

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
AVTOSERVISNI MENEDŽMENT

Aljaž KOLERIČ

**OBNOVA POGONSKEGA AGREGATA BMW
N47D20A**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

Maribor, 2025

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
AVTOSERVISNI MENEDŽMENT

Aljaž KOLERIČ

OBNOVA POGONSKEGA AGREGATA BMW N47D20A

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

OVERHAUL OF THE BMW N47D20A POWER UNIT

GRADUATION THESIS

Higher vocational studies

Maribor, 2025

ZAHVALA

Ob zaključku tega diplomskega dela bi se rad iskreno zahvalil vsem, ki so mi na poti študija in raziskovanja stali ob strani.

Najprej gre posebna zahvala mojemu mentorju Draganu GOGIĆU, mag. inž. metal. in mater.

Hvaležen sem svojim staršem, ki so mi ves čas nudili podporo, razumevanje in spodbudo. Njihova pomoč in vztrajna vera vame sta mi omogočili, da sem kljub izzivom uspešno zaključil to pomembno življenjsko poglavje.

Posebna zahvala gre Tadeju za donatorski blok in vse potrebne komponente, brez katerih izvedba praktičnega dela ne bi bila mogoča. Zahvala gre tudi sodelavcem iz podjetja Saboning d. o. o., ki so mi s svojimi izkušnjami, praktičnimi nasveti in pripravljenostjo za pomoč olajšali številne strokovne dileme.

Nenazadnje pa se zahvaljujem tudi prijateljem – za podporo, pogovore in razumevanje ter za vse trenutke, ko so me znali razbremeniti in spodbuditi k nadaljnjemu delu.

To diplomsko delo je rezultat mojega truda, a hkrati tudi odraz njihove podpore, pomoči in zaupanja, za kar sem vsem iskreno hvaležen.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Aljaž Kolerič, rojen 24. 8. 2003 v Mariboru, študent Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole, programa avtoservisni menedžment, izjavljam, da je diplomsko delo z naslovom *Obnova pogonskega agregata BMW N47D20A* avtorsko delo.

V diplomskem delu so vsi uporabljeni viri in literatura konkretno navedeni; teksti niso prepisani brez navedbe avtorjev.

Diplomsko delo je lektorirala Barbara Jelenko, profesorica slovenščine in sociologije, ključno dokumentacijsko informacijo sem prevedel Aljaž Kolerič.

Kraj in datum: _____

Lastnoročni podpis študenta/-ke: _____

MENTORSTVO

Diplomsko delo je zaključek Višješolskega strokovnega študija, smer avtoservisni menedžment, opravljeno je bilo na Tehniškem šolskem centru Maribor, Višji strokovni šoli.

Študijska komisija Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole je za mentorja diplomskega dela imenovala Dragana GOGIĆA., mag. inž. metal. in mater.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: _____

Član/mentor: _____

Član: _____

Član/somentor: _____

Datum diplomskega izpita: _____

POVZETEK

V diplomskem delu je predstavljena celovita obnova pogonskega agregata BMW N47D20A, ki je znan po svoji učinkovitosti, a tudi po pogostih konstrukcijskih težavah, predvsem s krmilno verigo. V teoretičnem delu je opisana zgodovina štirivaljnih dizelskih motorjev znamke BMW, od prvih izvedb M21 in M41 do sodobnejših motorjev B47. Podrobno so predstavljene tehnične značilnosti motorja N47, njegove posebnosti in tehnične okvare, ki so bile razlog za obnovo. V praktičnem delu so prikazani vsi postopki, od demontaže in pregleda komponent do meritev, obdelave ter ponovne montaže motorja. Poudarek je bil na kritičnih sklopih kot so verižni mehanizem, ležaji, tesnila in turbinski polnilnik. Posebna pozornost je bila namenjena diagnostiki, pravilnemu zaporedju postopkov ter uporabi ustreznih nadomestnih delov. Delo vključuje tudi analizo stroškov, ki primerja stroške obnove z alternativami, kot je menjava motorja ali naročilo generalne obnove. Rezultati so pokazali, da je z ustreznim pristopom mogoče motorju povrniti prvotno zanesljivost in podaljšati njegovo življenjsko dobo, hkrati pa bistveno zmanjšati stroške v primerjavi z nakupom novega agregata.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	621.313.13:005.934.4(043.2)
KG	pogonski agregat, obnova motorja, BMW N47, verižni mehanizem, analiza stroškov
AV	KOLERIČ, Aljaž
SA	GOGIĆ, Dragan (mentor)
KZ	SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
ZA	Tehniški šolski center Maribor, Višja strokovna šola
LI	2025
IN	OBNOVA POGONSKEGA AGREGATA BMW N47D20A
TD	Diplomsko delo (višješolski strokovni študij)
OP	XII, 52 str., 5 tab., 37 sl., 18 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	<i>Diplomsko delo obravnava celovito obnovo pogonskega agregata BMW N47D20A, ki je znan po svoji učinkovitosti, a tudi po konstrukcijskih težavah, predvsem s krmilno verigo. V teoretičnem delu je predstavljen razvoj štirivaljnih dizelskih motorjev BMW, njihove značilnosti in tipične okvare. Praktični del vključuje vse faze obnove – od demontaže, pregleda in obdelave komponent do ponovne montaže, diagnostike in testnega zagona. Posebna pozornost je namenjena kritičnim sklopom ter analizi stroškov, ki dokazuje, da je obnova bistveno ugodnejša od nakupa novega motorja. Rezultati potrjujejo, da je z ustreznim pristopom možno doseči zanesljivo delovanje motorja in podaljšati njegovo življenjsko dobo.</i>

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dd
- DC 621.313.13:005.934.4(043.2)
- CX power unit, engine overhaul, BMW N47, timing chain, cost analysis
- AU KOLERIČ, Aljaž
- AA GOGIĆ, Dragan (mentor)
- PP SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
- PB Technical School Centre Maribor, Higher Vocational College
- PY 2025
- TI OVERHAUL OF THE BMW N47D20A POWER UNIT
- DT Graduation Thesis (Higher vocational studies)
- NO XII, 52 p., 5 tab., 37 fig., 18 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB *The diploma thesis deals with the complete overhaul of the BMW N47D20A power unit, known for its efficiency but also for its design weaknesses, especially with the timing chain. The theoretical part presents the development of BMW's four-cylinder diesel engines, their characteristics, and typical failures. The practical part covers all stages of the overhaul – from disassembly, inspection, and machining of components to reassembly, diagnostics, and test run. Special attention is devoted to critical components and cost analysis, which proves that an overhaul is significantly more economical than purchasing a new engine. The results confirm that with the right approach, reliable engine operation and an extended service life can be achieved.*

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	II
IZJAVA O AVTORSTVU.....	III
MENTORSTVO.....	IV
POVZETEK.....	V
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	VI
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	VII
KAZALO VSEBINE.....	VIII
KAZALO SLIK.....	XI
KAZALO TABEL.....	XII
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA.....	1
2 PREGLED STANJA.....	3
2.1 PREDSTAVITEV MOTORJA BMW N47D20A.....	3
2.1.1 Osnovne tehnične značilnosti.....	3
2.1.2 Konstrukcijska posebnost.....	3
2.1.3 Tipične težave motorja.....	4
2.2 ZGODOVINA 4-VALNJIH BMW DIZELSKOH MOTORJEV.....	5
2.2.1 BMW M21.....	5
2.2.2 BMW M41.....	6
2.2.3 BMW M47.....	8
2.2.4 BMW N47.....	10
2.2.5 BMW B47.....	12
2.2.6 Primerjalni pregled 4-valjnih dizelskih motorjev.....	14
2.3 TEORIJA IN STANDARDI OBNOVE MOTORJA.....	15
2.3.1 Splošni pomen obnove motorja.....	15
2.3.2 Popravilo posamezne okvare.....	15
2.3.3 Delna obnova motorja.....	15
2.3.4 Generalna obnova motorja.....	15
2.3.5 Standardi in priporočila.....	16
2.4 TEHNOLOŠKI POSTOPKI IN METODE OBNOVE.....	16
2.4.1 Demontaža in čiščenje.....	16
2.4.2 Obnova osnovnih komponent.....	16
2.4.3 Analiza potrebnih delov.....	16
2.4.4 Sestava in kontrola delovanja.....	17
2.4.5 Diagnostika in končne meritve.....	17
3 OBNOVA POGONSKEGA AGREGATA N47D20A.....	18

3.1 FAZA PRIPRAVE IN DEMONTAŽE	18
3.1.1 Nakup vozila in donatorskega bloka	18
3.1.2 Demontaža motorja iz vozila	19
3.1.3 Označevanje in sortiranje delov.....	20
3.1.4 Razstavitev prvega motorja in diagnostika.....	20
3.1.5 Pregled donatorskega bloka	23
3.1.6 Temeljito čiščenje komponent.....	23
3.1.7 Kontrola in obnova navojev	23
3.1.8 Merjenje cilindrov, gredi in ležajev	23
3.1.9 Čiščenje oljnih kanalov	24
3.1.10 Obnova glave	24
3.1.11 Naročilo nadomestnih delov	24
3.2 SESTAVLJANJE NOTRANJOSTI MOTORJA	25
3.2.1 Vgradnja ležajev, kontrola zračnosti in predmontažno mazanje.....	25
3.2.2 Montaža batnih obročkov in vgradnja batov	25
3.2.3 Montaža oljne črpalke in tesnilnih obrob	27
3.2.4 Kontrola izbokline batov in izbor tesnila glave	28
3.2.5 Priprava navojev in vgradnja tesnila glave	28
3.2.6 Montaža glave motorja	28
3.2.7 Razvodni mehanizem – komponente in montaža	28
3.2.8 Nastavitev faz razvodnega mehanizma	29
3.2.9 Posebnosti pri menjavi verige z motorjem na paletah	30
3.2.10 Tesnilo pokrova ventilov.....	30
3.2.11 Montaža sklopke.....	30
3.3 MONTAŽA ZUNANJIH SISTEMOV IN KOMPONENT	31
3.3.1 Injektorji, gorivne črpalke in predtlakovanje	31
3.3.2 Vodna črpalka, termostat in ohišje oljnega filtra.....	34
3.3.3 Obnova in montaža turbinskega sklopa.....	34
3.3.4 Montaža kolektorjev in tlačnega sistema	37
3.3.5 Tesnila DPF in EGR hladilnika	38
3.3.6 Komplet pomožnih jermenov in napenjalec	38
3.4 VGRADNJA MOTORJA IN PRVI ZAGON	39
3.4.1 Vgradnja motorja v vozilo.....	39
3.4.2 Zaganjač.....	40
3.4.3 ECU	40
3.4.4 Polnjenje sistemov	42
3.4.5 Priprava in pred zagon motorja	42
3.4.6 Zagon, diagnostika in utekanje motorja	42
3.5 TABELA ZATEZNIH MOMENTOV	43

3.6 ANALIZA STROŠKOV	44
3.7 POVZETEK STROŠKOV OBNOVE	49
4 ZAKLJUČEK.....	50
5 VIRI.....	51

KAZALO SLIK

Slika 1: BMW M21	5
Slika 2: BMW M41	6
Slika 3: BMW M47	9
Slika 4: BMW N47	11
Slika 5: BMW B47	13
Slika 6: Demontaža motorja	19
Slika 7: Sortiranje delov	20
Slika 8: Nedelujoča sesalna loputa	21
Slika 9: Opilki v oljnem koritu	21
Slika 10: Poškodovana ročična gred.....	22
Slika 11: Star blok motorja	23
Slika 12: Podjetje Saboning d.o.o.....	24
Slika 13: Vgradnja ojničnih ležajev.....	25
Slika 14: Orodje za brušenje batnih obročkov.....	26
Slika 15: Vgradnja bata v cilinder	26
Slika 16: Stiskalec batnih obročkov	27
Slika 17: Oljna črpalka	27
Slika 18: Orodje SW-Stahl 26110L	29
Slika 19: Orodje za nastavitev faze razvodnega mehanizma	29
Slika 20: Očiščeno sedišče injektorjev	31
Slika 21: Obnovljeni injektorji	32
Slika 22: Rezultati testiranih injektorjev	33
Slika 23: Notranjost turbine pred obnovo.....	34
Slika 24: Sredica turbinskega sklopa s sajavimi usedlinami	35
Slika 25: Zamašen turbinski mehanizem z ogljikovimi usedlinami.....	35
Slika 26: Razstavljen turbinski sklop po čiščenju	36
Slika 27: Ogljikove usedline v sesalnih kanalih glave motorja.....	37
Slika 28: Očiščene ogljikove usedline	37
Slika 29: Puščanje olja iz intercoolerja zaradi netesnosti.....	38
Slika 30: Vgradnja obnovljenega motorja	39
Slika 31: Magic Motorsport FLEX.....	40
Slika 32: Napake na ECU-ju	41
Slika 33: Nov motorni računalnik (ECU).....	41
Slika 34: Posnetek zaslona GMT	45
Slika 35: Posnetek zaslona GMT	46
Slika 36: Posnetek zaslona GMT	47
Slika 37: Tabela skupnih stroškov	48

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava BMW motorjev.....	14
Tabela 2: Rezultati testiranja injektorjev	33
Tabela 3: Tabela zateznih momentov	43
Tabela 4: Seznam skupnih stroškov.....	49
Tabela 5: Hipotetični skupni stroški	49

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V okviru te diplomske naloge sem se lotil kompleksnega projekta celovite obnove pogonskega agregata na vozilu, ki je bilo proizvedeno leta 2007 in nosi oznako BMW E92 320d. Ta avtomobil poganja motor N47D20A, ki je bil znan po svoji visoki učinkovitosti, žal pa tudi po določenih konstrukcijskih pomanjkljivostih. Motor sem kupil z očitnimi znaki obrabe, in sicer s slabšo kompresijo in z značilnim kovinskim ropotanjem, ki je nakazovalo na težavo z verižnim sklopom. Ker se ta veriga nahaja na zadnji strani motorja in je dostop do nje izjemno otežen, je popravilo zelo drago in zapleteno, zaradi česar se lastniki pogosto odločijo za nakup novega motorja.

Prav zato sem se odločil, da motorju s temeljito obnovo povrnem življenje in s tem dokažem, da je to lahko smiselna in stroškovno učinkovita alternativa. Moj prvi korak je bila popolna demontaža motorja, pri kateri sem natančno pregledal vsak sestavni del, da sem ugotovil, kaj je bil vzrok za težave. Pri pregledu sem se osredotočil na stanje batnih obročkov, ležajev, tesnil in seveda kritičnega verižnega sklopa. Vse dele sem nato temeljito očistil, glavo in blok motorja pa poslal na brušenje ter obdelavo. Sledila je menjava vseh obrabnih delov, s poudarkom na verižnem kompletu, tesnilih in ležajih, da bi motor deloval kot nov. S tem projektom sem si zadal cilj, da motorju povrnemo prvotno zanesljivost in podaljšamo življenjsko dobo.

1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomske naloge je celovito in preverljivo predstaviti proces obnove pogonskega agregata BMW N47D20A v vozilu BMW E92 ter pokazati, da je z dobro pripravljenim postopkom, pravilnim zaporedjem del in premišljeno izbiro delov mogoče doseči zanesljivo, varno in ekonomično delovanje motorja. V teoretičnem delu bom utemeljil posebnosti motorja in razložil logiko tehnoloških korakov, v praktičnem delu pa bom postopek izvedel na konkretnem vozilu, ga natančno dokumentiral in ovrednotil rezultate z diagnostičnimi meritvami ter preizkusno vožnjo. S tem želim podati uporaben, ponovljiv in pregledno dokumentiran primer obnove, ki lahko služi kot strokovna osnova za podobne projekte.

Cilji naloge in omejitve:

- pripraviti strnjen teoretični pregled motorja N47D20A in razvojnega konteksta štiri-valjnih BMW dizelskih motorjev;
- določiti in utemeljiti zaporedje tehnoloških postopkov obnove, prilagojeno izvedbi v lastni režiji (demontaža, čiščenje, obdelava, sestava);
- izvesti demontažo motorja iz vozila E92, očistiti in pregledati komponente ter opraviti ključne meritve (tolerance, kompresija, oljni tlak);

- oblikovati analizo potrebnih delov in potrošnega materiala ter izvesti preišljeno nabavo (OEM oziroma kakovostni nadomestni deli);
- obnoviti oziroma zamenjati kritične sklope (verižni komplet, ležaji, tesnila, bati/obročki, glava) ter motor ponovno sestaviti po proizvajalčevih navodilih;
- vgraditi motor nazaj v vozilo, izvesti diagnostiko pred zagonom, prvi zagon in spremljanje parametrov delovanja, nato še testno vožnjo;
- kvantificirati rezultate po obnovi (kultura delovanja, kompresije, poraba, morebitni zvoki, brezhibnost delovanja pri obremenitvi) in jih primerjati s pričakovani vrednostmi;
- pripraviti stroškovno in časovno analizo obnove v primerjavi z alternativami (zamenjava motorja, zunanja generalna obnova) ter izpostaviti tveganja;
- oblikovati praktična priporočila za nadaljnje vzdrževanje in preventivo za motor N47D20A v vozilu E92, z jasnim opozorilom na spoštovanje veljavne zakonodaje.
- Za realizacijo projekta imam na razpolago 3.500 EUR.

2 PREGLED STANJA

2.1 PREDSTAVITEV MOTORJA BMW N47D20A

2.1.1 Osnovne tehnične značilnosti

Motor BMW N47D20A je štirivaljni vrstni dizelski motor z delovno prostornino 1995 cm³, ki ga je BMW predstavil leta 2007. Opremljen je s štirimi ventili na valj, dvema odmičnima gredema in sodobnim sistemom neposrednega vbrizga goriva Common Rail druge generacije, ki omogoča visoke tlake vbrizga in s tem natančno doziranje goriva. V osnovnih izvedbah je bil motor na voljo z enojnim turbopolnilnikom s spremenljivo geometrijo lopatic, pri zmogljivejših pa z dvojnim polnilnikom (Twin-Turbo), kar je zagotavljalo boljši odziv pri nizkih vrtiljajih in več moči pri visokih obremenitvah. Razpon moči se je gibal med 105 kW in 150 kW, največji navor pa med 260 Nm in 450 Nm.

2.1.2 Konstrukcijska posebnost

Motor N47D20A ima več konstrukcijskih rešitev, ki ga razlikujejo od prejšnjih generacij. Ena izmed najbolj značilnih je lega verižnega sklopa, ki je nameščen na zadnji strani motorja ob vztrajniku. BMW je to zasnovano uvedel z namenom zmanjšanja hrupa in daljše trajnosti v primerjavi s spredaj nameščenimi verigami, vendar je s tem bistveno otežil dostopnost pri servisiranju.

Blok motorja je izdelan iz aluminija, kar zmanjšuje maso in s tem izboljšuje vozne lastnosti ter ekonomičnost. Dopolnjuje ga dvomasni vztrajnik, ki zmanjšuje vibracije in izboljša kultiviranost vožnje, čeprav je tudi ta element zaradi obremenitev pogosto podvržen obrabi. Sistem vbrizga goriva Common Rail omogoča večfazno vbrizgavanje goriva in s tem boljše izgorevanje, manjšo porabo ter tišje delovanje motorja.

Za doseganje emisijskih standardov je motor opremljen z ventilom za povratne izpušne pline (EGR) ter filtrom trdnih delcev (DPF). Ta sistema sta ključna pri zmanjševanju izpustov dušikovih oksidov in saj, hkrati pa povečujeta kompleksnost motorja. Pri zmogljivejših izvedbah motorja je uporabljen sistem dveh turbopolnilnikov, kar omogoča boljšo prožnost in višjo moč pri različnih režimih obremenitve.

2.1.3 Tipične težave motorja

Kljub tehnični naprednosti je motor N47D20A postal znan po nekaterih konstrukcijskih šibkosti. Najbolj kritična med njimi je verižni sklop na zadnjem delu motorja, ki se pogosto prehitro obrabi. Simptomi, kot so kovinsko ropotanje in tresljaji pri hladnem zagonu, kažejo na poškodbe verige, napenjalcev in zobnikov. Če do okvare pride v času vožnje, lahko veriga preskoči in povzroči popolno odpoved motorja, zato je pravočasna menjava nujna. Zaradi lege ob vztrajniku je postopek menjave zahteven in drag, saj zahteva skoraj popolno demontažo motorja iz vozila.

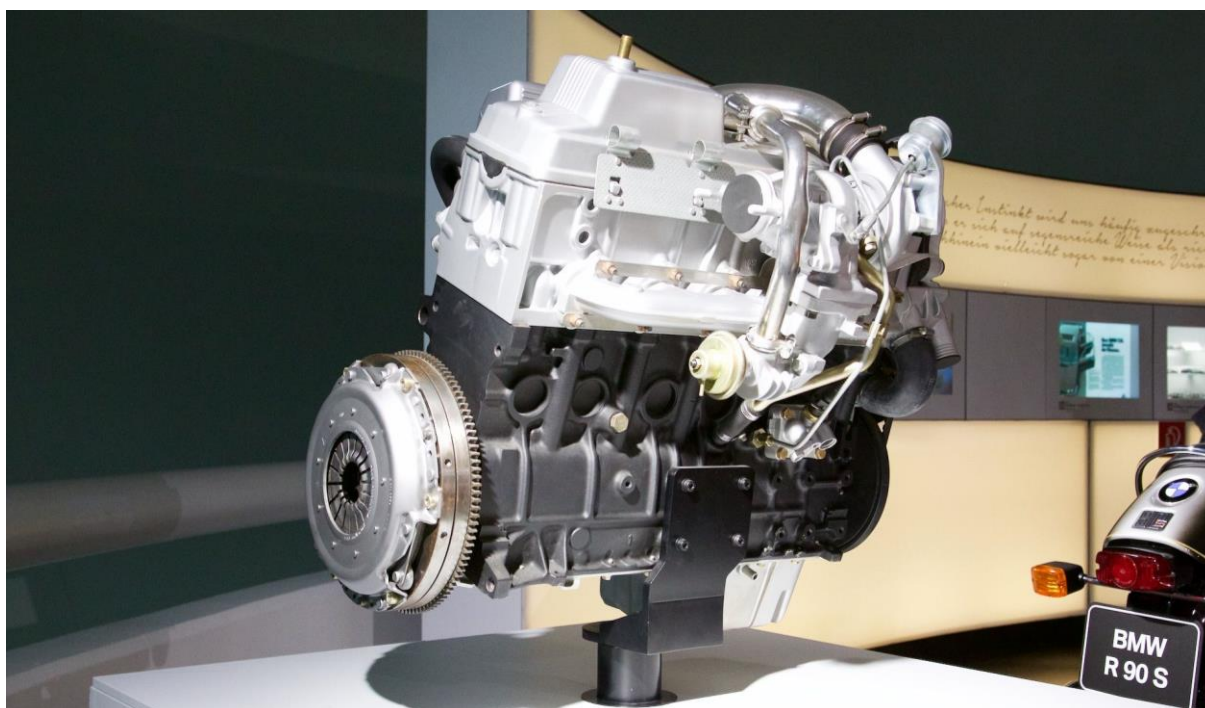
Druga pogosta težava so ležaji ročične gredi, ki se lahko obrabijo zaradi pomanjkljivega mazanja ali predolgh intervalov menjave olja. Ko se pojavijo poškodbe ležajev, je tveganje za zablokiranje motorja zelo visoko. Ta težava je pogosta zlasti pri vozilih z veliko prevoženimi kilometri, kjer olje ni bilo redno menjano ali ni ustrezalo predpisanim standardom.

2.2 ZGODOVINA 4-VALJNIH BMW DIZELSKOH MOTORJEV

2.2.1 BMW M21

BMW je svojo pot v svetu dizelskih motorjev začel že v osemdesetih letih s predstavitvijo motorja M21 (slika 1), robustnega šestvaljnika, ki je bil vgrajevan v modele serij E28 in E30. Kot navaja (Unixnerd.demon.co.uk, 2019), je bil motor M21 kljub preprosti zasnovi trpežen in zanesljiv ter je postavil trdne temelje za nadaljnji razvoj dizelske tehnologije pri BMW-ju, vendar je šlo še vedno za večji, šestvaljni agregat. Pravo poglavje na področju kompaktnih, štirivaljnih dizelskih motorjev pa se je odprlo šele leta 1994, ko je bil ob modelu 318tds predstavljen motor M41, ki je pomenil prvi lastni štirivaljni dizelski motor znamke BMW in je s svojo zasnovo utrl pot prihodnjim generacijam dizelskih agregatov (Bimmertoday, 2012).

Slika 1: BMW M21



Vir: (Bimmerarchive.org, 2016)

2.2.2 BMW M41

Motor BMW M41, ki ga prikazuje slika 2, je bil predstavljen leta 1994 kot prvi lastni štirivaljni dizelski motor znamke BMW. Z njim je podjetje prvič ponudilo kompaktno alternativo večjim šestvaljnim dizlom in tako odgovorilo na povpraševanje trga po ekonomičnih motorjih za manjša vozila. Uveden je bil v modelu 318tds (E36), kar je pomenilo pomemben mejnik v zgodovini BMW-ih dizelskih agregatov. M41 je bil zasnovan na osnovi večjega šestvaljnika M51, saj si je »z njim delil kar 86 % komponent, zaradi česar je bila konstrukcija zanesljiva in vzdržljiva« (Unixnerd.demon.co.uk, 1994).

M41 je imel delovno prostornino 1665 cm³, štiri valje v vrsti in aluminijasto glavo motorja na litoželeznem bloku, kar je bil v tistem obdobju razmeroma standarden pristop. Kot navaja (Unixnerd.demon.co.uk, 2019), »je imel enako zasnovano vrtnične komore in razmik med valji kot motor M21, vendar je imel manj omejitev glede stroškov in veliko več namenskih komponent«. Vbrizgalni sistem je temeljil na Boschevi elektronsko krmiljeni črpalki VP37, razvijal pa je moč 66 kW (90 KM) in največji navor 190 Nm.

Zasnovan je bil za delovanje s katalizatorjem in je uporabljal sistem recirkulacije izpušnih plinov (EGR) za znižanje emisij. »Vsi motorji M41 so imeli serijsko nameščen hladilnik polnilnega zraka (intercooler)«, kar je pomembno pripomoglo k boljši moči in učinkovitosti (Unixnerd.demon.co.uk, 1994).

Pogon odmične gredi je bil zasnovan s klasično krmilno verigo na sprednjem delu motorja. Ta rešitev je »omogočala izjemno zanesljivost in stroškovno ugodno vzdrževanje, saj veriga ob redni menjavi olja praktično ne zahteva menjave« (Unixnerd.demon.co.uk, 1994).

Slika 2: BMW M41



Vir: (BMW GROUP, 2013)

Izstopal je kot pionir med BMW-jevi štirivaljnimi dizli, saj je prinesel kompaktno zasnovo, varčnost in možnost uporabe v vozilih, kjer prej dizelski motorji niso bili predvideni. Njegova največja posebnost je bila kombinacija relativno majhne prostornine in uporabe turbopolnilnika, ki je omogočil razmeroma dobre zmogljivosti ob nizki porabi goriva. Prednost motorja M41 je bila predvsem v njegovi varčnosti, enostavni konstrukciji in zanesljivosti, ki je ob ustreznem vzdrževanju omogočala dolgo življenjsko dobo. Stroški servisiranja so bili relativno nizki, saj je bila krmilna veriga zanesljiva in ni zahtevala redne menjave, motor pa ni zahteval zapletenih diagnostičnih posegov. Kljub temu so bile slabosti povezane s skromnimi zmogljivostmi, saj je bil z 90 KM eden šibkejših motorjev v ponudbi BMW ter z nekoliko grobim delovanjem, ki ni ustrezalo premium ugledu znamke. Poleg tega je bil v primerjavi s konkurenco hitro zastarel, saj je tehnološki razvoj na področju dizelskih motorjev v devetdesetih letih hitro napredoval.

2.2.3 BMW M47

Motor BMW M47 (slika 3) je bil predstavljen leta 1998 kot naslednik motorja M41 in je pomenil pomemben korak naprej v razvoju štirivaljnih dizelskih motorjev pri BMW-ju. Z njim je podjetje želelo odgovoriti na vse večje povpraševanje po varčnejših, a hkrati zmogljivejših motorjih, ki bi zadostili vedno strožjim okoljskim zahtevam in zahtevam kupcev po večji kultiviranosti vožnje (Scribd, 2025).

Delovna prostornina motorja je znašala 1951 cm³ pri osnovnih izvedbah, v kasnejši različici pa je bila povečana na 1995 cm³. Blok motorja je bil izdelan iz litega železa, kar mu je zagotavljalo robustnost in dolgo življenjsko dobo, vendar je pomenilo tudi večjo maso v primerjavi z aluminijastimi konstrukcijami naslednjih generacij. Glava motorja je bila aluminijasta, kar je izboljšalo odvajanje toplote in prispevalo k boljšemu termičnemu obnašanju motorja.

Vbrizgalni sistem motorja M47 je temeljil na tehnologiji Common Rail prve generacije podjetja Bosch, ki je omogočal višje tlake vbrizga in s tem učinkovitejše izgorovanje v primerjavi s klasičnimi črpalko-injektorskimi sistemi. »Izvirni M47D20 je razvijal 100 kW (136 KM) in 280 Nm navora, medtem ko je različica 318d imela 85 kW (114 KM) in 265 Nm navora« (Scribd, 2025).

V kombinaciji s turbopolnilnikom s spremenljivo geometrijo lopatic je motor ponujal dovolj prožnosti pri nizkih vrtljajih in stabilno moč pri višjih obremenitvah. Motor je sprva ustrezal emisijskim standardom Euro 3, kasneje pa je bil posodobljen in prilagojen zahtevam Euro 4.

Posebna konstrukcijska prednost M47 je bil položaj krmilne verige na sprednjem delu motorja, kar je omogočalo enostavnejše servisiranje in nižje stroške vzdrževanja v primerjavi z njegovim naslednikom N47, pri katerem je veriga nameščena zadaj ob vztrajniku. Kot je razvidno iz tehnične dokumentacije (diesel, M47R, 1999), je bila veriga zasnovana tako, da zagotavlja izjemno dolgo življenjsko dobo, vendar lahko pri motorjih z visokim številom prevoženih kilometrov pride do težav, ki se kažejo z nemirnim tekom motorja.

Slika 3: BMW M47



Vir: (Globalparts.co.uk, 2025)

Prednost motorja M47 je bila njegova robustnost, dolga življenjska doba in razmeroma enostavno vzdrževanje. Zaradi spredaj nameščene verige je bil servis dostopnejši in cenejši, motor pa je bil v praksi pogosto sposoben prevoziti več kot 300.000 kilometrov brez večjih posegov, če je bil ustrezno vzdrževan. Slabosti pa so izhajale predvsem iz litoželeznega bloka, ki je motorju prinašal večjo maso, nekoliko višje porabe goriva v primerjavi z novejšimi aluminijastimi konstrukcijami ter povečano glasnost in tresljaje, kar ni več povsem ustrezalo trendu večje kultiviranosti dizelskih motorjev v začetku 21. stoletja. Kljub tem pomanjkljivostim je M47 v zgodovini BMW-ih štirivaljnih dizelskih motorjev pustil močan pečat kot zanesljiv in robusten agregat, ki je s svojo tehnologijo pripravil teren za kasnejši razvoj motorja N47.

2.2.4 BMW N47

Motor BMW N47 (slika 4) je bil predstavljen leta 2007 kot naslednik M47 in je pomenil velik korak naprej v razvoju štirivaljnih dizelskih agregatov znamke. BMW je z njim želel doseči boljšo učinkovitost, nižjo maso in skladnost z zaostrenimi emisijskimi standardi Euro 4 in Euro 5. Motor je bil zasnovan v skladu s filozofijo EfficientDynamics, ki se je osredotočala na optimizacijo porabe goriva in zmanjšanje emisij CO₂ brez kompromisov pri izkušnji vožnje (BMWBlog, 2014).

N47 je bil vgrajevan v številne modele serij 1, 3, 5, pa tudi v X1 in X3, kar kaže na njegovo osrednjo vlogo v ponudbi znamke v obdobju do leta 2015. Pod različnimi oznakami je bil uporabljen tudi pri drugih proizvajalcih, na primer pri znamki Mini.

Najpogostejša izvedba, N47D20, ima delovno prostornino 1995 cm³, obstajale pa so tudi izvedbe s prostornino 1,6 litra (N47D16) za manjše modele. Blok motorja je aluminijast, kar je pomenilo velik odmik od robustnega litoželeznega M47. Ta konstrukcija je bistveno zmanjšala maso in pripomogla k nižji porabi goriva ter boljšim voznim lastnostim, vendar je aluminij zaradi manjših rezerv pri vzdržljivosti zahteval večjo natančnost pri obdelavi in občutljivejše vzdrževanje. Glava motorja je prav tako aluminijasta, zasnova pa vključuje štiri ventile na valj in dve odmični gredi.

Razpon moči motorjev N47 je bil širok – od osnovnih različic z močjo 85 kW (115 KM) do najzmogljivejših izvedb z močjo 160 kW (218 KM). Največji navor se je gibal med 260 Nm pri osnovnih izvedbah in 450 Nm pri dvolitrskih Twin-Turbo različicah. Turbopolnilnik je bil pri šibkejših izvedbah enojni s spremenljivo geometrijo lopatic (VNT), medtem ko so močnejše različice uporabljale sistem dveh turbopolnilnikov (Twin-Turbo). Motor je bil opremljen s sistemom Common Rail druge generacije, ki je omogočal tlake vbrizga do 1800 barov, kasneje celo do 2000 barov. Injektorji so omogočali večfazni vbrizg goriva v enem delovnem ciklu, kar je prispevalo k tišjemu delovanju, boljšemu izgorevanju in nižjim emisijam (BMWBlog, 2024).

Slika 4: BMW N47



Vir: (Motoring Research, 2019)

Ena največjih konstrukcijskih posebnosti motorja N47 je lega krmilne verige, ki je bila nameščena na zadnji strani motorja ob vztrajniku. Namen takšne zasnove je bil tišje in trajnejše delovanje, a se je v praksi izkazala za največjo šibkost. Dostopnost do verige je bila zelo otežena, saj je za menjavo potrebna skoraj popolna demontaža motorja, kar je popravila naredilo izjemno draga. Prav zaradi tega je motor N47 med uporabniki najbolj znan po prezgodnji obrabi krmilne verige. Tipični simptomi so kovinsko ropotanje pri hladnem zagonu, kar nakazuje raztegovanje verige in obrabo napenjalcev. Če do zamenjave ne pride pravočasno, obstaja nevarnost preskoka verige, kar praviloma vodi v popolno odpoved motorja (BMWBlog, 2024). Zaradi množičnih težav je bil leta 2019 izveden celo obsežen odpoklic vozil, eden največjih v zgodovini podjetja.

Zraven težav s krmilno verigo so se pogosto pojavljale tudi okvare ležajev ročične gredi, ki so se prehitro obrabljali, še posebej pri vozilih z daljšimi intervali menjave olja. Problematični so bili tudi injektorji sistema Common Rail, občutljivi na kakovost goriva ter dvomasni vztrajnik, ki se je zaradi velikih obremenitev pogosto hitro izrabil.

Kljub tem težavam je N47 prinesel pomemben tehnološki napredek. Bil je sodoben dizelski motor, ki je glede na prostornino zagotavljal visoke zmogljivosti, hkrati pa se je odlikoval z varčno porabo goriva in skladnostjo s strogimi emisijskimi standardi. Zaradi aluminijastega bloka je bil lažji od svojega predhodnika, kar je pozitivno vplivalo na vozne lastnosti in ekonomičnost. V kombinaciji z naprednim sistemom vbrizga goriva in turbopolnilniki je motor ponujal širok razpon moči in navora, kar je ustrezalo potrebam tako osnovnih kot tudi zmogljivejših izvedb.

2.2.5 BMW B47

Motor BMW B47, ki ga prikazuje slika 5, je bil predstavljen leta 2014 kot neposredni naslednik serije N47 in hkrati kot del nove modularne družine motorjev BMW, v kateri vsi agregati temeljijo na enotnem konceptu prostornine 500 cm³ na valj. Gre za štirivaljno dizelsko enoto s prostornino 1995 cm³, ki je bila vgrajevana v številne modele od serije 1 do serije 5 ter v vozila X1 in X3, pa tudi v modele MINI. Njegov prihod je bil odgovor na vedno strožje emisijske standarde Euro 6 in na potrebo po odpravi konstrukcijskih pomanjkljivosti predhodnika N47, predvsem težav s krmilno verigo (BMWBlog, 2014).

Blok in glava motorja sta aluminijasta, zasnova s štirimi ventili na valj in dvema odmičnima gredema pa omogoča učinkovito delovanje. Vbrizgalni sistem temelji na najnovejši generaciji Common Rail, ki omogoča tlake nad 2000 bari, s čimer je zagotovljeno zelo natančno doziranje goriva in večfazni vbrizg v enem delovnem ciklu. Glede na izvedbo motor razvije med 85 in 170 kW ter 300–500 Nm navora. Pri močnejših različicah je uporabljen sistem TwinPower Turbo, ki deluje bodisi z enojnim turbopolnilnikom s spremenljivo geometrijo lopatic bodisi z zaporednim delovanjem dveh polnilnikov za optimalen odziv pri nizkih vrtljajih in stabilno moč pri višjih obremenitvah (BMWBlog, 2017).

Slika 5: BMW B47



Vir: (BMWBlog, 2014)

Z vidika emisij je B47 zasnovan v skladu s standardom Euro 6, zato poleg filtra trdnih delcev (DPF) in povratnega ventila izpušnih plinov (EGR) uporablja tudi selektivno katalitično redukcijo (SCR) z dodatkom tekočine AdBlue za učinkovito zniževanje emisij NOx. Ena izmed ključnih konstrukcijskih izboljšav je bila prenova in premestitev krmilne verige na sprednji del motorja, pri čemer so uporabljeni bolj robustni materiali in izboljšana vodila. To je olajšalo dostop in bistveno znižalo stroške servisiranja v primerjavi s predhodnikom. Z uvedbo posodobljene različice B47TÜ1 so vsi štirivaljni dizelski motorji prejeli sistem dveh turbopolnilnikov, kar je dodatno izboljšalo odzivnost in zmogljivost (BMWBlog, 2017).

Posebnost motorja je tudi optimizirano termično upravljanje, uporaba nizkotrdnostnih trenjskih premazov in balansirnih gredi, ki prispevajo k tišjemu, prožnejšemu in bolj kultiviranemu delovanju. V praksi je B47 ocenjen kot zanesljivejši od N47, saj so bile odpravljene najhujše konstrukcijske slabosti predhodnika. Vendar pa se tudi pri tem motorju pojavljajo določene težave, kot so občutljivost na kakovost goriva, težave z injektorji in okvare sistema SCR zaradi nekakovostne tekočine AdBlue. Pri vozilih z veliko mestne vožnje se pogosto hitreje obrablja dvomasni vztrajnik (BMWBlog, 2025).

Skupno gledano je motor B47 v zgodovini BMW-ih štirivaljnih dizelskih agregatov pomembna izboljšava v primerjavi z N47, saj združuje sodobne tehnične rešitve, zanesljivejšo konstrukcijo in skladnost z najsodobnejšimi emisijskimi standardi, hkrati pa odpravi ključne pomanjkljivosti prejšnje generacije.

2.2.6 Primerjalni pregled 4-valnjih dizelskih motorjev

Primerjavo med posameznimi modeli dizelskih motorjev nam prikazuje tabela 1.

Tabela 1: Primerjava BMW motorjev

Lastnost	BMW M41	BMW M47	BMW N47	BMW B47
Delovna prostornina	1665 cm ³ (1.7 L)	1951/1995 cm ³ (2.0 L)	1995 cm ³ (2.0 L)	1995 cm ³ (2.0 L)
Konstrukcija bloka	Lito železo	Lito železo	Aluminij	Aluminij
Vbrizgalni sistem	Posredni vbrizg (VP37)	Common Rail 1. gen	Common Rail 2. gen	Common Rail 3. gen
Moč	66 kW (90 KM)	85–110 kW (115–150 KM)	85–160 kW (115–218 KM)	85–170 kW (115–231 KM)
Navor	190 Nm	280–330 Nm	260–450 Nm	270–500 Nm
Turbopolnilnik	Enojni, fiksna geometrija	Enojni, VGT	Enojni VGT ali Twin-Turbo	Enojni VGT ali Twin-Turbo
Emisijski standardi	Euro 2	Euro 3/Euro 4	Euro 4/Euro 5	Euro 6
Pogon odmične gredi	Spredaj, veriga	Spredaj, veriga	Zadaj, veriga	Spredaj, veriga
Pogoste težave	Ni večjih težav, zanesljiv	Manjše težave z loputami	Kritična obraba verige	Okvare SCR in EGR sistemov
Prednosti	Robustna, enostavna zasnova	Zanesljiv, Common Rail, VGT	Visoka učinkovitost, moč	Zanesljivost, moč, Euro 6
Slabosti	Skromne zmogljivosti	Težja konstrukcija, tresljaji	Problemi z verigo, visoki stroški popravil	Kompleksnost emisijskih sistemov

Vir: (Auto-Data.net, 2010-2025)

2.3 TEORIJA IN STANDARDI OBNOVE MOTORJA

2.3.1 Splošni pomen obnove motorja

Obnova motorja je kompleksen tehnično-tehnološki proces, ki združuje strojniške, diagnostične in tehnološke postopke z namenom povrnitve agregata v stanje, ki je enakovredno ali celo boljše od prvotnega. Kot navaja (Halderman, J. D., 2018), »obnova motorja vključuje postopke, s katerimi se povrne prvotna učinkovitost, zanesljivost in življenjska doba motorja«. V teoriji se razlikujejo trije osnovni pristopi, ki se med seboj ločijo po obsegu in zahtevnosti izvedbe (Halderman, J. D., 2018).

2.3.2 Popravilo posamezne okvare

Najosnovnejša oblika posega na motorju je odpravljanje posamezne okvare. Pri tem se motor večinoma ohrani v originalnem stanju, zamenja pa se le okvarjen del ali sklop. Tipični primeri so menjava turbopolnilnika, injektorja ali posameznih tesnil. Takšno popravilo je relativno hitro izvedljivo in cenovno ugodno, vendar dolgoročno ne zagotavlja popolne odprave vseh težav. V literaturi je zapisano, da »zamenjava posamezne okvarjene komponente ne prepreči nadaljnjih okvar drugih delov, ki so prav tako obrabljeni« (Halderman, J. D., 2018).

2.3.3 Delna obnova motorja

Druga stopnja predstavlja delno obnovo motorja, pri kateri se zamenjajo oziroma obnovijo najpogosteje obrabljeni deli. To so predvsem bati, obročki, ležaji in tesnila. Cilj je, da se motorju povrne večina prvotne učinkovitosti in zanesljivosti, brez da bi bil popolnoma razstavljen. Delna obnova je primerna predvsem takrat, kadar motor še ni utrpel večjih poškodb, a že kaže znake povečane obrabe. Pri motorju N47D20A bi to lahko pomenilo, da se ob zamenjavi verige, ki je najpogostejša kritična točka, hkrati obnovijo tudi bati in obročki, s čimer se preprečijo večje okvare v prihodnje.

Poleg mehanskih posegov je v praksi pri delni obnovi pogosto smiselno izvesti tudi izključitev nekaterih sistemov, ki so namenjeni zmanjševanju emisij, a v realnosti predstavljajo vir številnih težav. Tipičen primer je ventil za povratne izpušne pline (EGR), ki se zaradi nabiranja saj in oljnih usedlin pogosto maši ter povzroča motnje v delovanju motorja. Prav tako je filter trdnih delcev (DPF) eden najpogostejših razlogov za okvare in izredne obiske servisov, zlasti pri vozilih, ki se uporabljajo pretežno v mestnem prometu. Zato se pri delni obnovi pogosto odločimo za fizično odstranitev DPF filtra in programske prilagoditev motorne elektronike, enako pa tudi za onemogočanje EGR sistema. Takšni posegi niso del standardne tovarniške obnove, vendar v praksi bistveno zmanjšajo možnost prihodnjih okvar in izboljšajo zanesljivost motorja, še posebej pri motorju N47D20A, ki je na te komponente zelo občutljiv.

2.3.4 Generalna obnova motorja

Najzahtevnejši in hkrati najcelovitejši pristop je generalna obnova motorja. Ta vključuje popolno razstavljanje motorja, temeljit pregled vseh sestavnih delov ter njihovo obnovo ali zamenjavo. Kot navaja (Halderman, J. D., 2018), »obnova motorja zahteva popolno

razstavljanje, čiščenje, pregled, merjenje, obdelavo in ponovno sestavljanje, da se motor povrne v prvotne obratovalne specifikacije«. V praksi to pomeni brušenje ročične gredi, honanje valjev, obdelavo glave motorja, menjavo vseh obrabnih delov in natančno merjenje toleranc. Čeprav je to najdražja možnost, omogoča, da motor ponovno doseže tovarniške specifikacije in ima dolgo življenjsko dobo (Halderman, J. D., 2018).

2.3.5 Standardi in priporočila

Vsaka obnova, ne glede na obseg, naj temelji na proizvajalčevih navodilih in strokovni literaturi. BMW-jevi priročniki »Service Repair Manuals« vsebujejo natančna navodila za demontažo, predpisane tolerance, zategovalne momente vijakov in seznam nadomestnih delov. Kot dopolnilo so uporabni splošni priročniki, kot je Boschev Automotive Handbook, kjer so opisani osnovni principi delovanja motorjev, obraba komponent in diagnostične metode (Bosch, 2018). (Halderman, J. D., 2018) ob tem poudarja, da »upoštevanje navodil proizvajalca pri obnovi ni priporočilo, temveč nujen pogoj za zanesljivost in dolgo življenjsko dobo motorja«.

2.4 TEHNOLOŠKI POSTOPKI IN METODE OBNOVE

2.4.1 Demontaža in čiščenje

Prvi korak pri obnovi motorja je vedno demontaža, ki se začne z odstranitvijo motorja iz vozila. Šele ko je motor izven vozila, je mogoče varno in sistematično razstaviti vse sklope. Popolna razstavitev je nujna, saj omogoča temeljit pregled komponent in odkrivanje morebitnih poškodb, ki jih pri sestavljenem motorju ni mogoče zaznati. Po demontaži sledi čiščenje, pri katerem se odstranijo oljne obloge, saje, usedline in druge nečistoče. Temeljito očiščene komponente so osnovni pogoj za pravilno nadaljnjo obdelavo in meritve, saj le tako omogočajo natančno diagnostiko in kakovostno obnovo.

2.4.2 Obnova osnovnih komponent

Ko je motor razstavljen, se pristopi k obnovi glavnih faktorjev, kot so blok motorja, glava, ročična gred in turbopolnilnik. Pri tem se izvajajo postopki brušenja, honanja, obdelave ležišč ter preverjanja tesnilnih površin. Cilj je povrnitev osnovne geometrije in mehanske trdnosti, da motor lahko ponovno deluje v skladu s konstrukcijskimi zahtevami.

2.4.3 Analiza potrebnih delov

Po pregledu in obdelavi komponent sledi analiza, kateri deli so primerni za ponovno uporabo in katere je treba zamenjati. Pri izbiri je priporočljivo uporabljati originalne dele proizvajalca (OEM), saj zagotavljajo ustrezno kakovost in kompatibilnost. Čeprav so na voljo tudi nadomestni deli drugih proizvajalcev (aftermarket), katerih kakovost lahko močno variira, pa je na trgu tudi veliko delov, ki so enake kakovosti ali celo boljše kot originalni (proizvajalci, ki dobavljajo dele za prvo vgradnjo). Zato je kljub vsemu potrebna previdna izbira in preverjanje zanesljivosti proizvajalca.

2.4.4 Sestava in kontrola delovanja

Ko so vsi sklopi obnovljeni in zamenjani obrabljeni deli, sledi ponovno sestavljanje motorja. Pri tem je ključna natančnost, saj mora vsaka komponenta ustrezati predpisanim tolerancam in biti nameščena po navodilih proizvajalca. Ključne faze sestavljanja vključujejo merjenje zračnosti med ležaji in gredjo, pravilno nameščanje in merjenje odprtih batnih obročkov ter dosledno preverjanje zategovalnih momentov vijakov. Končne kontrole vključujejo tudi vizualni pregled in preverjanje tesnjenja. Za kakovostno sestavo motorja je potrebno veliko časa in dosledno sprotno preverjanje vsakega sklopa, saj le tako dosežemo brezhibno delovanje.

2.4.5 Diagnostika in končne meritve

Ko je motor po obnovi ponovno sestavljen in vgrajen nazaj v vozilo, sledi faza temeljite diagnostike in meritev, ki zagotavlja brezhibno delovanje. Najprej se opravi osnovna računalniška diagnostika pred zagonom, pri kateri se s pomočjo diagnostične naprave izbrišejo vse shranjene napake in preveri delovanje elektronskih sistemov. Šele nato se motor prvič zažene. Ob zagonu se pozorno spremljajo parametri, kot so tlak olja, prosti tek, temperatura hladilne tekočine in obnašanje turbopolnilnika.

V nadaljevanju se z diagnostično napravo sproti beležijo podatki o delovanju motorja v vseh režimih, kar potrjuje njegovo pravilno delovanje. Po uspešni kontroli sledi testna vožnja, med katero se motor preverja pod obremenitvijo. Med vožnjo se spremljajo odzivnost, moč in morebitni nenormalni zvoki ali dimnost izpuha. Kombinacija teh preizkusov zagotavlja, da je motor po obnovi ne samo mehansko brezhiben, ampak tudi elektronsko in funkcionalno usklajen z vsemi sistemi vozila.

3 OBNOVA POGONSKEGA AGREGATA N47D20A

Obnova motorja je kompleksen proces, ki združuje natančno načrtovanje, uporabo tehničnega znanja, ustreznih postopkov in specialnega orodja. Vsak korak je moral biti izveden v skladu s priporočili proizvajalca, saj najmanjše odstopanje lahko vodi do poškodb in skrajšane življenjske dobe motorja. Celoten postopek sem razdelil v štiri glavne faze: priprava in demontaža, sestavljanje notranjosti motorja, montaža zunanjih sistemov in komponent ter končna vgradnja in prvi zagon. Poleg tega sem pripravil še zaključna opozorila in standarde kakovosti, ki združujejo ključne napotke in kontrolne točke za uspešno obnovo.

3.1 FAZA PRIPRAVE IN DEMONTAŽE

Prva faza obnove je bila namenjena pripravi motorja na obnovo. Vključevala je pridobitev vozila z okvarjenim motorjem in donatorskega bloka, odstranitev motorja iz vozila, temeljito dokumentacijo postopkov, razvrščanje delov, razstavljanje motorja, čiščenje in pregled vseh komponent, kontrolo tesnosti, obnavljanje navojev, izvedbo meritev ter naročilo vseh potrebnih novih delov. Brez teh korakov bi bila vsaka nadaljnja montaža tvegana, saj bi obstajala velika možnost ponovne okvare.

3.1.1 Nakup vozila in donatorskega bloka

Obnova motorja se je začela že pri nakupu vozila, ki je imelo znane napake: raztegnjeno razvodno verigo, zmanjšano kompresijo in počen blok. Vzporedno sem pridobil donatorski blok, kar je omogočilo kombinacijo obeh motorjev in uporabo še uporabnih komponent. To je bila racionalna rešitev, saj je cena novega motorja bistveno višja, obnova pa omogoča izkoriščanje še uporabnih delov in doseganje tovarniških toleranc.

3.1.2 Demontaža motorja iz vozila

Motor smo odstranili iz vozila po predpisanem postopku: odklop akumulatorja, izpust motornega olja in hladilne tekočine, odklop električnih priključkov, gorivnih in hladilnih cevi ter mehanskih povezav. S pomočjo dvigala smo vozilo dvignili ter obenem motor spustili na paleto (slika 6). Nato pa smo dvignili motor v zrak s pomočjo žirafe. Ta korak je bil nujen, saj je omogočil dostop do vseh sklopov in pripravil motor na razstavljanje.

Slika 6: Demontaža motorja



3.1.3 Označevanje in sortiranje delov

Vsak vijak, matico in manjši sestavni del sem označil, razvrstil in odložil na voziček, kjer sem imel jasno orientacijo, kam kateri del pripada (slika 7). Večje dele sem označil z nalepkami. To je preprečilo zamenjavo materiala različnih dimenzij in razredov, omogočilo sledljivost ter skrajšalo čas montaže.

Slika 7: Sortiranje delov



3.1.4 Razstavitev prvega motorja in diagnostika

Prvi motor sem razstavil do osnovnih komponent. Potrdil sem raztegnjeno verigo, izrabljenost napenjalcev, sledove pomanjkanja olja na ležajih ter zarez v ročni gredi, kar je povzročilo prisotnost opilkov v oljnem koritu. Ti znaki so potrjevali dolgotrajno nepravilno delovanje motorja in potrebo po celoviti obnovi. Pri tem sem odkril tudi pokvarjeno loputo za plin, ki je prav tako vplivala na pravilno delovanje motorja in njegove zmogljivosti. Karakteristične napake so predstavljene na slikah od 8 do 11.

Slika 8: Nedelujoča sesalna loputa



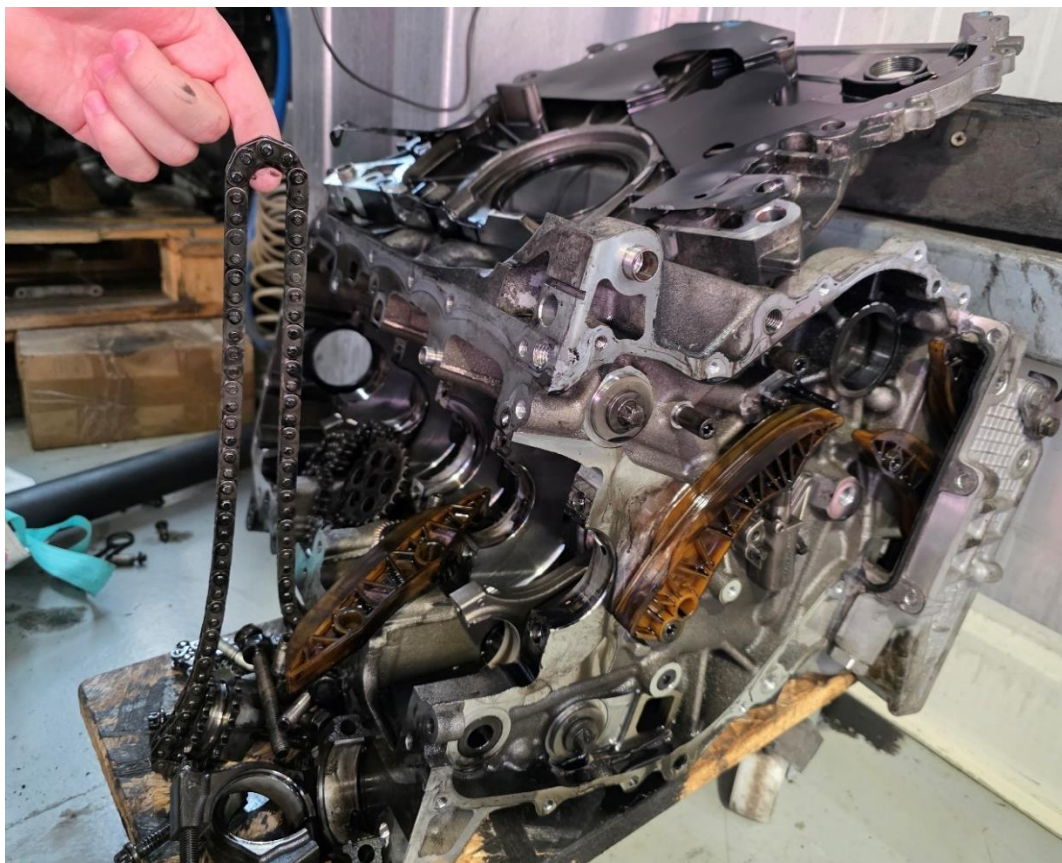
Slika 9: Opilki v oljnem koritu



Slika 10: Poškodovana ročična gred



Slika 11: Star blok motorja



3.1.5 Pregled donatorskega bloka

Donatorski motor je na sebi imel nekaj komponent, zato sem ga moral razstaviti do golega bloka in podrobno pregledal vse vitalne dele. Le nekaj komponent, ki so bile znotraj tovarniških toleranc, so bile predvidene za ponovno uporabo.

3.1.6 Temeljito čiščenje komponent

Vse dele sem očistil s kombinacijo mehanskih in kemičnih metod. Uporabil sem pralnik delov, odstranil ostanke tesnil s pomočjo medeninastih ščetin in temeljito izpral kanale s pomočjo čistila za zavore (Brake Cleaner). Čistoča je bila ključnega pomena za preprečevanje poškodb po montaži.

3.1.7 Kontrola in obnova navojev

Navojne izvrtine sem očistil in izpihal. Poškodovane navoje sem obnovil z vložki Helicoil ali Time-Sert, s čimer sem zagotovil ponovljivo zategovanje vijakov.

3.1.8 Merjenje cilindrov, gredi in ležajev

Pred odločitvijo o nadaljnjih postopkih sem izvedel meritve glavnih dimenzij. Cilindre sem preveril z notranjim merilom in mikrometrom, ročično gred sem izmeril z mikrometrom za

zunanje premere, zračnosti ležajev pa sem kontroliral s Plastigage merilnimi trakovi. Rezultati so pokazali, da so bile tolerance na donatorskem bloku v mejah predpisanih vrednosti, zato je bil primeren za obnovo.

3.1.9 Čiščenje oljnih kanalov

Oljne kanale v bloku, glavi in ohišjih sem spiral in izpihoval do popolne čistoče. Posebno pozornost sem namenil dovodu in povratku olja za turbino ter izvrtinam za mazanje ležajev.

3.1.10 Obnova glave

Strojna obnova glave je vključevala čiščenje, brušenje sedežev ventilov, kontrolo in po potrebi zamenjavo vodil ter planiranje v okviru tovarniške tolerance. Po uspešnem tlakovnem testu sem glavo prevzel, izvedel vizualno kontrolo kanalov in pripravil površine za končno montažo (razmastitev, zaščita). Strojno obdelavo je izvedel Srečko Čeh, ki je v Sloveniji eden redkih strokovnjakov za brušenje, vrtanje in obnovo navojev. Sodelovanje z njim je zagotovilo najvišjo kakovost in natančnost obdelave, kar je ključno za dolgoročno zanesljivost motorja.

3.1.11 Naročilo nadomestnih delov

Naročilo nadomestnih delov je bilo v celoti izvedeno prek trgovine GMT, kar mi je podjetje SABONING d. o. o. omogočilo s popustom, s čimer sem znatno privarčeval pri stroških obnove. Naročil sem nov set verig, nova vodila, napenjalce, ležaje, komplet tesnil, vijake, vodno črpalko, termostat, ohišje oljnega filtra, pomožne jermene, batne obročke in tesnilne mase. S tem sem zagotovil, da bodo vsi kritični sklopi novi in skladni z OEM zahtevami. Logotip podjetja SABONING d. o.o. nam prikazuje slika 12.

Slika 12: Podjetje Saboning d.o.o.



Vir: (SABONING d.o.o., 2025)

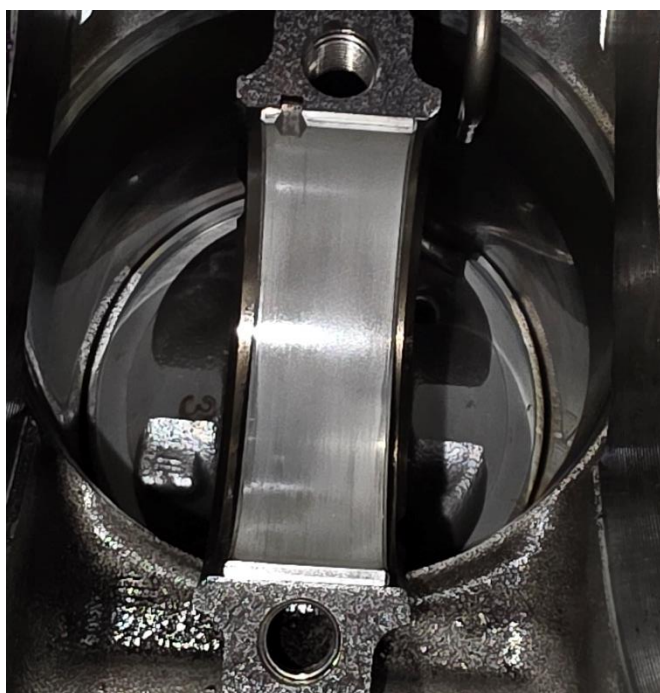
3.2 SESTAVLJANJE NOTRANJOSTI MOTORJA

Druga faza obnove je obsegala sestavljanje osnovnih mehanskih komponent motorja. Ta faza, ki predstavlja jedro agregata, je vključevala vgradnjo ležajev, batov in obročkov, natančno nastavitve razvodov ter montažo glave motorja in sklopke. Zaradi svoje kompleksnosti in pomembnosti za pravilno delovanje motorja je bila to najpomembnejša faza celotne obnove.

3.2.1 Vgradnja ležajev, kontrola zračnosti in predmontažno mazanje

Najprej sem vgradil glavne in ojnične ležaje, pri čemer sem pazil na pravilno lego in orientacijo (slika 13). Radialno zračnost ležajev sem preveril s pomočjo Plastigage merilnih trakov, aksialni hod ročične gredi pa z merilno uro. Tako sem zagotovil, da je bila zračnost znotraj tovarniško predpisanih toleranc.

Slika 13: Vgradnja ojničnih ležajev



Ležajne površine, glave batov in stene cilindrov sem pred montažo obdelal z montažnim oljem primerne viskoznosti. Ta korak je ključen, ker vzpostavi inicialni oljni film in bistveno zmanjša obrabo v prvih sekundah po zagonu, ko oljni tlak še narašča.

3.2.2 Montaža batnih obročkov in vgradnja batov

Na vsakega od batov sem namestil nove obročke ter v cilindru izmeril končno režo. Po potrebi sem jo prilagodil z brušenjem, da je bila v okviru specifikacij proizvajalca. Reže sem razporedil pod predpisanimi koti, da sem zmanjšal možnost ujemanja in s tem prehajanja plinov. To je ključno za ohranjanje kompresije in zmanjševanje porabe olja (slike 14 do 16).

Slika 14: Orodje za brušenje batnih obročkov



Slika 15: Vgradnja bata v cilinder



Slika 16: Stiskalec batnih obročkov

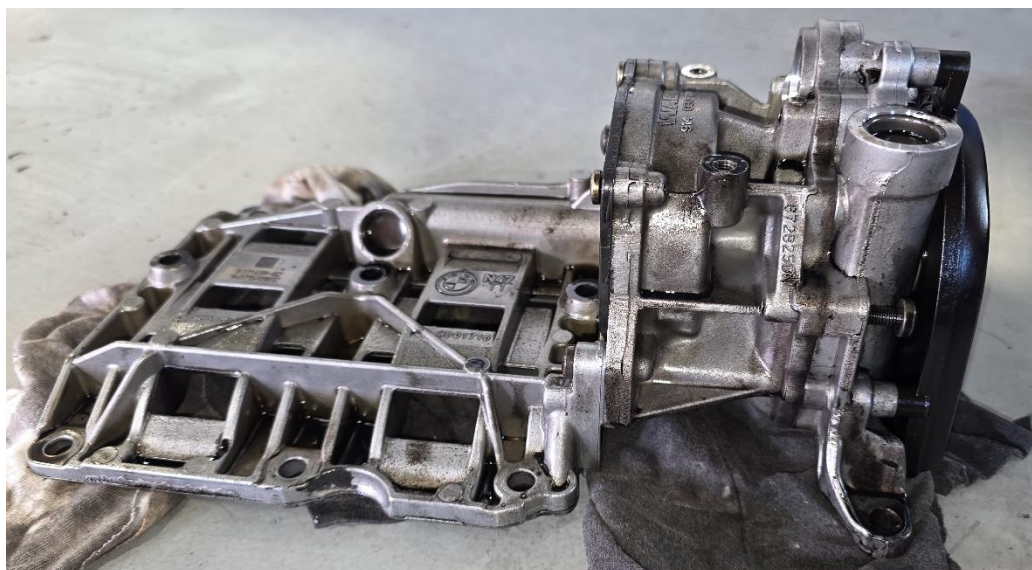


Komplete bat + ojnica sem s pomočjo stiskalnika batnih obročkov vstavil v cilindre, pri čemer sem pazil na pravilno orientacijo batov (oznaka/puščica). Nato sem jih povezal z ročično gredjo in vijake ojníc zategnil po predpisanem postopku: 20 Nm + 70° + 70°. Ta pristop zagotovi stabilno radialno vpetje in minimalno plastično deformacijo navojev.

3.2.3 Montaža oljne črpalke in tesnilnih obrob

Na nosilec glavnih ležajev sem namestil pogonsko verigo oljne črpalke (slika 17), ki sem jo natančno poravnal s sornikom na ročični gredi. S tem sem zagotovil pravilno delovanje mazalnega sistema.

Slika 17: Oljna črpalka



Sprednjo in zadnjo tesnilno obrobo sem vpeljal s pomočjo namenskih vodil, s čimer sem zaščitil tesnilni rob pred poškodbami. Mazanje sem izvedel skladno z navodili proizvajalca, saj nekateri sistemi zahtevajo suho montažo tesnilnega roba, drugi pa tanek film olja. S tem sem zagotovil dolgoročno tesnost brez puščanja.

3.2.4 Kontrola izbokline batov in izbor tesnila glave

Po vgradnji batov sem z merilno uro izmeril izboklino batov v zgornji mrtvi legi. Meritve sem izvedel nad sornikom na obeh straneh bata in jih večkrat ponovil. Na osnovi rezultatov sem izbral ustrezno debelino tesnila glave motorja, ki zagotavlja pravilno kompresijsko razmerje in preprečuje stik med bati in ventili.

3.2.5 Priprava navojev in vgradnja tesnila glave

Navoje v bloku sem temeljito izpihal in osušil, da sem preprečil hidravlični zaklep, ki bi lahko povzročil napačne odčitke navora ali celo razpoke v bloku. Nato sem na blok položil novo tesnilo glave ustrezne debeline, ki poleg tesnjenja neposredno vpliva tudi na kompresijsko razmerje motorja.

3.2.6 Montaža glave motorja

Glavo motorja sem namestil na blok in jo privijačil z novimi vijaki. Postopek je bil tovarniško predpisan in je potekal v več stopnjah: najprej sem vsak vijak zategnil na 50 Nm, nato pa v dveh zaporednih korakih še po 120° s pomočjo kotomera. Takšna metoda, ki se zanaša na raztezanje vijakov, zagotavlja enakomerno vpenjalno silo in popolno tesnjenje med glavo in blokom.

3.2.7 Razvodni mehanizem – komponente in montaža

Po montaži glave sem se lotil sestavljanja razvodnega sistema. Vgradil sem popolnoma nov set verig, vodil in hidravličnih napenjalcev. Pred montažo sem napenjalce prednapolnil z oljem, da so takoj ob prvem zagonu delovali brez zastoja. Vse vijake napenjalcev in vodil sem privijačil na predpisane momente.

Za nastavitve sem uporabil specializiran set orodja SW-Stahl 26110L (slika 18), namenjen motorjem BMW in MINI serij N47/N57. Orodje je vključevalo TDC zatič, poravnalno ploščo, trdi napenjalec in pripomoček za zobnike. Tako sem lahko odmične gredi natančno poravnal v položaj zgornje mrtve točke prvega valja in preprečil najmanjša odstopanja.

Slika 18: Orodje SW-Stahl 26110L



3.2.8 Nastavitev faz razvodnega mehanizma

Motor sem postavil v zgornjo mrtvo točko prvega valja in rolično gred zaklenil s TDC zatičem. Nato sem na zadnjo stran odmičnih gredi namestil poravnalno ploščo, ki je zagotavljala tovarniško določeno lego. Hidravlični napenjalec sem začasno nadomestil s trdim napenjalcem, da sem ohranil stalno napetost verige. Zobnike odmičnih gredi sem nato sprostil in ponovno zategnil v dveh korakih: 15 Nm + 90°. Po končanem postopku sem trdi napenjalec zamenjal z novim hidravličnim, ki sem ga predhodno prednapolnil z oljem. Na koncu sem motor ročno dvakrat obrnil in ponovno preveril lego poravnalne plošče ter TDC zatiča. Orodje za nastavitev faze razvodnega mehanizma nam prikazuje slika 19.

Slika 19: Orodje za nastavitev faze razvodnega mehanizma



3.2.9 Posebnosti pri menjavi verige z motorjem na paletah

Med delom sem motor sprva imel obešen na žirafi, ob sami menjavi verige pa sem ga položil in podprl na palete. Ta postavitvev je omogočila stabilno lego in boljši dostop do razvodnega sistema, delo pa je bilo bistveno manj fizično zahtevno. Pri montaži pokrovov razvodnega mehanizma sem tesnilno maso nanašal samo na mestih, ki jih predpisuje proizvajalec, in v enakomernem, tankem sloju. Vijake pokrovov sem zategnil na predpisane vrednosti: vijaki M6 na približno 10 Nm in vijaki M8 na približno 19 Nm.

3.2.10 Tesnilo pokrova ventilov

Za tesnjenje pokrova ventilov sem uporabil visokotemperaturno silikonsko tesnilno maso Loctite, ki je odporna na olje, hladilno tekočino in vibracije. Nanesel sem jo v tanki liniji samo na predpisana mesta, da sem zagotovil tesnost brez tveganja, da bi presežek mase zamašil oljne kanale.

3.2.11 Montaža sklopke

Pred vgradnjo motorja sem zaradi enostavnejše dostopnosti namestil še komplet sklopke. S pomočjo orodja za centriranje sem poravnal lamelo, nato pa vijake košare sklopke zategnil v križnem vzorcu na predpisan navor 22–25 Nm. Tako sem zagotovil enakomerno razporeditev sile in preprečil deformacijo košare. Izvedba tega koraka izven vozila je bistveno olajšala delo, saj bi bila kasnejša dostopnost močno omejena.

3.3 MONTAŽA ZUNANJIH SISTEMOV IN KOMPONENT

Nadaljeval sem z montažo vseh zunanjih elementov motorja, kar je predstavljalo zadnji korak pred njegovo vgradnjo v vozilo. To je bil ključen del postopka, saj sem s tem mehansko obnovljeno jedro motorja dopolnil z vsemi vitalnimi sistemi. Namestil sem gorivni sistem, vključno z visokotlačno in nizkotlačno črpalko, kar sem izvedel, ko je bil dostop še neoviran. Sledila je montaža turbinskega sklopa, sesalnih in izpušnih kolektorjev, tlačnih cevi in hladilnika polnilnega zraka (intercooler). Prav tako sem montiral vodno in oljno črpalko, sistem DPF/EGR ter vse pomožne jermene. Celoten proces je bil zasnovan tako, da je bil motor ob vgradnji v karoserijo popolnoma funkcionalen, kar je preprečilo dodatna, težje izvedljiva dela v stisnjemem prostoru.

3.3.1 Injektorji, gorivne črpalke in predtlakovanje

Injektorje sem najprej dal strojno obnoviti in testirati, s čimer sem zagotovil optimalen pretok goriva in pravilno razprševanje. Ležišča v glavi sem temeljito očistil (slika 20), vanje vgradil nova bakrena tesnila in nato namestil injektorje. Pritrdilne vijake injektorjev sem zategnil na pravilno določen navor, ki je ključen za preprečevanje puščanja (slika 21).

Slika 20: Očiščeno sedišče injektorjev



Slika 21: Obnovljeni injektorji



Rezultati testiranih injektorjev so prikazani na sliki računalniškega izpisa 22, medtem ko nam tabela 2 prikazuje povzetek rezultatov testiranja injektorjev.

Slika 22: Rezultati testiranih injektorjev

injektor
INJEKTOR D.O.O.

LIMBUŠKA CESTA 4
2341 LIMBUŠ
040389141
www.injektor.si

Injector test results

Manufacturer: **BOSCH**
Part number: **0 445 116 001**
Car model:

$R = 183 \text{ k}\Omega$ $300V = 116 \mu\text{S}$
 $C = 2,18 \mu\text{F}$

Test	Pressure bar	Pulse wid. usec	Specified mm3/st	Inj. # 1	Inj. # 2	Inj. # 3
Start test	300	2500	65.0 ± 35.0	75.2 ✓		
ISA detection	1600	700	5.0 ± 5.0	K ✓		
Dynamic leak	1800	555	11.0 ± 4.0	10.9 ✓		
VL	1800	555	48.4 ± 5.0	49.1 ✓ 348 us		
VE	800	190	1.5 ± 1.3	1.7 ✓		
LL	300	565	5.1 ± 2.2	6.6 ✓		
EM	800	515	19.0 ± 3.6	20.4 ✓ 292 us		
NOP/MST	1000	1000				
IMA code				7YG855K		

Tabela 2: Rezultati testiranja injektorjev

Test	Pressure bar	Pulse wid. usec	Specified mm3/st	Inj. 1	Inj. 2	Inj. 3	Inj. 4
Start test	300	2500	65.0±35.0	74.5	74.5	75.2	73.5
ISA detection	1600	700	5.0±5.0	I	I	K	I
Dynamic leak	1800	555	11.0±4.0	10.9	10.9	10.9	10.7
VL	1800	555	48.4±5.0	48.6	48.6	49.1	46.9
VE	800	190	1.5±1.3	1.5	1.5	1.7	1.4
LL	300	565	5.1±2.2	6.5	6.5	6.6	6.0
EM	800	515	19.0±3.6	20.0	20.0	20.4	19.2
NOP/MST	1000	1000					
IMA code				8YRIA N1	8YRIA N1	7YG8S 5K	BZSLC S1

Nato sem vgradil nizkotlačno in visokotlačno gorivno črpalko z novimi tesnili. Črpalke sem pritrdil z vijaki, ki sem jih zategnil po predpisanih standardih. Po zaključeni montaži sem sistem goriva preveril s predtlakovanjem in izvedel vizualno kontrolo tesnosti. Ta varnostni ukrep je

bil ključnega pomena, saj sem preprečil morebitno puščanje goriva, ki bi lahko predstavljalo veliko požarno nevarnost.

3.3.2 Vodna črpalka, termostat in ohišje oljnega filtra

Vgradil sem nove komponente, kot so vodna črpalka, termostat in ohišje oljnega filtra. Vijake za pritrnitev teh ohišij sem zategnil z natančno določenim navorom: za vijake M6 sem uporabil približno 10 Nm, za vijake M8 pa 19 Nm. Upoštevanje teh specifikacij je ključnega pomena, saj je na ta način zagotovljeno, da so tesnila pravilno stisnjena in da ne pride do puščanja.

3.3.3 Obnova in montaža turbinskega sklopa

Turbinski sklop sem obnovil. Najprej sem razstavil celoten sklop in temeljito očistil nakopičene ogljikove saje ter vse usedline. Nato sem zamenjal vsa potrebna tesnila in vgradil nov set tesnil. Hkrati sem temeljito očistil dovodne in povratne oljne cevi. Po montaži sem banjo vijak zategnil na predpisan navor ~25 Nm, s čimer sem zagotovil pravilno tesnjenje dovoda olja. Za konec pa sem turbino prednapolnil z oljem, kar je preprečilo, da bi ležaji delovali na suho v prvih kritičnih sekundah zagona. Aktivnosti čiščenja turbinskega sklopa so prikazane na slikah 23 do 26.

Slika 23: Notranjost turbine pred obnovo



Slika 24: Sredica turbinskega sklopa s sajavimi usedlinami



Slika 25: Zamašen turbinski mehanizem z ogljikovimi usedlinami



Slika 26: Razstavljen turbinski sklop po čiščenju



3.3.4 Montaža kolektorjev in tlačnega sistema

Najprej sem sesalni kolektor temeljito očistil, saj se je v njem nabrala debela plast saj (slike 27 in 28), nato pa vgradil sesalni in izpušni kolektor z novimi tesnili in ju zategnil v križnem vzorcu. Pri tem sem upošteval natančne momente, saj to zagotavlja enakomerno porazdelitev pritiska.

Slika 27: Ogljikove usedline v sesalnih kanalih glave motorja



Slika 28: Očiščene ogljikove usedline



Pregledal sem tudi tlačne cevi in intercooler (slika 29). Čeprav se je po približno mesecu dni pojavila okvara, saj je intercooler popustil, sem na podlagi diagnoze izvedel zamenjavo intercoolerja. Vgradil sem nov del in ponovno pregledal vse priključke, s čimer sem zagotovil popolno tesnost. Celoten postopek, vključno z demontažo starega in montažo novega dela, je zaradi enostavne dostopnosti trajal manj kot 15 minut. Po zamenjavi je bil tlačni sistem ponovno zatesnjen, kar je motorju povrnilo optimalno zmogljivost in delovanje.

Slika 29: Puščanje olja iz intercoolerja zaradi netesnosti.



3.3.5 Tesnila DPF in EGR hladilnika

Preventivno sem na vseh spojih vgradil nova tesnila, kar je bil pomemben korak za zagotavljanje dolgoročne tesnosti. Hkrati sem natančno preveril lego elementov, s čimer sem se prepričal, da noben del ni pod napetostjo ali premaknjen, kar bi lahko povzročilo obremenitev tesnil in kasnejše puščanje.

3.3.6 Komplet pomožnih jermenov in napenjalec

Kot zadnji korak pred vgradnjo motorja v vozilo sem namestil še komplet pomožnih jermenov in pripadajoči napenjalec. S tem sem zagotovil pogon vseh zunanjih agregatov, kot so alternator, vodna črpalka in kompresor klime. Vijake sem zategnil z uporabo momentnega ključa in sledil sem natančnim specifikacijam: za vijake M8 sem uporabil navor približno 22 Nm, za vijake M10 pa 40–45 Nm. Upoštevanje teh momentov je ključno za zagotavljanje pravilne napetosti in preprečevanje zdrsa jermenov.

3.4 VGRADNJA MOTORJA IN PRVI ZAGON

Končna faza projekta je obsegala vgradnjo motorja v vozilo, priklop vseh zunanjih sistemov, polnjenje tekočin in izvedbo prvih testov. Ta faza v praksi pokaže uspešnost celotne obnove.

3.4.1 Vgradnja motorja v vozilo

Vgradnja motorja v vozilo (slika 30) je potekala po obratnem postopku demontaže. Motor smo najprej postavili na paletu, nato pa vozilo s pomočjo dvigala počasi spuščali nad pogonski agregat. Pri tem smo skrbno opazovali in prilagajali lego motorja, da smo ga pravilno poravnali z menjalnikom in se izognili morebitnim poškodbam. Ko je bil motor na mestu, smo ga pritrdili na nosilce in zategnili vijake, in sicer M10 na navor približno 47–55 Nm. Nato sem priklopil vse električne konektorje ter gorivne, hladilne in vakuumske vode.

Slika 30: Vgradnja obnovljenega motorja



3.4.2 Zaganjač

Zaganjač sem namestil in pritrdil po predpisanih momentih, in sicer na približno 45 Nm. Pri tem postopku sem storil napako, saj nisem pravilno pritrdil mase vozila na ohišje zaganjača, zaradi česar vozilo ob zagonu ni delovalo. Sprva sem bil prepričan, da je težava v okvari zaganjača, in sem še isti dan nabavil novega. Kasnejša diagnostika pa je pokazala, da je bila težava posledica površnosti in trenutne nepozornosti, kar me je stalo 250 evrov. Ta izkušnja je izpostavila pomen skrbnega in natančnega dela tudi pri rutinskih postopkih, saj lahko majhna napaka povzroči nepotrebne stroške in zamude.

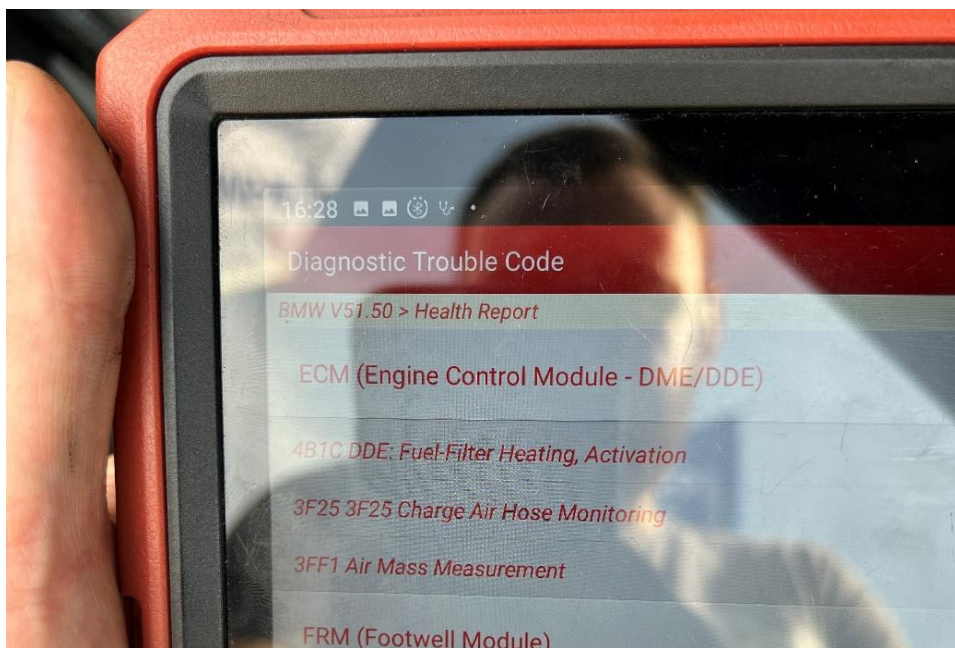
3.4.3 ECU

Obstoječi motorni računalnik (ECU) sem moral zamenjati, ker je imel občasno tri do pet trajnih napak DDE (Digital Diesel Electronics), ki jih ni bilo mogoče odpraviti. Na novo ECU sem namestil svež virtualni sistem, namenjen za BMW E92 320d z motorjem N47D20A, s čimer sem računalnik povrnil na tovarniške nastavitve s pomočjo opreme za programiranje krmilnih enot FLEX z Magic Motorsporta (slike 31 do 33).

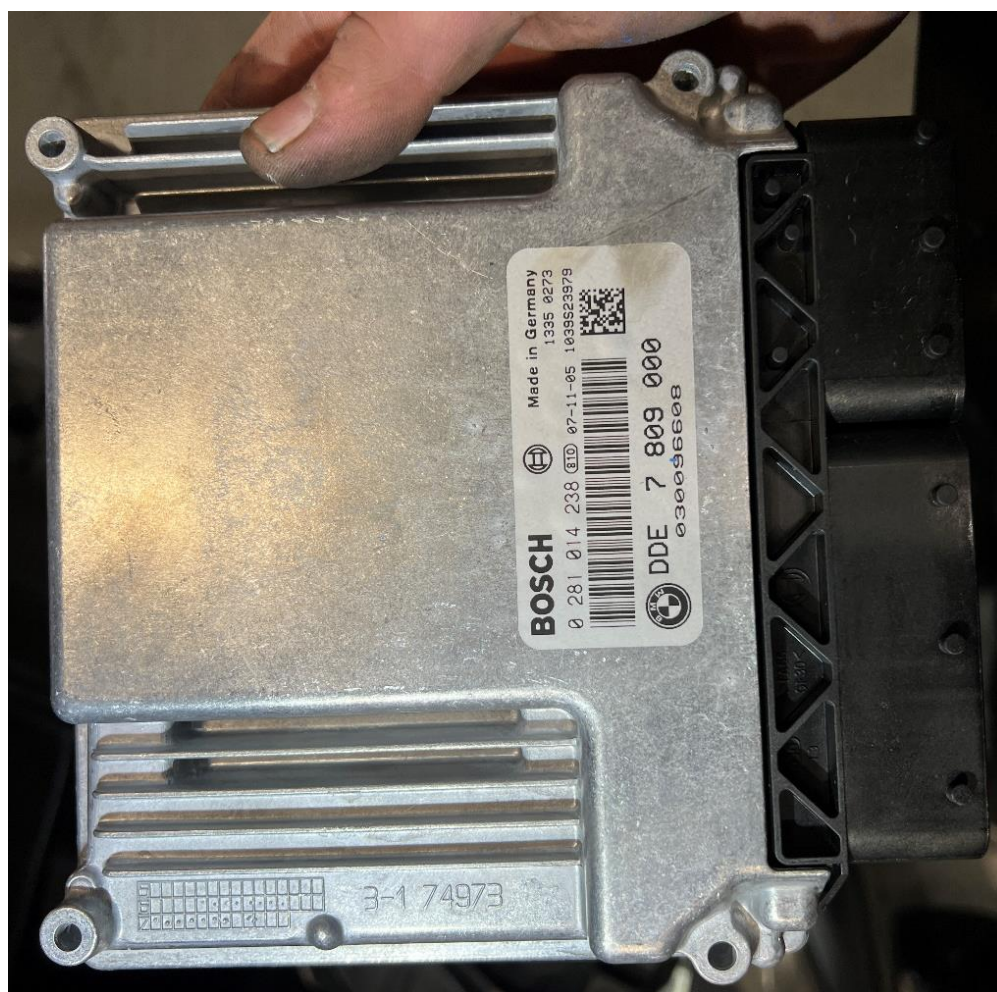
Slika 31: Magic Motorsport FLEX



Slika 32: Napake na ECU-ju



Slika 33: Nov motorni računalnik (ECU)



3.4.4 Polnjenje sistemov

Sistem sem napolnil s predpisanim oljem in hladilno tekočino. Zamenjal sem vse filtre, vključno z oljnim, ki sem ga, kjer je bilo izvedljivo, predhodno napolnil, da sem skrajšal čas do vzpostavitve delovnega tlaka. Pokrov ohišja oljnega filtra sem zategnil z navorom približno 25 Nm.

3.4.5 Priprava in pred zagon motorja

Pred prvim zagonom sem izvedel več ključnih postopkov za zagotovitev brezhibnega delovanja in preprečitev morebitnih poškodb. Hladilni sistem sem najprej testiral pod tlakom in pri tem odpravil manjšo netesnost, s čimer sem zagotovil popolno tesnjenje. Po končani montaži sem sistem odzračil po postopku, ki ga predpisuje proizvajalec (OEM) in dopolnil nivo hladilne tekočine, kar je preprečilo nastanek zračnih mehurčkov, ki bi lahko povzročili pregrevanje. Za zagotovitev pravilnega mazanja sem izvedel predvrtitev oljnega sistema, tako da sem motor vrtel z zaganjačem brez vbrizga goriva, dokler se ni vzpostavil delovni tlak olja. Nazadnje sem motor dvakrat ročno obrnil v smeri vrtenja, s čimer sem preveril pravilno nastavitve razvodnega mehanizma (faze) in se prepričal, da motor deluje brez zatikanja.

3.4.6 Zagon, diagnostika in utekanje motorja

Ob prvem zagonu je motor deloval stabilno in brez nenormalnih zvokov. Takoj po zagonu sem s testerjem preveril vse ključne parametre: tlak goriva, korekcije injektorjev in temperature, da sem potrdil pravilnost mehanske in elektronske konfiguracije. Z dodatnim manometrom na servisni točki sem preveril tudi dejanski tlak olja, ki je bil v okviru specifikacije, kar je potrdilo funkcionalnost ležajev in oljne črpalke. Med delovanjem motorja sem vizualno preveril tudi morebitna puščanja olja, goriva ali hladilne tekočine in potrdil, da je bil motor pravilno zatesnjen. V fazi utekanja, ki je trajala približno 500–1000 km, sem motor obremenjeval zmerno in se izogibal visokim vrtljajem ter dolgotrajni konstantni obremenitvi. Po preteku te faze sem izvedel prvi servis, kjer sem zamenjal olje in oljni filter ter ponovno preveril vse tesnosti in pritrditve.

3.5 TABELA ZATEZNIH MOMENTOV

Zatezni momenti so predstavljeni v tabeli 3.

Tabela 3: Tabela zateznih momentov

Sklop ali komponenta	Zatezni moment	Opombe
Vijaki glave motorja	50 Nm + 2x 120°	Postopek poteka v dveh zaporednih korakih po 120°.
Vijaki ojnic	20 Nm + 2x 70°	Postopek zagotavlja stabilno radialno vpetje in minimalno plastično deformacijo navojev.
Vijaki pokrovov razvodnega mehanizma	M6: pribl. 10 Nm; M8: pribl. 19 Nm	Zategovanje se izvede v skladu s predpisanimi vrednostmi.
Vijaki košare sklopke	22–25 Nm	Zategovanje v križnem vzorcu zagotavlja enakomerno razporeditev sile.
Banjo vijak (dovod olja za turbino)	pribl. 25 Nm	Zategovanje zagotavlja pravilno tesnjenje dovoda olja.
Vijaki ohišij (vodna črpalka, termostat, ohišje oljnega filtra)	M6: pribl. 10 Nm; M8: 19 Nm	Natančno zategovanje zagotavlja pravilno stisnjenje tesnil in preprečuje puščanje.
Komplet pomožnih jermenov in napejnalec	M8: pribl. 22 Nm; M10: 40–45 Nm	Momenti so ključni za zagotavljanje pravilne napetosti in preprečevanje zdrsa.
Vijaki za pritrditev motorja na nosilce	M10: pribl. 47–55 Nm	Vijaki so zategnjeni po predpisanih specifikacijah.
Zaganjač	pribl. 45 Nm	Pritrditev zaganjača po predpisanih momentih.
Pokrov ohišja oljnega filtra	pribl. 25 Nm	Navor je določen za pravilno namestitev pokrova.

3.6 ANALIZA STROŠKOV

Na podlagi izvedene obnove motorja BMW N47D20A, prikazanega izpiska stroškov materialnega dela s strani podjetja GMT (slike 34 do 36) in prikazanega skupnega stroškovnika (slika 37) lahko ugotovim, da so se skupni stroški, vključno z DDV-jem, ustavili pri 3.587,05 €. Čeprav je bila začetna ocena okoli 3.500 €, je končna številka nekoliko preseгла pričakovano vrednost, a še vedno ostala v razumnih okvirih glede na obseg opravljenih del in količino nadomeščenih komponent.

Pomembno pa je izpostaviti, da bi bil strošek bistveno višji v primeru, če bi se obnove lotil brez popustov podjetja. Takrat bi skupna številka dosegla kar 5.518,18 €, kar pomeni več kot 1.900 € razlike. Prav ta prihranek jasno pokaže, kako pomembno je pri večjih projektih, kot je generalna obnova motorja, sodelovati s podjetjem oziroma koristiti popuste pri dobaviteljih.

Slika 34: Posnetek zaslona GMT

The screenshot shows a web browser window with the URL web1.carparts-cal.com/default.aspx?250=48114=36832=0&10=99D6B3AD70C458282BA15AADF516053225016&12=999. The page is titled "Vozilek" and shows search results for a BMW N47D20A engine. The search filters include "Koda motorja" (Engine code) and "TM-ID". The search results table lists various parts with their part numbers, descriptions, and prices.

Količina	Šifra izdelka	Skupina izdelkov	Opis izdelka	Nabavna cena	Prodajna cena	Štupaj (nakup)	Vreda (prodaja)
4	10286679	MAHLE	BATINI OBRDOČKI BMW 118D, 118D 00-, E80 2.0D 05-, X3 1.8D, 2.0D 07-	16,47 EUR	38,61 EUR	65,88 EUR	154,44 EUR
1	11182283	FAI AutoParts	BBZ121-STD Ojnicni lezalj	101,57 EUR (45%)	184,68 EUR (45%)	101,57 EUR	194,68 EUR
1	11206418	VICTOR RENZ	Tesnilo, glavna motorja	48,25 EUR (45%)	87,73 EUR (45%)	48,25 EUR	87,73 EUR
1	10291637	VICTOR RENZ	Komplet vijakov glave valja	22,99 EUR (45%)	41,90 EUR (45%)	22,99 EUR	41,90 EUR
1	10306817	VICTOR RENZ	Tesnilo, ojnica kad (karter)	15,12 EUR (45%)	27,49 EUR (45%)	15,12 EUR	27,49 EUR
1	10072779	VICTOR RENZ	Tesnilo, ojnise zobatega jemerena	14,13 EUR (45%)	25,70 EUR (45%)	14,13 EUR	25,70 EUR
1	11447665	CONTINENTAL CTAM	6DPK1817WFP, vodna crpalika+komplet rebarslega jemerena	130,33 EUR	130,33 EUR	130,33 EUR	130,33 EUR
1	11332892	MAHLE	BEHR				

Slika 35: Posnetek zaslona GMT

PA13036 (Odljava)

Iskanje: Zgod. art. Zgod. vozil

Iskanje vozila:

VIN (SLO): npr. AA05246

Koda motorja: npr. AA05246

TM-ID: npr. AA05246

Iskanje artikla: npr. AA05246

Iskanje pnevmatik: npr. OC 47

Iskanje univerzalnih delov: npr. Varovalka 12V

Neposredni nakup: npr. Varovalka 12V

Številka izdelka: npr. Varovalka 12V

Številka: npr. Varovalka 12V

Voziček

Start	Osebn. avtomobil	Prevoznik	Gospodarsko vozilo	Motorno kolo	Univerzalni deli	Voziček (26)	Odljava	TM Tyres	Prodajne akcije
60PK11817WP1	MAHLE	BEHR					130,33 EUR		130,33 EUR
TX 163 87D2	TERMOSTAT, hladilno sredstvo	TERMOSTATI					25,42 EUR	45,94 EUR	25,42 EUR
2370106	METZGER	OHLIŠJE FILTRA OLJA					122,68 EUR (45%)	223,06 EUR (45%)	122,68 EUR
47.765	SIDAT	Komplet za montažo, turbina					7,53 EUR	13,85 EUR	7,53 EUR
47.059	SIDAT	Turbina skupna, turbopomilnik			ETP TURBO		81,75 EUR	191,22 EUR	81,75 EUR
71.39421-10	VICTOR RENZ	Testno izpustnega kolektorja			SREDICA TURBINE BMW 1,3,5,X1 X3 20D 169KM,177KM		4,80 EUR (45%)	8,36 EUR (45%)	9,20 EUR
71.39378-00	VICTOR RENZ	TSK BMW 1,3,5,X3 2.0D			TKI BMW		3,80 EUR (45%)	6,91 EUR (45%)	15,20 EUR
818594	VALEO	Hladnik polnega zraka			TSK BMW 1,3,5,X3 2.0D		83,05 EUR (45%)	151,00 EUR (45%)	83,05 EUR
624 3540 00	LUK	Komplet sklopke			LUK SAC		152,61 EUR (35%)	234,78 EUR (35%)	152,61 EUR
VD1127	CONTINENTAL CTAM	Jermenična ročnica gredi			SKL OPKA GRT BMW E91, E87 2.0D		124,11 EUR (45%)	225,66 EUR (45%)	124,11 EUR
81.39382.00	VICTOR RENZ	Semering ročne gredi			JERMIENICA GLAVNE GREDEI BMW		10,16 EUR (45%)	18,48 EUR (45%)	10,16 EUR
10023862	VICTOR RENZ	Semering ročne gredi			SEMERING GLAVNE GREDEI		12,90 EUR (45%)	23,46 EUR (45%)	12,90 EUR

Slika 36: Posnetek zaslona GMT

Vozíček

PA13038 (Odljava)

Iskanje: Zgod. art. Zgod. vozil

Iskanje vozila:

VIN (SLO): npr. AA05246

Koda motorja: npr. AA05246

TM-Id

Iskanje tipične številke: npr. AHU

Iskanje artikla: npr. OC 47

ISKANJE PNEVMATIK

Smer: npr. / R

ISKANJE UNIVERZALNIH DELOV: npr. Varovalka 12V

Neposredni nakup: Kolona

Številka izdelave: Kolona

Številka izdelave: Kolona

Vozíček

Številka izdelave	Opis	Cena	DDV (22%)	Skupaj vključno z DDV
10023662	VICTOR REINZ Semering ročne gredi	12,90 EUR (45%)	23,46 EUR (45%)	12,90 EUR
11456998	FA1 TESNILO, EGR ventil	2,22 EUR (42%)	3,83 EUR (42%)	2,22 EUR
10332404	BOSCH ZAGANJALČ BOSCH BMW	119,87 EUR (45%)	217,50 EUR (45%)	119,87 EUR
11164942	Artikel vsebuje akontacijo AKONTACIJA ZA ZAGANJALČ	110,00 EUR	110,00 EUR	110,00 EUR
10332663	BOSCH ČRPALKA GORIVA BMW E90 05-	606,46 EUR (45%)	1102,66 EUR (45%)	606,46 EUR
11164942	Artikel vsebuje akontacijo AKONTACIJA ZA ČRPALKO GOR	128,65 EUR	128,65 EUR	128,65 EUR
10093334	Artikel vsebuje akontacijo AKONTACIJA ZA ČRPALKO GOR	128,65 EUR	128,65 EUR	128,65 EUR
10072440	PIERBURG ČRPALKA GORIVA BMW	100,14 EUR	191,84 EUR	100,14 EUR
11696060	3RG TESNILNI POKROV, ODMIČNA GRED	3,47 EUR (42%)	5,98 EUR (42%)	3,47 EUR
11482669	E-RING TESNILNI OBRTOČ, ODPRTNA ŠOBE	3,76 EUR (43%)	6,59 EUR (43%)	3,76 EUR
630 020	TESNILNI OBRTOČ, ODPRTNA ŠOBE	3,76 EUR (43%)	6,59 EUR (43%)	3,76 EUR

Skupni znesek: 2135,74 EUR
 DDV (22%): 469,88 EUR
 Skupaj vključno z DDV: 2605,60 EUR

Slika 37: Tabela skupnih stroškov

Faza	Komponenta / Sklop	Znamka / Poreklo	Cena s % in DDV (EUR)	Cena brez % in DDV (EUR)	Priliranek	
Faza 1: Priprava jedra motorja	Batni obročki	MAHLE	65,88 €	154,44 €	53,90 €	
	Ojnični ležaji	FAI AutoParts	101,57 €	184,67 €	83,10 €	
	Glavni ležaji	FAI AutoParts	98,54 €	179,16 €	80,62 €	
	Tesnilni obrob glavne gredi spredaj	VICTOR REINZ	10,16 €	18,47 €	8,31 €	
	Tesnilni obrob ročične gredi zadaj	VICTOR REINZ	12,90 €	23,45 €	10,55 €	
	Tesnila pod odličnimi gredmi (4KOM)	ELRING	18,78 €	34,15 €	15,37 €	
	Pokrovi balersinih (ODMIČNIH) gredi	3RG	6,94 €	12,62 €	5,68 €	
	Faza 2: Montaža glave, razvoda in sklopke	Obnova glave	Srečko Čeh (Storitvena)	300,00 €	300,00 €	0,00 €
		Tesnilo glave motorja	VICTOR REINZ	48,25 €	87,73 €	39,48 €
		Vlajki glave motorja	VICTOR REINZ	22,99 €	41,80 €	18,81 €
Set krmilne verige		FEBI BILSTEIN	479,00 €	870,91 €	391,91 €	
Pogonska veriga oljne črpalke		FEBI BILSTEIN	39,00 €	70,91 €	31,91 €	
Tesnilo pokrova ventilov		VICTOR REINZ	39,00 €	70,91 €	31,91 €	
Visokotemperaturna tesnilna masa		Loctite	6,00 €	6,00 €	0,00 €	
Tesnilo oljnega korita		VICTOR REINZ	15,12 €	27,49 €	12,37 €	
Tesnilo zadnjega pokrova verige		VICTOR REINZ	14,12 €	25,67 €	11,55 €	
Sklopka		Luk SAC	152,61 €	277,47 €	124,86 €	
Faza 3: Montaža zunanjih sistemov in agregatov	Obnova vbrizgalnih šob	INJEKTOR D.O.O. (Storitvena)	100,00 €	100,00 €	0,00 €	
	Tesnila vbrizgalnih šob (4x)	ELRING	8,00 €	14,55 €	6,55 €	
	Visoko tlačna črpalka	BOSCH	735,11 €	1.102,65 €	496,19 €	
	Nizko tlačna črpalka	PIERBURG	200,14 €	182,07 €	81,93 €	
	Ohlajne filtre	METZGER	122,68 €	223,05 €	100,37 €	
	Ohlajne termosata in termostati	MAHLE	25,42 €	46,22 €	20,80 €	
	Vodna črpalka + komplet rebrastega jermena	CONTINENTAL CTAM	130,33 €	236,96 €	106,63 €	
	Obnova sredice turbine	(Storitvena)	120,00 €	120,00 €	0,00 €	
	Komplet za montažo sredice	SIDAT	81,75 €	148,64 €	66,89 €	
	Set tesnil za obnovo turbine	SIDAT	7,53 €	13,69 €	6,16 €	
	Tesnila sesalnega kolektorja	VICTOR REINZ	15,20 €	27,64 €	12,44 €	
	Tesnila izpušnega kolektorja	VICTOR REINZ	9,20 €	16,73 €	7,53 €	
	Tesnila EGR hladilnika (2x)	FAI	4,00 €	7,27 €	3,27 €	
	Tesnila DPF	VICTOR REINZ	15,00 €	27,27 €	12,27 €	
	Faza 4: Končna vgradnja in zagon	Jermena ročične gredi	CONTINENTAL CTAM	124,11 €	225,65 €	101,54 €
		Intercoler	VALEO	83,05 €	151,00 €	67,95 €
		Tesnila za cevi (charge pipe) (4x)	VICTOR REINZ	20,00 €	36,36 €	16,36 €
Zaganjač		BOSCH	119,67 €	217,58 €	97,91 €	
ECU	Facebook marketplace	115,00 €	115,00 €	0,00 €		
Olje, filtri... (Servisni material)	MOTUL/MAHLE/MOTACQUIP	120,00 €	120,00 €	0,00 €		
SKUPAJ:			3.587,05 €	5.518,18 €	2.125,12 €	

3.7 POVZETEK STROŠKOV OBNOVE

Pri obnovi motorja so po tehtni analizi in reparticiji stroškov materiala in lastnega dela nastali skupni stroški, ki so opredeljeni v tabeli 4.

Ker je bila obnova izvedena v lastni režiji, strošek lastnega dela ni bil ovrednoten, zato dejanski stroški obsegajo le material (tabela 4). V tabeli 5 pa so prikazani hipotetični stroški, kot bi nastali v primeru obračuna 100 delovnih ur po vrednosti 30 €/h.

Tabela 4: Seznam skupnih stroškov

Št.	Predmet /aktivnost:	Strošek [EUR]
1.	Celotni stroški materiala in delov	3.587,05
2.	Ure dela v lastni režiji (100 ur) neovrednoteno	0.00
Omejitve projekta (max.):		3.500
Skupni stroški popravila (dejanski):		3.587,05
BILANCA STANJA	Prihranek (+) / izguba (-)	-87,05

Tabela 5: Hipotetični skupni stroški

Št.	Predmet /aktivnost:	Strošek [EUR]
1.	Celotni stroški materiala in delov	3.587,05
2.	Ure dela v delavnici (100 ur) po 30 EUR	3.000
Omejitve projekta (max.):		3.500
Skupni stroški popravila:		6587.05
BILANCA STANJA	Prihranek (+) / izguba (-)	-3087,05

4 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sem se lotil celovite obnove pogonskega agregata BMW N47D20A, ki je znan po svoji učinkovitosti, a tudi po številnih konstrukcijskih težavah, zlasti s krmilno verigo. V uvodu sem si zastavil cilj, da obnovim motor na konkretnem primeru, natančno dokumentiram, kar se le da in vse faze postopkov z analizo ocenim, če je tak poseg smiselna rešitev v primerjavi z alternativami. V teoretičnem delu sem podal pregled zgodovine štirivaljnih dizelskih motorjev znamke BMW in opisal razvojne posebnosti motorja N47, kar mi je omogočilo boljše razumevanje njegove zasnove in tipičnih pomanjkljivosti.

V praktičnem delu sem uspešno izvedel vse faze – od demontaže, čiščenja, pregled in meritev naročila nadomestnih delov, obdelave kritičnih komponent ter ponovne montaže. Posebna pozornost je bila namenjena verižnemu sklopu, ležajem in tesnilom, ki so ključni za zanesljivo delovanje motorja. Po končani obnovi sem opravil diagnostične meritve in testni zagon, ki so pokazali, da motor deluje mirno, brez prisotnosti napak in z izboljšanimi kompresijskimi vrednostmi.

Analiza stroškov je potrdila, da je bila obnova bistveno cenejša od nakupa novega motorja oziroma naročila generalne obnove pri pooblaščenih izvajalcih. Poleg ekonomske koristi sem pridobil dragocene praktične izkušnje in potrdil, da je mogoče tudi pri motorjih z zahtevno konstrukcijo in slabim slovesom doseči zanesljivo delovanje, če je delo opravljeno strokovno in z ustreznimi nadomestnimi deli.

Med delom se nisem soočal z večjimi tehničnimi težavami, je pa sama obnova trajala dlje, saj sem se večino postopkov sprti učil in pridobival nova znanja. Do ene nepotrebne napake je prišlo pri montaži zaganjača, ko nisem preveril vseh kablov. Zaradi slabega stika zaganjač ni deloval, zmotno sem menil, da je okvarjen, zato sem ga zamenjal z novim, kar je povzročilo dodatne stroške.

Na koncu lahko povem, da sem z rezultatom zadovoljen, saj sem dokazal, da je obnova motorja N47D20A smiselna, izvedljiva in ekonomsko utemeljena rešitev. Delo lahko služi kot praktičen primer in strokovna podlaga za podobne projekte, hkrati pa predstavlja pomembno osebno izkušnjo in korak naprej v mojem strokovnem razvoju.

5 VIRI

Auto-Data.net. 2010-2025. [Elektronski vir] 2010-2025. [Navedeno: 17. 9 2025.] <https://www.auto-data.net/en/bmw-1-series-hatchback-5dr-e87-lci-facelift-2007-116d-115hp-27369>.

Bimmerarchive.org. 2016. [Elektronski vir] 23. 4 2016. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.bimmerarchive.org/photo/6110-369-bmw-m21.html>.

Bimmertoday. 2012. Die BMW Sportdiesel von 524td E28 uber 530d E39 bis M550d F10. *Bimmertoday.de*. [Elektronski vir] 21. 1 2012. [Navedeno: 15. 9 2025.] <https://www.bimmertoday.de/2012/01/21/die-bmw-sportdiesel-von-524td-e28-uber-530d-e39-bis-m550d-f10>.

BMW GROUP. 2013. 30 let dizelskih motorjev BMW. *BMW GROUP*. [Elektronski vir] 22. 7 2013. [Navedeno: 15. 9 2025.] <https://www.press.bmwgroup.com/slovenia/photo/detail/P90128493/30-years-bmw-diesel-engines-m41-4-cylinder-diesel-engine-1994-07-2013>.

BMWBlog. 2014. [Elektronski vir] 2014. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://cdn.bmwblog.com/wp-content/uploads/BMW-X3-xDrive20d-2014-F25-LCI-B47-Diesel-Motor-022.jpg>.

—. **2025.** BMW B47 Engine: Reliability, Efficiency, and Tuning Guide. *BMWBlog*. [Elektronski vir] 2025. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.bmwblog.com/2025/08/21/bmw-b47-engine-reliability-efficiency-tuning-guide>.

—. **2014.** BMW Modular Engines: B37, B38, B47 and B48. *BMWBlog*. [Elektronski vir] 21. 5 2014. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.bmwblog.com/2014/05/21/bmw-modular-engines-b37-b38-b47-b48/>.

—. **2017.** BMWBlog. *Four-Cylinder BMW diesels to get their first big update*. [Elektronski vir] 29. 11 2017. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.bmwblog.com/2017/11/20/four-cylinder-bmw-diesels-get-first-big-update/>.

—. **2024.** BMWBlog. *BMW N47: Reliability, Efficiency and Tuning*. [Elektronski vir] 19. 3 2024. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.bmwblog.com/2024/03/19/bmw-n47/>.

Bosch. 2018. *Automotive Handbook*. 2018.

diesel, M47R. 1999. TD4 engine manual m47r_diesel manual. [Elektronski vir] 1999. [Navedeno: 15. 9 2025.] file:///C:/Users/aljaz/Downloads/Td4%20engine%20manual%20m47r_diesel%20manual.pdf.

Globalparts.co.uk. 2025. [Elektronski vir] 2025. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://assets.globalparts.co.uk/assets/jpg/p0419084/m47n-150hp-bare-engine-204d4-with-99k-miles-warranty-bmw-e46-320d-320cd-diesel-sku-p0419084.webp?w=1080&q=75&v=1>.

Halderman, J. D. 2018. *Automotive Engines: Diagnosis, Repair, Rebuilding*. 2018.

Motoring Research. 2019. Massive BMW diesel engine recall is expanded. *Motoring Research*. [Elektronski vir] 2. 12 2019. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.motoringresearch.com/car-news/bmw-diesel-engine-recall-expanded/>.

SABONING d.o.o. 2025. SABONING d.o.o. [Elektronski vir] 2025. [Navedeno: 30. 9 2025.] https://pirs.si/pirs_logo/47764_k47wLzTmboE642qOGZ6t.png.

Scribd. 2025. BMW M47D20 Engine. *Scribd*. [Elektronski vir] 2025. [Navedeno: 16. 9 2025.] <https://www.scribd.com/doc/144862925/BMW-M47D20-ENGINE..>

Unixnerd.demon.co.uk. 1994. *BMW M51 Diesel Engine*. [Elektronski vir] 1994. [Navedeno: 16. 9 2025.] <http://www.unixnerd.demon.co.uk/m51.html>.

—, **2019.** BMW M21 Six Cylinder Diesel Engines. *The UnixNerd's BMW Domain*. [Elektronski vir] 17. 5 2019. [Navedeno: 15. 9 2025.] <https://web.archive.org/web/20190517005529/http://www.unixnerd.demon.co.uk/m21.html>.

