

Šolski center Celje  
Srednja šola za strojništvo, mehatroniko in medije

# PREDELAVA AVTOMOBILA NA ELEKTRIČNI POGON

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtorji:

Anže PLEVNIK, S-4. a  
Rok KRESNIK, S-4. a  
Grega KRAMAR, S-4. a

Mentor:

Roman ZUPANC, dipl. inž.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje  
Celje 2014

## **Povzetek**

Naša raziskovalna naloga predstavlja predelavo motorja Dacie Sandero, ki bo namesto motorja z notranjim izgorevanjem, uporabljala električni motor. Najprej smo se odločili raziskati trg, saj nas je zanimalo, kako masovno se takšne predelave izvajajo. Izvedeli smo, da te predelave niso pogoste in da je njihova izvedba precej zahtevna. Velik problem pri takšnih avtomobilih predstavljajo baterije, ki so zelo drage in zavzamejo velik del prostora avtomobila ter kratko prevožene razdalje, brez vmesnega polnjenja. Obiskali smo tudi slovenskega predelovalca avtomobilov v električne Andreja Pečjaka, ki nam je dal nekaj koristnih nasvetov za našo raziskovalno nalogo. Raziskovalna naloga predstavlja izdelavo vmesne plošče med menjalnikom motorja z notranjim izgorevanjem in električnim motorjem ter pesta električnega motorja, ki bo nadomestil predhodni motor. Za konstruiranje in iskanje idej smo kot raziskovalno metodo uporabili modelirnik Pro/ENGINEER in programa za analizo avtomobilov AutoData in Vivid. Pri tem smo se srečali z mnogimi težavami pri konstruiranju, saj so morale vse pozicije, ki so bile prisotne pri menjalniku in dizelskem motorju, sovpadati z novim izdelkom. Projekt smo uspešno zaključili. Pri konstruiranju in iskanju idej smo se srečali s številnimi avtomobilističnimi znanji ter ob tem spoznali tudi veliko novega v naši stroki.

## Kazalo vsebine

Kazalo slik .....	6
PRILOGE .....	8
1 UVOD.....	9
2 HIPOTEZE .....	11
2.1 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD.....	11
2.2 POT DO SODELOVANJA V PROJEKTU IN IDEJE .....	12
2.3 ISKANJE MOŽNIH REŠITEV ZA OBLIKO VMESNE PLOŠČE IN PESTA.....	13
4 RAZISKAVA PREDHODNO IZVEDENIH PREDELAV .....	14
4.1 DRUGE PREDELAVE .....	14
4.2 PREDELAVE INŠTITUTA METRON .....	15
4.2.1 Predelava bencinske Dacie Sandero.....	15
4.2.2 Predelava dizelskega Renault Kangoo .....	16
5 POSTOPEK KONSTRUIRANJA IN IZDELAVE IZDELKA .....	17
6 PREDSTAVITEV PROBLEMA.....	19
6.1 IZBRIRA PRIMERNIH MATERIALOV IN KOMPONENT .....	20
7 PRERAČUN.....	21
7.1 PRERAČUN VIJAKOV PESTA NA STRIG .....	21
7.2 PRERAČUN PREDVIDENEGA VIJAKA PODLOŽKE NA DOPUSTNO SILO NATEGA .....	22
7.3 PRERAČUN ZA IZBIRO MATERIALA PESTA.....	23
8 IZBRANE KOMPONENTE IN MATERIALI .....	24
8.1 SUROVEC VMESNE PLOŠČE .....	25
8.1.1 Lastnosti izbranega materiala.....	25
8.2 SUROVEC PESTA.....	26
8.2.1 Lastnosti izbranega jekla za poboljšanje 42CrMo4 .....	26

8.3 LEŽAJ 6008-2RS .....	27
8.3.1 Karakteristike ležaja 6008-2RS.....	27
8.4 INBUS VIJAKI M10 .....	28
8.4.1 Karakteristike inbus vijakov M10.....	28
8.5 VIJAKI S ŠESTROBO GLAVO M10 IN VIJAK M8 .....	29
8.5.1 Karakteristike predelanih vijakov M10:.....	29
8.5.2 Karakteristike vijaka M8:.....	29
9 IZDELAVA IN PREDELAVA IZDELKOV.....	30
9.1 PESTO .....	30
9.1.1 Grobo struženje pesta.....	31
9.1.2 Merjenje lukenj vztrajnika .....	32
9.1.3 Toplotna obdelava pesta.....	32
9.1.4 Obdelava na žični električni eroziji.....	33
9.1.5 Končna obdelava pesta.....	34
9.2 PODLOŽKA ZA PRITRDITEV PESTA .....	34
9.3 PREDELAVA PRIROBNE PLOŠČE ELEKTRIČNEGA MOTORJA IN ROTORJA .....	35
9.4 VMESNA PLOŠČA .....	36
9.4.1 Struženje plošče.....	37
9.4.2 CNC-obdelava plošče.....	37
9.4.3 Izdelava odmika za gnano gred.....	38
10 SESTAVA IN PREIZKUS .....	38
10.1 SESTAVA .....	39
10.1.1 Lepljenje ležaja v prirobno ploščo motorja.....	39
10.1.2 Pritrditev vmesne plošče na prirobno ploščo električnega motorja .....	40
10.1.3 Vležajenje in pritrditev pesta na gred.....	40

10.1.4 Pritrditev vztrajnika na pesto.....	41
10.1.5 Sestava komponent vztrajnika.....	41
10.1.6 Povezava vmesne plošče z menjalnikom .....	42
10.1.7 Nosilci sklopa.....	42
10.2 PREIZKUS .....	43
11 PREDSTAVITEV REZULTATOV .....	44
12 ZAKLJUČEK .....	45
13 ZAHVALA .....	46
14 VIRI IN LITERATURA.....	47

## Kazalo slik

<b>Slika 1:</b> Predelani pogonski del motorja .....	9
<b>Slika 2:</b> 3D eksplozijski pogled sklopa .....	10
<b>Slika 3:</b> 3D model celotnega sklopa .....	10
<b>Slika 4:</b> Programa Vivid in Autodata.....	11
<b>Slika 5:</b> Preučevanje motorja .....	12
<b>Slika 6:</b> 3D-eksplozijska risba ene izmed sestav inštituta Metron.....	13
<b>Slika 7:</b> Inštitut Metron [11] .....	15
<b>Slika 8:</b> Zmagovalna Dacia Sandero [12] .....	15
<b>Slika 9:</b> Pogonski del Renault Kangooja [13].....	16
<b>Slika 10:</b> Konstruiranje .....	17
<b>Slika 11:</b> Modeliranje vmesne plošče .....	18
<b>Slika 12:</b> Modeliranje pesta .....	18
<b>Slika 13:</b> Evolventni profil po DIN 5480 [10].....	23
<b>Slika 14:</b> Surovec vmesne plošče.....	25
<b>Slika 15:</b> Surovca pesta.....	26
<b>Slika 16:</b> Ležaj .....	27
<b>Slika 17:</b> Inbus vijak [14].....	28
<b>Slika 18:</b> Vijak s šestrobno glavo [15].....	29
<b>Slika 19:</b> Končano pesto z ležajem .....	30
<b>Slika 20:</b> Grobo struženje pesta .....	31
<b>Slika 21:</b> Merjenje vztrajnika.....	32
<b>Slika 22:</b> Toplotna obdelava pesta .....	32
<b>Slika 23:</b> Obdelava na žični električni eroziji .....	33
<b>Slika 24:</b> Fina obdelava pesta .....	34
<b>Slika 25:</b> Struženje podloške .....	34
<b>Slika 26:</b> Vpeti rotor .....	35
<b>Slika 27:</b> Sedež ležaja .....	35
<b>Slika 28:</b> Priprava na delo .....	36
<b>Slika 29:</b> Struženje vmesne plošče.....	37
<b>Slika 30:</b> CNC-obdelava .....	37
<b>Slika 31:</b> Rezkanje odmika .....	38

<b>Slika 32:</b> Sestavljanje sklopa .....	38
<b>Slika 33:</b> Lepljenje ležaja.....	39
<b>Slika 34:</b> Pritrditev vmesne plošče.....	40
<b>Slika 35:</b> Pritrjevanje pesta .....	40
<b>Slika 36:</b> Pritrjevanje vztrajnika .....	41
<b>Slika 37:</b> Komponente vztrajnika .....	41
<b>Slika 38:</b> Povezava sklopa .....	42
<b>Slika 39:</b> Nosilec sklopa .....	42
<b>Slika 40:</b> Vgrajeni motor v predelani Daciji .....	43

**PRILOGE**

<b>Priloga 1:</b> Pesto.....	48
<b>Priloga 2:</b> Vmesna plošča pogled A .....	49
<b>Priloga 3:</b> Vmesna plošča pogled B.....	50
<b>Priloga 4:</b> Podložka .....	51
<b>Priloga 5:</b> Kosovnica .....	52
<b>Priloga 6:</b> Načrt električnega motorja.....	53



## 1 UVOD

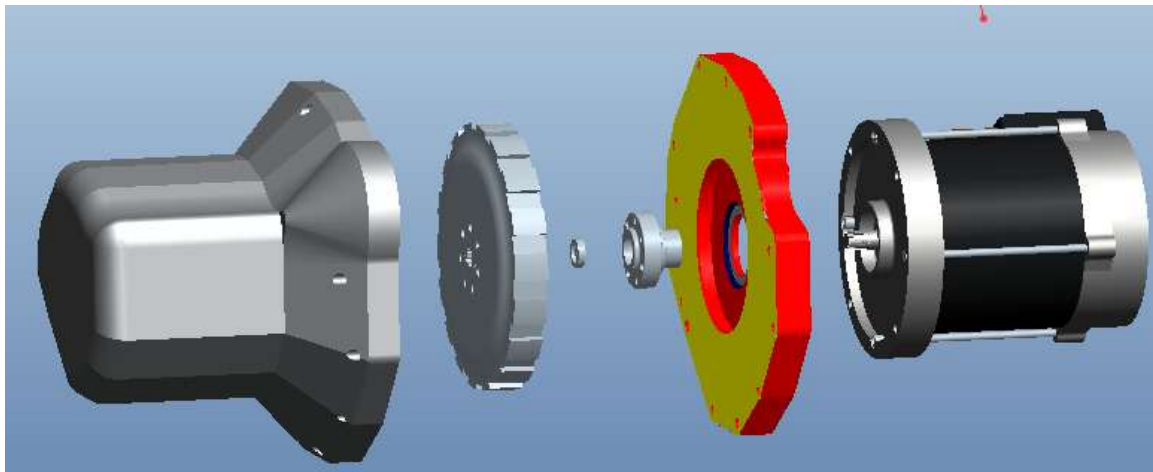
Cilj naše naloge je izdelati vmesno ploščo in pesto za električni motor, ki bo nadomestil dizelski motor z notranjim izgorevanjem. Izdelati smo si želeli čim bolj originalno in natančno izvedbo teh delov, tako da bo možen hiter in enostaven dostop do menjalnika pri morebitnem popraviljanju avtomobila. Velik poudarek smo morali dati na natančnost, saj bi najmanjša odstopanja v konstruiranju in izdelavi pomenile napako pri samem delovanju motorja.

Namen vmesne plošče je držati pozicijo povezave med menjalnikom in električnim motorjem. Pesto na električnem motorju pa mora biti osno poravnana z gredjo menjalnika, da se pojavlja čim manj tresljajev. Vmesno ploščo je bilo potrebno na sredini narediti čim tanjšo zaradi teže in pesto narediti tako, da je bila razdalja med novim pestom in gredjo menjalnika kar se le da majhna – tako bomo namreč lahko preprečili pojavljanje prevelikih upogibnih in torzijskih sil, ki bi ozobljenja v pestu in na gredi poškodovale in bi jih bilo potrebno večkrat zamenjati.

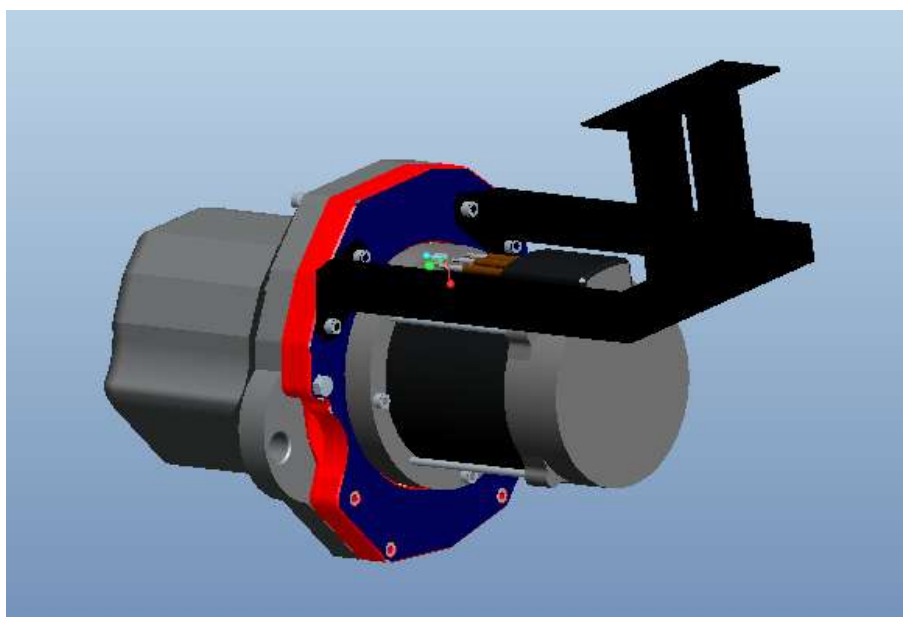


**Slika 1:** Predelani pogonski del motorja

Celoten sklop deluje tako, da se vrtilni moment preko pesta, ki je na električnem motorju, prenese na vztrajnik, ki je nameščen na gred menjalnika. Funkcija menjalnika je enaka, kot je bila pri motorju z notranjim izgorevanjem.



**Slika 2:** 3D eksplozijski pogled sklopa



**Slika 3:** 3D model celotnega sklopa

## 2 HIPOTEZE

Na osnovi opravljenih raziskav načrtov motorja, ki so bili na voljo, in raziskovanja zastavljenega problema smo si zadali naslednje hipoteze.

- Hipoteza 1: Izvedba takšnega projekta je možna.
- Hipoteza 2: Izdelek je narejen preprosto in enostavno za demontažo.

### 2.1 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD

Pri raziskovalnem delu uporabljamo različne metode raziskovanja. Najprej je potrebno pridobiti čim več informaciji glede našega predmeta raziskovanja, nato pa preučiti strokovno literaturo, kar smo napravili s pomočjo spletnih virov in strokovne literature.

Kot literaturo smo uporabili tudi programa AutoData in Vivid, ki vsebujeta nekatere načrte posameznih delov avtomobila.

Raziskovalna metoda v našem primeru pa je tudi konstruiranje delov v modelirnem programu Pro/Engineer. S pomočjo njega smo si lažje predstavljali celoten sklop motorja in menjalnika ter preučili morebitne probleme pri izvedbi izdelka. Z njim smo tudi skonstruirali vse potrebne dele.



Slika 4: Programa Vivid in Autodata

## 2.2 POT DO SODELOVANJA V PROJEKTU IN IDEJE

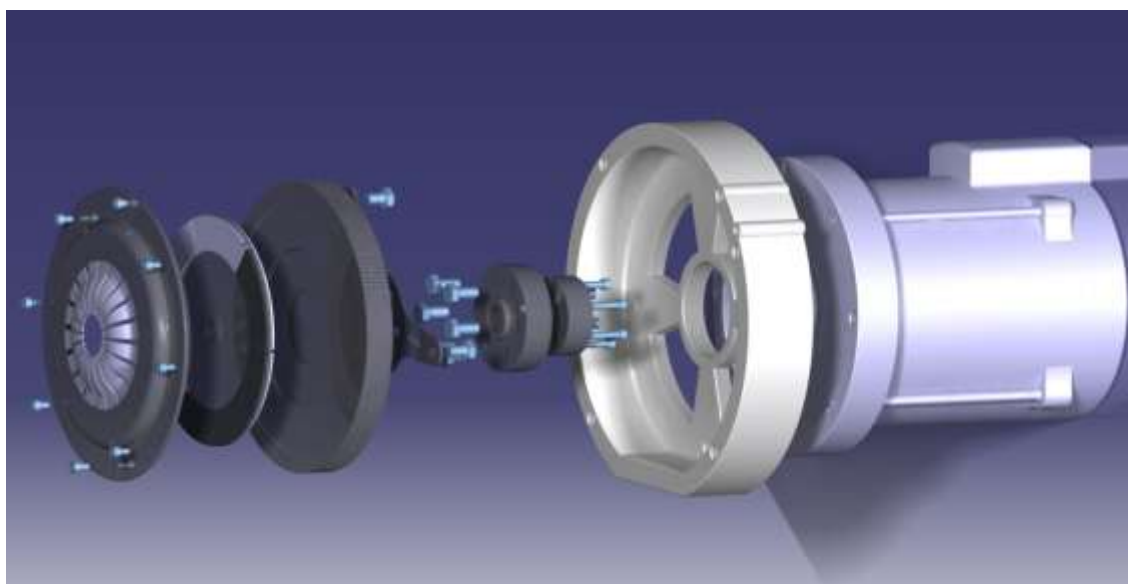
Srednja šola za storitvene dejavnosti in logistiko Celje je v letošnjem letu začela s projektom izdelave električnega avtomobila in so potrebovali nekoga, ki bi skonstruiral in izdelal vmesno ploščo in povezavo med električnim motorjem in menjalnikom. Za nalogo so povedali našemu mentorju in profesorju, ki je vprašal naš razred, če bi koga takšna naloga zanimala. Naša ekipa se je zelo zainteresirala za projekt, zato smo si najprej želeli ogledati avtomobil, da bi dobili osnovno idejo naloge. Tam nam je profesor Maks Pišotek, ki je ta projekt vodil, podrobno razložil osnovno idejo naloge in osnove glede menjalnika in motorja, saj sami na tem področju nismo imeli dovolj znanja. Vedeli smo, da naloga ni enostavna in bo potrebno vložiti veliko truda in strokovnega znanja, a zaradi razloga, da se bomo naučili veliko novega, smo se lotili izziva. Želeli smo si izvedeti več o takšnih predelavah in po krajšem brskanju po internetu smo naleteli na inštitut Metron, ki ga vodi Andrej Pečjak. Prosili smo ga, če nas lahko pouči o takšnih predelavah in nam da kakšen nasvet. Na inštitutu nas je gospod Pečjak toplo sprejel in nam razkazal vse, kar se je trenutno dogajalo v njegovi delavnici. Tam smo dobili še večjo motivacijo za izdelavo in mnogo ključnih informacij. Med potekom izdelave smo še veliko spremenili in močno izboljšali osnovno idejo.



**Slika 5:** Preučevanje motorja

### 2.3 ISKANJE MOŽNIH REŠITEV ZA OBLIKO VMESNE PLOŠČE IN PESTA

Osnovna ideja je bila izdelati ploščo, ki bo z ene strani pritrjena na menjalnik, na drugi pa bo pritrjen električni motor, ter izdelati pesto za električni motor, na katerega bo pritrjen vztrajnik motorja. Ideja se zdi precej preprosta in enostavna za konstruiranje, realnost pa je drugačna. Pri konstruiranju smo se srečali s številnimi merami pozicij komponent motorja, neznanimi podatki mer delov motorja in tolerancami, saj bi najmanjša odstopanja pomenila poškodbo posameznih komponent. Motor je nekajkrat lažji od dizelskega, zato smo za vmesno ploščo uporabili lahek in enostaven material. Naloga, ki smo jo dobili od Srednje šole za storitvene dejavnosti in logistiko Celje je bila izdelati ploščo, ki drži pozicijo motorja z menjalnikom. Odločili smo se izdelati ploščo z majhno težo in z natančnim prilaganjem menjalniku. Za pesto je bila naloga jasna, prilegati se mora na ozobljenje gredi električnega motorja in pozicijskim meram. Najprej smo ga nameravali izdelati iz dveh delov, nato pa nam je profesor svetoval, da bo veliko lažje in bolj funkcionalno, če bo izdelan iz osnovnega dela in podložke, ki bo pritrjena na ozobljeno gred. Ker pa si morata motorna gred in gred menjalnika biti čim bližje, je bilo potrebno pesto narediti tako, da se bo čim dlje nalegalo na ozobljeni del gredi motorja. Na ta način bi zmanjšali tresljaje, ki bodo nastajali med obratovanjem, in možnost napak pri sami izvedbi, saj če se pojavi napaka, se z večanjem razdalje tudi napaka povečuje.



**Slika 6:** 3D-eksplozijska risba ene izmed sestav inštituta Metron

## **4 RAZISKAVA PREDHODNO IZVEDENIH PREDELAV**

Vedeli smo, da takšne predelave ne bomo izvedli prvi in da so jih izvedli že pred nami, zato smo se odločili prebrskati splet, saj knjižne literature glede takšnih predelav v slovenskem jeziku nismo zasledili. Našli smo veliko spletnih strani drugih držav, slovenska pa je bila izpostavljena samo ena. V Sloveniji imamo le en inštitut, ki izvaja predelave avtomobilov v električne, ki ga vodi Andrej Pečjak s svojo ekipo zelo sposobnih inženirjev strojništva in elektronike. Na spletu smo izvedeli, da je Pečjak v svoji predelani Daciji Sandero na 14. reliju Monte Carlo des energies nouvelles osvojil skupno zmago v porabi in prvo mesto med električnimi vozili. Odločili smo se poklicati na inštitut in izvedeti, kar se le da veliko informacij glede njihovih predelav pogonskega dela avtomobila. Inštitut smo si odšli tudi ogledat in lahko smo videli vse od prvih predelav in njihovih pomanjkljivosti, pa vse do najnovejših predelav, na katerih so te pomanjkljivosti odstranili.

### **4.1 DRUGE PREDELAVE**

Po pridobljenih informacijah iz spleta smo se odločili, da si bomo ogledali nekaj predelav, ki jih je izvedel Metron inštitut. Na ogledu inštituta so nam razkazali predelave, ki so jih izvedli in jih izvajajo, izboljšave, ki so jih implicirali na novih, ter težave, s katerimi so se pri njih soočali. Za nas je bila najbolj pomembna predelava pogonskega dela avtomobilov. Po končanem zbiranju informacij, smo si zadali njihove ideje nadgraditi in izboljšati.

## 4.2 PREDELAVE INŠTITUTA METRON



Slika 7: Inštitut Metron [11]

### 4.2.1 Predelava bencinske Dacie Sandero

Odločili smo se podrobneje raziskati predelavo njihove zmagovalne Dacie Sandero. Ob podrobnejši raziskavi smo ugotovili, da se precej razlikuje od naše dizelske Dacie, saj smo opazili razlike v pozicijah motorja in menjalnika ter posameznih oblikah delov. Ta Dacia lahko z enim polnjenjem prevozi tudi do 400 km. Prednost njihove Dacie od naše je v tem, da ima njihov bencinski menjalnik boljše prestavno razmerje glede na to, da so pri bencinskem motorju višji obrati, ki bodo prav tako prisotni pri električnem motorju. Za njega so uporabili precej več časa, kot pri drugih predelavah, saj je bil izdelan za tekmovanja. Za naše raziskovanje in konstruiranje smo iz te predelave lahko prevzeli le osnovne ideje.



Slika 8: Zmagovalna Dacia Sandero [12]

#### 4.2.2 Predelava dizelskega Renault Kangoo

Veliko bolj zanimiva za našo raziskavo je bila predelava Renault Kangooja, saj uporablja dizelski Renaultov motor, ki je skoraj identičen motorju naše Dacie. Opazili smo, da so se prilagodili obliki menjalnika in naredili vmesno ploščo čim lažjo. Iz slik na spletu in ogleda motorja na inštitutu smo si začeli ustvarjati ideje, kako njihovimi nasveti izboljšati predelavo. Glavna težava, ki se je pri njih pojavila, je bili nepravilno pozicioniranje, saj so se pojavili tresljaji in se je motor pri obratovanju aksialno premikal, kar je potrdilo naša predvidevanja, kaj se zgodi, če se pojavijo najmanjše napake pri izdelavi in pozicioniranju.

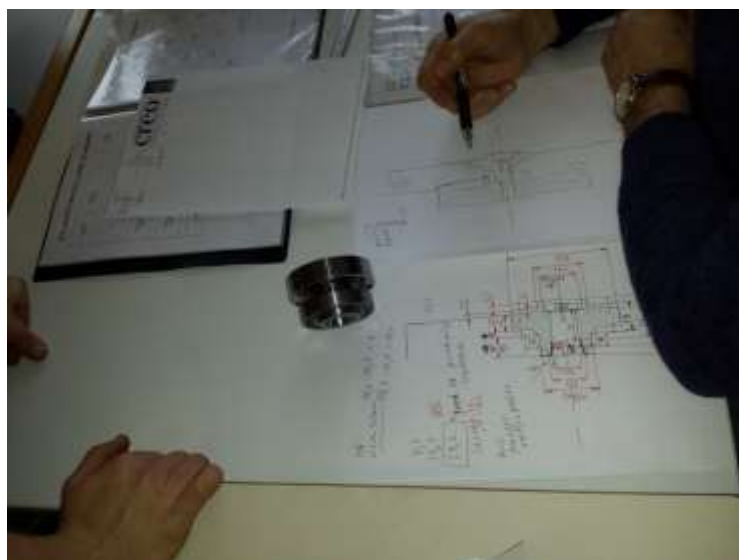


**Slika 9:** Pogonski del Renault Kangooja [13]



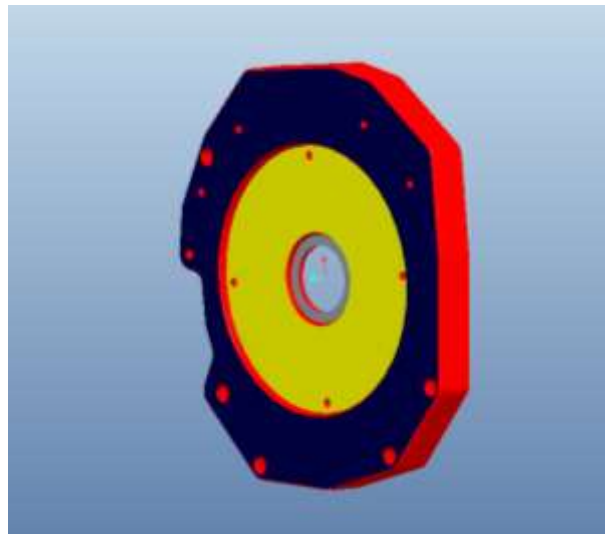
## 5 POSTOPEK KONSTRUIRANJA IN IZDELAVE IZDELKA

Začetek načrtovanja in izdelave je bila dostava dizelskega motorja z menjalnikom in električnega motorja z rotorjem na našo šolo. Ta dva dela sta bila glavno vodilo za izdelavo vmesne plošče in pesta. Začeli smo z meritvami pozicij vztrajnika v menjalniku in dizelskim motorjem, saj more biti takšna pozicija tudi pri električnem motorju. Najbolj pomembno nam je bilo to, da bo po končani izdelavi vztrajnik na isti poziciji v menjalniku, kot je bil prej. Da pa bo ta pogoj izpolnjen, moramo pravilno skonstruirati pesto, po katerem smo kasneje zasnovali še vmesno ploščo, ki se bo prilegala na menjalnik. Ker smo si želeli izdelek narediti natančno po obliki menjalnika in zadeti vse položaje izvrtin, smo napravili meritve le tega na CNC-merilnem stroju. Merjenje na stroju je bilo zelo zahtevno, saj ima menjalnik neenakomerno obliko in nikjer ni bilo mogoče zaslediti nobene simetrije.

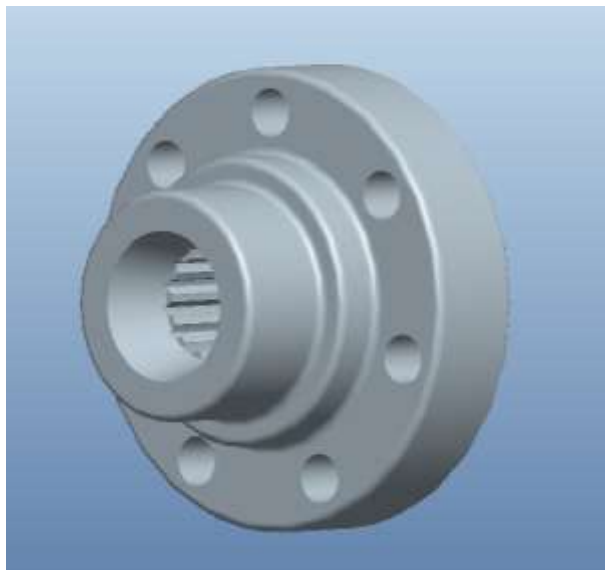


**Slika 10:** Konstruiranje

Po opravljenih meritvah smo najprej skonstruirali samo obliko vmesne plošče in približno obliko pesta s CAD/CAM programom ProEngineer. Skonstruirani obliki smo ob nadaljnjih meritvah električnega motorja in pozicij dopolnjevali. Programska oprema ProEngineer nam je omogočila konstruiranje 3D-modelov in izdelavo njihovih načrtov. Celoten postopek načrtovanja je ta programska oprema zelo olajšala, saj smo si s 3D-modeli in sestavami lažje pomagali pri iskanju rešitev problemov, ki so se nam pojavljali pri konstruiranju in vizualni podobi končnih izdelkov.



**Slika 11:** Modeliranje vmesne plošče



**Slika 12:** Modeliranje pesta

## 6 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Pri raziskovanju smo naleteli na številne manjše težave, ki smo jih rešili z naprednimi obdelovalnimi stroji in konstruiranjem delov v CAD/CAM programu ProEngineer. Prva težava se je pojavila pri ozobljenju rotorja električnega motorja, saj ima evolventno ozobljenje. Takšno ozobljenje je zelo zahtevno za izdelavo. Prva ideja je bila izdelati ozobljenje z pehanjem, a bi bila izdelava zelo zahtevna in dolgotrajna. Odločili smo se, da bomo naredili obliko evolventnega ozobljenja kar sami z modelirnim programom Pro/Engineer in s strokovno literaturo, ki vsebuje potrebne enačbe za izdelavo takšne oblike. Iz oblike smo ustvarili program, ki smo ga kasneje uporabili na žični električni eroziji. Velik problem so nam predstavljale tudi luknje na vztrajniku, ki jih je bilo potrebno prenesti na pesto. Te luknje niso bile razporejene po delilnem krogu in so bile zamaknjene. Predvidevali smo, da so zamaknjene zato, da se ne uporabljajo deli drugih proizvajalcev avtomobilov. Ker pa je bilo potrebno izdelek narediti natančno in brez napak, smo pozicije lukenj določili s pomočjo CNC-merilnega stroja. Naslednji problem je bilo centriranje pri struženju pesta in glavne plošče električnega motorja, ki smo ga rešili z natančnim vpenjanjem in pripomočki za struženje. Pojavila se je tudi težava z izvrtinami na vmesni plošči, ker smo morali koordinate izvrtin iz CNC-merilnega stroja prilagoditi obdelovalnem stroju in jih pravilno tudi obrniti ter predvidevati potrebne globine izvrtin. Predvideti jih je bilo potrebno tako, da je dostop do vijakov možen neovirano in ne bo problemov pri servisiranju menjalnika ali motorja. Prav tako je bilo potrebno skonstruirati izvrtine za pritrditev motorja na vmesno plošči in nosilce, ki bodo nosili celoten sklop.

## **6.1 IZBRIRA PRIMERNIH MATERIALOV IN KOMPONENT**

Za vmesno ploščo smo morali najti material, ki je lahek in odporen na zunanje razmere, zato smo izbrali aluminij. Teža je bila za nas pomembna zato, ker vsak odvzet kilogram predstavlja večjo prevoženo razdaljo brez polnjenja. Aluminij je enostaven za obdelavo, lahek in odporen na zunanje razmere. Pesto pa je bilo potrebno izdelati iz materiala, ki bo imel visoko trdoto in žilavost, saj se bo preko njega iz motorja prenašal vrtilni moment na menjalnik. Material smo izbrali s pomočjo preračuna torzije in ga poiskali v Strojniškem priročniku. Pesto smo tudi uležajili, kar je zmanjšalo ročico od gredi do vztrajnika. Ker je bilo potrebno vse sklope tudi povezati v razstavljive zveze, smo uporabili vijake.

## 7 PRERAČUN

### 7.1 PRERAČUN VIJAKOV PESTA NA STRIG

Podatki za izračun torzijskega momenta:

1.  $P = 45\text{kW}$ ,
2.  $n = 7000\text{ min}^{-1}$ .

Podatki za preračun vijakov na strig:

3.  $D = 8.376\text{ mm}$ ,
4.  $\tau_{\text{sdop}} = 282\text{ N/mm}^2$ ,
5.  $N$  (število vijakov) = 7,
6.  $r$  (polmer približnega delilnika vijakov) = 32.5 mm.

Preračun na strig:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 7000}{30} = 733\text{ s}^{-1}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{45000}{733} = 61.4\text{ Nm}$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{95.5}{0.0325} = 1889.2\text{ N}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8.376^2}{4} = 55.1\text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{N \cdot A} = \frac{1889.2}{7 \cdot 55.1} = 4.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \tau_{\text{sdop}}$$

Ker je izračunana strižna sila manjša od dopustne, je premer teh vijakov zadosten.

## 7.2 PRERAČUN PREDVIDENEGA VIJAKA PODLOŽKE NA DOPUSTNO SILO NATEGA

Podatki za izračun:

1.  $\sigma_{\text{dop}} = 320 \text{ N/mm}^2$ ,

2.  $D = 7.188 \text{ mm}$ .

Preračun:

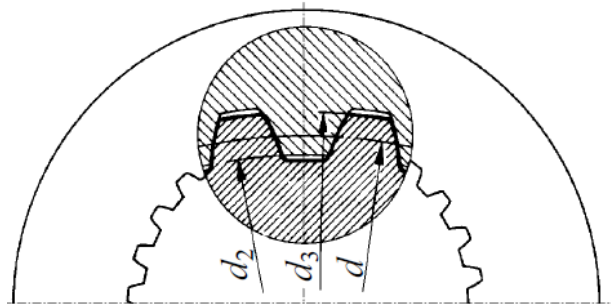
$$F = \sigma_{\text{dop}} \cdot A = \frac{320 \cdot \pi \cdot 7.188^2}{4} = 12985.4 \text{ N}$$

Sila, ki bi bila potrebna, da bi se vijak deformiral je približno 1.3 t.

### 7.3 PRERAČUN ZA IZBIRO MATERIALA PESTA

Podatki za preračun bočnega tlaka evolventnega ozobljenja:

1.  $T = 61.4 \text{ Nm}$ ,
2.  $D = 19.25 \text{ mm}$ ,
3.  $D_2 = 17.5 \text{ mm}$ ,
4.  $D_3 = 19.75 \text{ mm}$ ,
5.  $k = 1.35$ ,
6.  $l = 31.5 \text{ mm}$ ,
7.  $z = 14$ .



**Slika 13:** Evolventni profil po DIN 5480 [10]

Izračun:

$$h = \frac{(d_3 - d_2)}{2} = \frac{(19.75 - 17.5)}{2} = 1.125 \text{ mm}$$

$$d_{sr} = \frac{(d_2 + d_3)}{2} = \frac{(17.5 + 19.75)}{2} = 18.625 \text{ mm}$$

$$p = \frac{k \cdot 2 \cdot T}{d_{sr} \cdot h \cdot l \cdot z} \leq p_{dop}$$

$$p = \frac{1.35 \cdot 2 \cdot 61.4}{0.018625 \cdot 0.001125 \cdot 0.0315 \cdot 14} = 17940921.33 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 17.941 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

S pomočjo izračunanega bočnega tlaka, bomo lahko izbrali primeren material za pesto.

## **8 IZBRANE KOMPONENTE IN MATERIALI**

Preden smo lahko začeli z izdelavo, je bilo potrebno določiti parametre vseh potrebnih komponent in materialov. Ta naloga ni bila enostavna, saj smo veliko komponent morali predelati in izbrati tako, da bo možno potrditi naše hipoteze. Manj težav je bilo pri izbiri primernih materialov, saj je današnja kovinska industrija zelo napredna in nudi vse vrste in kvalitete materialov.



## 8.1 SUROVEC VMESNE PLOŠČE

Za material vmesne plošče smo uporabili aluminijevo zlitino, saj odgovarja vsem našim želenim specifikacijam glede vmesne plošče. Za surovec smo izbrali ploščo dolžine 410 mm, širine 360 mm in debeline 40 mm. Biti je moral večji, da smo ga lahko najprej grobo obdelali za lažje vpetje v stružnico in kasneje v rezkalni stroj. Naročili smo 3 surovce, saj bi v primeru kakršnekoli napake, morali začeti z novim izdelkom.

### 8.1.1 Lastnosti izbranega materiala

Lastnosti materiala so:

1. visoka odpornost proti koroziji,
2. majhna specifična teža,
3. enostavnost pri obdelavi,
4. dolga življenjska doba.



**Slika 14:** Surovec vmesne plošče

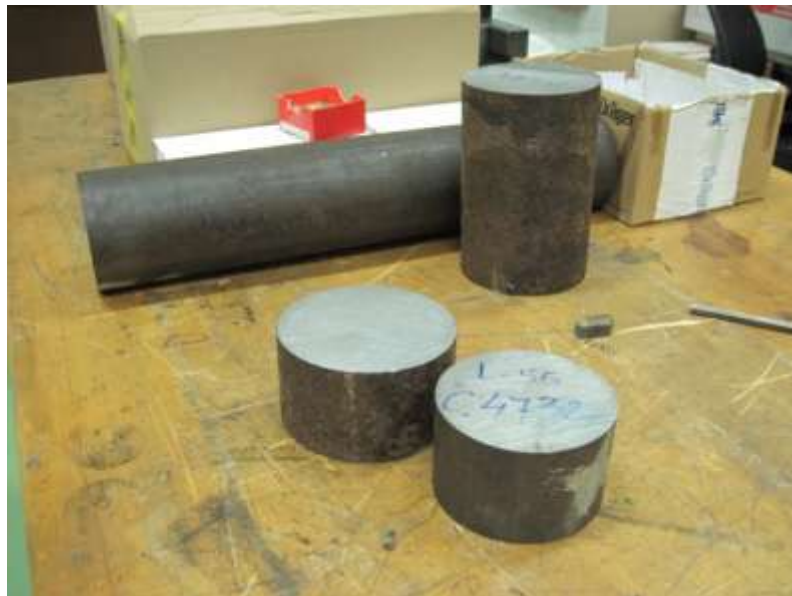
## 8.2 SUROVEC PESTA

Za material pesta smo uporabili 42CrMo4, ki ima vse mehanske lastnosti, ki jih potrebujemo glede na naš izračun. Za izdelavo smo uporabili surovec premera 90 mm in dolžine 60 mm. Ker je pesto potrebno tudi kaliti in sama obdelava ni kratka, smo v šolskem skladišču poiskali konstrukcijsko jeklo, ki smo ga namenili za preizkus celotne izdelave pesta. Na ta način smo predhodno rešili morebitne težave obdelave izdelka.

### 8.2.1 Lastnosti izbranega jekla za poboljšanje 42CrMo4

Lastnosti materiala po toplotni obdelavi:

1. trdota: 34 HRC,
2. žilavost KU = 25 J,
3. odpornost proti deformacijam in obrabi,
4. natezna trdnost  $R_m = 1000 \text{ N/mm}^2$ .



**Slika 15:** Surovca pesta

### 8.3 LEŽAJ 6008-2RS

Ležaj smo izbrali glede na premer pesta in praktičnega znanja, ki smo ga pridobili na šoli. Izbrali smo 2RS, ker so ti ležaji tudi odporni proti zunanjim razmeram, saj so dvakratno tesnjeni.

#### 8.3.1 Karakteristike ležaja 6008-2RS

Karakteristike so:

1. ime ležaja: 6008-2RS Premium seal bearing ABEC3,
2. znamka: ABEC3,
3. zunanji premer ležaja: 68 mm,
4. notranji premer ležaja: 40 mm,
5. širina ležaja: 15 mm,
6. material: krom železo (GCr15).



Slika 16: Ležaj

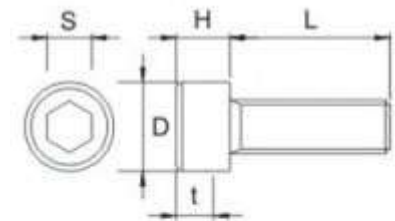
## 8.4 INBUS VIJAKI M10

Da bi bil celoten sklop sestavljen v razstavljivo zvezo, smo menjalnik, vmesno ploščo in motor povezali z inbus vijaki, ki smo jih skrili v material z izdelavo sedežev za vijake. Vijake smo skrili zaradi vizualnega zglada izdelka in da ne bi ovirali morebitnih drugih komponent, ki bodo v bližini sklopa v avtomobilu.

### 8.4.1 Karakteristike inbus vijakov M10

Karakteristike so:

1.  $D = 16 \text{ mm}$ ,
2.  $H = 10 \text{ mm}$ ,
3.  $L = 60 \text{ mm}$ ,
4.  $S = 8 \text{ mm}$ ,
5. razred vzdržljivosti: 8.8,
6.  $P$  (korak) = 1.5 mm,
7. standard: ISO 4762.



**Slika 17:** Inbus vijak [14]

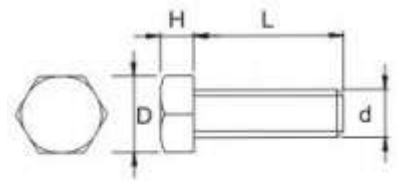
## 8.5 VIJAKI S ŠESTROBO GLAVO M10 IN VIJAK M8

Za povezavo med pestom in vztrajnikom smo uporabili vijake s šestrobno glavo, kot so bili uporabljeni tudi pri dizelskem motorju. Ker nismo našli standardne vijake z višino glave, ki smo jih potrebovali, smo se odločili vijake z večjo glavo rahlo predelati in jih na stružnici malo posneti.

### 8.5.1 Karakteristike predelanih vijakov M10:

Karakteristike so:

1.  $D = 20 \text{ mm}$ ,
2.  $H = 5 \text{ mm}$ ,
3.  $L = 25 \text{ mm}$ ,
4. razred vzdržljivosti: 10.9,
5.  $P$  (korak) = 1.5 mm,
6. standard: izven standardni vijak.



Slika 18: Vijak s šestrobno glavo [15]

### 8.5.2 Karakteristike vijaka M8:

Karakteristike so:

1.  $D = 13 \text{ mm}$ ,
2.  $H = 5.5 \text{ mm}$ ,
3.  $L = 30 \text{ mm}$ ,
4. Razred vzdržljivosti: 8.8.

## 9 IZDELAVA IN PREDELAVA IZDELKOV

Po iskanju rešitev za izdelavo in konstruiranju končnih izdelkov je bilo potrebno pričeti še z izdelavo le-teh.

### 9.1 PESTO

Ker je bilo potrebno najprej skonstruirati pesto, da smo lahko nadaljevali s konstruiranjem vmesne plošče, smo najprej pričeli z njegovo izdelavo.



**Slika 19:** Končano pesto z ležajem

### 9.1.1 Grobo struženje pesta

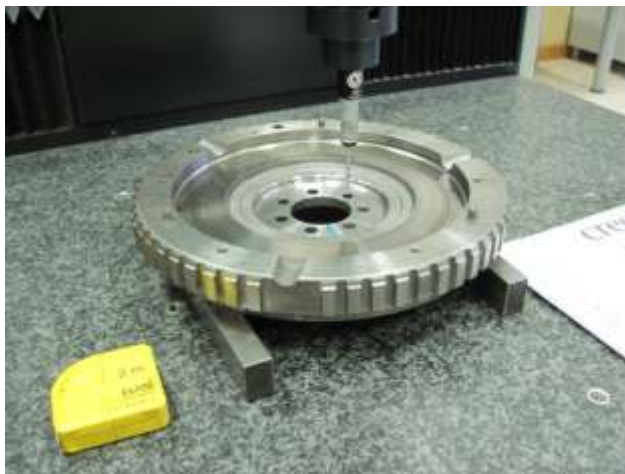
Začeli smo s preizkusnim surovcem in ga postružili na končne mere. Na priležni strani surovca smo naredili še konus, ki se je prilegal na konus rotorja, in tako zmanjšali razdaljo med gredjo rotorja in menjalnika. Predvidevali smo tudi prostor za podložko, ki bo pritrdila pesto na gred. V sredino surovca smo morali izvrtati še tehnološko izvrtino, da smo ga lahko obdelali na žični električni eroziji.



**Slika 20:** Grobo struženje pesta

### 9.1.2 Merjenje lukenj vztrajnika

Luknje iz vztrajnika je bilo potrebno prenesti na pesto, zato smo uporabili CNC-merilni stroj in jih izdelali s pomočjo dobljenih koordinat.



**Slika 21:** Merjenje vztrajnika

### 9.1.3 Toplotna obdelava pesta

Pravi surovec smo najprej samo grobo postružili z 1 mm dodatka in izvrtali manjšo izvrtino, kot pri preizkusnem pestu. Pesto smo najprej kalili na temperaturi 830 °C in nato popuščali na 530 °C. Ker pa je obdelava takšnega materiala zelo zahtevna, smo pri nadaljnji obdelavi prilagodili rezalne hitrosti in uporabljena orodja.

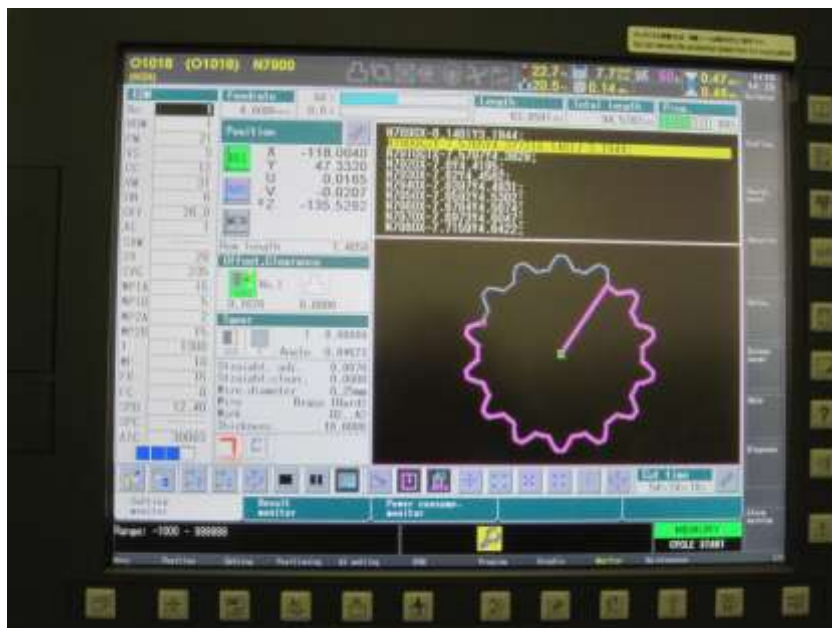


**Slika 22:** Toplotna obdelava pesta



### 9.1.4 Obdelava na žični električni eroziji

Na koncu smo izdelek dali v žično električno erozijo in poizkusili izrezati obliko ozobljenja. Pojavila se je težava, saj je zaradi prevelike tehnološke izvrtine prihajalo do kratkih stikov in napak v obliki. Preizkusni surovec smo zavrgli in pričeli z izdelavo pravega pesta. Na pravem pestu smo ponovili vse postopke, ki smo jih izvedli na preizkusnem, z razliko v velikosti tehnološke izvrtine za obdelavo na žični električni eroziji, ki smo jo tokrat zmanjšali.



Slika 23: Obdelava na žični električni eroziji

### 9.1.5 Končna obdelava pesta

Izdelek smo še fino postružili in izvrtali luknje, katerih pozicije smo pridobili na CNC-koordinatnem stroju, ter jih zaradi natančnosti izdelali na CNC-rezkalnem stroju.



**Slika 24:** Fina obdelava pesta

### 9.2 PODLOŽKA ZA PRITRDITEV PESTA

Najbolj enostaven izdelek v celotni predelavi je bila podložka. Izdelali smo jo iz jekla za poboljšanje, ki smo ga obdelali na stružnici.



**Slika 25:** Struženje podložke

### 9.3 PREDELAVA PRIROBNE PLOŠČE ELEKTRIČNEGA MOTORJA IN ROTORJA

V primeru povečanih prečnih sil v gredi smo se odločili povečati navoj, v katerega bo privijačen vijak za pritrditev podloške pesta. Predhodno izdelani navoj M5 smo povečali na navoj M8. Za to je bilo potrebno celoten rotor vpeti v stružnico. To smo naredili s pomočjo linete. Veliko težav smo imeli s centriranjem rotorja, kar nam je vzelo precej časa, preden smo ga pravilno vpeli.



**Slika 26:** Vpeti rotor

Na tovarniško izdelani prirobni plošči električnega motorja smo dodatno izstružili ležišče za ležaj po premeru in višini.



**Slika 27:** Sedež ležaja

## 9.4 VMESNA PLOŠČA

Največ časa smo porabili za izdelavo vmesne plošče. Po opravljenih meritvah in izdelanem modelu v Pro/ENGINEER je bilo potrebno vmesno ploščo še izdelati. Pri obdelavi smo potrebovali veliko različnih orodji, podatke vseh drugih komponent sklopa in veliko strokovnega znanja za njeno pravilno obdelavo. Končen izdelek je bil velik, zato je bila njegova natančna izvedba še toliko težja.



**Slika 28:** Priprava na delo

#### 9.4.1 Struženje plošče

Začeli smo z obdelavo centralnega dela plošče na stružnici in poravnavo plošče na končno debelino. Centralni del plošče nam je kasneje predstavljal izhodišče za nadaljnjo obdelavo na CNC-rezkalnem stroju.



**Slika 29:** Struženje vmesne plošče

#### 9.4.2 CNC-obdelava plošče

Nato smo ploščo vpeli v CNC-rezkalni stroj in najprej naredili vse potrebne programe za obdelavo oblike plošče, izdelavo lukenj in vrezovanje navojev, ter jih nato tudi izvedli.



**Slika 30:** CNC-obdelava

### 9.4.3 Izdelava odmika za gnano gred

Na koncu smo na rezkalnem stroju naredili še odmik za pogonsko gred, ki gre iz menjalnika do koles.



**Slika 31:** Rezkanje odmika

## 10 SESTAVA IN PREIZKUS

V tem poglavju smo pričakovali rezultate vseh naših hipotez, saj če le en izdelek ne bi ustrežal sklopu, bi propadel celoten izdelek in bi bilo potrebno pričeti znova.



**Slika 32:** Sestavljanje sklopa

## 10.1 SESTAVA

Po končani izdelavi vseh sestavnih delov je bilo potrebno posamezne elemente združiti v celoten sklop. Preden smo katerikoli del dokončno pritrdili ali zalepili na svoj položaj, smo celoten sklop najprej preizkusno sestavili in pregledali.

Zelo pomemben dejavnik za našo hipotezo je bila natančnost izdelave vseh izdelkov in to smo lahko preverili s kontrolo napake vztrajnika pri vrtenju. To smo preverili z merilno uro. Izvedeli smo, da je napaka minimalna in da imajo takšne napake tudi originalne izvedbe motorjev.

### 10.1.1 Lepljenje ležaja v prirobno ploščo motorja

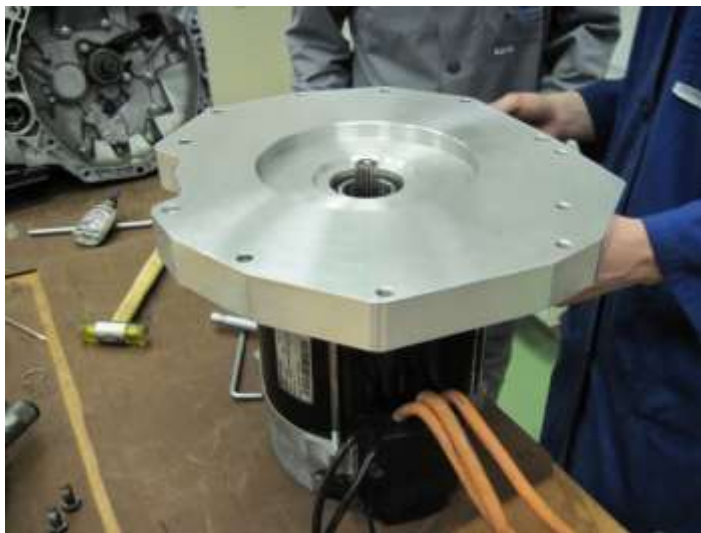
Ležaj je bilo potrebno fiksno pritrditi v zato namenjen prostor na plošči motorja, zato smo uporabili posebno lepilo za lepljenje ležajev.



**Slika 33:** Lepljenje ležaja

### 10.1.2 Pritrditev vmesne plošče na prirobno ploščo električnega motorja

Na prirobno ploščo električnega motorja smo privijačili vmesno ploščo in seveda pazili, da je bil motor glede na ploščo pravilno obrnjen.



**Slika 34:** Pritrditev vmesne plošče

### 10.1.3 Vležajenje in pritrditev pesta na gred

Pesto smo namestili na ozobljeno gred in ga s pomočjo podložke privijačili na gred.



**Slika 35:** Pritrjevanje pesta



#### 10.1.4 Pritrditev vztrajnika na pesto

Zelo pomembno je bilo, da smo vztrajnik fiksno in nepremično pritrdili na pesto, zato smo vijake, preden smo jih privijačili, namazali z lepilom za vijake.



**Slika 36:** Pritrjevanje vztrajnika

#### 10.1.5 Sestava komponent vztrajnika

Na vztrajnik je pritrjena lamela z notranjim ozobljenjem za gred menjalnika. Ker smo si predhodno označili pozicije in položaje komponent vztrajnika, pri tem nismo imeli težav.



**Slika 37:** Komponente vztrajnika

### 10.1.6 Povezava vmesne plošče z menjalnikom

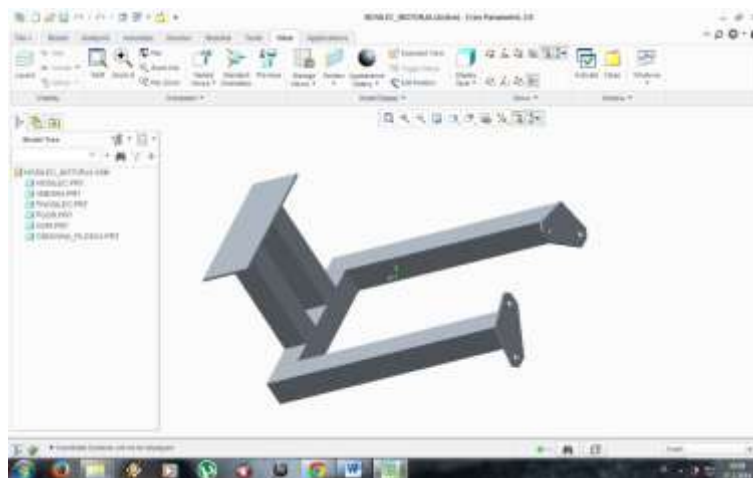
Pri sestavi sklopa je bilo potrebno paziti, da se lamela vztrajnika lepo usede na gred in da pri tem ne poškodujemo kakšnih komponent.



**Slika 38:** Povezava sklopa

### 10.1.7 Nosilci sklopa

Za nosilce smo predhodno skonstruirali 2 para lukenj pod kotom  $45^\circ$ , saj bodo tako nosilci iz kvadratnih kosov obrnjeni naravnost navzgor in bodo vzporedni z glavnim nosilcem prejšnjega motorja. Tako ne bo težav pri nameščanju motorja v avto.



**Slika 39:** Nosilec sklopa

## 10.2 PREIZKUS

Prvi preizkus smo izvedeli ročno in sicer tako, da smo vrteli pogonsko gred, ki gre iz menjalnika, ter tako opazovali, če se rotor električnega motorja normalno giblje.

Prvi realni preizkus je naredil Andrej Pečjak, ki je motor namestil v avtomobil z vsemi drugimi komponentami, ki so potrebne za delovanje takšnega avtomobila, prav tako je zvezal vse električne komponente in predelal še druge dele avtomobila. Naslednji preizkus je bil izveden s strani Srednje šole za storitvene dejavnosti in logistiko Celje. Tam ga je najprej preizkusil njihov ravnatelj nato pa še vodja projekta, Maks Pišotek. Testirali smo ga tudi sami in ugotovili, da deluje brezhibno. Med vožnjo z avtomobilom se sliši le menjalnik. Ugotovili smo, da ima avto kljub električnemu motorju močne pospeške in je enostaven za vožnjo. Kot je poročal vodja projekta Maks Pišotek, tudi sami nismo občutili nobenih napak pri teku motorja in smo bili zelo zadovoljni z končnim izdelkom.



**Slika 40:** Vgrajeni motor v predelani Daciji

## **11 PREDSTAVITEV REZULTATOV**

Ob začetku raziskovalne naloge smo si zastavili 2 hipotezi. V tem poglavju bomo te hipoteze glede na rezultate naloge potrdili ali zavrgli.

- Hipoteza 1: Izvedba takšnega projekta je možna.
- Hipoteza 2: Izdelek je narejen preprosto in enostavno za demontažo.

Z našo predelavo pogonskega dela smo potrdili obe hipotezi. Izdelek je bil tudi vgrajen v avtomobil, ki smo ga tudi homologirali in registrirali. Avto bo namenjen za vsakdanja opravila Šolskega centra Celje. Ob montaži sklopa v avtomobil dijaki Srednje šole za storitvene dejavnosti in logistiko Celje niso imeli težav, saj smo jim predhodno skonstruirali izdelek tako, da sta montaža in razstavljanje sklopa zelo enostavno.

## 12 ZAKLJUČEK

Projekt je bil namenjen učenju dijakov in je dosegel svoj namen. Namesto, da bi takšen izdelek dali izdelati specializiranem podjetju, smo težavo rešili sami in se ob tem veliko naučili.

Ob raziskovalni nalogi smo izvedeli, da je vse, kar si zadamo, možno izdelati, čeprav se zdi zahtevno in nemogoče. Na šoli so nas naučili, da je strojnik prisoten vsepovsod in to trditev smo si tudi potrdili. Vsa znanja, ki smo jih med nalogo pridobili, bomo lahko uporabili na naši nadaljnji poklicni poti. Ob raziskavi smo uporabili tudi veliko dodatnega znanja drugih svetovalcev izven naše stroke. Ker smo naše osnovne ideje veliko spreminjali, je postajalo vedno težje in najmanjše napake bi pomenile izdelati celoten izdelek znova, čeprav bi veliko časa vložili že v prejšnji izdelek. Prizadevamo si, da smo s tem projektom pridobili občutek za timsko reševanje težav in skupno delo. Tako je ideja in delo vsakega izmed nas doprinesla do bolj kvalitetnega izdelka. Z izdelkom smo bili na koncu zelo zadovoljni, saj smo vedeli, da smo bili del projekta, ki je nekaj doprinesel tudi k ekološki ozaveščenosti.

Takšne predelave se ne izvajajo pogosto, ker so cenovno neugodne in zahtevne za izdelavo. Menimo, da obstaja v tej smeri še prostor za razvoj in da se ne smemo zadovoljiti s trenutnim stanjem onesnaževanja zaradi avtomobilov.

## **13 ZAHVALA**

Zahvaljujemo se našemu mentorju Romanu Zupancu, ki nas je s svojimi nasveti in strokovnim znanjem vodil in spodbujal pri raziskovalnem delu.

Zahvaljujemo se tudi naši profesorici slovenščine Meliti Leskovar, za lektoriranje raziskovalne naloge in profesorju mehanike Bojanu Klakočerju, za pomoč pri izračunih.

## 14 VIRI IN LITERATURA

- [1] Čretnik, S. (2010). *Pro/ENGINEER Wildfire 5.0*. Ljubljana: Pasadena.
- [2] Kraut, B. (2003). *Krautov strojniški priročnik*. 14. izdaja. Ljubljana: Littera picta.
- [3] Glodež, S. (2005). *Tehnično risanje*. Ljubljana: Tehnična založba Slovenije.
- [4] Balažič, R. (2005). *Programiranje CNC-strojev*. Murska Sobota: Franc-Franc.
- [5] Prebil, I. (2006). *Tehnična dokumentacija*. Ljubljana: Tehnična založba Slovenije.
- [6] Jakopič, F., Plazar, S. (2001). *Tehnologija odrezovanja kovin*. Ljubljana: Zavod Republike Slovenija za šolstvo.
- [7] Janežič, I. (2002). *Strojni elementi I*. Ljubljana: Tehnična založba Slovenija.
- [8] Leitman, S. Brant, B. (2008). *Build your own electric vehicle*. New York: McGraw-Hill.
- [9] Thomas, J. Converting your car to an electric vehicle (online). 2007. (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: <http://www.treehugger.com/culture/converting-your-car-to-an-electric-vehicle.html>.
- [10] Ren, Z. Zbrano gradivo za predmet strojni elementi 1 (online). 2003. (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: [http://lace.uni-mb.si/strojni\\_elementi\\_1\\_UNI/](http://lace.uni-mb.si/strojni_elementi_1_UNI/).
- [11] Inštitut Metron (online). (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: <http://eauto.si/sl/>.
- [12] Zmagovalna Dacia Sandero (online). (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: <http://eauto.si/dacia-sandero-elektro/dacia-sandero-prototip/>.
- [13] Pogonski del Renault Kangoo (online). (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: <http://eauto.si/sl/renault-kangoo/>.
- [14] Inbus vijak (online). (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: [http://maticamb.si/prodajni\\_program/vijacni\\_material/vijaki\\_din/22/vijaki\\_po\\_din\\_912/](http://maticamb.si/prodajni_program/vijacni_material/vijaki_din/22/vijaki_po_din_912/).
- [15] Vijak s šestrobno glavo (online). (citirano 28. 02. 2014). Dostopno na naslovu: [http://maticamb.si/prodajni\\_program/vijacni\\_material/vijaki\\_din/24/vijaki\\_po\\_din\\_933/](http://maticamb.si/prodajni_program/vijacni_material/vijaki_din/24/vijaki_po_din_933/).

**Priloga 1: Pesto**



**Priloga 2:** Vmesna plošča pogled A

**Priloga 3:** Vmesna plošča pogled B

**Priloga 4:** Podložka

**Priloga 5: Kosovnica**

**Priloga 6:** Načrt električnega motorja