

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

Výstup: D9_1- Detailná správa o výsledkoch testovania prototypu

Pracovný balík: WP9

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“.

1 Cieľ a rozsah záverečného hodnotenia

Výstup D9_1 sumarizuje výsledky testovania a overovania pôvodného prototypu trojhriadeľovej sekvenčnej prevodovky TRI-GEAR TES. Jeho úlohou je premeniť čiastkové výsledky vývoja na súbor technických záverov a vstupných požiadaviek pre vylepšený konečný návrh D9_2. Hodnotenie zahŕňa zubovú spojku, elektronické riadenie, materiálové overenie, riadiaci systém a fyzickú integráciu zostavy MP2.

Tabuľka 1 Štruktúra údajov použitých v D9_1

Oblasť	Zdroj	Úroveň	Hlavný prínos
Zubová spojka	D4_3	S	Prevádzkové, tribologické a tvrdostné výsledky
Elektronické riadenie	D5_3	S	Čas, presnosť, cykly a hmotnosť radiaceho systému
Materiály	D6_2	S	Výroba, montáž a orientačné odčítania tvrdosti
Riadenie	D7_1 a D7_2	S	Funkčný STEP/DIR kanál a obmedzenie otvorenej slučky
Prototyp MP2	D8_1 a D8_2	P	CAD, kusovník, montáž a dokončená zostava

2 Hodnotený prototyp MP2

Prototyp MP2 je kompaktná prevodovka s tromi rovnobežnými hriadeľovými vetvami, integrovanými zubovými spojkami a štyrmi lineárne ovládanými radiaciami vidličkami. Zostavný model MP2.1.STEP, kusovník a fotografie dokumentujú priestorové usporiadanie ozubení, ložiskových uložení, deleného obalu a bočných priestorov radenia.

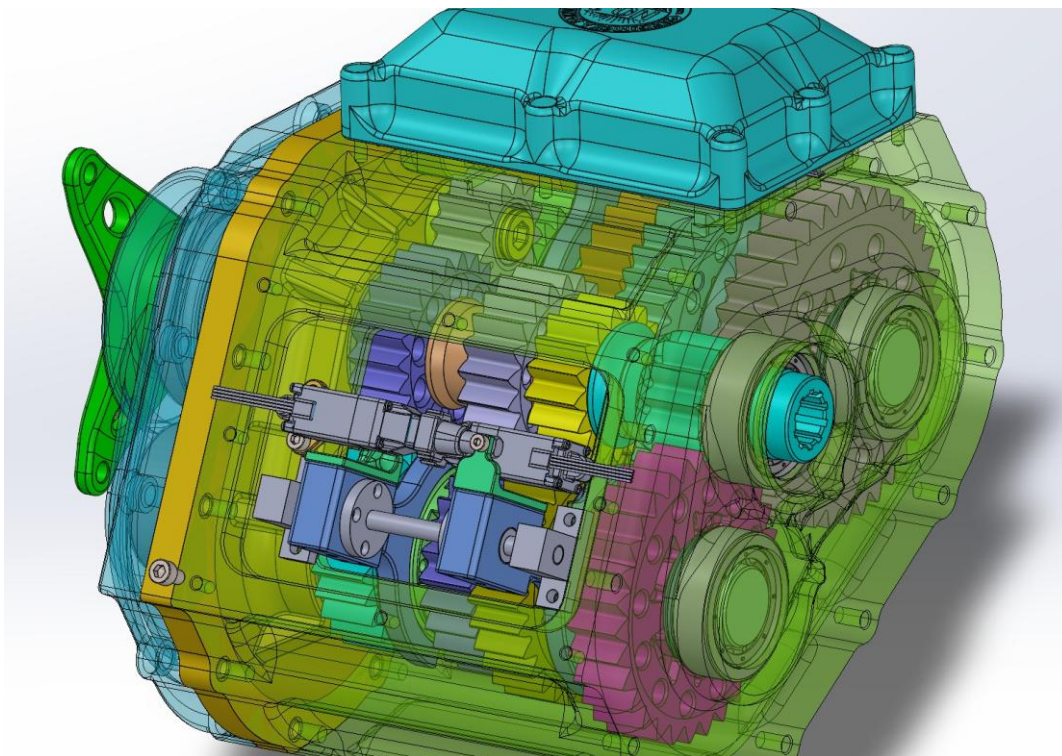


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 1 CAD model pôvodného prototypu MP2 s integrovaným radením

Tabuľka 2 Identifikácia skúšanej koncepcie

Identifikačný znak	Stav
Digitálny model	MP2.1.STEP, AP203, export SolidWorks 2025
Kusovník	MP2-1 až MP2-6 a zoznam normalizovaných dielov
Hriadeľové usporiadanie	Primárna, sekundárna a terciárna vetva
Radiaci mechanizmus	4 vidličky, 4 posúvače a lineárne aktuátory
Obal	Hlavný obal, 2 obaly radenia, stredová platňa a zadný obal
Deklarovaná hmotnosť	35 kg

3 Výsledky výroby a montážneho overenia

Fotodokumentácia preukazuje výrobu a kompletizáciu hlavných dielov, zostavenie troch hriadeľových podsústav, vloženie ozubenia do telesa, montáž ložísk, radiacích vidličiek a lineárnych aktuátorov a následné uzavretie obalu. Z toho vyplýva, že základná koncepcia bola vyrobiteľná a montážne realizovateľná.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 2 Hlavné prototypové diely pred montážou

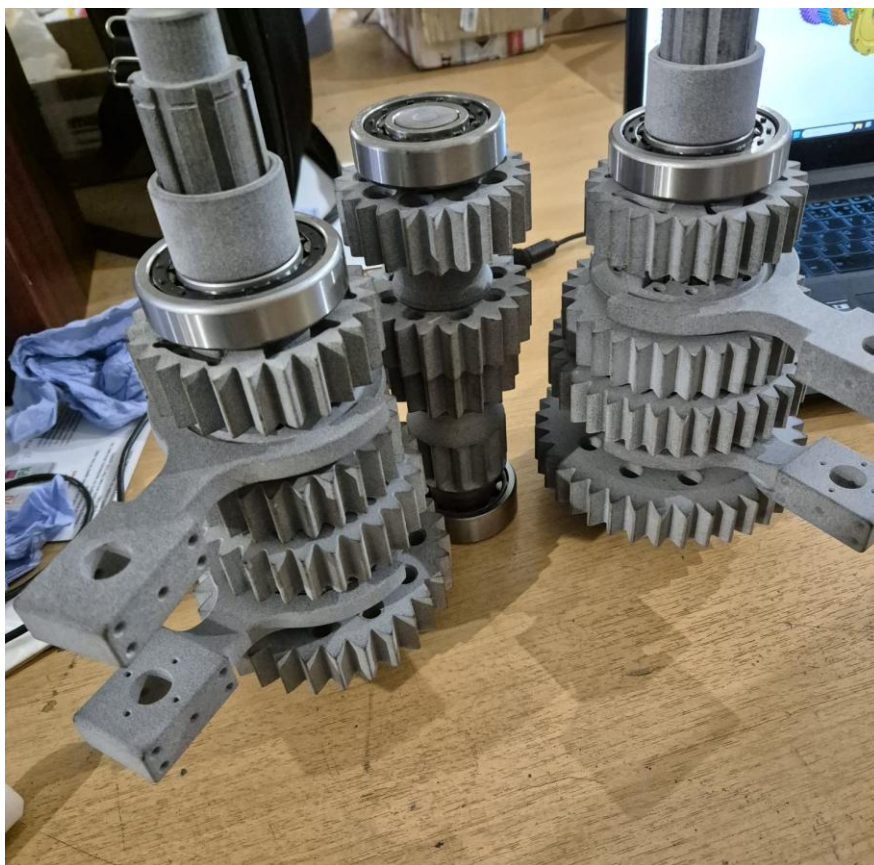


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 3 Zostavené hriadeľové podsústavy s ozubením a ložiskami

Tabuľka 3 Montážne výsledky prototypu MP2

Kontrola	Výsledok	Hodnotenie	Dôkaz
Úplnosť hlavných dielov	Diely ozubenia, hriadeľov, spojok a radenia boli vyrobené	Vyhovel	P - fotografie
Zostavenie troch vetiev	Hriadeľové podsústavy boli fyzicky zostavené	Vyhovel	P - fotografie
Montáž do telesa	Podsústavy a vidličky boli osadené do hlavného obalu	Vyhovel	P - fotografie
Integrácia aktuátorov	Lineárne členy, vedenia a držiaky boli osadené	Vyhovel	P - fotografie
Uzavretie zostavy	Predný, zadný a bočné kryty boli namontované	Vyhovel	P - fotografie

Montážna realizovateľnosť je silnou stránkou konceptu. Súčasne sa ukazuje vysoký počet rozhraní deleného obalu, veľký rozsah vnútorných dielov a potreba prístupu k radiacim mechanizmom. Pre konečný návrh je vhodné znížiť počet montážnych operácií, zaviesť jednoznačné ustavenie dielov a pripraviť kontrolný plán axiálnych vôlí a súososti.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



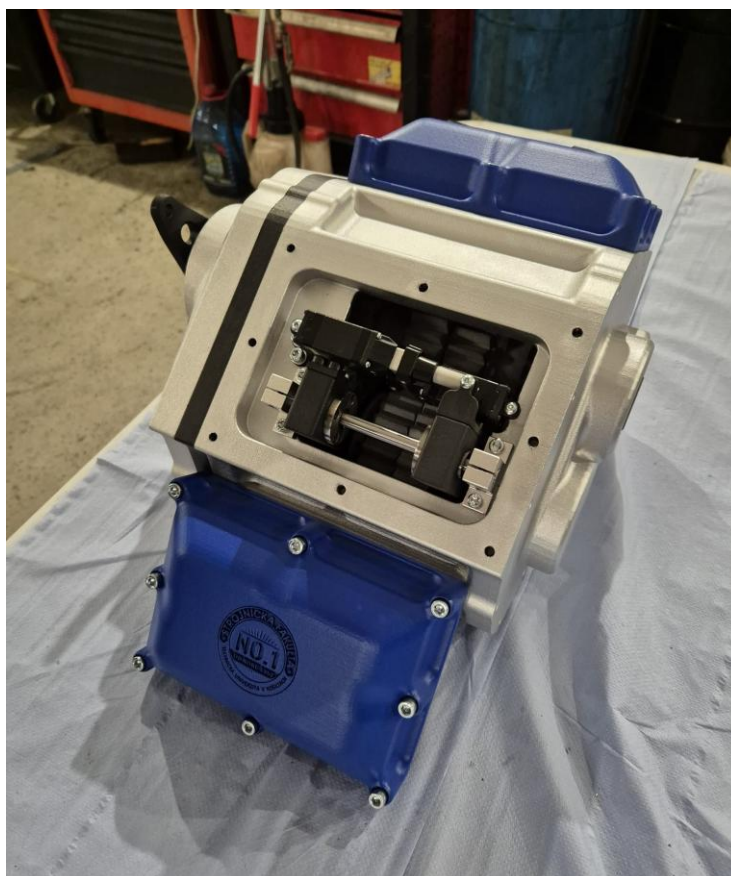
ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

4 Výsledky testovania elektronického radenia

D5_3 uvádza laboratórnu skúšku jedného elektronického radiaceho kanála pri vstupných otáčkach 1 500 až 6 500 min⁻¹. Pohyb bol vyhodnocovaný vysokorýchlostnou kamerou s frekvenciou 1 000 snímok/s. Skúšobná séria zahŕňala viac než 100 cyklov a tabuľkové hodnoty boli uvedené ako priemery z 50 opakovaní pre hodnotený prevodový stupeň.

Tabuľka 4 Výsledky elektronického radenia podľa

Parameter	Mechanický valec	Elektronický systém	Zmena
Čas radenia	85-90 ms	75-80 ms	zlepšenie 12-15 %
Presnosť polohovania	±0,04 mm	±0,02 mm	zlepšenie 50 %
Úspešné cykly	100	100	bez zlyhania v skúšobnom rozsahu
Hmotnosť systému	3 250 g	1 400 g	zníženie 57 %
Teplota skúšky	25 °C	25 °C	rovnaká podmienka



Obrázok 4 Mechanická integrácia lineárnych aktuátorov v telese MP2



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

5 Materiálové a výrobné výsledky

WP6 stanovil materiálovú koncepciu 16MnCr5 pre ozubené kolesá, 18CrNiMo7-6 pre integrované spojkové prvky, 42CrMo4 pre hriadele a EN AW-7075 pre telesá. D6_2 fotograficky dokumentuje výrobu tvarového profilu drôtovým EDM, skúšobnú montáž a dve odčítania prenosného tvrdomera 56,3 a 46,6.

Tabuľka 5 Materiálové zistenia a požiadavky

Oblasť	Zistenie	Požiadavka pre D9_2
Ozubené diely	Vyrobiteľnosť zložitej integrovanej geometrie bola preukázaná	Zachovať obrábateľné referencie a kontrolné plochy
EDM profil	Technológia umožnila vytvoriť vnútorný tvar	Predpísať dokončovacie rezy a kontrolu tepelne ovplyvnenej vrstvy
Tepelné spracovanie	Materiálová koncepcia je definovaná, úplné protokoly chýbajú	Viazať každý diel na certifikát a tepelný cyklus
Tvrdosť	Odčítania 56,3 a 46,6 bez potvrdenej stupnice	Zaviest' mapu bodov, stupnicu a opakovania
Teleso	Ľahká zliatina podporuje zníženie hmotnosti	Optimalizovať rebrá a lokálne hrúbky podľa výpočtu



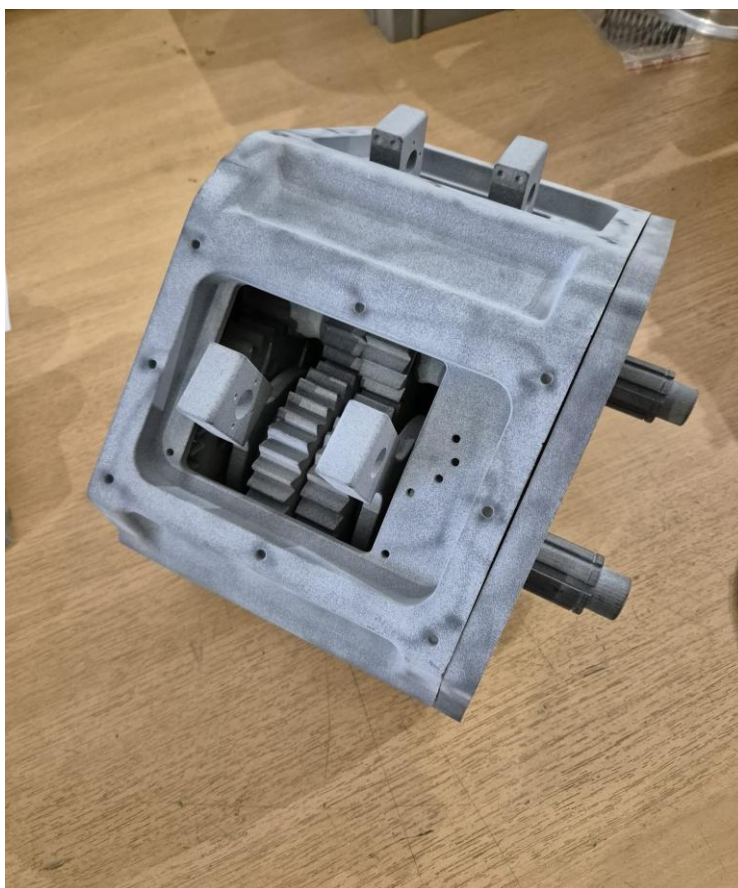
Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

6 Výsledky integračného hodnotenia MP2



Obrázok 5 Otvorený prototyp MP2 počas integračnej montáže



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 6 Dokončený a uzavretý prototyp MP2

Tabuľka 6 Integrované hodnotenie pôvodného prototypu

Hodnotená vlastnosť	Výsledok	Stav
Priestorová integrácia	CAD a fyzická zostava sú vzájomne konzistentné	Vyhovel
Montáž troch hriadeľov	Podsústavy boli vložené do spoločného telesa	Vyhovel
Mechanická integrácia radenia	Štyri radiace vetvy a aktuátory boli osadené	Vyhovel
Servisný prístup	Bočné otvory umožňujú prístup, počet krytov a spojov je vysoký	Vyžaduje optimalizáciu
Hmotnosť	Verejne deklarovaných 35 kg	Vyhovel

Pôvodný prototyp splnil úlohu fyzického nositeľa novej architektúry a umožnil identifikovať oblasti, ktoré sa majú v konečnom návrhu zlepšiť. Za najdôležitejšie sa považujú spätná väzba radenia, zjednodušenie obalu a montáže, presná definícia ložiskových a axiálnych vôlí, riadenie mazania a teploty a preukázateľná hmotnostná bilancia.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

7 Súhrnné posúdenie technických cieľov

Tabuľka 7 Posúdenie cieľov prototypu

Cieľ	Dostupný výsledok	Posúdenie
Kompaktná trojhriadeľová architektúra	Navrhnutá, vyrobená a fyzicky zostavená	Splnené
Integrovaná zubová spojka	Samostatný diel prevádzkovo testovaný 2 800 km	Splnené na úrovni podsystemu
Elektronické radenie	Jeden kanál 75-80 ms a $\pm 0,02$ mm	Splnené na úrovni podsystemu
Zníženie hmotnosti	Deklarovaná zostava 35 kg	Splnené

Záver

Pôvodný prototyp MP2 preukázal výrobitelnosť a montážnu realizovateľnosť kompaktnej trojhriadeľovej architektúry. Skúšky reprezentatívnych podsystemov potvrdili potenciál integrovanej zubovej spojky a elektronického lineárneho radenia. Najlepšie doloženými výsledkami sú prevádzková skúška spojky 2 800 km a laboratórne radenie jedného aktuátora v čase 75-80 ms s deklarovanou presnosťou $\pm 0,02$ mm.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY