



## TRANSFORMAČNÝ MECHANIZMUS DIFERENCIÁLNEJ PREVODOVKY PODĽA PATENTU SK 284 375

### TRANSFORMATION MECHANISM OF THE DIFFERENTIAL TRANSMISSION BASED ON PATENT SK 284 375

Martin GECÍK – Anton PANDA

**Abstract:** In the differential transmissions known by their high transmission ratio, satellite gears have two compounds movement - gears are rolling by the internal teeth of the transmission body and slow rotation about their rotation axes. The article describe how is this slow motion transferred to the output flange of the transmission.

**Abstrakt:** V diferenciálnych prevodovkách, známych svojím veľkým prevodovým pomerom, vykonávajú satelity dva združené pohyby - odvaľovanie satelitu po vnútornom ozubení prevodovky a pomalú rotáciu satelitu okolo svojej osi, ktorá je excentrická voči osi prevodovky. Článok popisuje spôsob prenosu tejto malej rotácie na výstupnú prírubu prevodovky.

**Keywords:** Differential Transmission, Eccentricity, Transformation Mechanism.

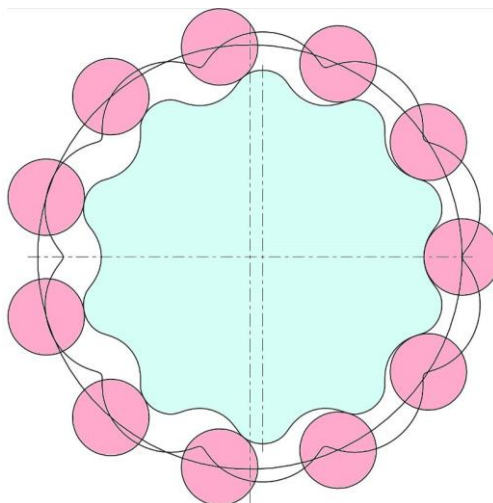
**Kľúčové slová:** Diferenciálna prevodovka, Excentricita, Transformačný mechanizmus.

#### Úvod

Diferenciálne prevodovky sú známe svojou schopnosťou dosiahnuť veľký prevodový pomer v relatívne malej zástavbovej veľkosti. Kompaktnosť konštrukcie umožňuje dosiahnuť aj veľmi nízku hysteréziu a mŕtvy chod.

V diferenciálnej prevodovke vzniká prevod tak, že po vnútornom ozubení pevného kolesa sa odvaľuje satelitné koleso s čelným ozubením, ktoré je v strede otočne uložené na excentrickej časti vstupného kľukového hriadeľa (**Obr.1**). Os rotácie kľukového hriadeľa je totožná s osou pevného kolesa. Otáčanie vstupného kľukového hriadeľa spôsobuje odvaľovanie satelitného kolesa po vnútornom ozubení pevného kolesa. Po každom pootočení vstupného kľukového hriadeľa o jednu celú otáčku sa satelitné koleso pootočí okolo svojej vlastnej osi o rozdiel zubov – diferenciu – medzi satelitným kolesom a pevným kolesom. Práve toto pootočenie je želaným a požadovaným efektom tejto prevodovky.

Najväčším problémom v tomto prípade je však skutočnosť, že satelitné koleso je uložené na excentri a preto jeho os rotácie nie je totožná s osou vstupného hriadeľa, ale stále rotuje po kružnici s polomerom vyosenia excentrického čapu - excentricity. Excentricita teda najprv vytvára kladný efekt pri vzniku prevodu a zároveň spôsobuje negatívny efekt pri prenose otáčok a krútiaceho momentu na výstupný hriadeľ alebo prírubu. Je preto potrebné medzi satelitné koleso a výstupný hriadeľ alebo prírubu vložiť nejaké zariadenie, ktoré tento negatívny efekt eliminuje. V tomto článku toto zariadenie budeme nazývať *transformačný mechanizmus*.

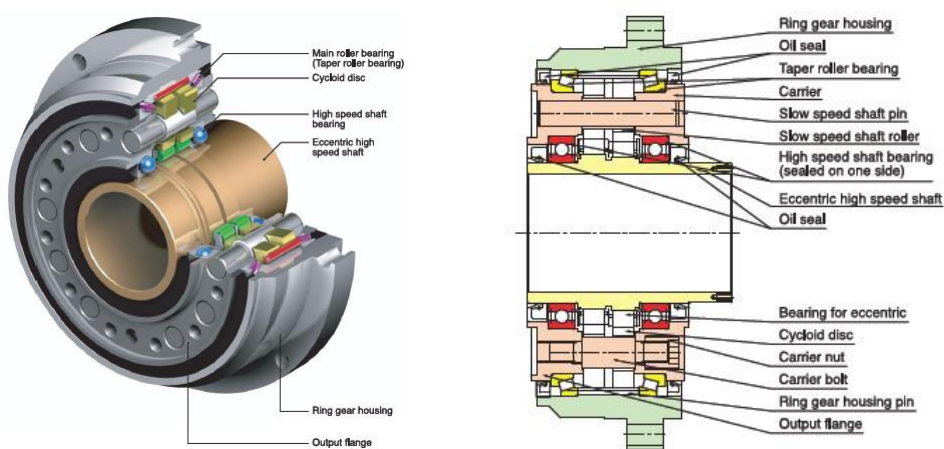


**Obr. 1 Schematické znázornenie diferenciálnej prevodovky. Na satelitnom kolese je ozubenie s profilom skrátenej epicykloidy, vonkajšie ozubenie je tvorené elementmi kruhového prierezu.**

### Transformačné mechanizmy v diferenciálnych prevodovkách

V súčasnosti existuje niekoľko typov diferenciálnych prevodoviek, ktoré sa odlišujú spôsobom prevedenia transformačného mechanizmu.

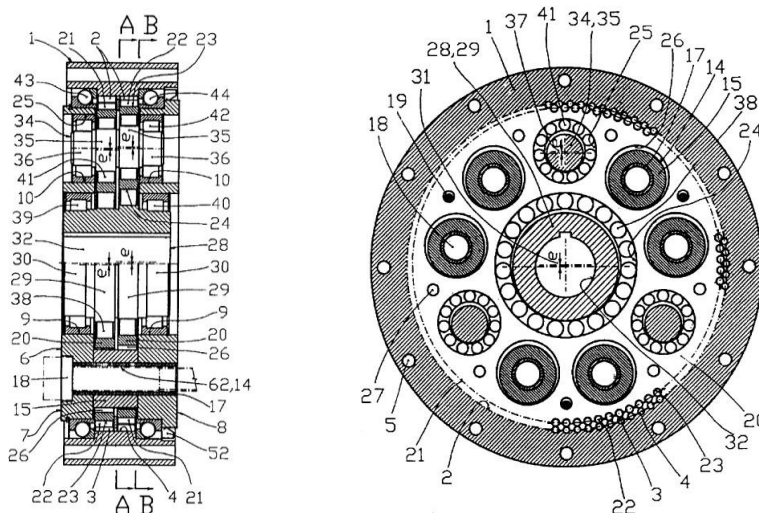
Asi najznámejším riešením prenosu krútiaceho momentu a otáčok na výstupnú prírubu alebo hriadeľ je riešenie, ktoré používa napr. firma Sumitomo Cyclo Drives (**Obr.2**) - v satelitných kolesách sú vytvorené valcové otvory, cez ktoré prechádzajú priečky kruhového prierezu, ukotvené vo výstupnej prírubu. Satelity sa povrchom týchto otvorov odvaľujú po povrchu priečok a zároveň tlakom na tieto priečky otáčajú výstupnou prírubou. Jedná sa o jednoduché riešenie, ktoré nie je vhodné pre veľmi presné strojárstvo (robotika, pohony CNC strojov atď.). Nevýhodou tohto riešenia sú vôle v transformačnom mechanizme a horšie parametre hysterézie a mŕtveho chodu.



**Obr. 2 Diferenciálna prevodovka f. Sumitomo Cyclo Drives (reprodukcia z produktového katalógu)**

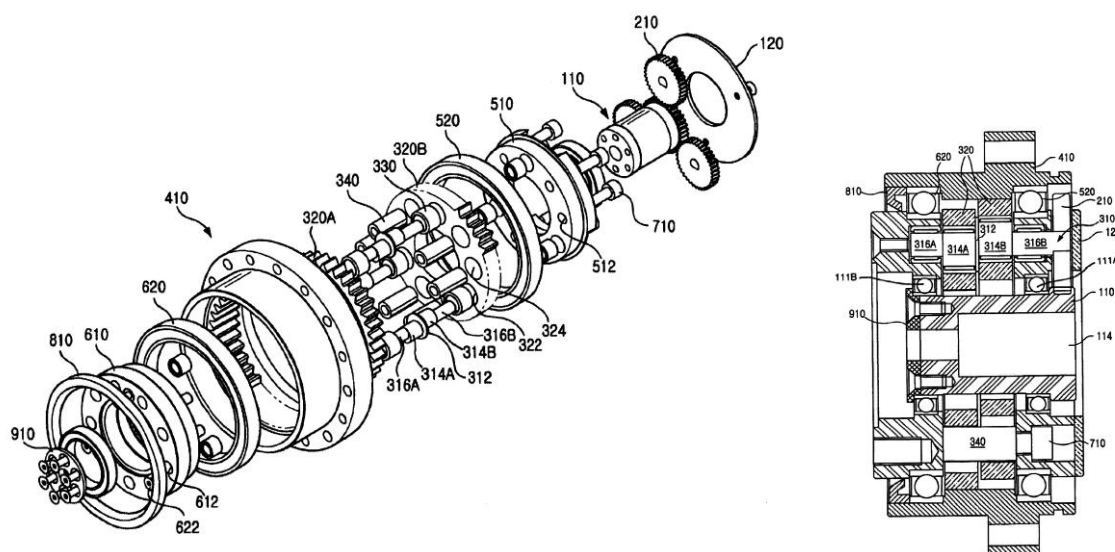
Prevodovka podľa patentu [2] pozostáva z pevného ozubeného kola s vnútorným ozubením, po ktorom sa odvaľuje niekoľko satelitných kolies, uložených na excentrických čapoch centrálnemu kľukovému hriadeľu. Centrálny kľukový hriadeľ je otočne uložený v dvoch prírubách, ktoré sú navzájom pevne a tuho spojené a otáčajú sa v pomalobežných ložiskách, uložených v telese pevného kola. Pre prenos otáčok a krútiaceho momentu zo satelitov na výstupné príruby použil pôvodca vynálezu niekoľko satelitných kľukových hriadeľov s excentrickými čapmi, ktoré sa podobajú centrálnemu kľukovému hriadeľu a majú rovnaké hodnoty vyosenia excentrických čapov ako centrálny kľukový hriadeľ. Satelitné kľukové hriadele sú umiestnené v prírubách a satelitných kolesách v pravidelných rozstupoch na spoločnej rozstupovej kružnici (**Obr.3**). Pôvodca teda pri eliminácii negatívneho efektu excentricity použil myšlienku, že ak problém spôsobuje excentricita, môže ho teda aj excentricita vyriešiť.

Nevýhodou tohto riešenia je konštrukčné obmedzenie priemeru satelitného kľukového hriadeľa a valivých elementov len na určitý, pomerne malý rozsah a z toho vyplývajúca znížená potenciálna veľkosť prenášaného krútiaceho momentu. Najväčšou nevýhodou je však nemožnosť vymedziť vôľe medzi satelitmi a výstupnými prírubami.



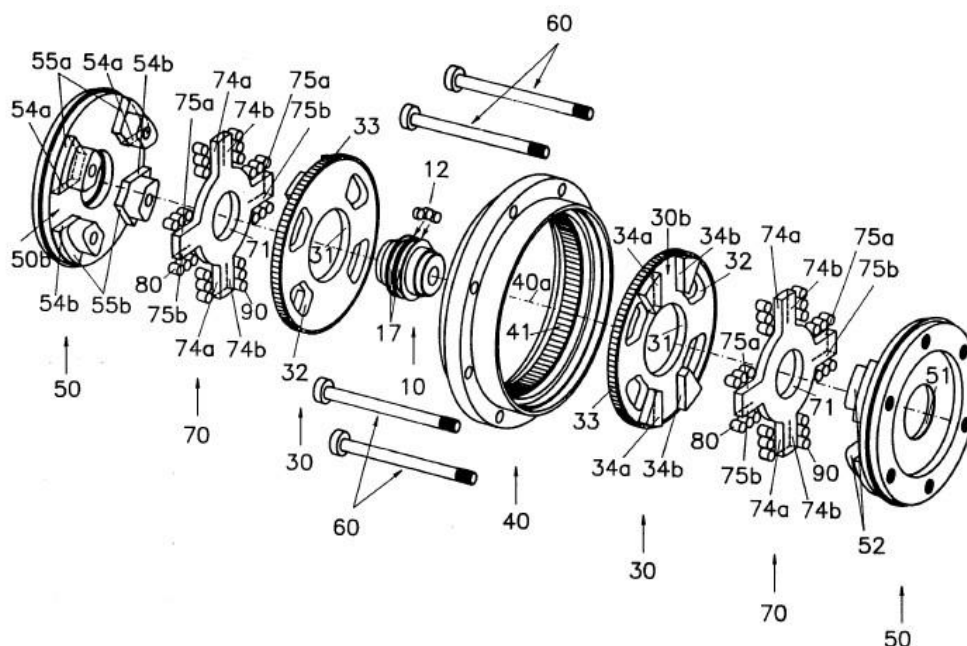
**Obr. 3** Diferenciálna prevodovka podľa patentu SK 277 969  
(reprodukcia obrázkov z patentovej listiny)

Japonská spoločnosť Nabtesco (donedávna známa aj pod názvom Teijin Seiki) vyrába diferenciálne prevodovky podobného typu ako prevodovky podľa patentu [2], rozdiel je hlavne v tom, že Nabtesco nepoužíva centrálny excentrický vstupný hriadeľ. Ich prevodovky (napr. podľa [4]) sú vlastne dvojstupňové, kde prvý stupeň tvorí planétová prevodovka, ktorej planétové kolesá poháňajú excentre, rozložené pravidelne po obvode a ktoré zároveň slúžia aj ako transformačný mechanizmus (**Obr.4**). Transformačný mechanizmus má rovnaké nevýhody ako u prevodovky podľa patentu [2].



**Obr. 4 Diferenciálna prevodovka japonskej firmy Nabtesco  
podľa patentu US 6,761,660 B2  
(reprodukcia obrázkov z patentovej listiny)**

Známym výrobcom diferenciálnych prevodoviek je aj slovenská spoločnosť Spinea. Jej prevodovka podľa patentu [4] a [5] je v základných rysoch podobná prevodovke podľa patentu [2], ale zásadne sa líši v spôsobe prenosu otáčok a krútiaceho momentu zo satelitných kolies na výstupne príruby. Pre elimináciu negatívneho efektu excentricity pôvodca vynálezu použil zariadenie, ktorému dal názov „Křížový redukčný mechanizmus“. Jedná sa o spojku tvaru rovnoramenného kříža, ktorá je vo svojej podstate známou Oldhamovou spojkou. V prevodovke sa nachádzajú dve satelitné kolesá a teda aj dva křížové redukčné mechanizmy (**Obr.5**). Použitie křížového redukčného mechanizmu si vyžaduje, aby v prevodovke bolo miesto pre jeho uloženie a tým narastajú rozmery prevodovky v axiálnom smere. Otvor v redukčnom kříži obmedzuje dĺžku valivých dráh pre valivé elementy na jeho ramenách a tým aj počet a rozmery valivých elementov, cez ktoré sa prenáša krútiaci moment. Nevýhodou popisovaného riešenia je aj pomerne veľká hmotnosť redukčných křížov. Pri vyšších vstupných otáčkach sa ich zotrvačnosť prejavuje enormným nárastom zaťaženia ložísk centrálného kľukového hriadeľa. Kinematika cyklického pohybu křížov zasa spôsobí budenie nežiaducich vibrácií v prevodovke, ktoré sa môžu prejaviť rozkmitaným pohybom ramena priemyselného robota, v ktorom je táto prevodovka použitá. Popisované riešenie taktiež neumožňuje vymedziť vôle medzi satelitnými kolesami a výstupnými prírubami.

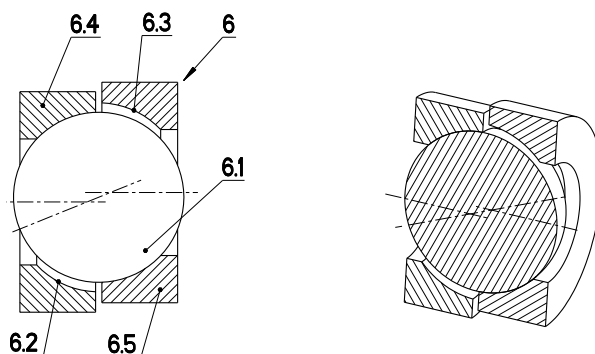


**Obr. 5 Diferenciálna prevodovka firmy Spinea podľa patentu SK 277 969  
a medzinárodnej patentovej prihlášky WO 95/22017  
(reprodukcia obrázkov z patentových listín)**

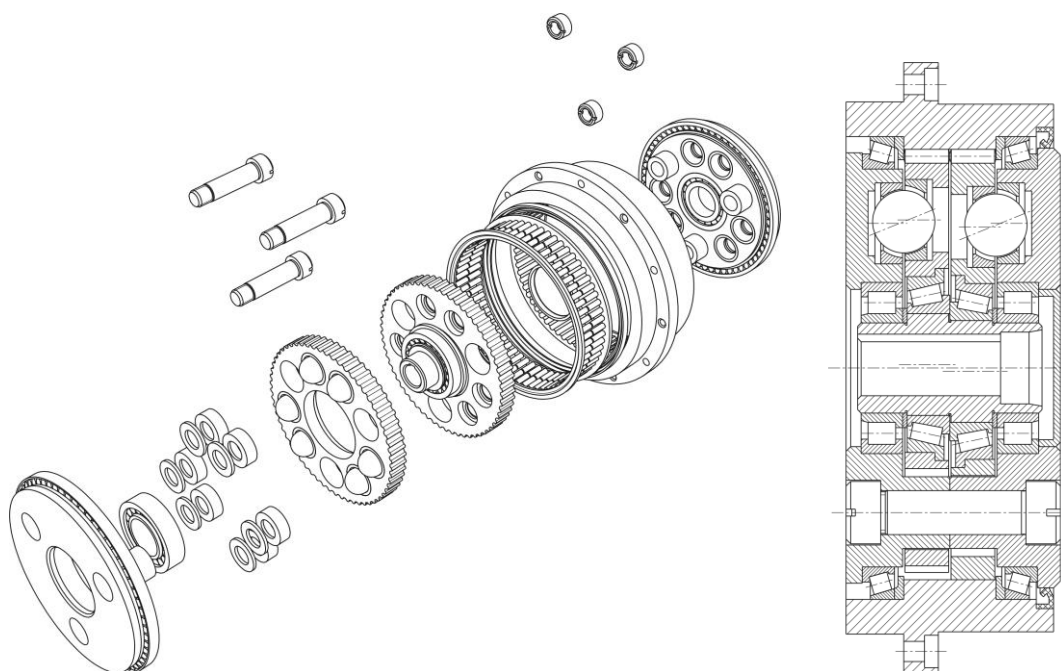
### **Netradičný pohľad na transformačný mechanizmus**

Všetky vyššie spomenuté riešenia transformačných mechanizmov napriek svojim zjavným rozdielom majú jednu vec spoločnú - všetky tieto riešenia sú riešenia v jednej rovine, teda 2D riešenia. 2D rovina je vo všetkých prípadoch kolmá na centrálnu os prevodovky. Vďaka tomu v transformačnom mechanizme v reálnej prevodovke však nepochádza len z jednej roviny, naopak, je to komplexný 3-dimenzionálny problém.

Diferenciálna prevodovka podľa patentu SK 284 375 [6] používa priestorový, ale veľmi jednoduchý transformačný mechanizmus. Jedná sa o zvláštne valivé ložisko, tvorené jediným valivým elementom (spravidla guľôčkou) a dvomi vonkajšími krúžkami (**Obr.6**). Jeden krúžok tohto ložiska je vložený do telesa satelitného kolesa a druhý krúžok tohto ložiska je vložený do tela výstupnej príruby (**Obr.7**). Jedna prevodovka používa viac kusov týchto špeciálnych ložísk.

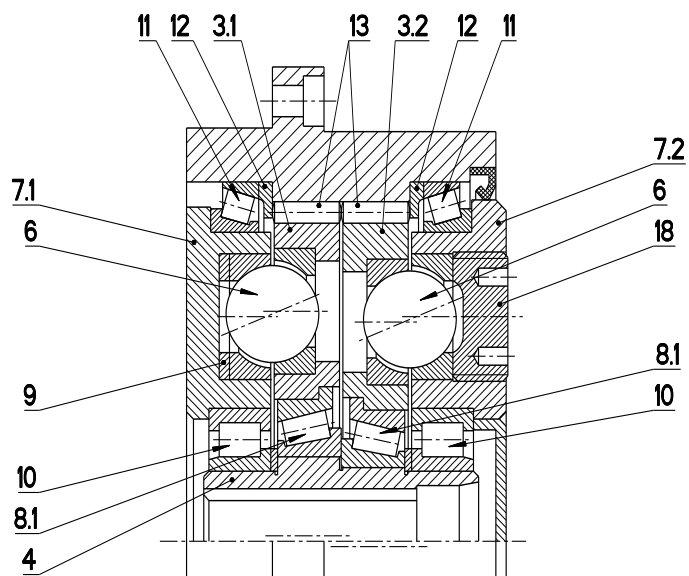


**Obr. 6 Transformačný mechanizmus - špeciálne valivé ložisko s jedným valivým telieskom a dvoma vonkajšími krúžkami**



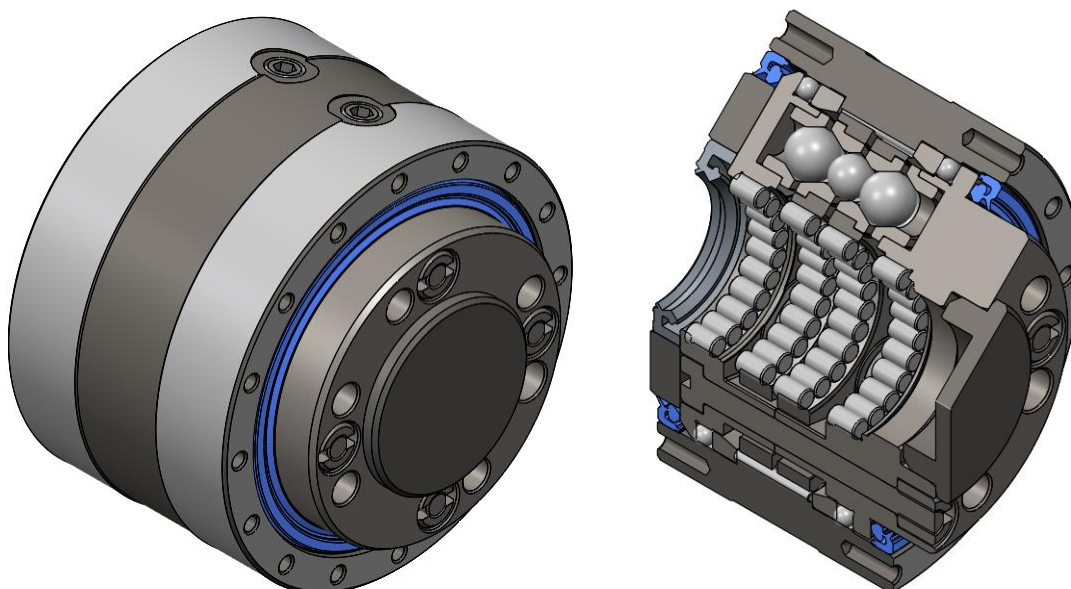
**Obr. 7 Štruktúra prevodovky s valivými telieskami tvaru guľôčky, umiestnenými medzi satelitom a výstupnými prírubami**

Priestorový charakter transformačného mechanizmu tejto prevodovky umožňuje vymedziť vôľu pri prenose otáčok a krútiaceho momentu zo satelitu na výstupnú prírubu prostredníctvom axiálneho predpätia vytvoreného v transformačnom mechanizme. Inými slovami povedané môžeme vymedziť túto vôľu dotláčaním jedného krúžku ložiska voči druhému krúžku v axiálnom smere. Na (Obr.8) je zobrazený spôsob vymedzenia vôle pomocou skrutky s pozíciou 18.



**Obr. 8 Jeden z možných spôsobov vymedzenia vôle  
v transformačnom mechanizme prevodovky**

Na (**Obr.9**) je zobrazená konkrétna podoba transformačného mechanizmu v diferenciálnej prevodovke, určenej pre aplikáciu v obrannom priemysle.



**Obr. 9 Podoba transformačného mechanizmu v reálnej diferenciálnej prevodovke**



---

### **Výhody transformačného mechanizmu prevodovky podľa patentu SK 284 375**

- umožňuje najmenšie zástavbové rozmery a hmotnosť prevodovky v porovnaní s výkonovo podobnými konkurenčnými typmi
- mimoriadne jednoduchý, výrobné nenáročný a veľmi presný prenosový člen medzi satelitnými kolesami a výstupnými prírubami. Jeho jednoduchosť spočíva v tom, že je to vlastne jednoduché valivé teliesko - guľôčka z valivého ložiska, ktorá plní tú istú úlohu ako zložitý Oldhamov krížový redukčný mechanizmus firmy Spinea, veľmi presné čapy a čapové puzdrá firmy Sumitomo Cyclo alebo satelitné kľukové hriadele firmy Nabtesco.
- použitie jednoduchých guľôčiek v konštrukcii prevodovky namiesto výrobné náročných a komplikovaných mechanizmov umožňuje radikálne zníženie výrobných nákladov na celú prevodovku. Valivé elementy ( guľôčky ) sa vyrábajú v miliardových sériách na celom svete a ich cena je v porovnaní s inými prenosovými mechanizmami zanedbateľná .
- umožňuje vymedziť hysteréziu a mŕtvy chod, ktorý môže vzniknúť medzi satelitnými kolesami a výstupnou prírubou. Konkurenčné riešenia tento problém nevedia vôbec odstrániť a jeho hodnotu dokážu ovplyvniť iba nepriamo – neustálym zvyšovaním presnosti, ktoré sa však vysoko premieta do výrobných nákladov.



## Záver

Porovnali sme niekoľkých typov transformačných mechanizmov, používaných v dnešných diferenciálnych prevodovkách. Každý z nich má nejaké výhody, ale aj nevýhody. Nevýhody sa prejavujú vo vonkajších rozmeroch, výkonových parametroch, ale aj cene. Transformačný mechanizmus prevodovky podľa [6], pozostávajúci z niekoľkých jednoduchých valivých ložísk s jedným valivým telieskom a dvomi vonkajšími krúžkami umožňuje navrhnuť a postaviť plnohodnotnú diferenciálnu prevodovku porovnateľných výkonov ako konkurenčné riešenia s nižšími výrobnými nákladmi a lepšími parametrami.

**Acknowledgments:** *The authors would like to thank the KEGA grant agency for supporting research work the project KEGA: 004TUKE-4/2017*

## Použitá literatúra

- [1] Produktový katalóg f. Sumitomo Cyclo Drive Germany GmbH. - FineCyclo F2C-C Series
- [2] HERSTEK, Jozef: Patentový spis SK 277 969 Multisateliná prevodovka, ÚPV SR, 1995.
- [3] SUN-HO, Lim: Patentový spis US 6,761,660 B2 Transmission internally meshing a planetary gear structure, USPTO, 2004
- [4] JANEK, Bartolomej: Patentový spis SK 278 966 Prevodovka s krížovým redukčným mechanizmom, ÚPV SR, 1998.
- [5] JANEK, Bartolomej: Zverejnená medzinárodná patentová prihláška WO 95/22017 Gear, WIPO, 1995.
- [6] GECÍK, Martin: Patentový spis SK 284 375 Prevodovka s valivým eliminačným zariadením, ÚPV SR, 2003.

## Kontaktné adresy

- (1.) Ing. Martin Gecík,  
Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove,  
Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovensko, e-mail: martin.gecik@gmail.com
- (2.) prof. Ing. Anton Panda, PhD.  
Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove,  
Bayerova 1, 080 01 Prešov, Slovensko, e-mail: anton.panda@tuke.sk