve	20
5	ZAKLJUČKI.....	22
6	LITERATURA IN VIRI	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Prvi avto z MNZ, Carl Benz.....	2
Slika 2: Skica štiritaktnega Ottovega motorja.....	6
Slika 3: Teoretični krožni proces Ottovega in dizelskega batnega motorja z notranjim zgorevanjem.....	7
Slika 4: Skica dvotaktnega motorja.....	8
Slika 5: Desni krožni proces in enačba za izračun izkoristka	9
Slika 6: Prikaz konjske moči	13
Slika 7: Diagram moči Otto motorja	16
Slika 8: Diagram navora Otto motorja.....	17
Slika 9: Diagram moči diesel motorja.....	19
Slika 10: Diagram navora diesel motorja	19
Slika 11: Diagram moči Otto in diesel motorja	21
Slika 12: Diagram navora Otto in diesel motorja.....	21

KRATICE IN AKRONIMI

MZN: Motor z notranjim zgorevanjem

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Področje dela, ki ga bomo raziskovali v diplomskem delu, je termični izkoristek, navor in moč motorjev z notranjim zgorevanjem, ki se uporabljajo v tovornih transportnih sistemih. Na kratko bomo predstavili razvoj motorjev z notranjim zgorevanjem (MNZ), povzeli teorijo delovanja motorjev z notranjim zgorevanjem in predstavili apliciranje teh motorjev v tovornih transportnih sistemih.

V glavnem delu diplomskega dela bomo naredili primerjavo termičnih izkoristkov dizelskega in bencinskega Ottovega motorja, razvijanje navora in moči. Na koncu bomo s primerjavo izkoristkov, razvoja navora in moči razložili, zakaj je v posameznih tovornih transportnih sistemih ena vrsta motorja bolj primerna od druge.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj naloge je primerjati teoretične termične izkoristke, navor in moč MNZ ter s temi podatki predstaviti prednosti dizelskega oziroma bencinskega Ottovega motorja. S temi primerjavami bomo potrdili in ugotovili, zakaj se v tovornih transportnih sistemih večinoma uporablja dizelske MNZ-je.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da je dizelski MNZ uporabljen v tovornem transportu zaradi dobrega termalnega izkoristka in razvoja večjega navora pri nižjih obratih, kar pripomore k lažjemu in bolj učinkovitemu upravljanju. To pomeni, da so dizelski motorji bolj gospodarni z gorivom. Dizelski motor ima tudi večji navor pri nižjih obratih, kar pomeni, da se težji tovor z njim lažje premika z mesta. Nasprotno pa bencinski MNZ lažje razvije moč pri večjih obratih delovanja motorja, kar pomeni večji razpon delovanja in predstavlja bolj tekočo vožnjo.

Zanima nas tudi, zakaj doseže dizelski MNZ večji termični izkoristek kot relativno podoben bencinski MNZ.

1.4 METODE DELA

Pri diplomskem delu uporabljene metode dela so komparativna metoda, ki smo jo uporabili za primerjavo dveh MNZ-jev na različna pogonska goriva, metoda deskripcije, ki je bila uporabljena za opis delovanja posameznih MNZ-jev, ter induktivna metoda, ki smo jo uporabili za sklepanje, zakaj se v tovornih transportnih sistemih pretežno uporablja dizelska različica motorja z notranjim zgorevanjem.

2 MOTORJI Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM

2.1 ZGODOVINA MOTORJEV Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM

Motor z notranjim zgorevanjem je toplotni stroj. Prvi uspešno delujoči MNZ lahko postavimo v leto 1860. Pred tem letom je sicer bilo veliko izumov, ki so precej prispevali k razvoju MNZ, kot jih poznamo danes. Leta 1791 je John Barber izumil plinsko turbino, leta 1794 je Robert Street prijavil prvi patent za motor z notranjim zgorevanjem na tekoče gorivo. Pozneje, leta 1807, sta Francoza Nicephore in Claude Niepce izumila motor na notranje zgorevanje z uporabo likopodimskega prahu. Švicarki inženir Francois Isaac De Rivaz je leta 1808 izumil motor na notranje zgorevanje, ki je teklen na vodik. De Rivaz je ta motor uporabil za prvo vozilo, ki je delovalo z motorjem na notranje zgorevanje. Leta 1823 je Samuel Brown patentiral prvi motor na notranje zgorevanje za uporabo v industriji. Izumitelja Felice Matteucci in Eugenio Barsanti sta leta 1854 v Veliki Britaniji pridobila certifikat za pridobitev patenta za uporabo motorja na notranje zgorevanje v transportu. Pozneje sta patent pridobila. Belgijsko-francoski inženir Jean Joseph Etienne Lenoir je leta 1858 naredil prvi komercialno uspešen motor na notranje zgorevanje, medtem ko je leta 1864 Nicolaus Otto patentiral prvi atmosferski MNZ na plin. Nato so leta 1876 začeli sodelovati Nicolaus Otto, Gottlieb Daimler in Wilhelm Maybach, rezultat je bil patent za MNZ. Leta 1892 je Rudolf Diesel razvil prvi dizelski motor, leta 1954 pa je Felix Wankel patentiral brezbatni Wanklov motor.



*Slika 1: Prvi avto z MNZ, Carl Benz
(Vir: Mercedes-Benz Group, 2023)*

2.2 DELOVANJE MOTORJA Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM

Pulkrabek (1997) navaja, da je motor z notranjim zgorevanjem toplotni stroj, ki pretvarja kemično energijo iz goriva v mehanično energijo. Batni motorji z notranjim zgorevanjem so najpogostejša oblika motorjev, ki se uporablja v tovornem transportu. Delovanje MNZ-ja je preprosto: najprej se kemična energija goriva spremeni v termalno energijo s pomočjo oksidiranja ali zgorevanja znotraj zgorevalne komore motorja. Zaradi povišanja temperature znotraj valja se poveča tudi tlak. Porast tlaka, ki je nastal zaradi kemične reakcije znotraj valja, začne ekspandirati in posledično delovati na mehanske dele znotraj valja oziroma na bat. Preko bata, ki je na glavno gred povezan z ojnico, se prenese energija na glavno gred. Preko glavne gredi, vztrajnika in sklopke je MNZ povezan z menjalnikom in pogonskim sklopom za prenos rotacijske mehanske energije.

Večina MNZ se uporablja za pogon vozil, kot so na primer dvokolesni motorji, avtomobili, tovornjaki, vodna plovila in letala. Najbolj uporabljena MNZ-ja sta Ottov bencinski in dizelski motor. Obe vrsti motorja sta lahko zasnovani kot dvo- ali štiritačni motor.

Glavna razlika med bencinskim in dizelskim motorjem je način, kako ustvarita energijo. Pri dizelskem motorju je zrak stisnjen, preden se v valj vbrizga gorivo, medtem ko sta pri bencinskem gorivo in zrak pomešana pred vstopom v valj. Pri tem je treba poudariti, da gre tudi za dve popolnoma različni vrsti goriva.

2.3 VRSTE MOTORJEV Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM GLEDE NA POGONSKO GORIVO

Osnovni vrsti motorja z notranjim zgorevanjem sta dizelski in bencinski Ottov motor. Pri bencinskem oziroma Ottovem motorju se gorivo pomeša z zrakom v uplinjaču pred vstopom v valj, medtem ko se pri dizelskem motorju gorivo umeša neposredno v valj (Stone, 1999).

Pri bencinskem Ottovem motorju, ki mu lahko rečemo tudi motor na prisilni vžig, se gorivo vžge z iskro, medtem ko se gorivo pri dizelskem motorju vbrizga neposredno v valj in se predhodno ne pomeša z zrakom. Pride do kompresijskega vžiga zaradi dviga temperature in tlaka v valju, kar sproži spontani vžig goriva v valju.

Če teoretično obravnavamo dovod toplote, ima dizelski motor izobarni dovod toplote, bencinski Ottov motor pa izohorni. Izobarna sprememba je sprememba stanja termodinamskega sistema, pri kateri se tlak ne spreminja, spreminjata se prostornina in temperatura. Izohorna sprememba pa je sprememba stanja termodinamskega sistema, pri kateri se prostornina ne spreminja, spreminjata pa se tlak in temperatura.

Dizelski motor z notranjim zgorevanjem je tlačni motor, ki deluje na osnovi izobarnega krožnega procesa. To pomeni, da prihaja do zgorevanja relativno počasi. Zgorevalni tlak je od 60 do 90 barov, zgorevalna temperatura pa znaša od 1500 do 2200 °C.

Kompresijsko razmerje dizelskega motorja je med 14 in 25, indicirani izkoristki tega motorja so med 0,28 in 0,50, kar pomeni od 28- do 50-odstotni izkoristek. Pri dizelskem motorju zrak vstopi v valj skozi sesalni ventil, dovod goriva pa skozi šobo pri od 85 do 150 barih. Tlak in temperatura pred vžigom sta med 25 in 65 bari in med 600 in 800 °C. Do vžiga pride zaradi visoke temperature, kar pomeni samovžig. Do vžiga pride na več mestih znotraj valja. Dizelski motor izrablja izobarno preobrazbo spreminjanja stanja, kar pomeni počasno zgorevanje. Pri dizelskem motorju se količina vbrizgane količine goriva uravnava, količina dovoda zraka pa ostaja nespremenjena.

Bencinski Ottov motor z notranjim zgorevanjem je prostorninski motor, ki deluje na osnovi izohornega krožnega procesa. To pomeni, da do zgorevanja prihaja hitro. Zgorevalni tlak je med 30 in 50 bari, zgorevalna temperatura je med 1500 °C in 2200 °C. Kompresijsko razmerje bencinskega motorja je med 7 in 12, indicirani izkoristki bencinskega motorja so med 0,20 in 0,36, kar pomeni od 20- do 36-odstotni izkoristek. Pri bencinskem motorju poteka mešanje goriva in zraka pred vstopom v valj, tlak pred vžigom znaša od 10 do 30 barov, temperatura od 300 °C do 500 °C. Do vžiga pride zaradi električne vžigalne naprave, zgorevalni prostor pri bencinskem motorju pa je večji kot pri dizelskemu motorju. Bencinski motor izrablja izohorno preobrazbo spreminjanja stanja, kar pomeni hitro zgorevanje. Regulacija bencinskega motorja poteka z dušenjem dovoda količine zmesi ali z regulacijo neposrednega vbrizga.

2.4 POGONSKA GORIVA ZA MOTORJE Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM

Goriva so snovi, ki pri višjih temperaturah reagirajo s kisikom in spremenijo kemično sestavo in sočasno oddajo toploto. Pogonska goriva lahko razdelimo na tri skupine: tekoča, plinasta in trda goriva (Pulkrabek W. W., 1997).

Tekoči ogjikovodiki se na splošno uporabljajo v motorjih z notranjim zgorevanjem, v nekaterih primerih se v motorjih z notranjim zgorevanjem lahko uporablja tudi biodizel, ki se ga lahko pridobi iz rastlinskih olj, masti, uporabljenega olja za kuhanje oziroma iz vseh rastlin, v katerih poteka fotosinteza. Nekateri motorji na notranje zgorevanje so narejeni za uporabo utekočinjenega naftnega plina (liquid petroleum gas, LPG), ki ga pridobivamo z rafiniranjem nafte in je večinoma pridobljen iz virov fosilnih goriv.

V diplomskem delu se bomo osredinili na klasično dizelsko in bencinsko gorivo.

Dizelsko gorivo je gorivo, specifično narejeno za dizelske motorje. Nastalo je pri eksperimentih izumitelja in inženirja Rudolfa Diesla. Raziskoval je goriva za dizelski motor, ki ga je izumil leta 1892. Dizelski motor je motor z notranjim zgorevanjem, pri katerem pride do vžiga goriva brez vžigalne svečke. Gorivo se namreč pod visokim tlakom in pri visoki temperaturi vžge samo. Ker dizelski motor deluje na principu

samovžiga zaradi tlaka in temperature, mora imeti tudi dizelsko gorivo dobre lastnosti kompresijskega samovžiga.

Dizelsko gorivo je proizvod iz nafte. V svoji ogljikovodikovi sestavi vsebuje med 10 in 15 ogljikovih atomov. Pomemben podatek pri dizelskem gorivu je cetansko število. Cetan je kemična spojina, prisotna v dizelskem gorivu, in se zlahka vname pod tlakom. Zaradi velike vnetljivosti se uporablja kot standard za ocenjevanje zgorevanja goriva. Skala cetana je med 0 in 100 in večina dizelskega goriva, ki ga uporabljamo danes, ima med 45 in 55 cetanov. Energijska vsebnost dizelskega goriva je med 43,00 do 45,6 MJ/kg ali 38,6 MJ/liter.

Bencin je mešanica lahkih ogljikovodikov. Je prozorna vnetljiva tekočina, pridobljena s frikcijsko destilacijo nafte. Bencin se uporablja predvsem kot gorivo za motorje z notranjim zgorevanjem. Pomembna lastnost bencina je oktansko število. Oktansko število nam pove, kako zelo je gorivo odporno na samovžig. Do samovžiga lahko pride zaradi velikega tlaka v valju. Samovžig je bolj znan kot klenkanje, ko pride do prehitrega samovžiga mešanice zraka in bencina v valju. Višji oktan pomeni manjšo možnost samovžiga. Za večino MNZ se uporablja 95-oktanski bencin. Če ima motor višji tlak v valju ali če je v motor polnjen zrak s turbopolnilnikom, potrebuje tak motor gorivo z večjim oktanskim številom, običajno 100 oktanov. Pri starejših bencinskih motorjih so v bencin dodajali svinec, ker je deloval kot dodatna zaščita sesalnih in izpušnih ventilov pred korozijo in abrazijo, poleg tega je bilo zgorevanje v valjih bolj nadzorovano. Energijska vrednost bencina je od 42,08 do 46,4 MJ/kg ali 34,2 MJ/liter.

2.5 TAKTI DELOVANJA MOTORJA Z NOTRANJIM ZGOREVANJEM

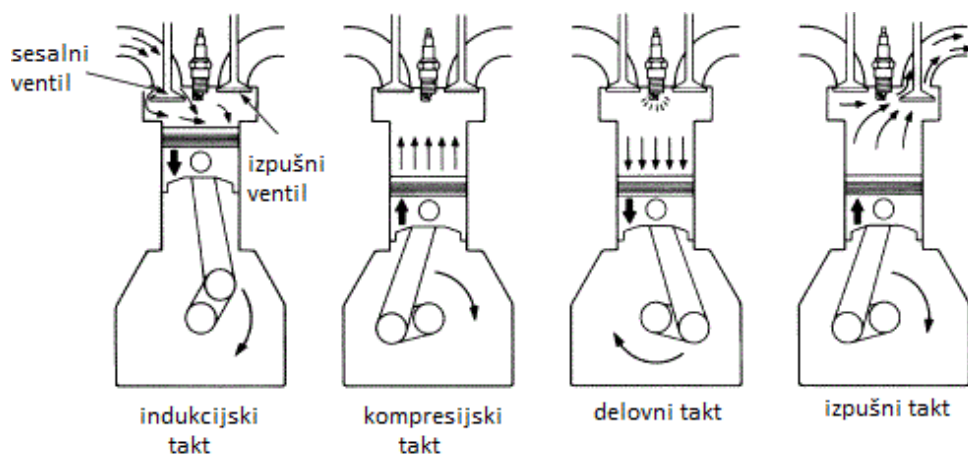
Glavna razlika med štiritačnim in dvotaktim motorjem je ta, da gre štiritačni motor skozi štiri korake oziroma takte ali dve popolni revoluciji, da opravi delovni cikel. Dvotakti motor gre skozi dva takta oziroma eno revolucijo, da opravi en delovni cikel (Stone, 1999).

Štiritačni motor ima naslednje korake:

1. indukcijski takt, kjer je vhodni ventil odprt in bat potuje vzdolž cilindra in hkrati zajema gorivo. V primeru bencinskega Ottovega motorja je gorivo že predhodno pomešano z zrakom;
2. kompresijski takt; tukaj sta sesalni in izpušni ventil zaprti in bat potuje po valju navzgor. Ko pride bat pride do zgornje mrtve točke, pride do vžiga. Pri motorjih na kompresijski vžig se gorivo vbrižga proti koncu kompresijskega takta;
3. delovni takt, pri katerem je izpušni ventil zaprt. Zaradi reakcije goriva se v valju dvigneta temperatura in tlak, kar prisili gibanje bata navzdol, v najnižji točki bata se izpušni ventil odpre;

4. izpušni takt, ko izpušni ventil ostane odprt do te mere, da se večina izgorelih in odpadnih plinov iztisne iz valja. Proti koncu tega takta se izpušni ventil zapre in v valju ostane nekaj ostankov izpušnih plinov, ki se pomešajo z naslednjim taktom in razredčijo naslednjo mešanico goriva in zraka. Pri štiritaktnih motorjih je polni cikel opravljen le enkrat na vsaka dva vrtljaja, vendar mora gonilo vodenja ventilov poganjati mehanizem, ki deluje s polovično hitrostjo motorja. To pomeni, da se nekaj mehanske energije shrani v vztrajniku, da zagotavlja zadostno energijo za opravljanje drugih treh taktov.

Prednosti štiritaktnega motorja so manjša toplotna obremenitev, dobro izpiranje valja (ekologija) in mazanje valja z oljem. Slabe lastnosti pa so neenakomerni vrtilni moment, večje število sestavnih delov in majhno razmerje med močjo ter maso motorja.



Slika 2: Skica štiritaktnega Ottovega motorja
(Vir: ScienceDirect, 2023)

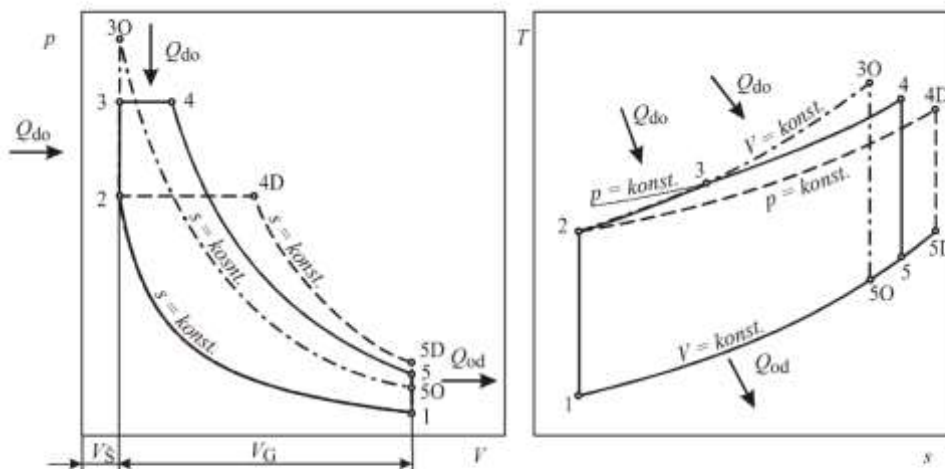
Na Sliki 3 vidimo diagrama $p - V$ (tlak – prostornina) in $T - s$ (temperatura – specifična entropija). Diagrama prikazujeta krožni proces za Ottov in dizelski motor. Krožni proces prikazuje procese, v katerih dovajamo toploto in iz njih pridobivamo delo. Imenujemo jih termodinamični krožni proces. Preobrazbe v diagramih $p - V$ in diagramih $T - s$ si sledijo v smeri urinega kazalca, zato jim pravimo desni krožni proces, pri katerem iz toplote pridobivamo delo.

Na sliki 3 imamo primerjavo teoretičnega krožnega procesa dizelskega in Ottovega motorja.

Krožni proces Ottovega motorja je na Sliki 3 prikazan kot površina 1 – 2 – 3O – 5O, $Q_{do} = Q_{23}$, $V_2 = V_3 = \text{konst.}$ in $Q_{od} = 51$.

Krožni proces dizelskega motorja je na Sliki 3 prikazan kot površina 1 – 2 – 4D – 5D,

$Q_{do} = Q_{34}$, $p_3 = p_4 = \text{konst.}$ in $Q_{od} = 51$.



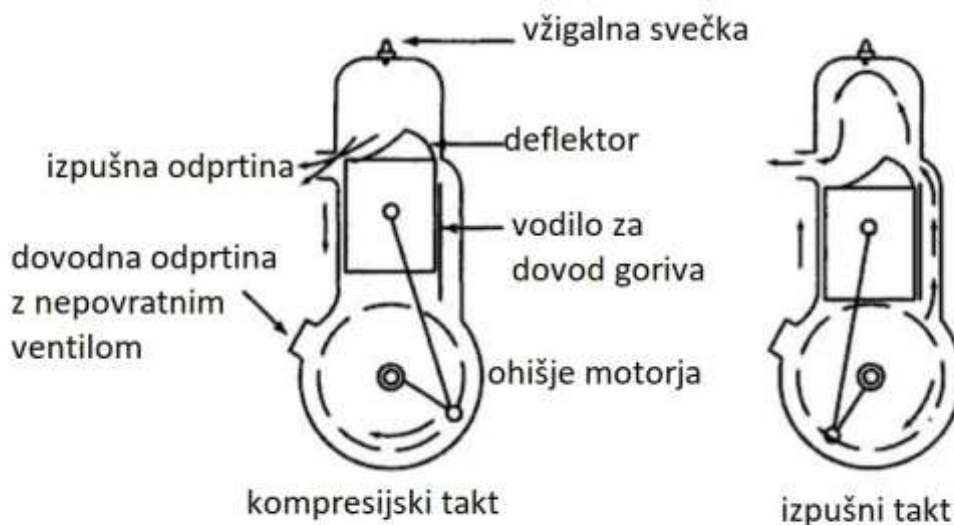
Slika 3: Teoretični krožni proces Ottovega in dizelskega batnega motorja z notranjim zgorevanjem

(Vir: Termodinamika 2016)

Dvotaktni motorji delujejo brez indukcijskega in izpušnega takta in sledijo naslednjima korakoma:

1. kompresijskemu taktu, kjer bat potuje navzgor po valju, pri čemer ujame mešanico goriva. Če gorivo ni bilo vbrizgano v valj prej, se ga vbrizga proti koncu kompresijskega takta, tik pred zgornjo mrtvo točko pride do vžiga, istočasno pa spodnja stran bata vleče mešanico goriva in zraka skozi nepovratni vhodni ventil;
2. delovnemu taktu, kjer gorenje mešanice goriva in zraka zviša temperaturo in tlak v valju ter prisili bat navzdol. Premikanje bata povzroči stiskanje mešanice v ohišju motorja, ko se bat približa najnižji točki, hkrati tudi odkrije izpušno odprtino in skozi njo uidejo izpušni plini. V tej najnižji točki bata se odpre tudi vhodna odprtina, skozi katero v valj iz ohišja motorja preide mešanica goriva in zraka za naslednji takt.

Prednosti dvotaktnega motorja so preprosta konstrukcija, dobro razmerje moči in maso motorja ter enakomernejši vrtilni moment. Slabe lastnosti pa so velika toplotna obremenitev, težave z mazanjem in izpiranje valja z mešanico zraka in goriva.



Slika 4: Skica dvotaktnega motorja
(Vir: Extrudesign, 2023)

3 TOPLOTNI IZKORISTEK, KOMPRESIJSKO RAZMERJE, MOČ IN NAVOR

V naslednjih poglavjih predstavljamo toplotni izkoristek, navor in moč MNZ. Motor z notranjim zgorevanjem je toplotni stroj, kar pomeni, da izrablja desni krožni proces, ki iz toplote pridobi delo. Volumenski batni motor je danes najbolj pogosto uporabljen način pogona v transportnih sistemih.

3.1 TERMIČNI IZKORISTEK

Izkoristek motorja z notranjim zgorevanjem ni konstanten, ampak se spreminja glede na trenutno obremenitev motorja. Obremenitev motorja je odvisna od dovedenega goriva in vrtilne hitrosti. Termični izkoristek je razmerje med delom, ki ga dobimo na gredi motorja, in energijo, ki jo dovedemo z gorivom. Ostala energija, ki se ne pretvori v delo, pa je večinoma toplotna izguba. Del energije, ki se izgubi, gre v okolico preko hladilnega medija, izpušnih plinov ter kemične energije zaradi nezgorelih plinov. Veliko izgub je v obliki sevanja in konvekcije (Tacer, M. (2017). Skripta: *Energetika*). V termodinamiki je toplotni izkoristek brezdimenzionalno merilo zmogljivosti naprave, ki uporablja toplotno energijo. Pri toplotnih motorjih je toplotni izkoristek razmerje med vloženo toploto in delovno močjo. Učinkovitost toplotnega stroja je delna, saj je pridobljeno delo vedno manjše od vhodnega. Učinkovitost pretvorbe energije je razmerje med uporabnim izhodom naprave in vhodom v smislu energije. Za toplotno

oziroma termično učinkovitost je vhod v motor gorivo, ki se ga porabi za mehansko delo.

Po prvem zakonu termodinamike izhodna energija ne more preseči vnosa. Po drugem zakonu termodinamike pa ne more biti enaka v neidealnem procesu. Toplotni izkoristek MNZ-ja je izražen v odstotkih, in sicer med 0 in 100 odstotkov. Učinkovitost MNZ-ja je manjša od 100 odstotkov, ker obstajajo izgube, kot so trenje, nepopolno gorenje mešanice goriva in toplotne izgube.

Klasični bencinski motor deluje s približno 30-odstotnim izkoristkom, kar pomeni, da se 30 odstotkov energije uporabi za mehansko delo, preostalih 70 odstotkov pa se izgubi kot odvečna toplota. Kot zanimivost dodajamo, da imajo MNZ-ji v formuli 1 toplotne izkoristke med 45 in 50 odstotkov.

Klasični dizelski motorji imajo nekoliko boljši toplotni izkoristek od bencinskih in znaša 40 odstotkov, in to zaradi večje kompresije. Tudi tukaj dodajamo zanimivost: največji dizelski motor ima 51,7-odstotni toplotni izkoristek.

Toplotne izkoristke motorja z notranjim zgorevanjem se lahko določi po relativno preprosti formuli. Splošna enačba in diagram za izkoristek desnega krožnega procesa sta prikazana na Sliki 5.

Desni krožni proces



$$W = Q_{do} - Q_{od}$$

Izkoristek krožnega procesa:

$$\eta = \frac{Q_{do} - Q_{od}}{Q_{do}} = \frac{W}{Q_{do}}$$

Slika 5: Desni krožni proces in enačba za izračun izkoristka
(Vir: Termodinamika 2016)

Na Sliki 5 vidimo, da lahko izkoristek poenostavimo in opredelimo, da je termični izkoristek η količnik med delom W in dovedeno toploto Q_{do} . Teoretični termični izkoristek za Ottov motor se izračuna po naslednji enačbi:

$$\eta_{th,otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Pri tem je $\eta_{th,otto}$ teoretični termični izkoristek, r kompresijsko razmerje in k razmerje specifičnih toplot kappa.

Termični izkoristek za dizelske motorje pa se izračuna po naslednji enačbi:

$$\eta_{th,dizel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \cdot \frac{(r_c^k - 1)}{k(r_c - 1)}$$

Pri tem je $\eta_{th,dizel}$ teoretični termični izkoristek, r kompresijsko razmerje, r_c vbrizgovalno razmerje in k razmerje specifičnih toplot kappa.

Čeprav je splošno znano, da imajo dizelski motorji boljše termične izkoristke, je dejansko tako, da bi pri enakem kompresijskem razmerju Ottov motor dosegel večje izkoristke. Kar najbolj pripomore k boljšemu izkoristku pri dizelskem motorju, je večje kompresijsko razmerje.

3.2 KOMPRESIJSKO RAZMERJE

Dizelski motorji imajo nekoliko boljši izkoristek od bencinskih. Eden od vzrokov za boljši izkoristek je kompresijsko razmerje, ki je pri bencinskih motorjih od 6 do 14, pri dizelskih motorjih pa znaša med 14 in 22. Kompresijsko razmerje je razmerje med prostornino v valju, ko je bat v najnižji točki in ko je bat v najvišji točki. Izračuna se po naslednji formuli:

$$KR = \frac{V_1}{V_2}$$

ali pa po formuli

$$KR = \frac{\frac{\pi}{4} b^2 s + V_z k}{V_z},$$

kjer je b premer cilindra, s hod bata, V_z pa je volumen zgorevalne komore.

Za lažjo predstavo uporabimo naslednji primer. Če imamo cylinder s prostornino 500 cm³, ko je bat v najnižji legi, ter 50 cm³, ko je bat v najvišji legi v valju, pomeni, da imamo kompresijsko razmerje 10.

Motorji z notranjim zgorevanjem so toplotni stroji, kar pomeni, da delujejo učinkoviteje pri višjih kompresijskih razmerjih, in sicer zaradi doseganja višjih zgorevalnih temperatur z manj goriva. To omogoča daljšo ekspanzijo, kar posledični proizvede več mehanskega dela ter zmanjša temperaturo izpušnih plinov. Pri dizelskih motorjih je temperatura v valjih višja kot pri podobnem bencinskem motorju, vendar ekspanzija proizvede več dela, zato je izpuh manj vroč.

Kot že navedeno, lahko pri višjih kompresijskih razmerjih pri bencinskih motorjih pride do prehitrih detonacij oziroma do klenkanja. Temu se lahko izognemo z uporabo bencinskega goriva z višjim oktanskim številom. Večina motorjev je opremljenih tudi z detonacijskimi senzorji, ki upočasnijo vbrizge mešanice v valje. Dizelski motorji so

grajeni bolj robustno, saj delujejo z drugačnim načinom vžiga in so detonacije bolj nadzorovane, vendar lahko pride do zapoznelih detonacij oziroma poznega vžiga.

3.3 NAVOR

Navor ali rotacijski moment je rotacijska sila na razdalji od rotacijske osi. Je fizikalna količina, ki nastopa pri kroženju točkastega telesa in vrtenju togega telesa. Enaka je produktu sile in razdalje premice sile od osi.

Splošna enačba za navor je:

$$M = F \cdot r,$$

kjer je navor (M) produkt sile (F) in ročice (r).

Matematično je navor vektorska količina, ki se jo izračuna kot vektorski produkt med ročico r, to je krajevni vektor od izhodišča v osišču do prijemališča sile, ter silo F. Pri motorjih z notranjim zgorevanjem je vedno neko optimalno območje vrtljajev, pri katerih je navor največji. Zaradi manj vrtljajev prihaja v valjih do redkih eksplozij goriva, zaradi česar se motor vrti le zaradi vztrajnosti. Pri višjih obratih pa postane težava hitro odvajanje zgorelih plinov in dovajanje mešanice v valje. Pri dizelskih motorjih je optimalno območje navora pri nekoliko manj obratih kot pri bencinskih motorjih.

Pri tovornih sistemih oziroma avtomobilih je vedno podan podatek o navoru Nm in je napisan kot 300 Nm pri 2000 vrtljajih na minuto. V praksi za konkretni primer pomeni, da bi en meter dolga ročica, pritrjena prečno na motorno gred, ustvarila silo 300 Nm, kar ustreza mase 30,6 kg. V resnici so ročice na ojnica manjše, med 50 mm in 150 mm dolžine. Tudi sila je dejansko drugačna, večja, tako da lahko ocenimo, da eksplozija mešanice goriva znotraj valja dizelskega ali bencinskega ustvari potisno silo na bat, kot bi nanj obesili 650-kg utež.

Pri motorjih z notranjim zgorevanjem navor predstavlja silo, ki jo motor proizvede.

3.4 KONJSKA MOČ

Izumitelj James Watt je definiral, da lahko konj dvigne utež z maso 250 kg v eni sekundi en čevelj ali 0,3 m visoko. Ta definicija ima veliko pomanjkljivost, in sicer je njena vrednost odvisna od vrednosti težnostnega pospeška, ki pa je v vsaki točki drugačen. Zaradi te pomanjkljivosti in da bi govorili o isti stvari, je bil sprejet dogovor, da konjska moč znaša natančno 735,49875 W.

Konjska moč (KM) je skupni naziv več enot za merjenje moči. Pove nam, kako hitro se neko delo izvede. Danes se konjska moč pretežno uporablja za indiciranje moči v tovornih motornih vozilih.

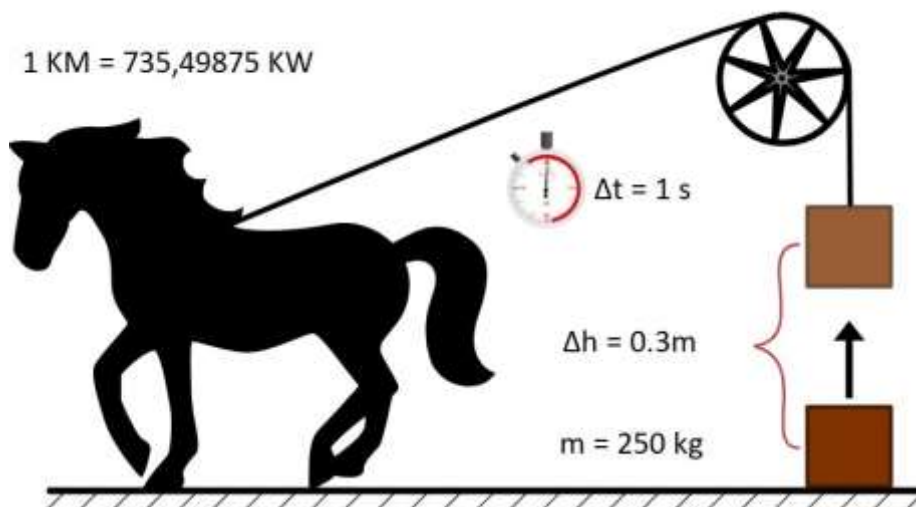
Za določanje moči v motornem transportu se danes v večini uporabljajo valjčni dinamometri. Ti izmerijo dejansko moč na kolesih transportnega sistema in so zelo natančni. Z dinamometri pridobimo dejansko moč, ki je prikazana po izgubi zaradi trenja zavor, menjalnika in drugih mehanskih komponent. Večina ljudi se pri transportnih sistemih oziroma avtomobilih zanima samo za maksimalno konjsko moč, vendar je ta podatek skoraj brezpredmeten, če ne razumemo, kakšen navor lahko ustvari motor in pri kolikšnih delovnih obratih. V Sloveniji uporabljamo metrično konjsko moč oziroma enako kot v Nemčiji. Osnovna naprava za merjenje moči je zavora, na kateri izmerimo silo in vrtilno frekvenco na kolesih. Moč motorja na gredi izračunamo po naslednji enačbi:

$$P = M \cdot \omega = F \cdot r \cdot 2 \cdot \pi \cdot n,$$

kjer so: P moč motorja na gredi, M navor, ω kotna hitrost, n vrtilna frekvenca motorja, F sila in r ročica.

Transportni sistem, kot je na primer osebni avtomobil, potrebuje večjo konjsko moč kot težka transportna vozila oziroma tovornjaki, ker mora doseči potovalno hitrost čim hitreje, medtem ko tovornjaku, ki prevaža težak tovor, ni treba dosežati velikih hitrosti, ampak potrebuje več navora za vlečenje.

Na Sliki 6 je prikaz konjske moči.



Slika 6: Prikaz konjske moči
(Vir: Current school news, 2023)

Moč motorja na gredi izračunamo po naslednji enačbi:

$$P = M \cdot \omega = F \cdot r \cdot 2 \cdot \pi \cdot n,$$

kjer so: P moč motorja na gredi, M navor, ω kotna hitrost, n vrtilna frekvenca motorja, F sila in r ročica.

4 IZRAČUNI IN GRAFI PRIKAZA RAZVOJA MOČI IN NAVORA

V tem poglavju bomo naredili izračune za primerjavo teoretičnih termičnih izkoristkov, razvoja moči in navora v diagramih dveh motorjev z notranjim zgorevanjem. En motor bo dizelski, drugi bo bencinski Ottov. Primerjali bomo termične izkoristke, navor in moč motorja. Primerjali bomo dva motorja podobnih generacij. Za vse izračune in veličine bomo uporabili idealne Ottove in Dieslove cikle ter opravili izračune teoretičnih toplotnih izkoristkov teh dveh motorjev.

Za Ottov motor smo vzeli motor z delovno prostornino 1493 cm^3 , z razvojem maksimalnih 89 konjskih moči pri 6000 obratih na minuto, maksimalnim navorom 119 Nm pri 4500 obratih na minuto in s kompresijskim razmerjem 9,2. Za dizelski motor smo izbrali delovne prostornine 1896 cm^3 z razvojem maksimalnih 63 konjskih moči pri 4200 obratih, maksimalnim navorom 124 Nm pri 2000 obratih na minuto in s kompresijskim razmerjem 19,5.

Pri nekaterih veličinah, kot je k , bomo uporabili razmerje specifičnih toplot 1,40 za zrak, ki pri konstantnem tlaku znaša $c_{p23} = 1,005 \text{ kJ/kg}$ in pri konstantni prostornini $c_{v23} = 0,718 \text{ kJ/kg}$, kot je navedeno v Krautovem strojnem priročniku.

Izhajamo tudi iz tega, da je v oba motorja dovedena enaka količina (Q_{do}) toplote, $Q_{do,Otto,Dizel} = 1045,9 \text{ kJ}$. Za oba motorja sta znana T_1 in T_3 , ki znašata $T_1 = 20 \text{ °C}$ in $T_3 = 1850 \text{ °C}$, kjer je T_1 temperatura vstopnega zraka v zgorevalno komoro, T_3 pa temperatura zgorevanja mešanice goriva in zraka v valju (Pulkrabek, W. W. 1997).

Za primerjavo navora in moči smo pripravili diagrame prikaza moči in navora, iz katerih bomo razbrali, v katerih območjih delovanja dosežeta motorja določene napore in moči. S pomočjo diagramov smo analizirali moč in navor obeh motorjev ter s temi podatki podali ugotovitve.

4.1 IZRAČUN TOPLOTNEGA IZKORISTKA OTTOVEGA MOTORJA

Prvi motor je štiritalni Ottov motor s štirimi valji, štiritalni, z delovno prostornino 1493 cm^3 , kompresijsko razmerje znaša 9,2, maksimalna konjska moč je 89 KM/6000, maksimalni navor je 119 Nm/4500. Razmerje specifičnih toplot je $k = 1,40$.

Za izračun teoretičnega toplotnega izkoristka smo uporabili enačbo za izračun termičnega izkoristka Ottovega motorja. Teoretični termični izkoristek je, maksimalni možni izkoristek, ki se ga lahko doseže toplotni stroj v idealnem krožnem procesu. Kompresijsko razmerje je razmerje prostornine v valju, ko je bat v najnižji in v najvišji legi. Specifična toplota je toplota, ki je potrebna, da en kilogram snovi segrejemo za en kelvin.

$\eta_{th, Otto}$ – teoretični termični izkoristek

r – kompresijsko razmerje

k – razmerje specifičnih toplot

$$c_v = 0,718 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p = 1,005 \text{ kJ/kg}$$

$$k = 1,4$$

$$Q_{do, Otto} = 1013,06 \text{ kJ}$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 293,15 \text{ K}$$

$$T_3 = 1850 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 2123,15 \text{ K}$$

$$r = 9,2 = (v_1 / v_2)$$

$$T_2 = ? \rightarrow 712,20 \text{ K} \rightarrow 439,05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 = ? \rightarrow 873,90 \text{ K} \rightarrow 600,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{od} = ? \rightarrow 416,98 \text{ kJ}$$

$$\eta_{th, Otto} = ? \rightarrow 59 \%$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \rightarrow T_2 = 293,15(9,2)^{1,4-1} \rightarrow T_2 = 712,20 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{r} \right)^{k-1} \rightarrow T_4 = 2123,15 \text{ K} \left(\frac{1}{9,2} \right)^{1,4-1} \rightarrow T_4 = 873,90 \text{ K}$$

$$Q_{do} = c_{v23} (T_3 - T_2) \rightarrow Q_{do} = 0,718 (1850 - 439,05) \rightarrow Q_{do} = 1013,06 \text{ kJ}$$

$$Q_{od} = c_{v23} (T_4 - T_1) \rightarrow Q_{od} = 0,718 (600,75 - 20) \rightarrow Q_{od} = 416,98 \text{ kJ}$$

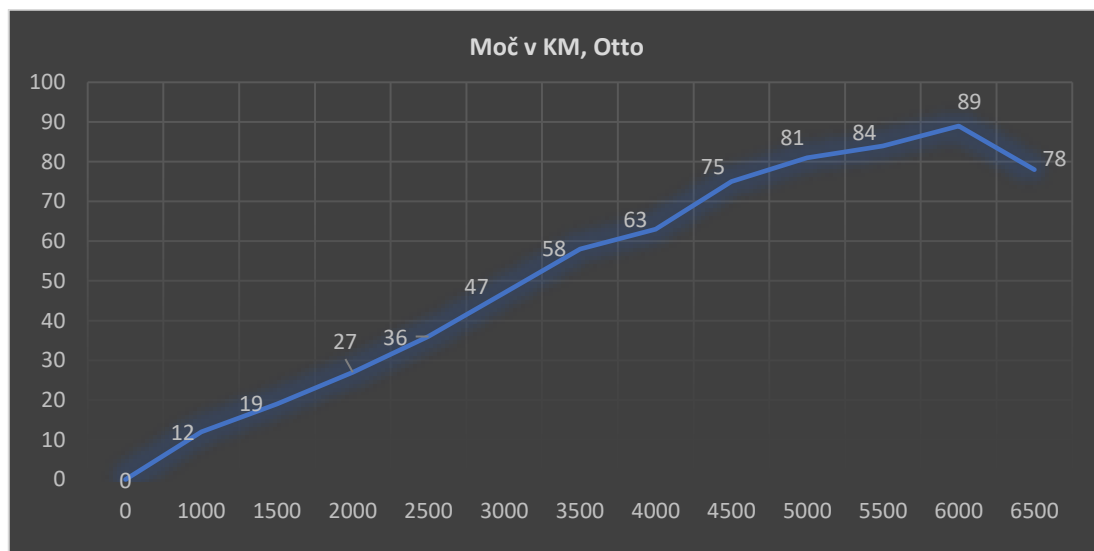
$$\eta_{th,Otto} = \frac{Q_{do} - Q_{od}}{Q_{do}} \rightarrow \eta_{th,Otto} = \frac{1013,06 - 416,98}{1013,06} \rightarrow \eta_{th,Otto} = 0,588 = 59 \%$$

Izračun nam pove, da bi bil možen teoretični termični izkoristek 59 odstotkov. Tukaj govorimo o relativno velikih izkoristkih, saj je izračunan maksimalni teoretični izkoristek. Iz izračunov lahko tudi razberemo, da je teoretični termični izkoristek tega motorja 59-odstotni. To število je glede na napisano in navedeno v uradnih podatkih veliko. To je zato, ker smo upoštevali idealni cikel, brez trenja in izgub.

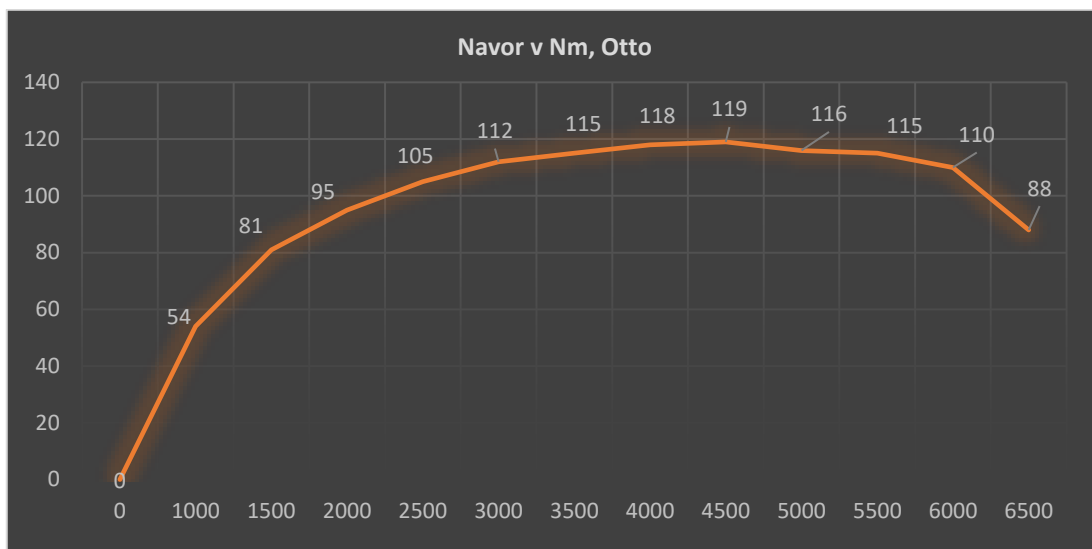
Za razvoj navora in moči lahko iz Slike 7 in Slike 8, kjer je prikazan diagram moči pri Ottovem motorju, ugotovimo, da Ottov motor ne razvije veliko navora pri malo obratih, zato se izkaže, da ta motor ne bi bil najbolj primeren za transport težjega tovora. Pri več obratih pa se izkaže, da motor razvije relativno veliko konjskih moči, kar pomeni, da v tem primeru vozilo hitreje pridobi hitrost, saj motor proizvede več moči. Treba je tudi upoštevati, da bencinski Ottov motor lažje pridobi vrtljaje in da optimalno deluje pri več vrtljajih v primerjavi z dizelskim MNZ-jem.

Na Sliki 7 vidimo razvoj moči Ottovega motorja. Najvišjo moč doseže pri 6000 obratih na minuto, nato začne moč padati, saj je maksimalna vrtilna frekvenca tega motorja 6300 obratov na minuto.

Na Sliki 8 je prikazan razvoj navora. Navor je največji pri 4500 obratih na minuto.



Slika 7: Diagram moči Ottovega motorja
(Vir: Lastni vir)



Slika 8: Diagram navora Ottovega motorja
(Lastni vir)

4.2 IZRAČUN TERMIČNEGA IZKORISTKA DIZELKEGA MOTORJA

Drugi motor je štiritalni dizelski motor. Gre za štirivaljni, štiritalni motor z delovno prostornino 1896 cm^3 , kompresijsko razmerje je 19,5, maksimalna konjska moč je 63 KM/4200 rpm, maksimalni navor je 124 Nm/2000 rpm.

Enako kot pri Ottovem motorju je tudi za ta motor razmerje specifičnih toplot $k = 1,40$. Za izračun toplotnega izkoristka smo uporabili enačbo za izračun teoretičnega termičnega izkoristka dizelskega motorja. Teoretični termični izkoristek je maksimalni možni izkoristek, ki ga lahko doseže toplotni stroj v idealnem krožnem procesu. Kompresijsko razmerje je razmerje prostornine v valju, ko je bat v najnižji in v najvišji legi. Specifična toplota je toplota, ki je potrebna, da en kilogram snovi segrejemo za en kelvin.

$\eta_{th,dizel}$ – teoretični termični izkoristek

r – kompresijsko razmerje

$r_c(\varphi)$ – vbrizgovalno razmerje

k – razmerje specifičnih toplot

$$c_v = 0,718 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p = 1,005 \text{ kJ/kg}$$

$$k = 1,4$$

$$Q_{do,Diesel} = 1013,06 \text{ kJ}$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 293,15 \text{ K}$$

$$T_3 = 1850 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 2123,15 \text{ K}$$

$$r = 19,5 = (v_1 / v_2)$$

$$T_2 = ? \rightarrow 846,19 \text{ °C} \rightarrow 1119,34\text{K}$$

$$T_4 = ? \rightarrow 373,94 \text{ °C} \rightarrow 647,09\text{K}$$

$$r_c = ? \rightarrow 1,89$$

$$Q_{od} = ? \rightarrow 416,98 \text{ kJ}$$

$$\eta_{th,Diesel} = ? \rightarrow 65 \%$$

$$Q_{do} = c_{p23} (T_3 - T_2) \rightarrow T_2 = c_{p23} T_3 - Q_{do} \rightarrow T_2 = 1,005 * 1850 - 1013,06 \rightarrow T_2 = 846,19 \text{ °C}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{r} \right)^{k-1} \rightarrow T_4 = 2123,15 \left(\frac{1}{19,5} \right)^{1,4-1} \rightarrow T_4 = 647,09 \text{ K}$$

$$Q_{od} = c_{v23} (T_4 - T_1) \rightarrow Q_{od} = 0,718 (600,75 - 20) \rightarrow Q_{od} = 416,98 \text{ kJ}$$

$$r_c = \left(\frac{V_3}{V_2} \right) \rightarrow r_c = \left(\frac{T_3}{T_2} \right) \rightarrow r_c = \left(\frac{2123,15}{1119,34} \right) \rightarrow r_c = 1,89$$

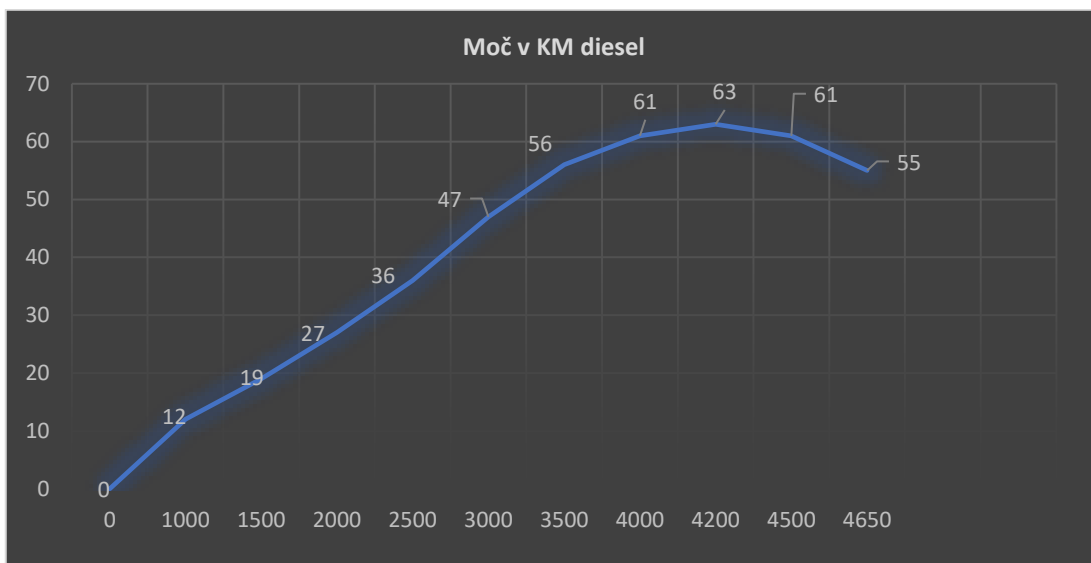
$$\eta_{th,dizel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \cdot \frac{(r_c^k - 1)}{k(r_c - 1)} \rightarrow \eta_{th,dizel} = 1 - \frac{1}{19,5^{1,4-1}} \cdot \frac{(1,89^{1,4} - 1)}{1,4(1,89 - 1)} \rightarrow \eta_{th,dizel} = 0,648 \rightarrow \eta_{th,dizel} = 65 \%$$

Teoretični termični izkoristek dizelskega MNZ nam pove, da bi bil možen teoretični termični izkoristek 65 odstotkov. Enako kot pri Ottovem motorju govorimo tudi pri tem o relativno visokih izkoristkih, saj je izračunan maksimalni teoretični izkoristek. Iz teh izračunov razberemo, da je teoretični termični izkoristek tega motorja 65 odstotkov.

Kot lahko vidimo iz slik 9 in 10, dizelski motor razvije skoraj maksimalni navor že pri 1000 obratih na minuto (117 Nm). To nam pove, da je ta motor zelo odziven že pri nižjih obratih in da je zmožen transportirati težji tovor pri manj delovnih obratih motorja. Iz Slike 10 tudi razberemo, da razvije ta motor maksimalni navor že pri 2000 obratih na minuto, in sicer 124 Nm.

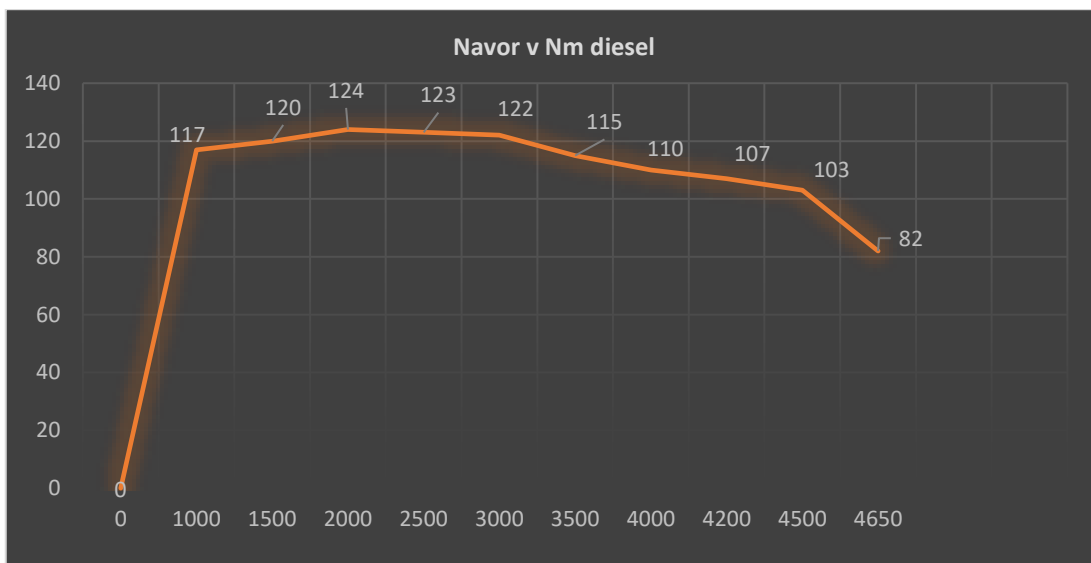
Iz Slike 9 razberemo, da dizelski motor razvije 63 konjskih moči pri 4200 obratih na minuto, vendar ima maksimalno vrtilno frekvenco 4500 obratov na minuto. V primerjavi z Ottovim MNZ-jem ima dizelski motor manj moči, a več navora pri manj obratih. Tudi krivulja diagrama kaže, da je navor skoraj konstanten skozi celotno delovno območje.

Na Sliki 9 vidimo razvoj moči dizelskega motorja. Največjo moč doseže pri 4200 obratih na minuto in znaša 63 konjskih moči. Po 4200 obratih začne moč padati, saj je maksimalna vrtilna frekvenca tega motorja 4500 obratov na minuto.



Slika 9: Diagram moči dizelskega motorja
(Lastni vir)

Slika 10 prikazuje razvoj navora, ki je največji pri 2000 obratih na minuto z 124 Nm.



Slika 10: Diagram navora dizelskega motorja
(Lastni vir)

4.3 UGOTOVITVE

Za primerjavo razlik smo izbrali dva različna motorja z notranjim zgorevanjem: Ottov motor in dizelski motor z notranjim zgorevanjem.

Zanimalo nas je, kateri izmed izbranih motorjev ima boljši termični izkoristek in kako proizvedeta moč in navor. Ottov motor z delovno prostornino 1493 cm^3 je štiritaljni, štirivaljni motor, ki proizvede 89 konjskih moči pri 6000 obratih na minuto in 119 Nm navora pri 4500 obratih na minuto, s kompresijskim razmerjem 9,2. Dizelski motor z delovno prostornino 1896 cm^3 je štiritaljni, štirivaljni motor, ki proizvede 63 konjskih moči pri 4200 obratih na minuto ter 124 Nm navora pri 2000 obratih na minuto, s kompresijskim razmerjem 19,5.

Potem ko smo izračunali teoretični termični izkoristek, ki za Ottov motor znaša 59 odstotkov, za dizelski pa 65 odstotkov, sklepamo, da ima v našem primeru dizelski MNZ približno za 6 odstotkov boljši termični izkoristek, kar se izkaže kot primerljivo z dejanskimi izkoristki, navedenimi v literaturi, in z navedbami proizvajalcev.

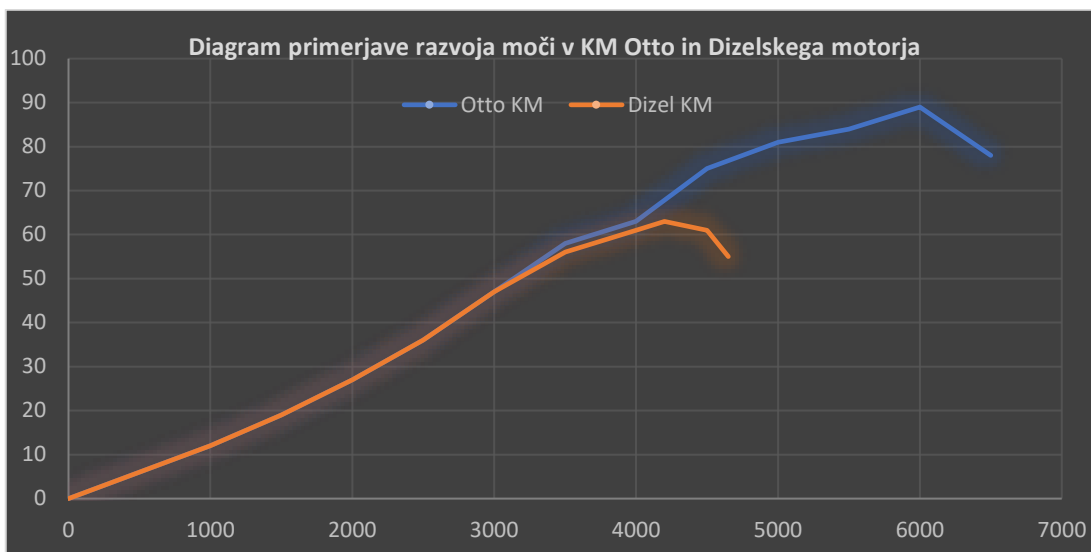
Po primerjavi diagramov lahko ugotovimo, kako motorja razvijeta moč in navor. Ottov motor razvije 89 KM moči, vendar jo doseže pri 6000 obratih na minuto, medtem ko dizelski motor doseže maksimalno moč 63 konjskih moči pri 4200 obratih na minuto. Ugotovimo, da je razlika maksimalne moči motorjev 26 konjskih moči.

Razlika se je pokazala tudi pri navoru. Ottov motor doseže maksimalni navor 119 Nm pri 4500 obratih na minuto, vendar pri manj obratih ne razvije veliko navora, če ga primerjamo pri 1000 obratih na minuto, ki je 54 Nm. Dizelski motor je v veliki prednosti. Čeprav doseže maksimalni navor 124 Nm pri 2000 obratih na minuto, je treba upoštevati, da ima skoraj konstanten navor od začetka obratovanja, torej ima pri 1000 obratih na minuto 117 Nm navora.

Ugotovili smo, da ima dizelski motor boljši termični izkoristek, v našem primeru je boljši za 6 odstotkov. Za transport težjih tovorov se je dizelski motor izkazal za bolj uporabnega, saj razvije večji navor pri manj obratih delovanja motorja, vendar manjšo moč pri več delovnih obratih. Bencinski Ottov motor se je izkazalo, da razvije več moči pri več obratih delovanja, kar pomeni, da je pospešek takšnega sistema boljši.

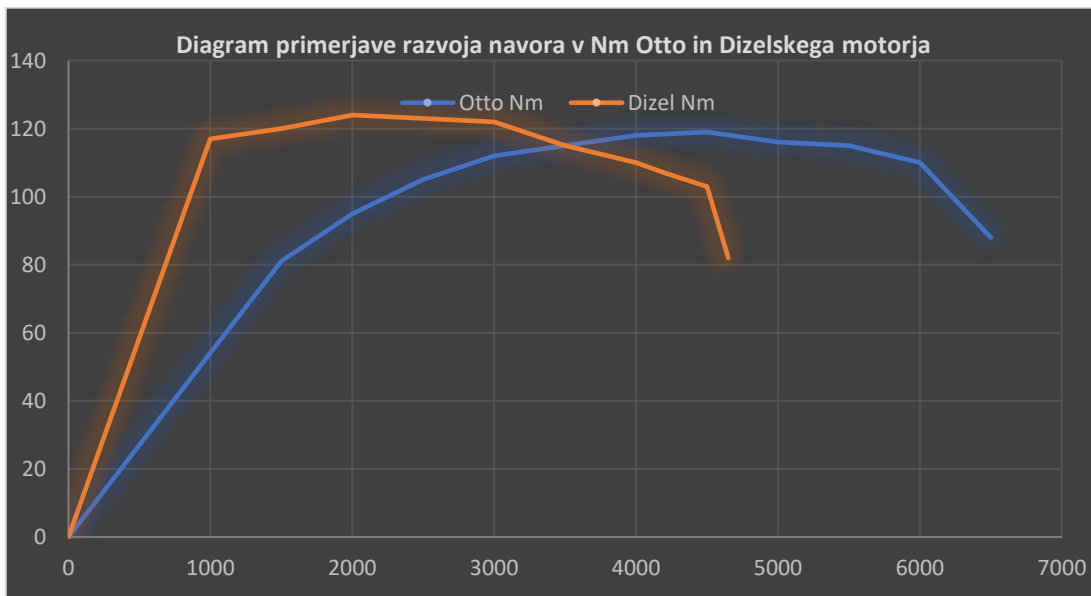
Na Sliki 11 in Sliki 12 smo s prekrivanjem prikazali razvoj moči in navora obeh motorjev. Slika 11 prikazuje prekrivanje moči Ottovega in dizelskega motorja, medtem ko slika 12 prikazuje prekrivanje navora Ottovega in dizelskega motorja.

Na sliki 11 lahko vidimo, kako sta motorja podobna pri razvijanju moči do približno 4200 obratov na minuto, kjer je maksimalna moč dizelskega motorja 63 KM, Ottov motor pa še vedno pridobiva moč vse do 6000 obratov na minuto, pri tej vrednosti razvije 89 KM moči.



Slika 11: Diagram moči Ottovega in dizelskega motorja (Lastni vir)

Na sliki 12 vidimo, kako dizelski motor že pri 1000 obratih na minuto razvije 117 Nm navora, medtem ko Ottov motor razvije samo 54 Nm navora. Dizelski motor razvije maksimalni navor, ki znaša 124 Nm, pri 2000 obratih na minuto, medtem ko Ottov motor pri 2000 obratih na minuto razvije 95 Nm navora. Maksimalni navor, ki ga doseže Ottov motor, je 119 Nm navora pri 4500 obratih na minuto.



Slika 12: Diagram navora Ottovega in dizelskega motorja (Lastni vir)

5 ZAKLJUČKI

Cilji diplomskega dela so bili primerjati dizelski in Ottov motor z notranjim zgorevanjem, pojasniti, kaj so prednosti enega in drugega motorja in z raziskavo ugotoviti, zakaj se v transportnih sistemih za težje tovore uporablja večinoma dizelske motorje z notranjim zgorevanjem in zakaj v osebnih vozilih bencinske Ottove motorje. Za neposredno primerjavo smo izbrali bencinski Ottov štiritaljni, štirivaljni motor s 1493 cm^3 delovne prostornine, ki proizvede 89 konjskih moči pri 6000 obratih na minuto ter 119 Nm navora pri 4500 obratih na minuto s kompresijskim razmerjem 9,2 ter dizelski motor, ki ima 1896 cm^3 delovne prostornine, je štiritaljni, štirivaljni motor, ki proizvede 63 konjskih moči pri 4200 obratih na minuto ter 124 Nm navora pri 2000 obratih na minuto s kompresijskim razmerjem 19,5. Oba motorja sta brez prisilnega polnjenja zraka, kar pomeni brez turbinskega ali kompresorskega polnjenja.

Glede na izračun teoretičnega termičnega izkoristka, ki za Ottov motor znaša 59 odstotkov, za dizelski motor pa 65 odstotkov, lahko trdimo, da ima v našem primeru dizelski motor 6 odstotkov boljši termični izkoristek, kar se izkaže primerljivo z dejanskimi izkoristki, navedenimi v literaturi, in v navedbah proizvajalcev. Termični izkoristek Ottovega in dizelskega motorja z notranjim zgorevanjem bi bil pri enakem kompresijskem razmerju boljši v Ottovem motorju, a zaradi višjih kompresijskih razmerij dosega boljše izkoristke dizelski.

Primerjava razvoja moči in navora v slikah 11 in 12 je pokazala, da bencinski Ottov motor proizvede več konjskih moči, medtem ko dizelski motor proizvede več maksimalnega navora in razvije skoraj celoten navor pri nizkih obratih. To pomeni, da je v našem primeru dizelski motor primernejši za uporabo v transportnem sistemu za transport težjega tovora. Bencinski Ottov motor razvije 89 konjskih moči, kar je 26 konjskih moči več, kot jih razvije dizelski motor, a ima manj navora. Pri nižjih obratih delovanja Ottov motor razvije za več kot polovico manj navora od dizelskega motorja. Torej bi bil v našem primeru tak motor bolj primeren za uporabo v transportnem sistemu za lažji tovor. Dizelski motor lahko premakne težak tovor, medtem ko Ottov motor to delo opravi težje, saj proizvede manj navora.

Za povečanje izkoristkov, moči in navora se danes uporabljajo turbinski polnilniki, ki pomagajo dovajati več zraka v motorje. Zavedamo se, da imajo današnji motorji z notranjim zgorevanjem veliko boljše izkoristke, moč in navor, kot so jih imeli motorji pred 20 leti. Nove tehnologije so povečale izkoristke motorjev z notranjim zgorevanjem. Turbinski polnilniki, hibridna tehnologija in novi materiali so pripomogli k temu, da današnji Ottovi in dizelski motorji dosegajo 50-odstotna izkoristke ter veliko večje moči in navore.

Glede na to, da postopoma prehajamo na alternativne pogone za transportne sisteme, kot so električne in vodikove celice, bomo klasične motorje z notranjim zgorevanjem uporabljali še vsaj do sredine trideset let tega stoletja. Med letoma 2030

in 2040 pa veliko držav napoveduje prepoved prodaje transportnih sistemov z motorjem z notranjim zgorevanjem na fosilna goriva.

Menimo, da so te napovedi preuranjene, saj je celotna infrastruktura oziroma celoten transport prilagojen za motorje z notranjim zgorevanjem. Zato se bodo takšni motorji uporabljali še veliko dlje, kot trenutno kaže trend. Glede izkoristkov bi se dalo še veliko izboljšati, saj tehnologija tako materialov kot goriva napreduje, zato bomo motorje z notranjim zgorevanjem uporabljali še vsaj nadaljnjih 15 do 20 let.

6 LITERATURA IN VIRI

Extrudesign. (2023). *What is 2 stroke engine?*. Pridobljeno 10. 1. 2023 z naslova <https://extrudesign.com/> .

Heywood, B.J. (1999). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw Hill, Inc.

Israel Urieli. *Engineering Thermodynamics*. Pridobljeno 10. 1. 2023 z naslova https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/air/air_Cp_Cv.html.

Kraut, B. I. (1997). *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Pawel Zal, *Automobile catalog*. (2023). Pridobljeno 10.1.2023 z naslova <https://www.automobile-catalog.com/#gsc.tab=0>.

Pulkrabek, W.W.. (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Wisconsin: Platteville

Stone, R. (1999). *Introduction to internal Combustion Engines*. Tretja izdaja London: Copyright Licensing Agency, 90 Tottenham Court Road, London W1P 9HE.

Tacer, M. (2016). *Termodinamika*, Pridobljeno 1. 7. 2017 z naslova <https://e-ucilnice.bb.si/course/view.php?id=162>.

Tacer, M. (2017). *Zapiski predavanj: Energetika*.

Tuma, M. in Sekavčnik, M. (2005). *Energetski stroji in naprave*. Tretja izdaja. Univerza v Ljubljani, Aškečeva cesta 6, Ljubljana.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo. Gradivo: *Batni motorji z notranjim zgorevanjem*. Pridobljeno 12.12.2022, z naslova https://studentski.net/gradivo/uljfstst2esn_sno_batni_motorji_z_notranjim_izgorevanjem_01.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo. Gradivo: *Motorji z notranjim zgorevanjem*. Pridobljeno 12.12.2022, z naslova https://studentski.net/gradivo/uljfstst2esn_sno_motorji_z_notranjim_zgorevanjem_01 .

Wikipedija, prosta enciklopedija. (2023). *History of the internal combustion engine*. Pridobljeno 15. 12. 2022 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_internal_combustion_engine.

Wikipedija, prosta enciklopedija (2015). *Izohorna sprememba*. Pridobljeno 15. 12. 2022 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Izohorna_sprememba.

Wikipedija, prosta enciklopedija (2015). *Izobarna sprememba*. Pridobljeno 15. 12. 2022 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Izobarna_sprememba.

Wikipedija, prosta enciklopedija (2019). *Entropija (klasična termodinamika)*. Pridobljeno 15. 12. 2022 z naslova [https://sl.wikipedia.org/wiki/Entropija_\(klasi%C4%8Dna_termodinamika\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Entropija_(klasi%C4%8Dna_termodinamika)).

Wikipedija, prosta enciklopedija. (2023). *Torque*. Pridobljeno 10. 1. 2023 z naslova <https://en.wikipedia.org/wiki/Torque>.