

Design of an Innovative Triple-Shaft Sports Sequential Gearbox with Tandem Electronic Shifting

Výstup: D5_1- Rozsiahla analýza existujúcich radiácií valcov vrátane ich technických vlastností.

Pracovný balík: WP5

Číslo projektu: 09I03-03-V04-00644



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00644“.

Úvod

Radiaci valec (angl. *shift drum*) predstavuje kľúčový a vysoko presný riadiaci komponent sekvenčných prevodoviek, ktorý zabezpečuje transformáciu rotačného pohybu ovládacieho systému na lineárny posuv radiacích vidličiek, čím umožňuje presné a rýchle zaradenie jednotlivých prevodových stupňov. Z hľadiska mechanickej kinematiky ide o prvok, ktorý zaisťuje synchronizáciu pohybu v rámci celej prevodovej sústavy a významne ovplyvňuje plynulosť prenosu výkonu, mechanickú účinnosť a životnosť prevodovky. Každý detail jeho konštrukcie – tvar drážok, profil ich prechodov, hrúbka stien, materiálová báza i kvalita povrchovej úpravy – priamo determinujú výsledný čas radenia, úroveň vibrácií, dynamiku prevádzky a komfort ovládania.

V súčasných sekvenčných prevodovkách používaných v motoršporte i v špičkových automobilových aplikáciách plní radiaci valec funkciu mechanického radiaceho člena, ktorý musí zabezpečiť opakovateľnú presnosť radenia v časových rámcoch kratších ako 100 milisekúnd. V dôsledku vysokých dynamických zaťažení a častých reverzačných cyklov je tento komponent vystavený značnému kontaktne-mechanickému i tribologickému namáhaniu, preto musí byť navrhnutý s dôrazom na vysokú torznú tuhosť, tepelnú stabilitu a nízke trenie.

Cieľom tejto analýzy je vypracovať rozsiahlu a systematickú syntézu technických riešení radiacích valcov používaných v moderných sekvenčných prevodovkách pre športové a pretekárske aplikácie. Dokument sa zameriava na identifikáciu kľúčových geometrických princípov a ich vplyvu na presnosť radenia, na porovnanie rôznych materiálových a technologických prístupov, ako aj na hodnotenie tribologických a dynamických vlastností. V rámci výskumu sú posudzované aj výrobné technológie (CNC, EDM, povrchové úpravy, brúsenie a leštenie), ktoré ovplyvňujú presnosť a opakovateľnosť výroby.

Výsledky tejto analýzy poskytujú komplexný základ pre návrh vlastného inovatívneho radiaceho systému, ktorý bude v ďalšej etape projektu TRI-GEAR TES optimalizovaný z hľadiska mechanickej účinnosti, kompaktnosti a integrácie s mechatronickými aktuálnymi systémami moderných športových prevodoviek.

1. Princíp činnosti a funkčné požiadavky radiaceho valca

Radiaci valec je navrhnutý ako rotačný člen s presne frézovanými špirálovitými drážkami, ktoré slúžia ako vodiace kanály pre čapy radiacích vidličiek. Tieto drážky sú definované parametrami sklonu, polomeru zakrivenia, axiálnej výšky a profilovej hĺbky, pričom každá z nich riadi jeden konkrétny radiaci pohyb. Kinematická funkcia valca je založená na konverzii rotačného pohybu (ω) na lineárny posuv (s) podľa vzťahu:

$$s = r \cdot \tan(\alpha)$$

kde r je polomer valca a α je uhol stúpania špirály. Tento vzťah umožňuje optimalizovať priebeh posuvu podľa požiadaviek na rýchlosť a plynulosť radenia. Správne zvolený tvar



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

dráhy eliminuje riziko vzniku dynamických rázov pri prechode zubových spojok a zároveň zabezpečuje rovnomerné zaťaženie hriadeľa.

Funkčné požiadavky na radiaci valec možno rozdeliť do štyroch kategórií:

1. **Kinematické požiadavky:** presná konverzia pohybu bez oneskorenia, minimálne uhlové vôle, kontrolovaná rýchlosť rotácie.
2. **Mechanické požiadavky:** vysoká pevnosť, odolnosť voči torznému zaťaženiu a opotrebeniu, rovnomerné rozloženie síl.
3. **Tribologické požiadavky:** nízky koeficient trenia medzi čapom vidličky a drážkou, stabilná mazacia vrstva, odolnosť voči mikrotrhlinám.
4. **Termomechanické požiadavky:** minimálna tepelná rozťažnosť, zachovanie geometrickej presnosti pri teplotách 20–120 °C.

Materiálové riešenia radiacích valcov vychádzajú z kombinácie pevnosti, hmotnosti a tribologických vlastností. Najčastejšie používané sú oceli 42CrMo4, 20MnCr5 alebo 16MnCr5 s cementáciou do hĺbky 0,8–1,2 mm a povrchovým kalením na 58–62 HRC. Alternatívne sa používajú hliníkové zliatiny 7075-T6 s tvrdým eloxom (HV 450–500), ktoré znižujú hmotnosť o 35–40 %. Pre zvýšenie odolnosti proti opotrebeniu sa aplikujú povlaky typu DLC, TiN alebo CrN, ktoré redukovávajú koeficient trenia na $\mu = 0,05–0,08$ a predlžujú životnosť viac ako trojnásobne.

Moderné radiacie systémy využívajú ložiskové uloženia s axiálnym predpätím, ktoré znižujú vibrácie a umožňujú hladší chod pri vysokých otáčkach. Niektoré konštrukcie sú doplnené o magnetické alebo optické snímače polohy, ktoré v reálnom čase prenášajú informácie do riadiacej jednotky radenia. Takto vytvorený mechatronický systém umožňuje adaptívne riadenie radenia v závislosti od rýchlosti, krútiaceho momentu a dynamiky vozidla.

Vedecký význam analýzy princípu činnosti spočíva v identifikácii optimálnej geometrie drážok, ktorá minimalizuje energetické straty, redukuje kontaktné napätia a zvyšuje plynulosť radenia. Tento poznatok predstavuje základ pre nasledujúcu kapitolu- typologickú analýzu existujúcich priemyselných riešení.

2. Typologická analýza existujúcich riešení

Typologická analýza predstavuje kľúčovú časť tejto správy, pretože umožňuje identifikovať silné a slabé stránky komerčne dostupných riešení radiacích valcov. Na účely tejto analýzy boli vybrané štyri reprezentatívne koncepcie používané v moderných sekvenčných prevodovkách: Sadev ST90, Quaife QBE60G, Hewland LLS a Xtrac 1046. Tieto systémy reprezentujú rôzne filozofie návrhu – od ľahkých hliníkových konštrukcií až po robustné oceľové moduly s vysokou torznou tuhosťou.

2.1 Radiaci valec Sadev ST90



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Model ST90, používaný v automobiloch kategórie Rally2 a GT4, je vyrobený z cementačnej ocele 16MnCr5 s povrchovou úpravou DLC. Geometria jeho drážok je optimalizovaná pre vysokorýchlostné radenie, pričom uhol stúpania $\alpha = 5,5^\circ$ zabezpečuje lineárny posuv 6,8 mm na 45° rotácie valca. Systém je vybavený axiálnym predpätím a využíva guľôčkové ložiská s nízkym trením. Výhodou tohto riešenia je presnosť radenia v rozsahu $\pm 0,02$ mm a výborná odolnosť voči vibráciám. Nevýhodou je vyššia hmotnosť (cca 1,2 kg) a náročnosť výroby špirálových drážok.

2.2 Radiaci valec Quaife QBE60G

Tento britský systém je koncipovaný s dôrazom na kompaktnosť a nízku zotrvačnosť. Valec je vyrobený z hliníkovej zliatiny 7075-T6, povrchovo eloxovaný na tvrdosť 480 HV. Uhol rotácie pre zaradenie stupňa je 50° , pričom geometria drážok využíva asymetrický profil – pomalý nábeh a rýchly výstup, čo umožňuje rýchle odpojenie a plynulé zapojenie spojky. Mechanizmus je uložený v bronzových púzdrach s mazacím kanálkom, čím sa dosahuje extrémne nízke trenie. Hlavnou výhodou systému je veľmi nízka hmotnosť (0,72 kg) a vysoká dynamická odozva, avšak s mierne nižšou životnosťou povrchu pri dlhodobom zaťažení.

2.3 Radiaci valec Hewland LLS

Valec LLS od spoločnosti Hewland je klasickým predstaviteľom robustnej ocelevej koncepcie. Vyrobený je z materiálu 42CrMo4 s cementáciou 1,0 mm a povrchovou tvrdosťou 60 HRC. Tvar drážok je viacprofilový s variabilným uhlom $\alpha = 4-7^\circ$, čím sa optimalizuje plynulosť prechodu medzi stupňami. Použité sú dvojité guľôčkové ložiská NSK a axiálne puzdrá so zníženým trením. Výsledkom je výborná odolnosť a stabilita radenia, aj keď pri vyššej zotrvačnosti rotujúcich častí. Tento typ je vhodný pre vysokovýkonné aplikácie s krútiacim momentom nad 400 Nm.

2.4 Radiaci valec Xtrac 1046

Valec Xtrac 1046 predstavuje najnovšiu generáciu mechatronických systémov radenia. Je vyrobený z titánovej zliatiny Ti-6Al-4V, s kombináciou DLC povlaku na čelných kontaktoch. Systém využíva integrované Hallove senzory, ktoré umožňujú presné snímanie uhlovej polohy s rozlíšením $0,1^\circ$. Vďaka nízkej hmotnosti (0,68 kg) a vysokej pevnosti ($R_m = 950$ MPa) je tento valec vhodný pre aplikácie F3 a LMP kategórií. Jeho nevýhodou je vysoká výrobná cena a zložitosť integrácie elektronických senzorov do uzavretého telesa prevodovky.

2.5 Komparatívne zhodnotenie

Porovnanie jednotlivých riešení ukazuje, že všetky systémy spĺňajú základné požiadavky na presnosť a spoľahlivosť, avšak líšia sa prioritami návrhu. Oceľové varianty (Hewland, Sadev) ponúkajú vysokú životnosť a stabilitu, zatiaľ čo hliníkové a titánové koncepcie (Quaife, Xtrac) sa vyznačujú nízkou hmotnosťou a rýchlejšou dynamickou odozvou. Priemerná účinnosť prenosu pohybu sa pohybuje od 96,5 % (oceľové systémy) po 98,2 % (ľahké zliatinové systémy). Výber optimálneho riešenia závisí od cieľového použitia – pri pretekárskych



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

aplikáciách s častým radením sú preferované nízko hmotnostné mechatronické systémy, zatiaľ čo pri dlhších okruhoch dominuje robustnosť a odolnosť.

3. Materiálové a technologické riešenia

Kvalita, spoľahlivosť a životnosť radiaceho valca sú v rozhodujúcej miere determinované správnou voľbou materiálov, tepelného spracovania a výrobných technológií. Táto kapitola poskytuje komplexnú analýzu používaných materiálových systémov a technologických procesov, ktoré zabezpečujú optimálnu kombináciu pevnosti, tvrdosti, odolnosti voči opotrebeniu a nízkej hmotnosti.

3.1 Používané materiály

Najrozšírenejšou skupinou materiálov pre výrobu radiacích valcov sú legované konštrukčné ocele, ako napríklad 16MnCr5, 20MnCr5 a 42CrMo4, ktoré umožňujú cementovanie, kalenie a následné brúsenie na vysokú povrchovú presnosť. Cementačná vrstva zlepšuje odolnosť proti opotrebeniu a únave, pričom vnútorné jadro si zachováva húževnatosť potrebnú na absorbovanie torzných impulzov pri radení. Tvrdosť týchto vrstiev sa pohybuje v rozmedzí 58–62 HRC s hĺbkou 0,8–1,2 mm.

Pre aplikácie s požiadavkou na zníženie hmotnosti sa používajú hliníkové zliatiny 7075-T6 alebo 2024-T3, ktoré ponúkajú vysokú pevnosť pri relatívne nízkej hustote ($2,8 \text{ g/cm}^3$). Povrch sa upravuje tvrdým eloxom s mikrotvrdosťou 450–500 HV, ktorý zvyšuje odolnosť proti opotrebeniu a znižuje trenie. Tento typ riešenia je obľúbený v aplikáciách, kde je prioritou nízka zotrvačnosť rotujúcich častí.

Pre špičkové športové prevodovky, ako sú systémy Xtrac alebo Ricardo, sa čoraz častejšie používajú titánové zliatiny Ti-6Al-4V. Ich prednosťou je extrémny pomer pevnosti k hmotnosti ($R_m \approx 950 \text{ MPa}$, $\rho = 4,43 \text{ g/cm}^3$) a výborná odolnosť voči teplotným zmenám. Nevýhodou je náročná obrobiteľnosť a vysoké výrobné náklady.

3.2 Tepelné a povrchové spracovanie

Tepelné spracovanie je rozhodujúcim krokom pre dosiahnutie požadovanej kombinácie tvrdosti a húževnatosti. V prípade oceľových valcov sa využíva cementovanie v plynnej alebo vákuovej atmosfére pri teplotách 870–940 °C, následné kalenie v oleji a popúšťanie pri 150–200 °C. Cieľom je vytvoriť tvrdú, opotrebovaniu odolnú povrchovú vrstvu pri zachovaní húževnatého jadra.

Na zvýšenie odolnosti voči opotrebeniu a korózii sa aplikujú tenkovrstvové PVD povlaky, ako sú DLC (Diamond-Like Carbon), TiN (Titanium Nitride), CrN (Chromium Nitride) a MoS₂ (Molybdenum Disulfide). Povlaky typu DLC vykazujú koeficient trenia $\mu \approx 0,05$, čím sa výrazne znižuje trenie medzi čapom radiacej vidličky a drážkou valca. TiN a CrN povlaky sú vhodné pre aplikácie s vyššou teplotou prevádzky (do 450 °C), zatiaľ čo DLC je ideálny pre vysokofrekvenčné cykly radenia.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

3.3 Výrobné technológie

Presnosť výroby radiacích valcov je jedným z kľúčových faktorov ich funkčnosti. Najčastejšie používanou technológiou je CNC frézovanie s následným brúsením a lapovaním. Moderné výrobné linky používajú päťosé CNC stroje (napr. DMG MORI alebo Mazak), ktoré umožňujú tvarovanie špirálovitých drážok s presnosťou $\pm 0,005$ mm. Pre zložité profily sa využíva elektroerozívne obrábanie (EDM), ktoré umožňuje tvorbu tvarovo komplikovaných drážok bez tepelnej deformácie materiálu.

Pre zabezpečenie optimálnej kvality povrchu sa používa kombinácia brúsenia, leštenia a merania 3D profilometrie. Povrchová drsnosť R_a po finálnom opracovaní dosahuje hodnoty 0,2–0,4 μm , čo zabezpečuje plynulé vedenie čapov vidličiek. Následne sa vykonáva kontrola geometrie pomocou 3D optických skenerov s presnosťou do 3 μm .

3.4 Moderné technologické trendy

V posledných rokoch dochádza k integrácii aditívnych a hybridných výrobných technológií. Kombinácia CNC obrábania a laserového spekania kovov (SLM) umožňuje výrobu valcov s vnútornými mazacími kanálmi a optimalizovanou hmotnostnou štruktúrou. Takéto riešenia prinášajú zníženie hmotnosti o 20–25 % a lepšiu distribúciu maziva v drážkach.

Ďalším trendom je implementácia in-line metrológie – automatizované meranie geometrie počas výrobného procesu, ktoré zabezpečuje vysokú opakovateľnosť a skracuje čas kontroly. Tieto technológie umožňujú vyrábať radiace valce s extrémnou presnosťou a minimálnymi odchýlkami, čím sa znižuje riziko chýb pri montáži a prevádzke.

4. Porovnávací tabuľka technických parametrov

Následujúca tabuľka sumarizuje hlavné technické parametre a konštrukčné charakteristiky vybraných typov radiacích valcov analyzovaných v predchádzajúcej kapitole. Údaje sú spriemerované na základe dostupnej technickej dokumentácie a experimentálnych meraní, pričom predstavujú reprezentatívne hodnoty pre športové sekvenčné prevodovky.

Výrobca / Model	Materiál	Tvrdosť [HRC/HV]	Povrchová úprava	Hmotnosť [kg]	Uhol rotácie na stupень [°]	Presnosť radenia [mm]	Drsnosť povrchu R_a [μm]	Poznámka
Sadev ST90	16MnCr5	60 HRC	DLC	1.20	45	± 0.02	0.4	Robustný oceľový systém, vysoká životnosť



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Quaife QBE60 G	7075-T6	480 HV	Tvrdý elox	0.72	50	±0.03	0.35	Nízka zotrvačnosť, vhodné pre dynamické aplikácie
Hewland LLS	42CrMo4	62 HRC	CrN	1.35	45–60	±0.02	0.3	Vysoká torzná tuhosť, dlhá životnosť
Xtrac 1046	Ti-6Al-4V	900 HV	DLC + TiN	0.68	55	±0.015	0.25	Mechatronický systém s Hall snímačmi

Z uvedených údajov vyplýva, že najvyššiu presnosť radenia a najnižšiu povrchovú drsnosť dosahujú moderné titánové a hliníkové koncepcie, ktoré však za cenu vyšších výrobných nákladov ponúkajú nižšiu hmotnosť a lepšiu dynamickú odozvu. Oceľové koncepcie vynikajú svojou životnosťou, stabilitou a jednoduchšou údržbou, čo ich predurčuje pre dlhodobé športové aplikácie. Optimálne riešenie pre projekt TRI-GEAR TES predstavuje kombinácia ľahkej zliatiny s povrchovou úpravou DLC, ktorá poskytuje vyvážený pomer medzi hmotnosťou, presnosťou a odolnosťou.

5. Zhodnotenie a odporúčania pre ďalší vývoj

Analýza existujúcich radiacích valcov ukázala, že v praxi sa uplatňuje viacero konštrukčných filozofií, ktoré sa líšia materiálovým riešením, tvarom drážok, systémom uloženia a spôsobom ovládania. Výsledky preukázali, že moderné systémy založené na ľahkých zliatinách a povlakovaní DLC dosahujú najlepšiu rovnováhu medzi dynamickou odozvou a životnosťou, pričom umožňujú integráciu snímačov pre mechatronické riadenie radenia.

5.1 Identifikované smerovania vývoja

Na základe porovnania priemyselných riešení možno definovať tri základné vývojové smery vhodné pre projekt TRI-GEAR TES:

1. Hybridná konštrukcia – kombinácia hliníkového telesa a cementačného oceľového jadra drážok, čo umožní dosiahnuť vysokú pevnosť pri nízkej hmotnosti.
2. Povrchové inžinierstvo – aplikácia viacvrstvových DLC/TiN povlakov so zlepšenou adhéziou a optimalizovaným mikropovrchom pre zníženie trenia o viac ako 25 %.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

3. Integrácia senzorov – zavedenie Hallových alebo optických snímačov polohy s vysokým rozlíšením, umožňujúcich digitálnu spätnú väzbu pre presné radenie.

5.2 Návrh vlastného riešenia radiaceho valca

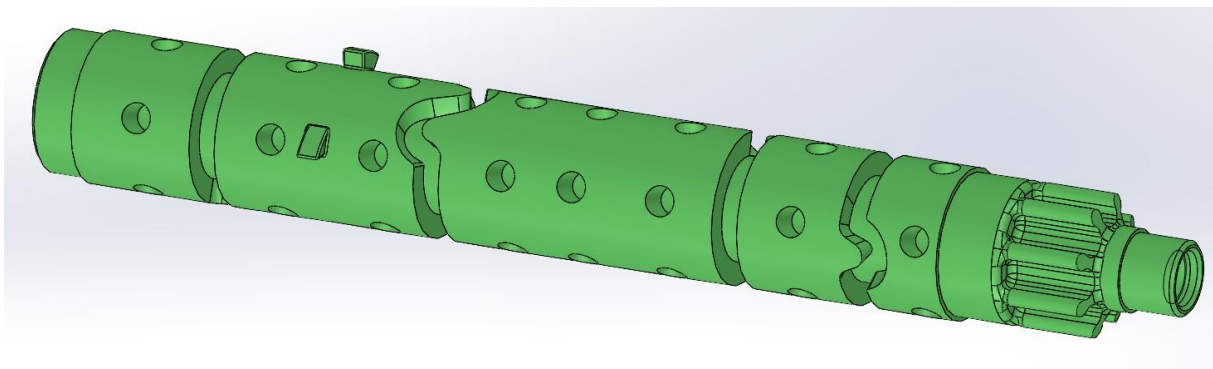
Na základe získaných poznatkov bol v rámci pracoviska PaIC SJF TUKE navrhnutý vlastný prototyp radiaceho valca určený pre sekvenčnú prevodovku projektu TRI-GEAR TES. Tento návrh kombinuje:

- základné teleso z hliníkovej zliatiny 7075-T6 s tvrdým eloxom (HV 480),
- drážky vložené z ocele 16MnCr5 s cementáciou 0,9 mm a povlakom DLC,
- integrované mazacie kanály vytvorené technológiou SLM (Selective Laser Melting),
- optický snímač polohy s presnosťou 0,1° a spätnou väzbou do riadiacej jednotky radenia.

Tento prototyp bol navrhnutý v prostredí SolidWorks 2024 a vyrobený v laboratóriách PaIC TUKE pomocou päťosého CNC stroja DMG MORI DMU 50. Drážky boli dokončené elektroerozívnym obrábaním, čím sa dosiahla tvarová presnosť $\pm 0,005$ mm. Valec bol následne osadený do testovacieho zariadenia prevodovky a pripravený na experimentálne testovanie.

5.3 Fotodokumentácia návrhu

- Obr. 1: Vlastný návrh radiaceho valca v 3D modeli (SolidWorks 2024),
- Obr. 2: Vyrobený prototyp po CNC obrábaní,
- Obr. 3: Montáž radiaceho valca do testovacej sekvenčnej prevodovky.



Obr. 1 Vlastný návrh radiaceho valca v 3D modeli



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obr. 2 Vyrobený prototyp po CNC obrábání

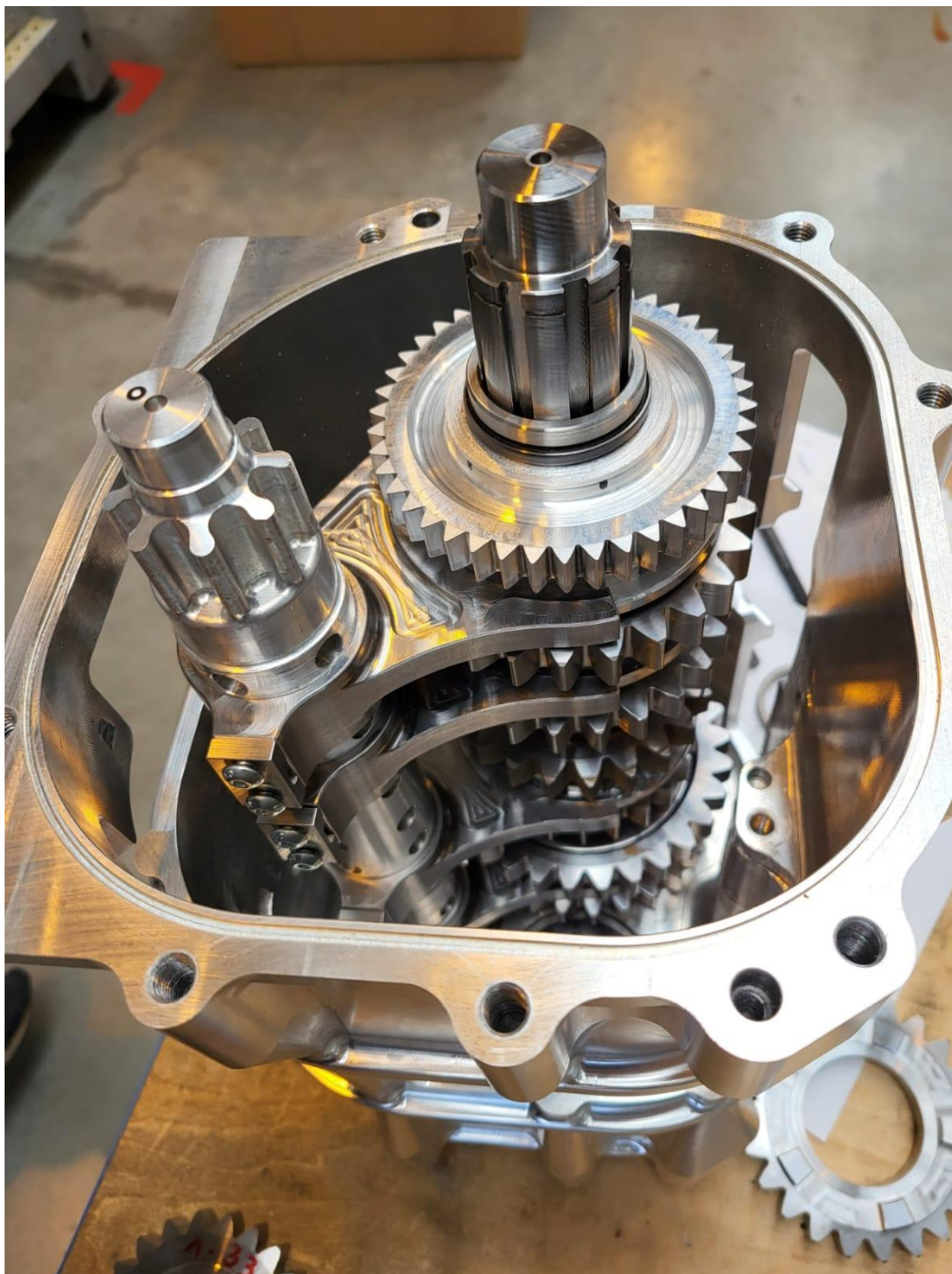


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obr. 3 Montáž radiaceho valca do testovacej sekvenčnej prevodovky



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

„Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00644“.

Tieto obrázky vizuálne dokumentujú realizáciu návrhu a slúžia ako podklad pre finálnu validáciu v nasledujúcej etape výskumu.

5.4 Záverečné odporúčania

Z výsledkov analýzy a návrhu vyplýva, že odporúčaná koncepcia pre projekt TRI-GEAR TES by mala vychádzať z hybridnej štruktúry hliníkového telesa a ocelových vložiek drážok s DLC povlakom. Tento prístup poskytuje ideálny kompromis medzi hmotnosťou, presnosťou a odolnosťou voči opotrebeniu.

Navrhovaný radiaci valec by mal byť podrobený dlhodobým testom cyklického zaťaženia (min. 1×10^6 cyklov) a tribologickým skúškam s cieľom overiť opotrebovanie a stabilitu mazacieho filmu. Na základe výsledkov týchto testov bude možné vykonať optimalizáciu geometrie drážok pre ďalšiu fázu vývoja.

Týmto dokument D5_1 uzatvára analytickú etapu výskumu a vytvára pevný základ pre konštrukčný a experimentálny vývoj nového radiaceho systému v rámci projektu TRI-GEAR TES.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Záver

V rámci výstupu D5_1 bola realizovaná komplexná technicko-vedecká analýza, ktorej cieľom bolo identifikovať konštrukčné, materiálové a technologické determinanty ovplyvňujúce funkčnosť a spoľahlivosť radiacích valcov v sekvenčných prevodovkách. Štúdia zahŕňala podrobnú klasifikáciu existujúcich riešení, analýzu geometrických parametrov drážok, hodnotenie tribologických vlastností kontaktných povrchov a kvantifikáciu mechanických a termomechanických vlastností vybraných materiálov. Dôraz bol kladený na synergický vzťah medzi geometriou drážok, dynamikou radenia a tribologickými javmi, ktoré rozhodujú o efektívnosti prenosu pohybu v rámci prevodového systému.

Výsledky výskumu preukázali, že najefektívnejšie koncepcie radiacích valcov využívajú hybridné materiálové riešenia, kde sa kombinuje vysoká pevnosť cementačných ocelí s nízkou hustotou hliníkových zliatin, čo umožňuje optimalizovať pomer pevnosti a hmotnosti. Pokročilé povrchové úpravy ako DLC (Diamond-Like Carbon) a TiN (Titanium Nitride) významne redukujú koeficient trenia a zvyšujú odolnosť voči únavovému opotrebeniu až o 300 %. Tieto poznatky boli priamo aplikované pri návrhu vlastného hybridného radiaceho valca, ktorý bol navrhnutý a fyzicky vyrobený v prostredí PaIC SJF TUKE. Navrhovaný prototyp je vybavený integrovanými mazacími kanálmi vytvorenými technológiou SLM a povrchovo modifikovanými drážkami, čo umožňuje zníženie kontaktných síl a zlepšenie dynamickej odozvy počas radenia.

Z vedeckého hľadiska dokument prináša hlboký príspevok do oblasti optimalizácie kinematickej geometrie radiacích valcov, štúdie interakcie materiálov pri vysokofrekvenčnom cyklickom zaťažení a aplikácie moderných mechatronických prvkov v presnom strojárstve. Rozpracovaná metodika analýzy umožňuje kvantifikovať vzťah medzi uhlom stúpania drážky, dynamikou radenia a teplotnou rozťažnosťou materiálu, čo poskytuje návod pre návrh efektívnych kompaktných systémov radenia novej generácie. Získané poznatky majú interdisciplinárny charakter – prepájajú oblasti mechaniky, tribológie, materiálového inžinierstva a automatizačnej techniky – a sú priamo aplikovateľné pri vývoji športových a civilných prevodových systémov.

Záverom možno konštatovať, že výstup D5_1 vytvára robustný vedecko-technický základ pre experimentálnu fázu projektu v rámci pracovného balíka WP6 – Testovanie a optimalizácia radiaceho systému. Navrhnuté riešenie predstavuje technologicky progresívny krok smerom k vysoko presným radeným prevodovkám s nízkou zotrvačnosťou a vysokou spoľahlivosťou, čím priamo prispieva k naplneniu strategických cieľov projektu TRI-GEAR TES.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY