

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

Výstup: D9_2- Vylepšený konečný návrh sekvenčnej prevodovky na základe získaných údajov

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 Účel a stav konečného návrhu

Výstup D9_2 dokumentuje vylepšenú konečnú konštrukčnú revíziu MP3, vytvorenú na základe výsledkov vývoja, výroby a hodnotenia pôvodného prototypu MP2. Výsledkom je úplná priestorová CAD zostava sekvenčnej prevodovky s integrovaným diferenciálom. Nová revízia bola v rámci projektu spracovaná na úrovni 3D návrhu - jej fyzická výroba ani experimentálne skúšky neboli predmetom tohto výstupu.

Konečný návrh zachováva základnú trojhriadeľovú koncepciu a rozsah siedmich prevodových stupňov pre jazdu vpred a jedného stupňa spätného chodu. Hlavnými zmenami sú integrácia diferenciálu do spoločného celku, prepracovanie obalu a skrátenie návrhovej celkovej dĺžky na 205 mm. Táto hodnota je rozmerom CAD návrhu.

Tabuľka 1 Základná identifikácia konečného návrhu MP3

Parameter	Konečný návrh MP3	Stav dôkazu
Forma výstupu	Úplná 3D CAD zostava vo formáte STEP AP203	Priamy digitálny podklad
Architektúra	Tri hriadele	Viditeľné v transparentných pohľadoch
Prevody	7 stupňov vpred + spätný chod	Návrhová konfigurácia
Výstup	Integrovaný diferenciál	Zostava a diely identifikované v STEP
Celková dĺžka	205 mm	Návrhový rozmer CAD
Výroba MP3	Nevykonaná; nebola požadovaná	Rozsah D9_2 je konštrukčný návrh

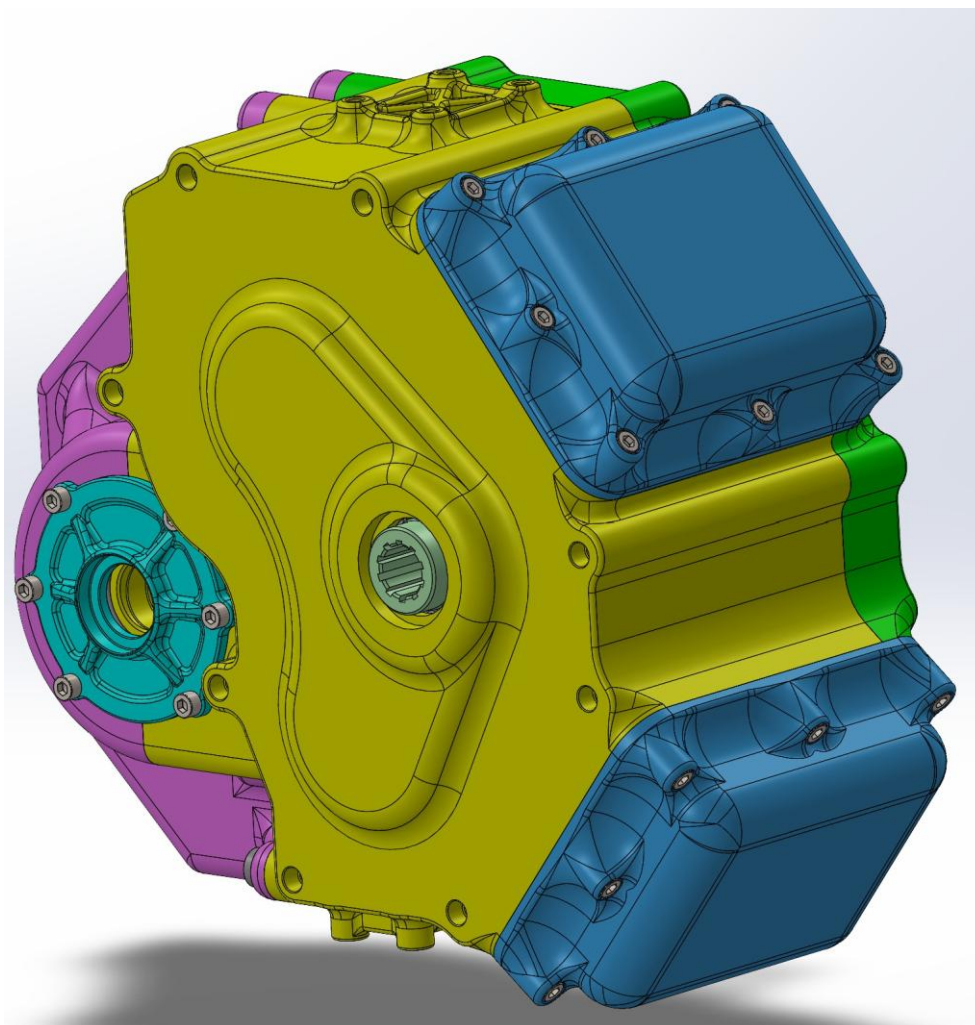


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 1 Konečný CAD návrh MP3

2 Východiská optimalizácie z D9_1

D9_1 potvrdil výrobitelnosť a montážnu realizovateľnosť pôvodnej koncepcie MP2 a súčasne určil miesta ďalšieho zlepšenia. Nová revízia preto nevznikla ako úplne odlišná prevodovka, ale ako cieľená evolúcia overenej trojhriadeľovej architektúry. Rozhodnutie zachovať princíp usporiadania obmedzilo konštrukčné riziko a umožnilo sústrediť sa na kompaktnosť, integráciu výstupu a servisné členenie obalu.

Tabuľka 2 Prenos zistení z D9_1 do návrhu MP3

Zistenie z MP2/D9_1	Konštrukčná reakcia v MP3
Trojhriadeľová zostava bola fyzicky realizovateľná	Princíp troch hriadeľov bol zachovaný
Požiadavka na kompaktnější celok	Usporiadanie bolo skrátené na návrhovú dĺžku 205 mm
Samostatný výstup bez integrovaného diferenciálu	Diferenciál bol začlenený priamo do zostavy
Komplexný delený obal a viac montážnych rozhraní	Obal bol funkčne rozdelený na kompaktné moduly a servisné kryty



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



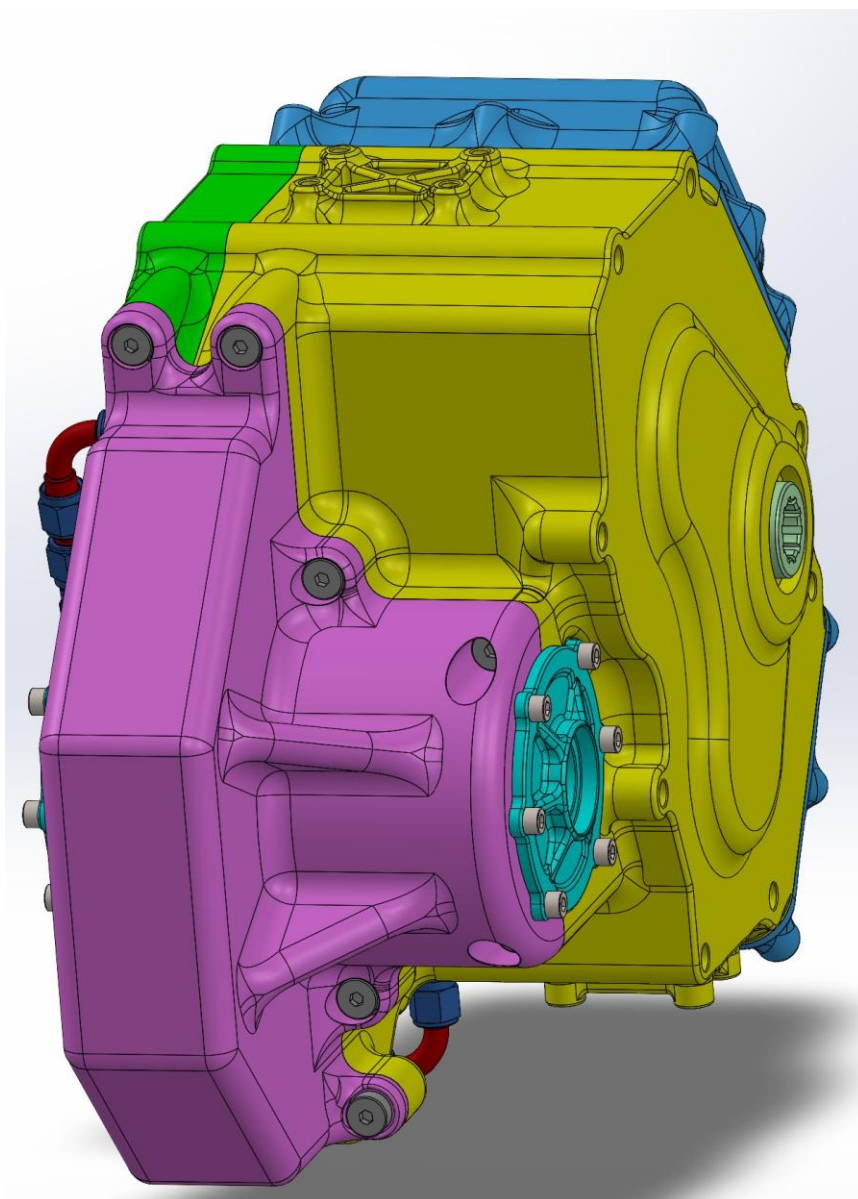
ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Zistenie z MP2/D9_1

Potreba spätnej väzby riadenia

Konštrukčná reakcia v MP3

CAD ponecháva priestor na lineárne aktuátory; snímače a uzavretá regulácia sú požiadavkou riadenia



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

3 Zachovaná trojhriadeľová konfigurácia 7+R

Jadro prevodovky tvoria tri rovnobežné hriadeľové vetvy s ozubenými kolesami, radiacimi členmi a ložiskovými uloženiami. Rozdelenie prevodových stupňov medzi vetvy umožňuje prekrytie ozubených kolies v pozdĺžnom smere, čo je základom malej stavebnej dĺžky. Sekvenčná logika zostáva založená na riadenom presune radiacích členov medzi susednými stavmi.

Konfigurácia poskytuje sedem prevodových stupňov pre jazdu vpred a jeden spätný chod. V CAD štruktúre sa nachádzajú samostatné diely a podzostavy MP3 vrátane označení prevodových stupňov a spätného chodu. Presné prevodové pomery, modul ozubenia, korekcie a pevnostné rezervy musia byť pri uvoľnení výrobnej dokumentácie vedené v samostatnom výpočtovom liste.

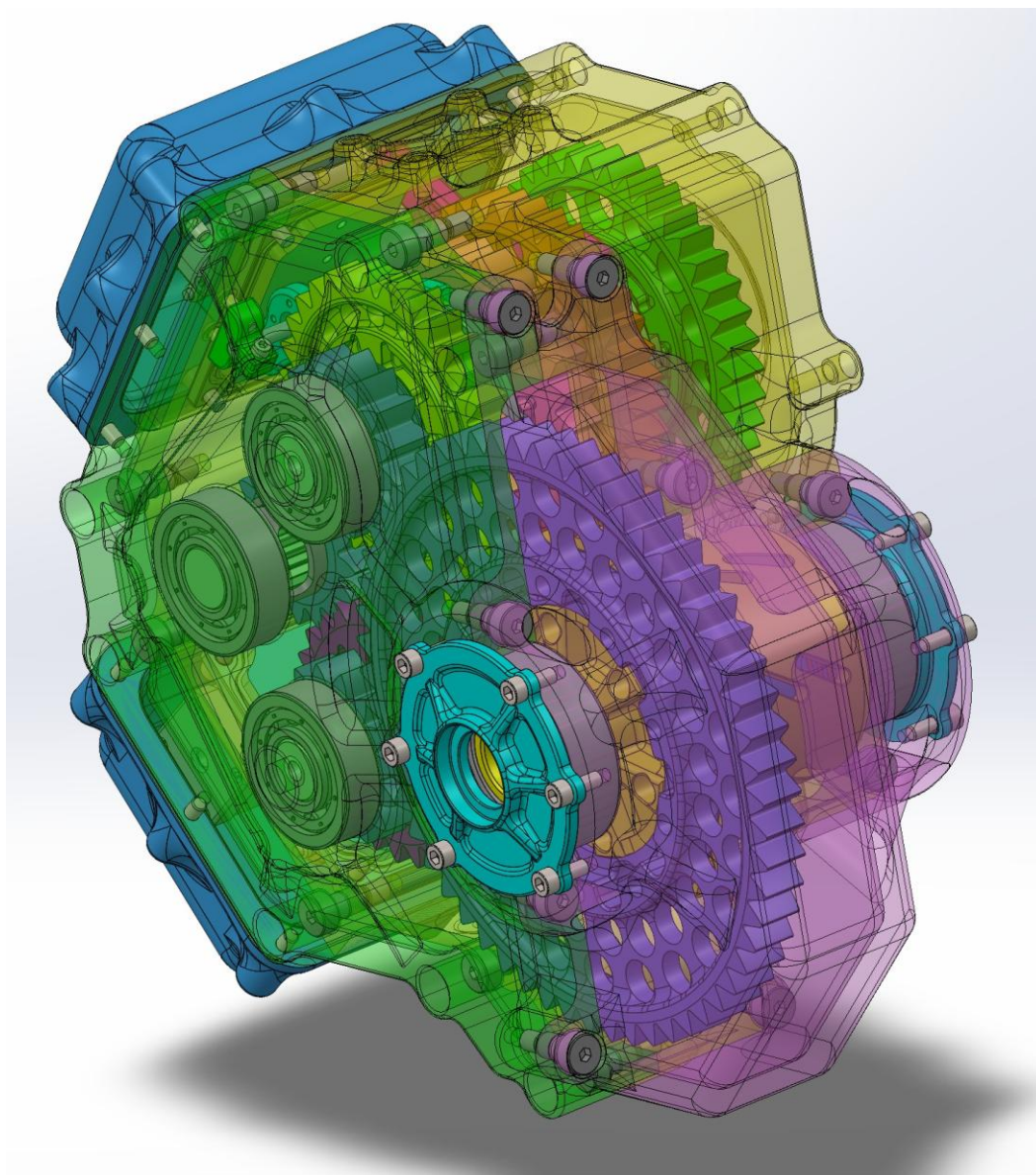


Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



Obrázok 2 Transparentný pohľad na vnútorné usporiadanie hriadeľov, ozubení a diferenciálu

Tabuľka 3 Funkčné členenie prevodovej časti

Funkčný celok	Riešenie MP3	Technický význam
Vstupná vetva	Samostatný hriadeľ s pevnými a spoluzaberajúcimi kolesami	Rozdelenie toku výkonu
Dve sekundárne vetvy	Paralelné hriadele s radenými kolesami	Pozdĺžne prekrytie prevodových stupňov
Radenie	Radiace členy ovládané lineárnymi aktuátormi	Sekvenčná voľba stupňov
Spätný chod	Samostatná reverzačná funkcia v rozsahu 7+R	Zmena smeru výstupu
Výstupný člen	Stály prevod do integrovaného diferenciálu	Prenos výkonu na dve polosové osi



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

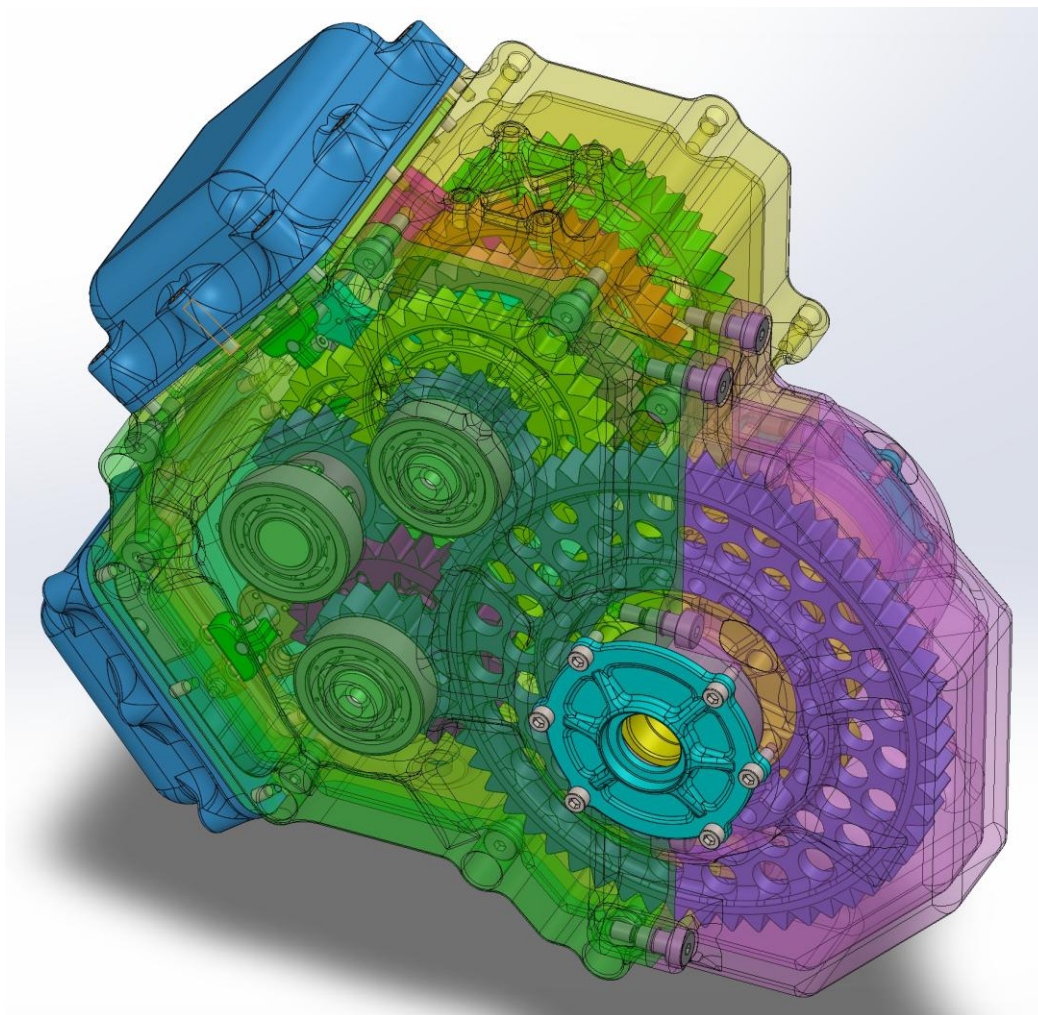
PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

4 Integrácia diferenciálu

Najvýznamnejšou funkčnou zmenou je pridanie diferenciálu priamo k prevodovému mechanizmu. Digitálna zostava obsahuje podzostavu MP_DIF1 a kužeľové kolesá diferenciálu. Transparentné pohľady zobrazujú veľké výstupné koleso, teleso diferenciálu, bočné uloženie a os výstupu pre polosové hriadele.



Obrázok 3 Detail priestorovej integrácie stálych prevodov a diferenciálu

Tabuľka 4 Technické dôsledky integrácie diferenciálu

Prínos integrácie	Dôsledok pre návrh
Jeden spoločný celok	Odpadá potreba samostatnej nadväzujúcej diferenciálnej jednotky
Kratší prenos výkonu	Menší počet vonkajších spojov a jednoduchšie zabudovanie do vozidla
Spoločný obal	Ložiskové reakcie diferenciálu sa prenášajú do skrine prevodovky
Spoločné mazacie prostredie	Nutné overiť distribúciu oleja pri všetkých otáčkach a náklonoch
Bočný servisný modul	Umožňuje montáž a kontrolu uloženia diferenciálu
Vyššia koncentrácia zaťaženia	Vyžaduje výpočet tuhosti obalu a životnosti ložísk



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

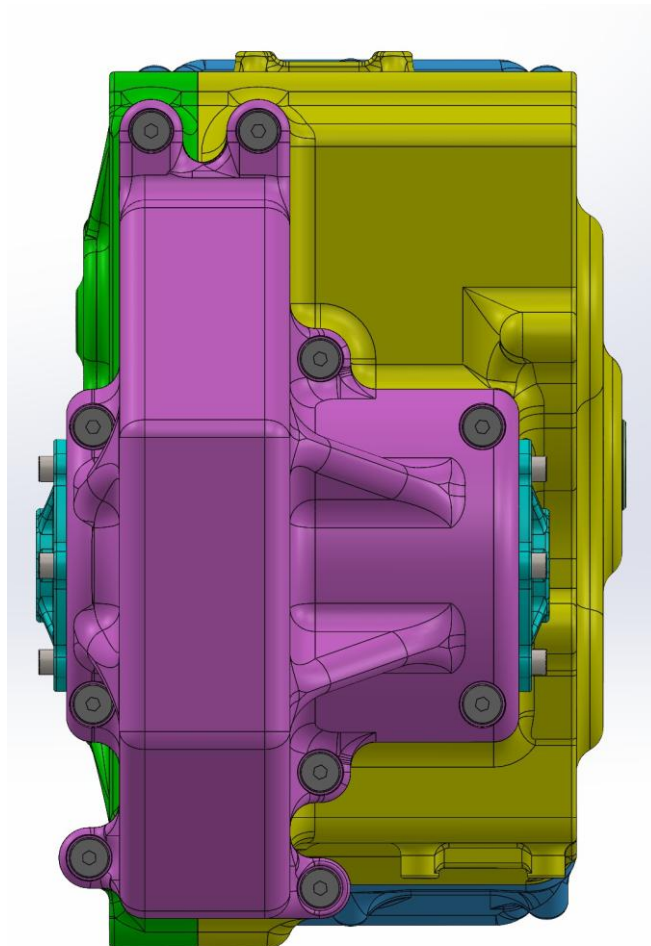
PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

5 Skrátenie celkovej dĺžky na 205 mm

Návrhová celková dĺžka MP3 je 205 mm. Skrátenie bolo dosiahnuté kombináciou trojhriadeľového prekrytia prevodových členov, tesnejšieho uloženia funkčných skupín a začlenenia výstupného diferenciálu do tvaru spoločného obalu.



Obrázok 4 Bočný ortogonálny pohľad na skrátenú dĺžku zostavy

Tabuľka 5 Rozmerové kontroly konečného návrhu

Rozmerová zásada	Realizácia v CAD	Kontrola pred výrobou
Pozdĺžne prekrytie	Tri vetvy umožňujú rozložiť kolesá do spoločných rovin	Kolízna kontrola a minimálne vôľové obálky
Integrovaný výstup	Diferenciál je súčasťou obalu MP3	Kontrola montážnej dráhy a výmeny ložísk
Kompaktné kryty	Kryty sledujú lokálny objem mechanizmov	Kontrola hrúbok, tesnení a skrutkových spojov
Návrhová dĺžka 205 mm	Hlavný cieľ priestorovej optimalizácie	Kótovaný výkres s jednoznačnými referenčnými rovinami



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

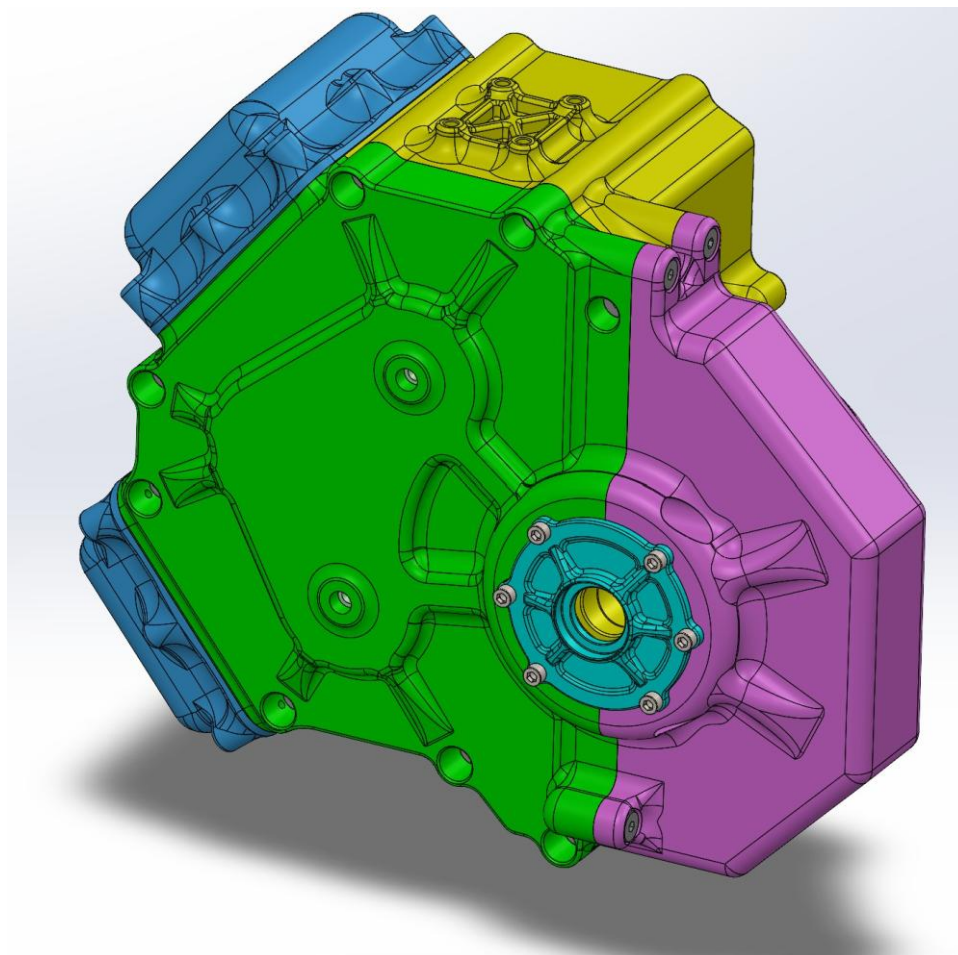
PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

6 Obal, uloženie a servisná koncepcia

Farebne odlíšené časti CAD modelu dokumentujú funkčné rozdelenie nosného obalu, čelných stien, krytov radenia a diferenciálového modulu. Rebrá a lokálne zosilnenia sú smerované k ložiskovým uzlom a skrutkovým spojom. Odnímateľné kryty umožňujú prístup k vybraným funkčným celkom bez úplného rozdelenia skrine.



Obrázok 5 Protiťahlá strana zostavy s diferenciálovým uložením a rebrovaným obalom

Tabuľka 6 Kontrolné požiadavky na obal

Oblasť kontroly	Kritérium
Ložiskové sedlá	Súososť, uloženie, deformácia a montážna teplota
Deliace roviny	Rovinnosť, tesnenie, rozstup skrutiek a lokálny tlak
Rebrá a steny	Napätie, priehyb, liateľnosť/obrobiteľnosť a minimálna hrúbka
Servisné kryty	Prístup ku skrutkám, aktuátorom, ložiskám a tesneniam
Olejový priestor	Plnenie, odvodušenie, odvod oleja a kontrolná hladina



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

7 Radenie a pripravenosť na uzavreté riadenie

Model zachováva lineárne ovládané radiace vetvy. Toto riešenie nadväzuje na výsledky D5_3, kde jeden elektronický kanál dosiahol čas 75-80 ms a deklarovanú presnosť $\pm 0,02$ mm. Konečné riadenie má používať priamu spätnú väzbu polohy každého radiaceho člena, kontrolu neutrálnej polohy, vzájomné blokovanie nepovolených príkazov, časové limity a diagnostiku prúdu.

Tabuľka 7 Funkčné požiadavky na riadenie MP3

Funkcia riadenia	Požadované správanie
Snímanie polohy	Nezávislé potvrdenie dosiahnutej polohy každého člena
Sekvenčný automat	Povoliť iba definované prechody N-1-2-3-4-5-6-7 a späť
Blokovanie	Zabrániť súčasnému zopnutiu nezlučiteľných prevodov
Diagnostika	Vyhodnotiť čas, polohu, prúd a nedokončený pohyb
Bezpečný stav	Pri chybe prejsť do definovaného stavu a zablokovat' ďalší pohyb

8 Materiálová a výrobná špecifikácia

Materiálová koncepcia nadväzuje na výsledky WP6: ozubené kolesá z 16MnCr5, integrované zubové spojky z 18CrNiMo7-6, hriadele z 42CrMo4 a hlavné ľahké časti obalu z EN AW-7075. Pri výrobnej realizácii musí byť každý materiál viazaný na atest, predpísaný tepelný cyklus a merací protokol konkrétneho dielu.

Tabuľka 8 Materiálové zadanie pre výrobné rozpracovanie

Skupina dielov	Materiál	Hlavná požiadavka
Ozubené kolesá	16MnCr5	Cementácia, kontrola vrstvy, tvrdosti a geometrie ozubenia
Zubové spojky	18CrNiMo7-6	Odolnosť kontaktných hrán a kontrola funkčných uhlov
Hriadele	42CrMo4	Pevnosť jadra, hádzanie a kvalita drážkovania
Hlavný obal a kryty	EN AW-7075	Tuhosť, korózna ochrana, tesnosť a závitové spoje
Ložiská a spojovací materiál	Normalizované diely	Životnosť, vôľa/predpätie a sledovateľnosť dodávky



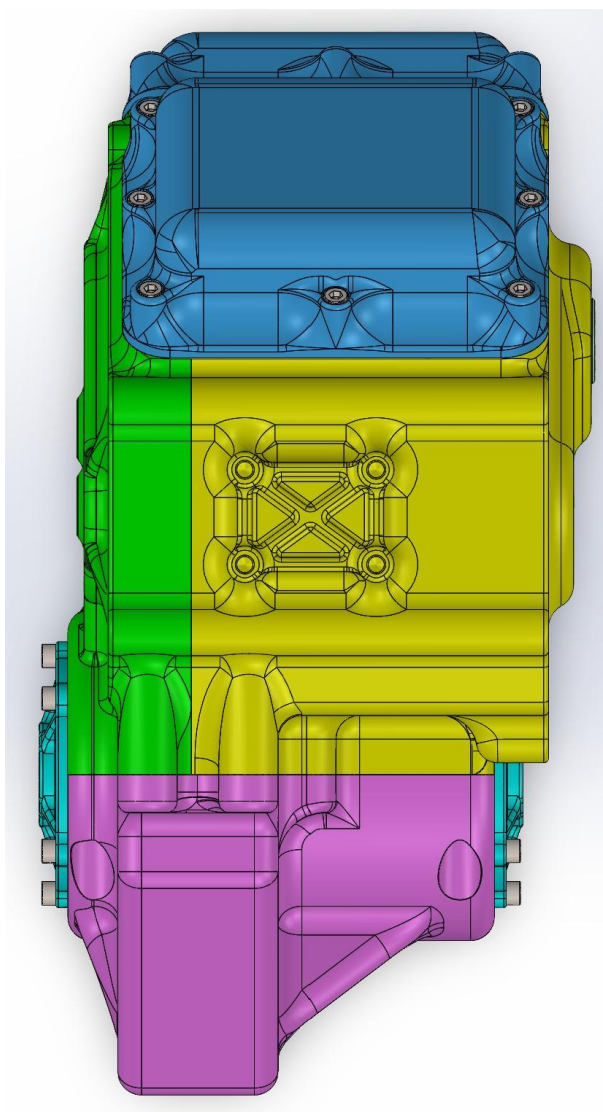
Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

9 Overenie konečného CAD návrhu



Obrázok 6 Ortogonálny pohľad na celkové priestorové usporiadanie MP3

Dostupný CAD model umožňuje overiť existenciu a vzájomnú polohu hlavných konštrukčných celkov. Súbor je vo formáte ISO 10303-21/AP203 a obsahuje zostavy MP3, radiace prvky a samostatne identifikované prvky diferenciálu. Obrázky 1 až 7 sú konzistentné s deklarovaným vonkajším a vnútorným usporiadaním.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

10 Porovnanie pôvodného prototypu MP2 a konečného návrhu MP3

Tabuľka 9 Vecné porovnanie revízií MP2 a MP3

Parameter	MP2 - pôvodný prototyp	MP3 - konečný návrh
Stav	Fyzicky vyrobená a zostavená prevodovka	Úplná CAD revízia
Hriadeľová koncepcia	Tri hriadele	Tri hriadele - zachované
Počet prevodov	Sekvenčná koncepcia	7 vpred + 1 spätný
Diferenciál	Výstup na kardan	Integrovaný diferenciál
Celková dĺžka	250 mm	205 mm - návrhová hodnota
Hmotnosť	Verejne deklarovaných 35 kg bez vážiaceho protokolu	33 kg
Úroveň overenia	Výroba, montáž a skúšky vybraných podsystémov	Geometrická a konštrukčná dokumentácia

11 Nadväzujúci validačný plán

Ak sa návrh MP3 bude pripravovať na výrobu, nasledujúce kroky majú uzavrieť rozdiel medzi úplným CAD návrhom a kvalifikovanou prevodovkou. Poradie je zvolené tak, aby sa rozmerové a riadiace chyby odhalili pred zaťažovacou skúškou.

Tabuľka 10 Program overenia budúceho prototypu MP3

Etapu	Rozsah	Akceptačný výstup
Digitálna kontrola	Kolízie vo všetkých radiaciach stavoch, vôľové obálky, montážna sekvencia	Protokol bez neprípustných prienikov
Výpočty	Ozubené súkolesia, hriadele, ložiská, diferenciál, obal a skrutky	Bezpečnostné a životnostné rezervy
Výrobná dokumentácia	Výkresy, tolerancie, drsnosti, tepelné spracovanie a kontrolné body	Uvoľnená revízia dokumentácie
Metrológia prototypu	Súososť, hádzanie, vôle, zdvihy a skutočná dĺžka	Rozmerový protokol
Funkčné radenie	Všetky prechody 7+R, poloha, čas a prúd	Bez chybného alebo dvojitého záberu
Zaťažovacia skúška	Moment, otáčky, účinnosť, teplota, vibrácie a životnosť	Splnené návrhové limity
Kontrola po skúške	Opotrebenie ozubení, spojok, ložísk a tesnení	Prijateľná zmena parametrov



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Záver

Výstup D9_2 prináša konečnú CAD revíziu sekvenčnej prevodovky MP3, ktorá priamo reaguje na poznatky získané pri návrhu, výrobe a hodnotení prototypu MP2.

Zachováva trojhriadeľovú architektúru a konfiguráciu siedmich stupňov vpred so spätným chodom, pričom pridáva integrovaný diferenciál a dosahuje návrhovú celkovú dĺžku 205 mm.

Tým je splnený cieľ D9_2 na úrovni vylepšeného konečného konštrukčného návrhu. CAD zostava a sprievodné pohľady poskytujú dôveryhodný podklad pre posúdenie priestorovej integrácie a ďalšie výrobné rozpracovanie. Funkčné, pevnostné, tepelné a životnostné vlastnosti novej revízie zostávajú predmetom budúcej validácie podľa tabuľky 11.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



ÚRAD VLÁDY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY