



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PŘENOSY VÝKONŮ LOKOMOTIV

LOCOMOTIVE POWER TRANSMISSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MARTIN ZUBÍK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Svoboda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přenosy výkonů lokomotiv

v anglickém jazyce:

Locomotive power transmission

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte rešerši o možnostech přenosu výkonu ze spalovacího motoru kolejového vozidla na hnáný podvozek. Úvodem zmapujte specifické podmínky pro převodová zařízení v drážním provozu. Proveďte rozdělení dle druhu energie použité k přenosu výkonu a zaměřte se především na porovnání vlastností a charakteristik jednotlivých typů mezi sebou.

Cíle bakalářské práce:

- Úvod k potřebě zařízení pro přenos výkonu v kontextu specifických podmínek železničního provozu
- Druhy přenosových zařízení, jejich porovnání, výhody a nevýhody
- Závěrečné zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 312 s. ISBN 80-239-0025-0.
- [2] KONOPÍK, Jan. Přenosy výkonů I-V. Dráha. Praha: Nadatur, 2007-2011. ISSN 1211-1260.
- [3] GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. ISBN 1-56091-199-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Zubík

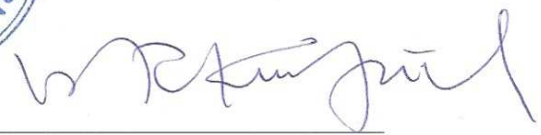
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 22.11.2013





prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Práce popisuje specifické podmínky pro převodová zařízení v drážním provozu, obsahuje popis, rozdělení a srovnání možností přenosu výkonu ze spalovacího motoru kolejového vozidla na hnáný podvozek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Trakční charakteristika, přenos výkonu, mechanický přenos, hydrostatický přenos, hydrodynamický přenos, elektrický přenos, účinnost.

ABSTRACT

The work describes the specific conditions for transmission devices in railway operations. It includes the description, distinction and comparison of power-transferring possibilities from the rail vehicle's combustion engine to the propelled chassis.

KEYWORDS

Traction characteristics, power transmission, mechanical transmission, hydraulic transmission, electric transmission, efficiency.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODA, P. *Přenosy výkonů lokomotiv*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 48 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Zubík.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Zubíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2014

.....

Petr Svoboda



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Martinu Zubíkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.



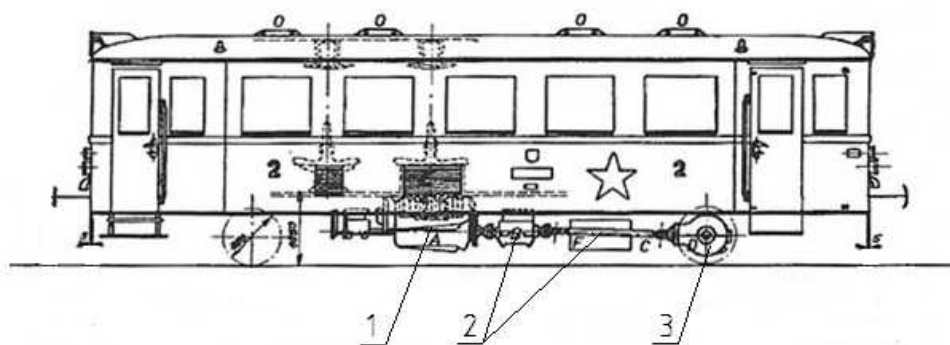
OBSAH

Úvod	9
1 Vlastnosti kolejových hnacích vozidel	10
1.1 Trakční charakteristika	10
1.1.1 Omezení trakční charakteristiky	10
1.2 Trakční požadavky na hnací vozidla	12
2 Mechanický přenos výkonu	15
2.1 Popis konstrukce	15
2.2 Základní prvky mechanického přenosu	16
2.3 Výhody mechanického přenosu	20
2.4 Nevýhody mechanického přenosu	21
3 Hydraulický přenos výkonu	23
3.1 Hydrostatický přenos výkonu	23
3.1.1 Popis konstrukce	23
3.1.2 Základní prvky hydrostatického přenosu	24
3.1.3 Výhody hydrostatického přenosu	26
3.1.4 Nevýhody mechanického přenosu	26
3.2 Hydrodynamický přenos výkonu	27
3.2.1 Popis konstrukce	27
3.2.2 Základní prvky hydrodynamického přenosu	28
3.2.3 Výhody hydrodynamického přenosu	32
3.2.4 Nevýhody hydrodynamického přenosu	34
4 Elektrický přenos výkonu	35
4.1 Stejnosměrné přenosové zařízení	35
4.1.1 Popis konstrukce	35
4.1.2 Základní prvky stejnosměrného přenosového zařízení	36
4.1.3 Popis činnosti	38
4.2 Střídavě stejnosměrné přenosové zařízení	40
4.3 Střídavé přenosové zařízení	41
4.4 Výhody elektrického přenosu	42
4.5 Nevýhody elektrického přenosu	43
Závěr	45
Seznam použitých zkratk a symbolů	48



ÚVOD

Přenos výkonu je přenos energie z motoru na hnací nápravu u vozidla nezávislé trakce. Tím se rozumí vozidlo, které není závislé na vnějším energetickém zdroji, zejména elektrickém, a tudíž musí být vybaveno vlastním zdrojem energie. Tuto úlohu sehrává spalovací, obvykle vznětový motor. Zařízení na přenos výkonu je pak mezičlánkem mezi spalovacím motorem a poháněnou nápravou = dvojkolím. Celé pohonná jednotka je tedy složena do soustavy: motor – přenosové zařízení – poháněná dvojkolí.



Obr. 1 Schéma umístění pohonné jednotky motorového vozu: 1-diesellový motor, 2-přenosové zařízení, 3-hnací dvojkolí [3]

V současné době je snaha vytížené tratě elektrifikovat. V České republice je nyní elektrifikována zhruba jedna třetina tratí, mezi nimiž jsou všechny tranzitní koridory. Hlavní působiště vozidel nezávislé trakce se tak přesunulo na vedlejší a méně vytížené tratě. V mnoha zemích nejen rozvojových však elektrizace není natolik rozšířená jako v Evropě a zdejší tratě by se bez nich neobešly. Proto je jejich konstrukci stále věnováno značné úsilí. Určitý problém do budoucna představuje nejistá budoucnost fosilních paliv. Vozidla nezávislé trakce vybavená spalovacím motorem jsou závislá především na ropných zdrojích.



1 VLASTNOSTI KOLEJOVÝCH HNACÍCH VOZIDEL

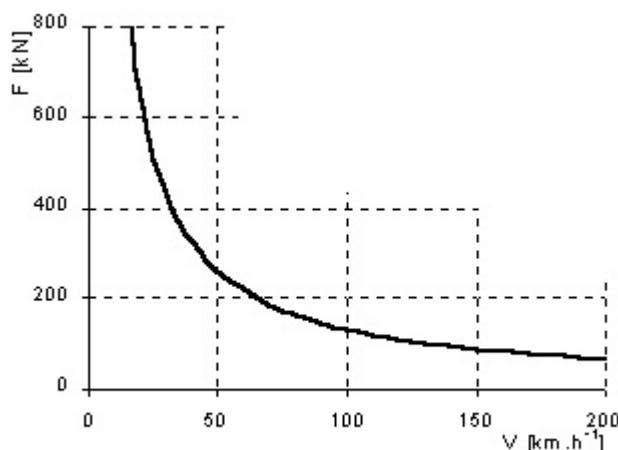
1.1 TRAKČNÍ CHARAKTERISTIKA

Tažná síla vozidla není konstantní v celém rozsahu rychlosti. Velikost a průběh této síly je jedním z rozhodujících parametrů ovlivňujících jejich nasazení do provozu. Závislost tažné síly na rychlosti vozidla označujeme jako trakční charakteristiku. Graficky ji pak můžeme vyjádřit v souřadném systému $F-v$. Na osu svislou vynášíme tažnou sílu, na osu vodorovnou pak rychlost vozidla. Z hlediska energetického využití je nejvýhodnější, pokud vozidlo může využít plný výkon v celém rychlostním rozsahu. Z toho plyne požadavek:

$$P = Fv = \text{konst.} \quad (1)$$

kde: F tažná síla vozidla
 v rychlost vozidla

Grafickou interpretaci toho požadavku je v souřadném systému $F - V$ představuje rovnoosá hyperbola asymptoticky se blížíící k osám. Tomuto průběhu říkáme ideální trakční hyperbola. V praxi však tento stav není dosažitelný [4].



Obr. 2 Ideální trakční hyperbola při $P = 360 \text{ kW}$ [4]

1.1.1 OMEZENÍ TRAKČNÍ CHARAKTERISTIKY

Každé hnací vozidlo má specifické trakční vlastnosti, které jsou dány jeho konstrukcí. Konstrukteři železničního vozidla se musí řídit určitými pravidly, které určují možný rozsah trakčních vlastností. Konstrukce je omezena maximálním výkonem spalovacího motoru, legislativou, tj. povolením maximální rychlosti a fyzikou adheze.

Tvar trakční charakteristiky je tedy omezen těmito vlivy vyplývajícími z reálné konstrukce hnacího vozidla:



1. **Adheze** - tažná síla na obvodu kol je součtem všech reakcí, vznikajících na styku kola s kolejnicí, u kterých působí obvodová síla. Tato reakce vzniká na základě existence adheze, představující součinitel tření za relativního klidu dotykových ploch na styku kola s kolejnicí. Maximální sílu, kterou je možno za těchto podmínek realizovat nazýváme adhezní tažnou silou F_a . Její velikost je závislá na kvalitě tohoto styku a svislé síle působící v tomto styku. Je tedy závislá na hmotnosti lokomotivy, přesněji na hmotnosti (tíze) připadající na hnané dvojkolí. Je dána vztahem:

$$F_a = \mu_a G_a \varepsilon \quad (2)$$

kde: μ_a součinitel adheze

G_a adhezní tíha

ε součinitel využití adheze

Pokud nastane situace:

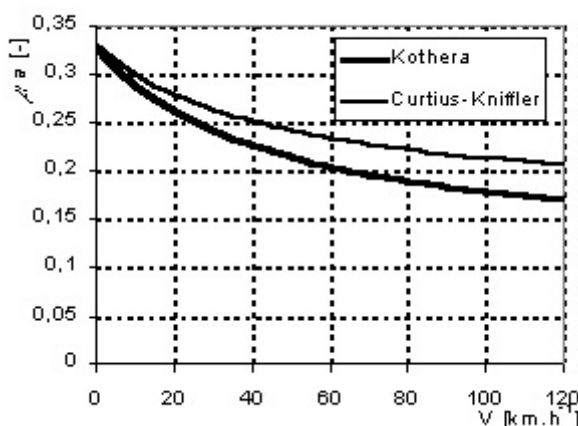
$$F_o > F_a \quad (3)$$

kde: F_o tažná síla na obvodu kol

je porušena podmínka klidu stykových ploch a dojde k relativnímu pohybu mezi kolem a kolejnicí. Mezi styčnými plochami přestává působit adheze a začíná působit tření. Děje se tak díky tomu, že součinitel tření f_t je menší než součinitel adheze.

$$f_t < \mu_a \quad (4)$$

V praxi se pro stanovení hodnoty součinitele adheze používají experimentálně stanovené vztahy.

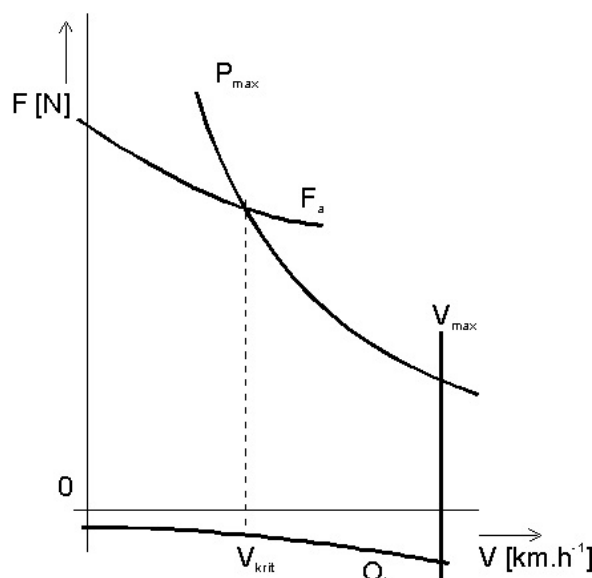


Obr. 3 Průběh součinitele adheze stanovený metodou Kothera a Curtius-Knifflera [4]

2. **Výkon** – v oblasti rozjezdu, kdy je rozjezd vozidla omezen adhezí, je maximální dosažitelný výkon roven adhezní tažní síle. Toto omezení se projeví v okamžiku, kdy vozidlo překročí tzv. kritickou rychlost v_{krit} (průsečík křivky F_a a křivky konstantního výkonu P_{max}). V této oblasti můžeme využít pro provoz plného výkonu vozidla P_{max} . Průběh této křivky se přibližuje k ideální trakční hyperbole [4].



3. **Maximální rychlost vozidla** – při dosažení maximální rychlosti v_{max} musí být trakční výkon omezen na nulu.
4. **Vozidlový odpor** – působí opačným směrem než tažná síla. Patří sem síly způsobené třením, a to: valivým třením mezi kolem a kolejnicí, čepovým třením v nápravových ložiskách a odporem vzduchu při jízdě. Vozidlový odpor roste s rychlostí vozidla a je označován jako výběhová křivka.



Obr. 4 Skutečná trakční charakteristika [4]

1.2 TRAKČNÍ POŽADAVKY NA HNACÍ VOZIDLA

Jízdu můžeme rozdělit do několika fází:

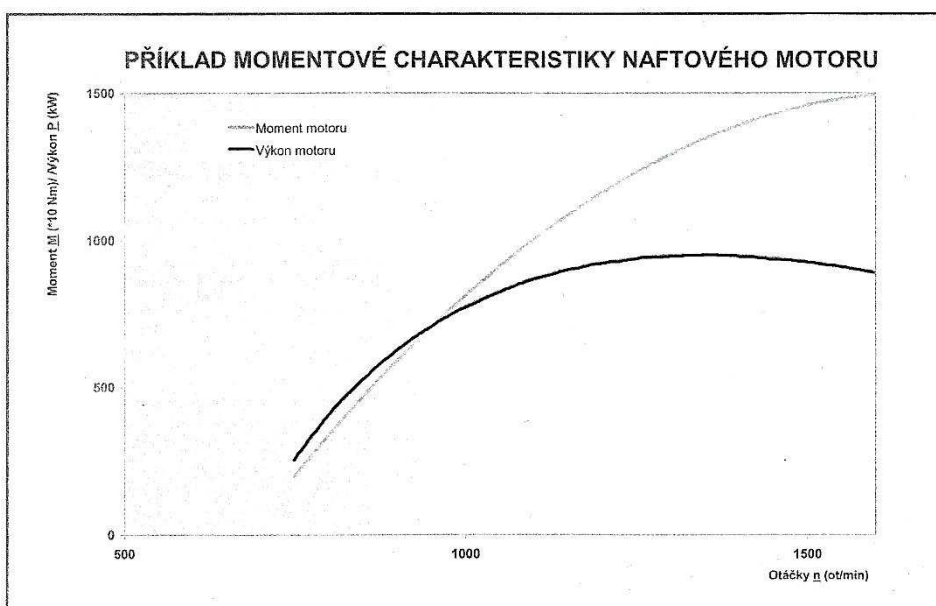
Rozjezd vlaku – při rozjezdu vyžadujeme co možná největší tažnou sílu, která ale nesmí překročit maximální adhezní tažnou sílu, aby nedošlo k prokluzu. Při rozjezdu z nulové rychlosti je třeba navíc překonat klidové tření, které má větší hodnotu než tření za pohybu a vznikají zde největší nároky na tažnou sílu.

Jízda konstantní rychlostí – při jízdě na vozidlo působí řada trakčních odporů, jako je stoupání tratě, odpor oblouku, valivého tření kol, ložisek atd. Úkolem hnacího vozidla je v této fázi jízdy udržet konstantní požadovanou rychlost, tedy regulovat podle potřeby jeho výkon. Při jízdě ze sklonu je také vyžadováno dynamické brždění.

Jízda výběhem – vozidlo jedoucí výběhem nemá pohonné zařízení v činnosti a pohybuje se jen díky jeho získané kinetické energii. Ekvivalentem v silniční dopravě je jízda na neutrál.

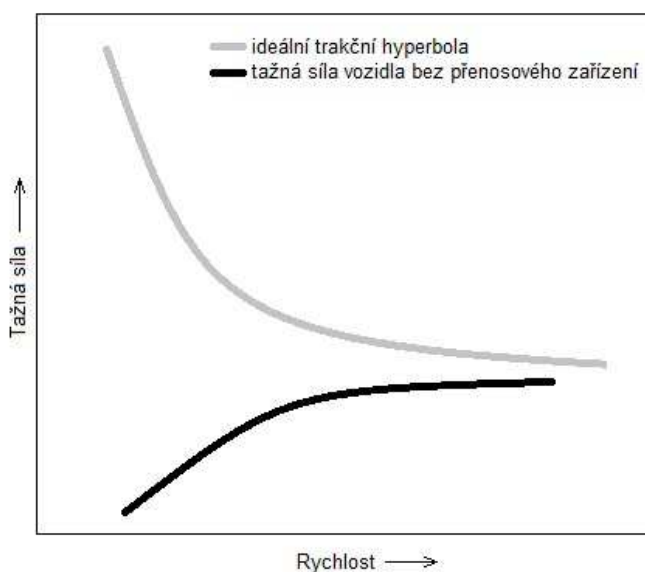
Brždění – brždění železničních vozidel je řešeno převáděním kinetické energie vlaku na jinou formu energie. Obdobně jako u vozidel silničních je použito třecích brzd, které přeměňují kinetickou energii na tepelnou. Využívá se také dynamického brždění. *Intenzita převádění energie v čase je brzdným výkonem* [1].

Vozidla nezávislé trakce jsou vybavena spalovacím motorem, který dodává mechanickou práci. Vlastnosti spalovacího motoru můžeme vyjádřit pomocí momentové charakteristiky, závislosti momentu na otáčkách výstupního hřídele, a výkonové charakteristiky, což je závislost výkonu na otáčkách.



Obr. 5 Momentová charakteristika naftového motoru o výkonu 1500 kW [1]

Na grafu je vynesena momentová charakteristika. Je patrné, že krouticí moment výstupní hřídele motoru je přímo úměrný otáčkám. Podobně se chová i výkon motoru, avšak ten roste pouze to určitého maxima a pak klesá. Nevýhodou spalovacího motoru je nemožnost snížit jeho otáčky pod otáčky volnoběhu nebo naopak překročit maximální povolené. Pokud budeme teoreticky uvažovat přímé napojení spalovacího motoru na hnací dvojkolí a průběh výkonu zakreslíme do $F - v$ diagramu spolu s ideální trakční hyperbolou, je patrný velký rozdíl v tažné síle, který by nastal hlavně v první fázi jízdy – v rozjezdu. Je zřejmé, že takové řešení je velice nevýhodné, pokud by vůbec bylo řešitelné. Je tedy nutné změnit tuto charakteristiku, aby se co nejvíce přiblížila ideální trakční hyperbole. Právě to je hlavním úkolem přenosového zařízení.



Obr. 6 Porovnání vozidla s přímým převodem a vozidla s ideálním přenosovým zařízením [1]

**Shrnutí požadavků na přenosová zařízení:**

1. Umožnit práci motoru provoz při jakékoliv rychlosti od v_0 do $v_{\max}$
2. Kroutící motoru, který má při daných otáčkách konstantní hodnotu, převést na tažnou sílu, jejíž hodnota se mění dle trakční hyperboly.
3. Spalovací motor oddělit od dvojkolí a zamezit tak přenášení rázů a vibrací.
4. Umožnit reverzaci
5. Plynule měnit velikost tažné síly dle dané rychlosti vozidla
6. Umožnit pohon více dvojkolí
7. Zajistit snadnou obsluhu ze stanoviště strojvedoucího
8. Přenášet výkon s co nejmenšími ztrátami

První typ přenosového zařízení byl mechanický, který pracoval na principu skokové změny kroutícího momentu. Některé jeho vlastnosti byly dobré, jako například mechanická účinnost, ale ve většině zaostával. Rozvojem technologie vznikaly nové koncepce přenosu výkonu, často podobné přenosovým zařízením v automobilové technice.



2 MECHANICKÝ PŘENOS VÝKONU

2.1 POPIS KONSTRUKCE

Mechanický přenos je řešen čistě mechanickou cestou. Přenos otáček a kroutícího momentu ze spalovacího motoru na poháněná dvojkolá je realizován pomocí přenosového zařízení, složeného z rozvodových hřídelí a spoluzabírajících kol.



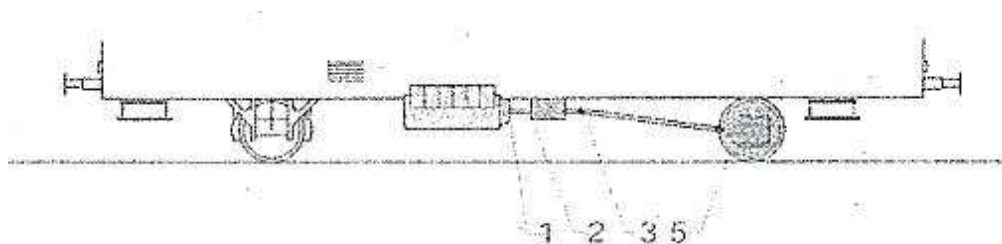
Obr. 7 Základní uspořádání mechanického přenosu výkonu [5]

Mechanický přenos výkonu je nejstarším typem. Jeho konstrukce je jednoduchá a je shodná s přenosovým zařízením automobilů. Jeho uspořádání je následovné: hlavní spojka umístěná vždy mezi motorem a hlavní převodovkou, hlavní převodovka, rozváděcí hřídele a nápravová převodovka. Viz obrázek 7. Pro pohon více dvojkolí je možné použít buď samostatné rozvodové hřídele, nebo sílu přenášet z jednoho dvojkolí pomocí spojnic, podobně jako tomu bylo u parních lokomotiv. V převodovce bylo umístěno několik dvojic ozubených kol tvořících převodové stupně, každý s jiným převodovým poměrem. Stupně se mohli volitelně zapínat ze stanoviště strojvedoucího. Vhodnou volbou převodového stupně mohl spalovací motor svou práci efektivně pokrýt rychlostní pásmo lokomotivy.

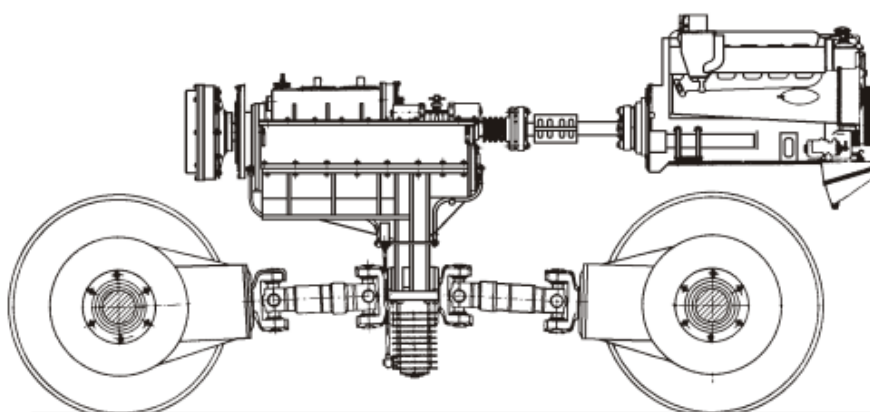
Postupem času se konstruktéři snažili o zdokonalení tohoto způsobu přenosu, byly hledány vhodné poměry převodových stupňů i počty samotných převodových stupňů. Byla snaha o dosažení co nejmenší hmotnosti a hlučnosti převodovek. Proto kromě konvenčních převodovek, složených z převodové skříně a dvojic spoluzabírajících ozubených kol, vznikaly i planetové převodovky, které dokázali zvýšit rozsah převodových poměrů a měli menší hmotnost oproti konvenčním převodovkám. Dalším řešením by bylo užití variátoru, který umožňuje plynulou změnu převodového poměru v závislosti na rychlosti a zatížení hnacího vozidla. Variátor je zařízení velmi technologicky náročné a využívá se jen v automobilech. V kolejových vozidlech se toto zařízení nepoužívá, protože není schopno přenášet tak vysoké výkony na jaké jsou konstruována železniční vozidla.

Mechanický přenos je jednoduchý typ přenosu energie, přičemž mechanická energie vystupující ze spalovacího motoru není převáděna na jinou formu. To zaručuje poměrně vysokou mechanickou účinnost.

Mechanický přenos je zastaralou koncepcí, jeho rozvoj nastal hlavně v 40. a 50. letech minulého století. Není schopen přenášet vysoké výkony, jak bude vysvětleno dále. V bývalém Československu se používal například v motorových osobních vozech M 131.1, které byly v provozu u ČSD v letech 1948 až 1984, a v lehkých posunovacích lokomotivách T 211.0 a T 211.1 vyráběných v letech 1955 až 1962. Později byly tyto lokomotivy přeznačeny na řadu 700 a 701 a ještě dnes některé slouží v posunovací službě v Depech Českých drah a na vlečkách.



Obr. 8 Uspořádání přenosového zařízení motorového vozu M 131.1: 1- spojka, 2- převodová skříň, 3-rozváděcí hřídel, 5-nápravová převodovka [1]



Obr. 9 Uspořádání přenosového zařízení posunovací lokomotivy T 211.0 a T 212.1, [6]

2.2 ZÁKLADNÍ PRVKY MECHANICKÉHO PŘENOSU

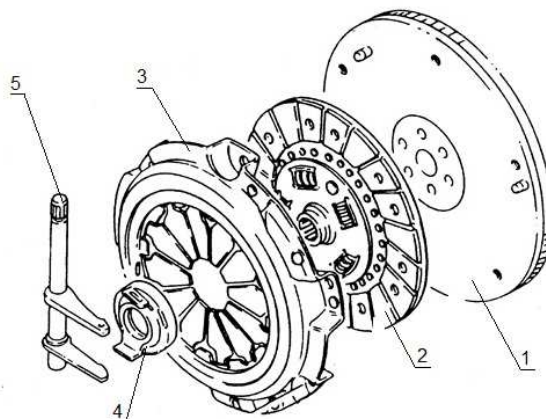
SPOJKA

Spojka je vložena mezi motor a převodovou skříň. Přenáší točivý moment z motoru na další části převodového mechanismu. Vypnutím spojky se přeruší přenos točivého momentu z motoru na další části převodového ústrojí, což je důležité při řazení rychlostních stupňů. Spojka může také přerušit přenos výkonu a umožnit stání vozidla při zařazeném rychlostním stupni. Vlastnosti spalovacího motoru nedovolují snížit jeho otáčky pod otáčky volnoběžné. Při tuhém spojení motoru s převodovkou by tak nastal problém při rozjezdu z nulové rychlosti a motor by se mohl zastavit. Díky postupnému sepínání spojky, což je spojeno s jejím prokluzováním, dojde k pozvolnému vyrovnávání otáček motoru a dosud nepohyblivého hřídele převodovky. Každá spojka má hnací a hnanou část.

Spojky používané ve vozidlech s čistě mechanickým přenosem výkonu byly konstruovány jako suché třecí lamelové. Používaly se dva typy těchto spojek a to kotoučové a lamelové.

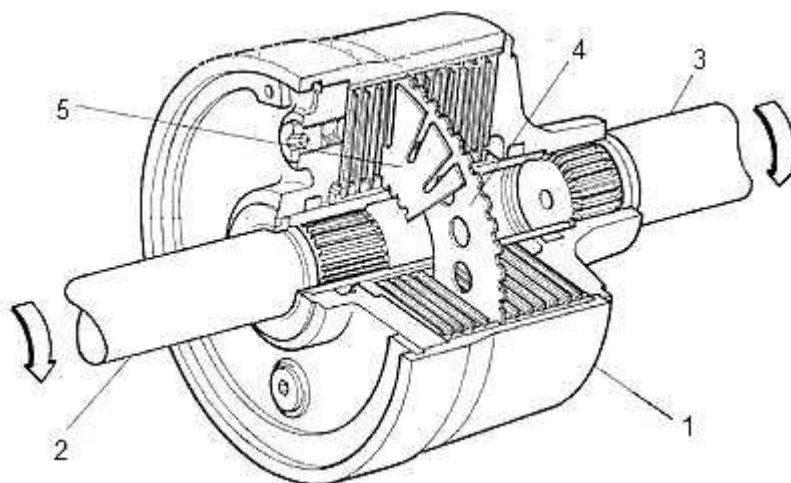


Kotoučová spojka – hnací část v tomto případě tvoří setrvačník, hnanou část kotouč tvořený jednou lamelou. Na kotouči je upevněno obložení pro zvýšení třecího součinitele. Kotouč je přitlačován k setrvačníku přitlačným kotoučem pomocí pružin.

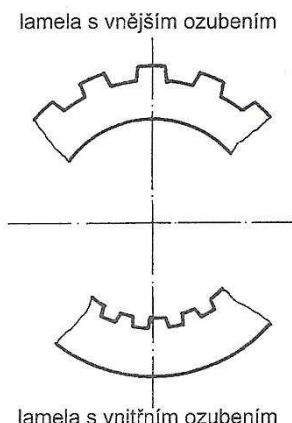


Obr. 10 Kotoučová spojka: 1-setrvačník, 2-spojkový kotouč, 3-přítlačný kotouč, 4-spojkové ložisko, 5-vypínací vidlice [2]

Lamelová spojka – pracuje na stejném principu jako kotoučová, ale pro přenos točivého momentu slouží místo jednoho spojkového kotouče více kotoučů. Tyto kotouče jsou tenší než u spojky kotoučové a nazývají se lamely. Hnací část tvoří buben s hnacími lamelama, které jsou pomocí tvarového styku uchyceny v bubnu a mohou konat axiální posuv. Stejným způsobem jsou uchyceny na náboji hnané lamely, vložené mezi hnací. Tvarový styk je tvořen ozubením, u nacíh lamel většinou vnějším, u hnaných vnitřním, viz. obr. 12. Díky většímu počtu lamel může být jejich průměr menší než u kotoučové spojky při zachování stejné (mnohdy i větší) třecí plochy. Lamelové spojky tak dokáží přenášet vyšší výkony než spojky kotoučové.



Obr. 11 Lamelová spojka: 1-buben, 2-hnací hřídel, 3-hnaná hřídel, 4-hnací lamela, 5-hnaná lamela [2]



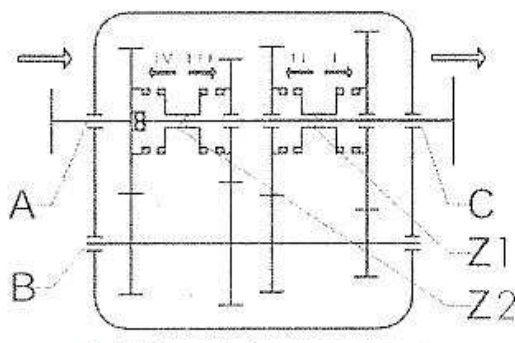
Obr. 12 Ozubení lamel [2]

Motorový vůz M131.1 i lokomotiva T211.0 a verze vzniklé její modernizací používaly suchou lamelovou spojku. Spínání spojky musí být plynulé, aby nedošlo ke snížení nejnižších možných otáček spalovacího motoru a jeho zastavení. Při rozjezdu vozidla je největší rozdíl otáček mezi hnací a hnanou částí spojky a vzájemným třením lamel vzniká teplo. Toto teplo má v čase určitou intenzitu. Tato intenzita je ztrátovým, nebo také tepelným výkonem spojky. Při rozjezdu tedy určitý výkon připadá na jízdu vlaku a zbylý výkon je ve formě tepelné energie neúčinně odveden třecím obložení spojky.

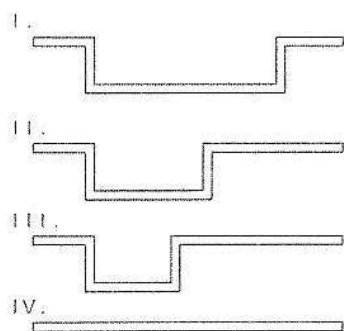
PŘEVODOVKA

Převodovka je zařízení sloužící ke změně přenášeného točivého momentu nebo jeho přerušení. Součástí převodovky může být i reverzační ústrojí, sloužící ke změně smyslu otáčení a tím i změně směru jízdy. *Hlavním účelem převodovky je tedy umožnit změnu převodu mezi motorem a hnacími koly tak, aby měl motor bez ohledu na rychlost jízdy stále vysoké otáčky, při kterých má plný výkon [2].*

Mohou být konvenčního typu s dvojicemi spoluzabírajících kol nebo planetové. Konvenční převodovka se skládá ze skříně, v níž jsou umístěny hřídele s převodovými koly. Hřídele bývají obvykle tři, a to: vstupní, výstupní a předlohový. Ve čtyřstupňové převodovce s předlohou hřídelí jsou pak čtyři dvojice převodových soukolí. První slouží k převodu momentu na předlohou hřídel, další tři dvojice pak vytváří jednotlivé stupně. Poslední čtvrtý stupeň je tvořen přímým záběrem.

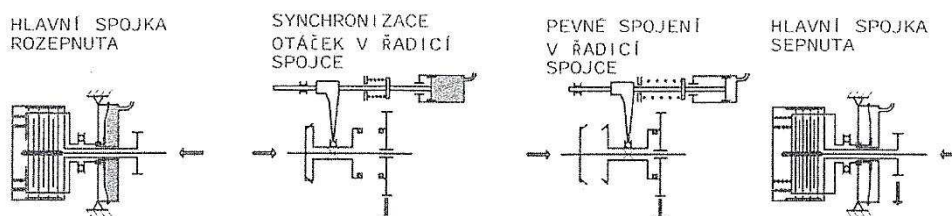


Obr. 13 Kinematické schéma čtyřstupňové převodovky: A-vstupní hřídel, B-předlohou, C-výstupní, Z1-zubová řadič I./II. stupně, Z2-III./IV. stupně [1]



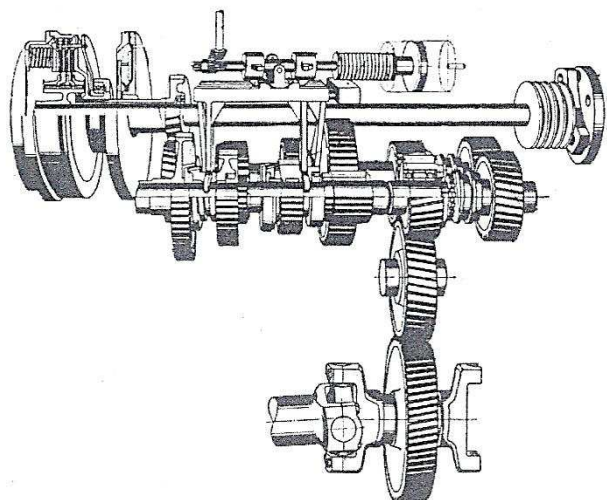
Obr. 14 Schéma toku momentu na jednotlivých stupních [1]

K řazení jednotlivých stupňů se používají řadící spojky třecí nebo zubové. Tyto spojky jsou umístěny na každé dvojici spoluzabírajících kol a podle potřeby spojují jednotlivé soukolí s výstupní hřídelí. Hodně se používají zubové řadící spojky se synchronizací – spojují výhody lehké zubové spojky schopné přenášet velké momenty a třecí spojky pro tzv. měkké připojení příslušné rychlosti. To zabraňuje poškození zubů zubové spojky. Tyto spojky podstatně zjednodušují práci obsluhy. Pracují následovně: hnanou část spojky tvoří kroužek s kuželovou plochou. Při přesouvání spojky na jednu stranu unáší přesouvací objímka kroužek s sebou. Ten se přesunutím spojí s hnací částí spojky a dojde k vyrovnání otáček hnací a hnané části. Poté je kroužek rychle přesunut na druhou stranu a svými zuby na druhém konci se pevně spojí se zubovou částí, která je umístěna na ozubeném kole. Dojde k pevnému spojení ozubeného kola a pohyblivé části spojky, která je drážkováním spojena s výstupní hřídelí. Dojde k zařazení příslušného stupně. Při této činnosti je samozřejmě vypnuta hlavní spojka.



Obr. 15 Řadící proces převodovky ČKD M 150 [1]

Kolejová vozidla musí být schopna rovnocenné jízdy oběma směry. Proto musí být vybavena reverzačním zařízením. Pokud má vozidlo hnanou pouze jednu nápravu, bývá reverzační zařízení většinou v nápravové převodovce. Kromě dvounápravových motorových vozů má ale většina ostatních kolejových vozidel poháněno více náprav a montování reverzačního zařízení do každé nápravové převodovky poháněné nápravou by bylo nevýhodné. Proto bývá reverzace umístěna už v hlavní převodovce nebo těsně za ní. Funguje podobně jako hlavní převodovka. V jednom směru probíhá moment přes jednoduchý převod a ve směru druhém přes převod obsahující vložené kolo, které způsobí změnu smyslu otáčení. Převodový poměr je zachován u obou směrů stejný. Zapojování těchto převodů je realizováno pomocí reverzačních spojek. Tyto spojky bývají jednoduché konstrukce bez synchronizace a mohou být zapínány jen pokud vozidlo stojí.



Obr. 16 Čtyřstupňová převodovka ČKD M 150 s reverzačním ústrojím, modifikace německé převodovky Mylius [1]

ROZVÁDĚCÍ HŘÍDELE

Slouží k přenosu výkonu od hlavní převodovky k nápravovým převodovkám jednotlivých náprav. Bývají řešeny jako teleskopické tyče s křížovými klouby. Díky kloubům a možnosti podélné změny délky mohou být nápravy vypruženy.

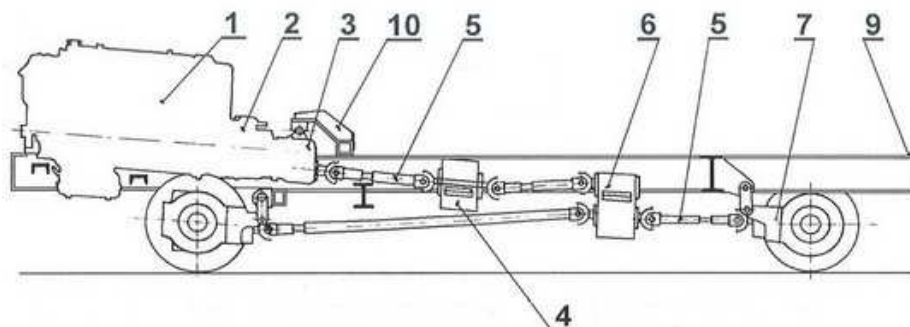
NÁPRAVOVÁ PŘEVODOVKA

Tyto převodovky přenášejí výkon od rozváděcích hřídelí na samotná dvojkolí. V těchto převodovkách bývá většinou kuželové soukolí. Pastorek je umístěn na hnací kloubové hřídeli, talířové kolo je pak umístěno přímo na dvojkolí. Pokud není reverzace zajištěna hlavní nebo reverzační převodovkou, je reverzace prováděna nápravovou převodovkou. Na dvojkolí jsou proti sobě umístěna talířová kola v trvalém záběru s pastorkem. Otáčejí se v opačném smyslu a mezi koly je zubová spojka spojená drážkováním s osou dvojkolí. Přesouváním zubové spojky je řazeno do záběru jedno z ozubených kol. Na takové převodovce je možné volit jízdu vpřed, vzad a neutrál.

2.3 VÝHODY MECHANICKÉHO PŘENOSU

1. Jednoduchost konstrukce

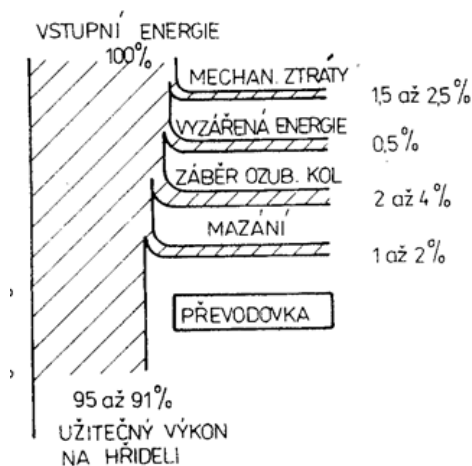
Všechny prvky přenosového zařízení jsou mechanické a vycházejí z konstrukce silničních vozidel. Mnohdy se užívalo modifikovaných součástí pro nákladní automobily jako v případě motorového vozu M 131.1 a lokomotivy T211.0 a T211.1, které používaly upravený motor z Tatry 111. Některé komponenty byly převzaty bez úpravy, např. motorová drezína MUV 69 má hlavní převodovku převzatou z nákladního automobilu Praga S5T.



Obr. 17 Schéma pohonného a přenosového zařízení MUV 69: 1-motor, 2-hlavní převodovka, 3-redukce, 4-přídavná redukce, 5-kloubové hřídele, 6-reverzační převodovka, 7-nápravová převodovka, 9-rám, 10-uchycení hnacího agregátu [7]

2. Vysoká účinnost

Účinnost přenosu se pohybuje v rozsahu 91-95%. Na rozdíl od jiných typů přenosu se energie neztrácí převodem na jinou formu a zůstává stále mechanická. Ztráty čistě na přenosovém zařízení způsobuje jen tření v ložiskách, v kloubových hřídelích, ve styku ozubených kol a odpor oleje v převodovce.



Obr. 18 Účinnost mechanického přenosu [9]

2.4 NEVÝHODY MECHANICKÉHO PŘENOSU

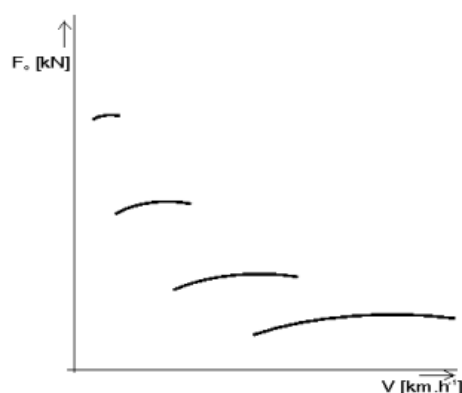
1. Omezený výkon vozidla

Maximální výkon vozidla může být zhruba 400kW. Při větším výkonu by nastal problém se spojkou. Spojky jsou dimenzovány na určité množství tepla vznikajícího při tření spojky. Vzniklé teplo závisí na hmotnosti vlakové soupravy. Nejvíce je spojka namáhána rozjezdem těžkých vlaků. Mějme soupravu o hmotnosti 1000 t a

lokomotivu o výkonu 1500 kW. Podle výpočtu by třecí teplo spojky při rozjezdu dosáhlo zhruba 16,6 MJ. Tomu pro běžně užívané třecí materiály odpovídá plocha obložení 8,3 m². Pokud bychom použily vícelamelovou spojku, byl by průměr bubnu spojky 1 m a délka bubnu 0,6 m. Je zřejmé, že její zástavbový prostor by byl obrovský, proto se pro vysoké výkony mechanický přenos nepoužívá.

2. Přetržitý průběh tažné síly

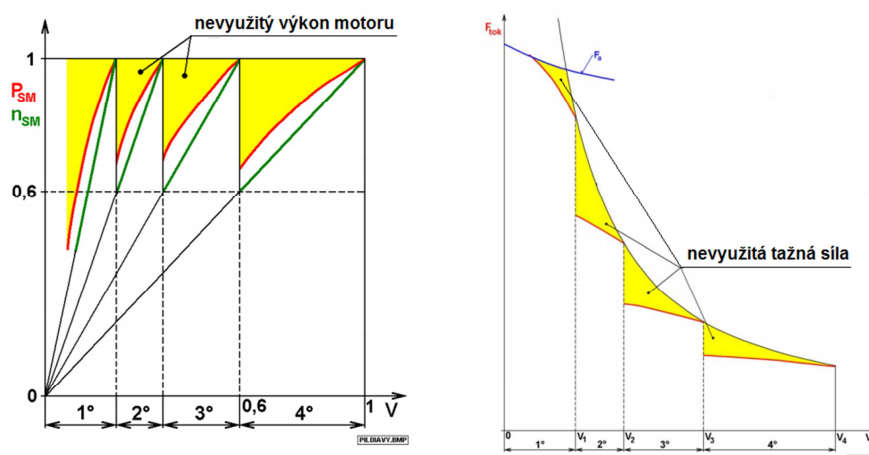
Přenosové zařízení by mělo trakční charakteristiku vozidla co nejvíce přiblížit ideální trakční hyperbole. Pro co nejlepší charakteristiku by mechanická převodovka musela mít nekonečný počet převodových stupňů. Platí, že větší počet převodových stupňů znamená hladší průběh trakční charakteristiky. Větší počet stupňů ale znamená jejich častější přerazování a tím i přerušení tažné síly, což není žádoucí, protože vznikají podélné rázy. Počet převodových stupňů se časem ustálil na počtu tři až šest.



Obr. 19 Základní tvar trakční charakteristiky hnacího vozidla s mechanickým přenosem [8]

3. Nevyužití plného výkonu motoru

Díky skokové změně momentu není využit všech výkon.



Obr. 20 Pilový diagram a trakční charakteristika [6]

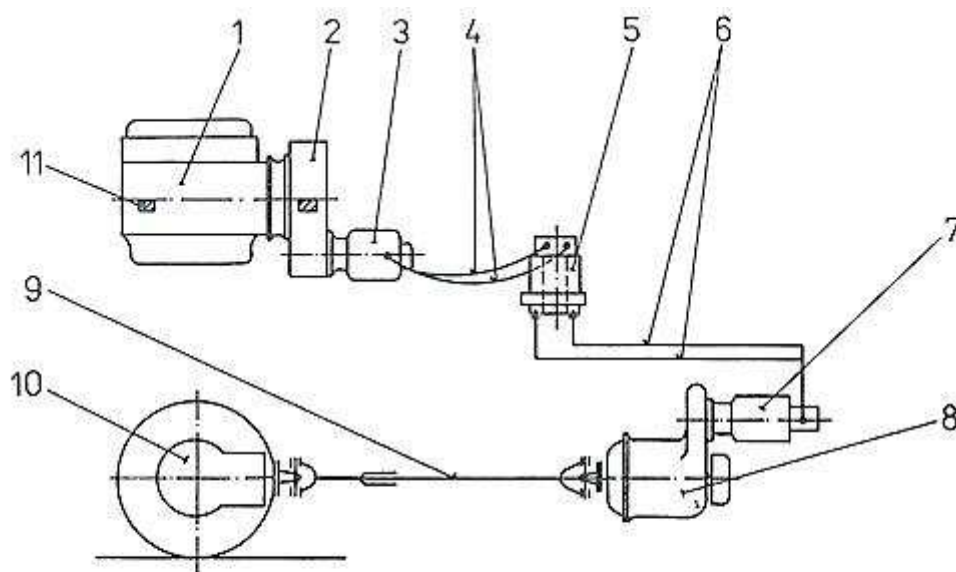
3 HYDRAULICKÝ PŘENOS VÝKONU

Základním úkolem tohoto typu přenosu je změna mechanické práce motoru na potenciální nebo kinetickou energii kapaliny. Energie kapaliny se následně znovu přemění na mechanickou práci, která je přenesena na hnací dvojkolí vozidla. Rozlišujeme tedy dva typy hydraulického přenosu a to: hydrostatický-práce je přeměněna na potenciální tlakovou energii kapaliny, a hydrodynamický-práce je přeměněna na kinetickou energii kapaliny. Jako provozní kapalina se v obou případech používá hydraulický olej.

3.1 HYDROSTATICKÝ PŘENOS VÝKONU

3.1.1 POPIS KONSTRUKCE

Jak bylo uvedeno, podstatou hydrostatického přenosu výkonu je stlačování kapaliny. Tlak vytváří hydrogenerátor umístěný za hlavním spalovacím motorem. S motorem je spojen přímo nebo je mezi motor a generátor vložena převodovka obvykle s jedním převodovým stupněm. Natlakovaná kapalina je poté vedena soustavou trubek nebo hadic k hydrogenerátoru, kde je přeměněna zpět na mechanickou energii. Hydrogenerátor je umístěn přímo v nápravové převodovce nebo v rozvodové převodovce pojezdu a jednotlivá dvojkolí jsou poháněna rozvodovými hřídelemi.



1 – hnací motor, 2 – náhonová skříň čerpadel, 3 – regulační čerpadlo, 4 – vysokotlaká hadice, 5 – rotační převáděč, 6 – hydraulické potrubí, 7 – hydromotor, 8 – převodovka pojezdu, 9 – kloubový hřídel, 10 – hnací dvoukolí, 11 – silentblok

Obr. 21 Schéma uspořádání hydrostatického přenosu výkonu [10]

3.1.2 ZÁKLADNÍ PRVKY HYDROSTATICKEHO PŘENOSU

HYDROGENERÁTOR

Hydrogenerátor je zubové nebo pístové čerpadlo vytvářející tlak v systému. Jeho úkolem je přeměna mechanické energie rotačního pohybu na tlakovou energii kapaliny. Je poháněn spalovacím motorem a jeho součástí může být i převaděč umožňující změnu toku proudící kapaliny. *Charakteristickou veličinou hydrogenerátoru je jeho geometrický objem V_g , což je objem kapaliny, který jím za ideálních podmínek proteče během jediné otáčky. Pokud jej vynásobíme otáčkami, získáme teoretický průtok hydrogenerátorem, tedy čistý průtok nezohledňující tlakové ani jiné ztráty [11].*

$$Q_V = V_g \cdot n \quad (5)$$

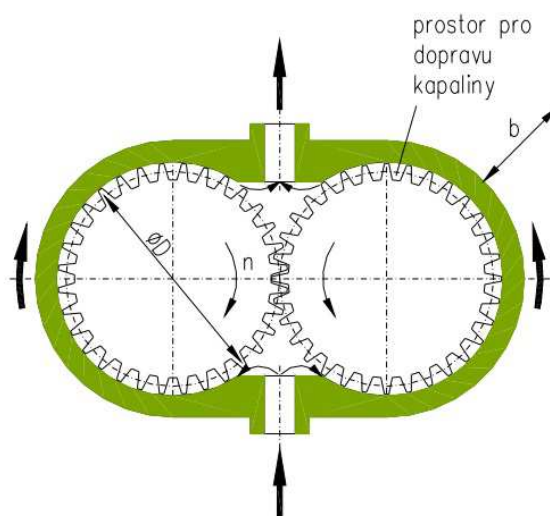
kde: Q_V teoretický průtok hydrogenerátorem
 n počet otáček hydrogenerátoru

Je vhodné volit takový hydrogenerátor, jehož V_g je o něco vyšší než průtok potřebný pro chod všech spotřebičů, kvůli hydraulickým ztrátám proudící kapaliny.

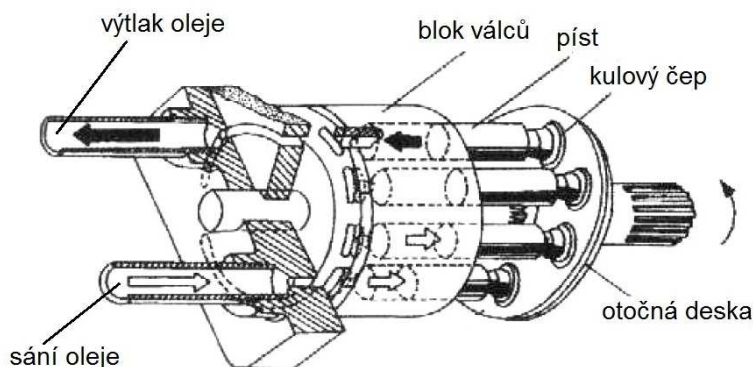
$$V_g > \frac{Q_{MAX}}{n \cdot \eta_Q} = V_{g \text{ MIN}} \quad (6)$$

kde: $V_{g \text{ MIN}}$ minimální potřebný geometrický objem hydrogenerátoru
 Q_{MAX} objemový průtok potřebný k práci všech spotřebičů
 n otáčky hydrogenerátoru
 η_Q průtoková účinnost
 $V_{g \text{ MIN}}$ geometrický objem zvoleného hydrogenerátoru

Existuje řada typů hydrogenerátorů, avšak nejvíce je používán axiální pístový. Pro pomocné pohony se používá zubový nebo klasický řadový pístový.



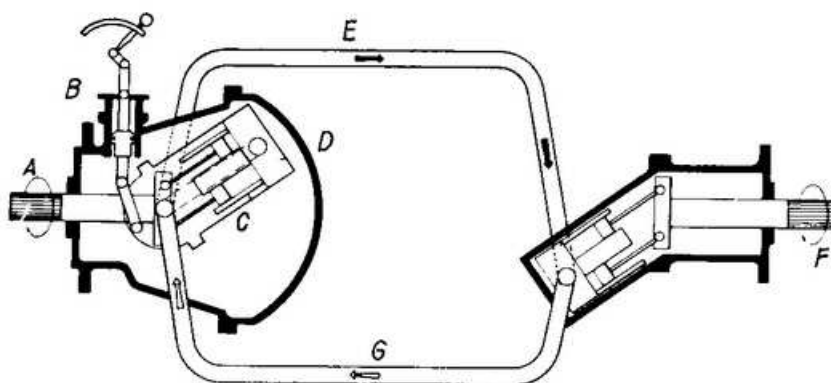
Obr. 22 Schéma zubového hydrogenerátoru [11]



Obr. 23 Axiální rotační pístový hydrogenerátor [12]

HYDROMOTOR

Jeho úkolem je přeměna tlakové potenciální energie na mechanickou práci. Používají se rotační hydromotory, které mají stejnou konstrukci jako hydrogenerátory a můžou být záměnné. Jejich funkce je oproti generátorům opačná, kroutící moment získáme na výstupní hřídeli.



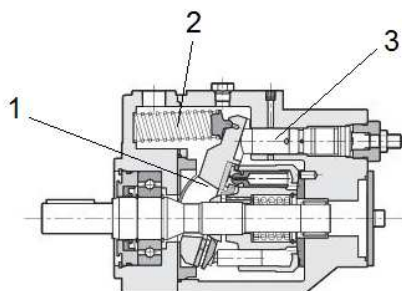
Obr. 24 Schéma hydrostatického převodu s převaděčem čerpadla: A-pohon čerpadla, B-ovládání převaděče, C,D-skříň čerpadla E,F-tlakové potrubí, F-výstup hydromotoru s neměnitelným objemem [13]

PŘEVADĚČ

Je zařízení umístěné na hydromotoru upravující převodový poměr. Hlavní součástí převaděče je otočná deska s měnitelným úhlem natočení, které je realizováno pomocí táhel



nebo hydraulických válců. Změnou úhlu natočení se mění geometrický objem hydromotoru. Je tak regulováno množství oleje přiváděného do hydromotoru a tím i jeho otáčky.



Obr. 26 Převaděč: 1-otočná deska, 2-pružina, 3-ovládání otočné desky [14]

3.1.3 VÝHODY HYDROSTATICKEHO PŘENOSU

1. Variabilita konstrukčního uspořádání

Propojení hydrogenerátoru a hydromotoru hadicemi nebo trubkami dovoluje téměř jakékoliv natočení a umístění spalovacího motoru vzhledem k poháněnému dvojkolí.

2. Dobrá regulace

Při rozjezdu z nulové rychlosti se zvětšuje zdvihový objem čerpadla rychlým sklonem otočné desky. Za konstantních otáček spalovacího motoru se ta zvětší průtok oleje v okruhu. V tom okamžiku dochází výraznému zvětšení tlaku působícího na písty v hydromotoru a ten tak působí na dvojkolí největším momentem a tedy i tažnou silou. Pokud tlak v okruhu dosáhne maximální přípustné hranice otevře se pojistný ventil a část oleje se začne přepouštět zpět do čerpadla. Zamezí se tak poškození okruhu vysokým tlakem a docílí plynulého rozjezdu.

Další způsob regulace je ruční ovládání převaděče a pozvolné zvětšování sklonu otočné desky vzhledem k rychlosti vozidla. To však vyžaduje dobré zkušenosti obsluhy.

Časem s rozvojem technologie byla vyvinuta automatická elektronická regulace.

Natočením desky převaděče do polohy kolmé k vstupní hřídeli čerpadla docílíme nulového zdvihového objemu, přičemž oběh oleje v okruhu se zastaví. Zastaví se i hydromotor a vozidlo může stát i s běžícím spalovacím motorem.

Natočením desky do záporného úhlu můžeme docílit dynamického brždění nebo reverzace vozidla.

3. Malá hmotnost součástí

Uvádí se zhruba 0,3 – 1,5 kg na 1 kW výkonu.

3.1.4 NEVÝHODY MECHANICKÉHO PŘENOSU

1. Častá netěsnost systému

Ta se projevuje hlavně při prudkých změnách teplot.

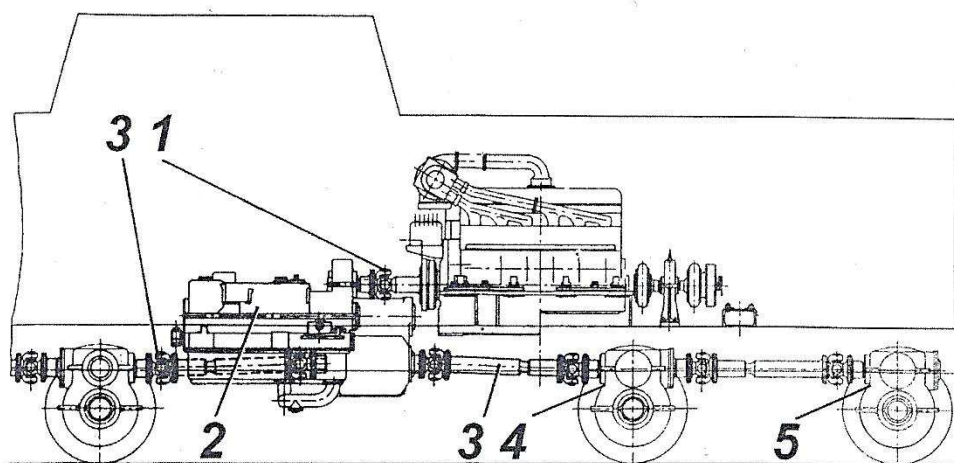
2. Velká citlivost na nečistoty v okruhu a hlučnost



3.2 HYDRODYNAMICKÝ PŘENOS VÝKONU

3.2.1 POPIS KONSTRUKCE

Hydrodynamický přenos pracuje na principu přeměny mechanické energie na kinetickou energii kapaliny a její zpětné přeměny na mechanickou. Tento proces probíhá v zařízení označovaném jako hydrodynamická spojka nebo hydrodynamický měnič. Mnohdy je za tyto prvky řazena mechanická převodovka a spolu tvoří hydraulickou převodovku. Hydrodynamická spojka či měnič pak nahrazují spojku třecí, avšak jejich vlastnosti jsou zcela odlišné. Takový typ přenosu spojující prvky hydrodynamického a mechanického přenosu se nazývá hydromechanický. U ryze hydrodynamického přenosu je převodová skříň tvořena pouze soustavou měničů. Zbylé prvky jsou stejné konstrukce jako u přenosu mechanického.



Obr. 27 Uspořádání hydrodynamického přenosového zařízení lokomotivy řady 725: 1-spojení motoru a převodovky, 2-hydraulická převodovka, 3-rozváděcí hřídele, 4-rozvodová nápravová převodovka, 5-nápravová převodovka [1]

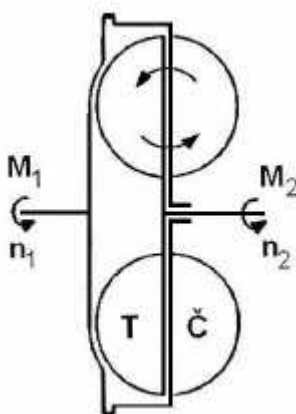
Tento typ přenosu umožňuje přenášet vyšší výkony než tomu bylo u mechanického přenosu. Lze tedy zabudovat do těžších lokomotiv s větším počtem hnacích dvojkolí. Ty jsou umístěny na otočných podvozcích lokomotivy, proto je systém rozváděcích hřídelí složitější než u lehkých dvojnápravových lokomotiv nebo motorových vozů s pevně umístěnými nápravami. Pro pohon více dvojkolí na jednom podvozku je třeba použít rozvodové nápravové převodovky. Ta má konstrukci podobnou jako klasická nápravová převodovka, ale vychází z ní hřídel pohánějící převodovku na druhém dvojkolí. Pohon těžších motorových vozů umístěných na otočných podvozcích je řešen stejným způsobem, avšak poháněny jsou jen dvojkolí na jednom podvozku, nad kterým se nachází strojovna. Motorové vozy pracují v lehké traťové službě a tomu odpovídá i jejich adhezni tažná síla. Pohon kol na jednom podvozku je proto dostačující. Problémem při pohonu všech dvojkolí by byl přenos k druhému podvozku, který by musel být řešen rozváděcí hřídelí. Ta by musela mít vzhledem k velké délce těchto vozů a rozvoru jejich podvozků značnou délku.



3.2.2 ZÁKLADNÍ PRVKY HYDRODYNAMICKÉHO PŘENOSU

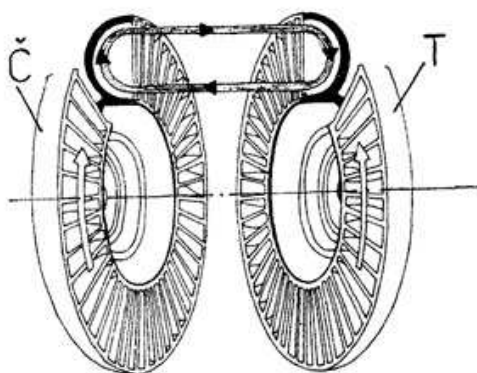
HYDRODYNAMICKÁ SPOJKA

Je hydrodynamické zařízení složené z lopatkového čerpadla a turbíny. Čerpadlo je spojeno se vstupní hřídelí a turbína s výstupní. Při funkci spojky vzniká v mezilopatkovém prostoru cirkulace oleje vlivem rozdílu otáček, a tím i rozdílu odstředivých sil v čerpadlovém a turbínovém kole. K přenosu výkonu se převážně využívá těchto dynamických účinků proudění kapaliny. Přenos výkonu třením v kapalině je zanedbatelný [15].



Obr. 28 Schématický řez hydrodynamickou spojkou: Č-čerpadlo, T-turbína, M_1 , n_1 -vstupní moment a otáčky, M_2 , n_2 -výstupní moment a otáčky [15]

Kola čerpadla i turbíny mají tvar prstence s radiálně umístěnými lopatkami. Otáčením čerpadlového kola je pracovní kapalina pomocí lopatek vytlačována odstředivou silou k vnějšímu okraji kola. Lopatky rovněž udělují kapalině obvodovou rychlost. Vydutý tvar kola také umožňuje změnu radiální složky rychlosti kapaliny na axiální a ta se tak dostává na čerpadlové kolo. Zde působí obvodovou složkou rychlosti a tím i svou kinetickou energií na lopatky turbínového kola, které tímto způsobem uvádí v chod. Předává tak svou energii turbíně a energie kapaliny klesá. To se projeví ztrátou její rychlosti, kapalina je vedena ke středu turbíny, kde přepadá na čerpadlo kterým je nasávána a celý cyklus se opakuje.



Obr. 29 Proudění kapaliny ve spojce [9]



Protože velikost kroutícího momentu přenášeného spojkou je přímo úměrná rozdílu otáček čerpadla a turbíny je pro funkci spojky je nutné, aby byly otáčky čerpadla větší než otáčky turbíny. Veličina charakterizující rozdíl otáček se nazývá skluz s .

$$s = \frac{n_c - n_t}{n_c} \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

kde: n_c otáčky čerpadla
 n_t otáčky turbíny

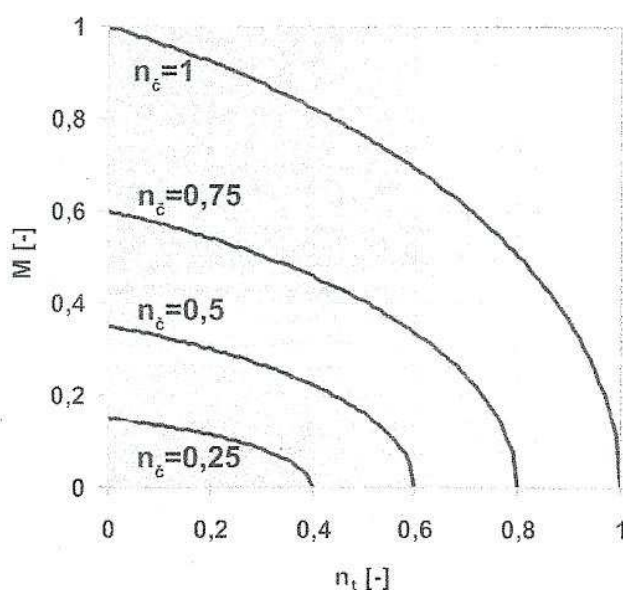
Pokud se vozidlo rozjíždí z nulové rychlosti je turbína zastavená. Čerpadlo pevně spojené se spalovacím motorem se otáčí a urychluje kapalinu, která naráží na stojící lopatky turbíny. V tomto okamžiku je skluz 100 % a spojka přenáší největší kroutící moment. Při dalším rozjíždění vozidla roste úhlová rychlost turbíny na úkor kroutícího momentu a to až do okamžiku kdy se otáčky obou částí vyrovnají. V tom případě je skluz 0 % a ustane proudění mezi oběma částmi a nepřenášíme žádný výkon. Pro přenos výkonu je nezbytné, aby skluz nebyl nulový.

Účinnost spojky η lze vyjádřit vztahem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2}{M_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8)$$

kde: P_1 výkon dodávaný na čerpadlové kolo
 P_2 výkon odevzdaný turbínovým kolem

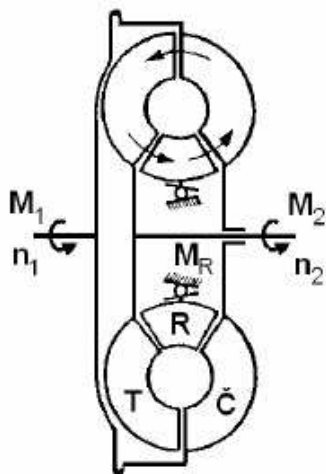
Spojky jsou navrhovány tak, aby při jmenovitých otáčkách motoru pracovaly s relativním skluzem 2-3 %. Tomu odpovídá účinnost spojky 97-98 %. Charakteristika spojky a závislost přenášeného momentu na otáčkách turbíny je zakreslená na obr. 30.



Obr. 30 Charakteristika hydrodynamické spojky [1]

HYDRODYNAMICKÝ MĚNIČ

Je zařízení konstrukčně velmi podobné hydrodynamické spojce. Mezi čerpadlové a turbínové kolo je však vložen další člen – převaděč. Převaděč, někdy nazýván také reakční element, je umístěn obvykle na volnoběžce.

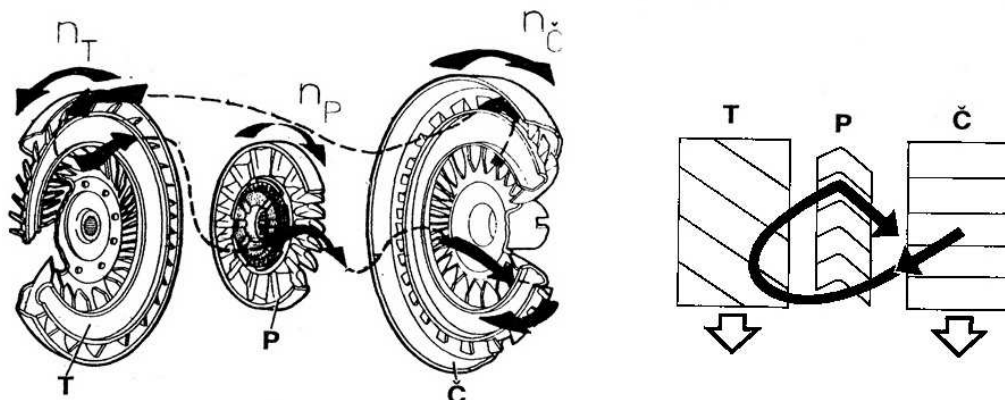


Obr. 32 Schématický řez hydrodynamickým měničem: R-převaděč[15]

Skrz kanály v převaděči proudí kapalina vystupující z turbíny a lopatkami je usměrňována do požadovaného směru na čerpadlové kolo. Díky změně směru proudění kapaliny dochází k momentovým účinkům na převaděči. Ten je pevně spojen s rámem do kterého se moment přenáší. Z momentové rovnováhy je patrné, že moment vznikající reakcí převaděče s rámem působí prostřednictvím kapaliny ve směru otáčení čerpadla. Díky tomuto přídatnému momentu je čerpadlo schopno při stejném dodávaném výkonu působit na kolo turbíny větším kroučícím momentem. Převaděč tedy porušuje v okruhu momentovou rovnost turbíny a čerpadla $M_{\check{c}} = M_t$, která platila v hydrodynamické spojce. Při použití převaděče je tvar momentové rovnice:

$$M_t = M_{\check{c}} + M_p \quad (9)$$

kde: M_p moment převaděče



Obr. 33 Průtok kapaliny v hydrodynamickém měniči [9]

Hlavní předností měniče je tedy jeho schopnost zvyšovat kroutící moment. Pro vyjádření kolikrát se zvýší moment na výstupu oproti vstupu používáme vztah:

$$\mu = \frac{M_2}{M_1} \quad (10)$$

kde: μ koeficient zvýšení momentu

M_1 moment na vstupu

M_2 moment na výstupu

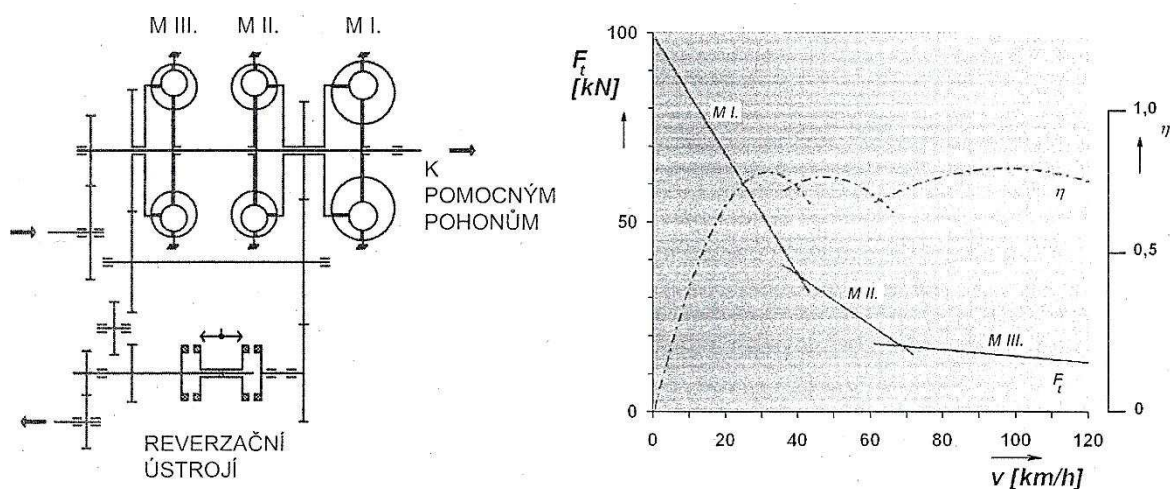
Účinnost měniče vyjadřujeme vztahem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2}{M_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{n_2}{n_1} = \mu \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad (11)$$

Účinnost měniče je nejvyšší při jmenovitém poměru. V praxi to pak bývá maximálně 85 až 90% [15].

HYDRODYNAMICKÁ PŘEVODOVÁ SKŘÍŇ

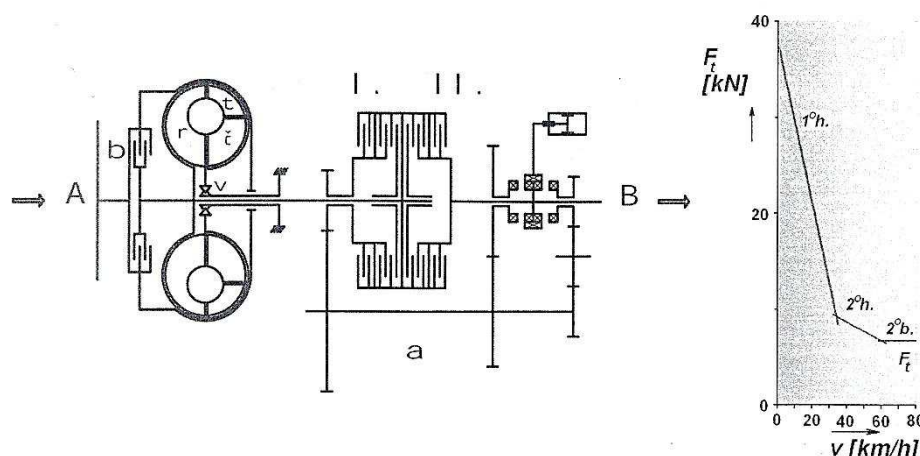
Jedná se o převodovku, která pro přenos výkonu používá hydrodynamický člen. Při jakémkoli zařazeném rychlostním stupni je v činnosti hydrodynamická spojka nebo měnič. Pro každý jízdní stupeň je konstruován samostatný hydr. člen, který svými vlastnostmi pokrývá rychlostní pásmo daného stupně pro dosažení co možná nejideálnější trakční charakteristiky. V převodovkách složených ze tří měničů – typ MMM, bývá první měnič větší a poskytuje větší točivý moment potřebný pro rozjezd vozidla. Zbylé měniče mohou být identické a jejich převodový poměr je pak upraven mechanickým převodem. Představitelem tohoto typu převodovek je např. převodovka H 750 M, která byla vyvinuta pro lokomotivu T444 (dnes již neprovozní řada 725) na konci 50. let. Byly osazovány i do motorových vozů řad 850, 851 a 852, 853, které slouží dodnes.



Obr. 34 Schéma a charakteristika hydrodynamické převodovky H 750 M [1]

HYDROMECHANICKÁ PŘEVODOVÁ SKŘÍŇ

Určitou nevýhodou čistě hydrodynamických převodovek je jejich nízká účinnost oproti mechanickým. Jejich nespornou výhodou je však možnost zvýšení točivého momentu. Hydromechanická převodovka je zařízení spojující výhody obou typů převodovek pro dosažení co možná nejlepších jízdních vlastností. V převodovce je umístěn pouze jeden hydrodynamický měnič pro rozjezd vozidla a zbylé stupně jsou realizovány čistě mechanickými převody. Měnič je tedy v činnosti pouze při zařazeném prvním nebo druhém stupni, přičemž řazení těchto dvou stupňů je realizováno mechanickými převody. Poté je měnič vyřazen z činnosti blokovací spojkou a převodovka dále funguje jako mechanická. Typickým představitelem je třístupňová převodovka Praga 2M 70 používaná na motorových vozech řady 810. Měnič je v činnosti při rozjezdu na první stupeň. Po dosažení stanovené rychlosti je zařazen druhý stupeň, při kterém je měnič zůstává v činnosti, ale jeho převodový poměr byl upraven mechanicky pomocí ozubených soukolí. Třetí stupeň je řazen pomocí blokovací spojky, která vyřadí měnič z činnosti a vytvoří pevné spojení motoru a dvojkolím, přičemž převodový poměr je 1:1.



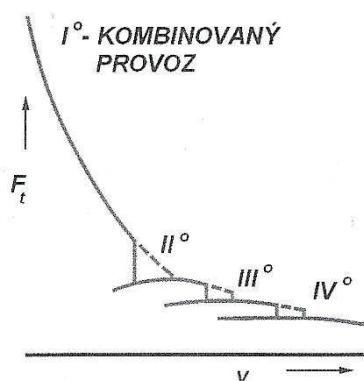
Obr. 35 Schéma a charakteristika hydromechanické převodovky Praga 2M 70 [1]

Praga 2M 70 je převodovka pocházející ze 60. let minulého století a byla vyvinuta pro autobusy městské hromadné dopravy, avšak uplatnila se i v kolejových vozidlech.

3.2.3 VÝHODY HYDRODYNAMICKÉHO PŘENOSU

1. Průběh trakční charakteristiky

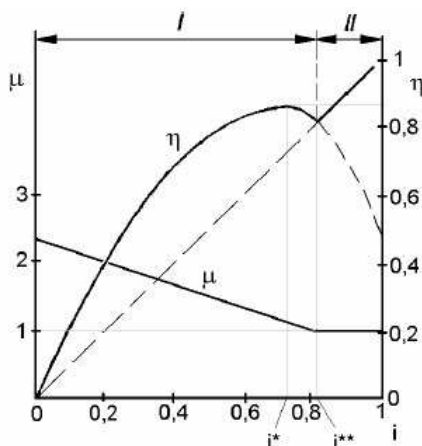
Použitím hydrodynamického prvku se výrazně zlepšuje průběh trakční křivky, která se tak ideální trakční hyperbole přibližuje mnohem více než křivka mechanického přenosu. Na obr. 36 je zakreslena charakteristika čtyřstupňové hydromechanické převodovky, přičemž první stupeň je měničový, druhý až čtvrtý je mechanický. Je patrné, že průběh trakční křivky prvního stupně se ideální trakční hyperbole značně blíží. Zbývající mechanické stupně nemají průběh tak ideální, avšak mají vyšší účinnost oproti stupni s hydrodynamickým měničem, jak bude vysvětleno dále. Průběh charakteristiky čistě hydrodynamického přenosu je zakreslen na obr. 34 v předchozí kapitole. Její průběh se přibližuje id. trakční hyperbole více než tomu bylo u hydromechanické převodovky, ovšem opět na úkor účinnosti.



Obr. 36 Charakteristika převodovky Voith Diwa 863.3E [1]

2. Možnost násobení momentu

Použitím hydr. měniče dosahujeme díky jeho vlastnostem zvýšení momentu. To probíhá až to stanoveného bodu, označovaného jako spojkový bod, kde převaděč přestává plnit svou funkci. Tvar jeho lopatek při dosažení spojkového bodu neumožňuje nadále zvyšovat točivý moment. Uložení převaděče na volnoběžce dovoluje jeho protáčení ve směru rotace zbylých částí a rotuje spolu s čerpadlem a turbínou. Měnič se dále chová jako hydrodynamická spojka. Násobení momentu je výhodné zejména při rozjezdu těžkých souprav nebo při rozjezdu ve stoupání.



Obr. 37 Bezrozměrná charakteristika Hd měniče. I – provozní pásmo měniče, II – provozní pásmo spojky [15]

3. Malé opotřebení hydrodynamických členů

Životnost spojek a měničů je výrazně vyšší než u mechanických třecích spojek. Nedochází zde ke styku a tření pevných částí a síla se přenáší pomocí kapaliny. Hydrodynamické spojky a měniče snesou dlouhé rozběhy s velkým skluzem. Nutností je však pravidelná výměna provozní kapaliny, tedy oleje.

**4. Nepřetěžování motoru**

Při rozjezdu můžeme využít plného točivého momentu, aniž by došlo k přetěžování motoru.

5. Zamezení přenosu rázů ze spalovacího motoru**6. Prokluz spojky nebo měniče**

Dovoluje stání vozidla při volnoběžných otáčkách motoru i při zařazeném rychlostním stupni. Čerpadlo při nízkých otáčkách neuděluje kapalině energii potřebnou pro roztočení turbíny a překonání statického tření zbylých částí přenosového zařízení.

3.2.4 NEVÝHODY HYDRODYNAMICKÉHO PŘENOSU**1. Nižší účinnost**

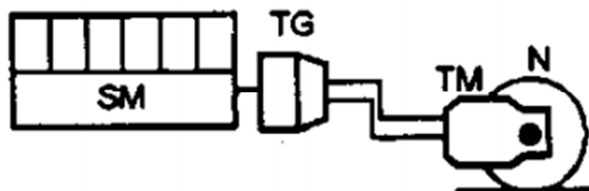
Z rovnice pro účinnost měniče (11) vyplývá závislost mezi momenty a otáčkami na vstupu a výstupu. Při stojící turbíně a rotujícím čerpadle by při konstantní nenulové účinnosti musel být moment na výstupu nekonečný, což samozřejmě není možné. Průběhem účinnosti je rostoucí křivka procházející počátkem. Na obr. 37 je zakreslená křivka účinnosti pro hydr. měnič a spojku. Ztráty na měniči jsou způsobeny zejména změnou směru proudění na převaděči, rázovou ztrátou a jeho účinnost dosahuje hodnot maximálně 85-95 %. Pro správnou funkci musí hydrodynamická spojka pracovat při jmenovitých otáčkách se skluzem a její účinnost dosahuje hodnot nejvýše 97-98 %.

2. Nelze brzdít motorem při malých otáčkách

Souvisí s bodem číslo 6 v předchozí podkapitole. Při malých otáčkách nedochází k velkým silovým účinkům ve spojce nebo měniči, které by se podstatně podíleli na brždění vozidla.

4 ELEKTRICKÝ PŘENOS VÝKONU

Přenos výkonu ze spalovacího motoru na dvojkolí je zprostředkován elektrickou energií. Ta je vyráběna trakčním generátorem, pevně spojeným s výstupní hřídelí motoru. Elektrická energie je vedena do trakčních motorů umístěných v podvozku, které přes ozubený převod roztáčí dvojkolí.



Obr. 38 Schéma elektrického přenosového zařízení [8]

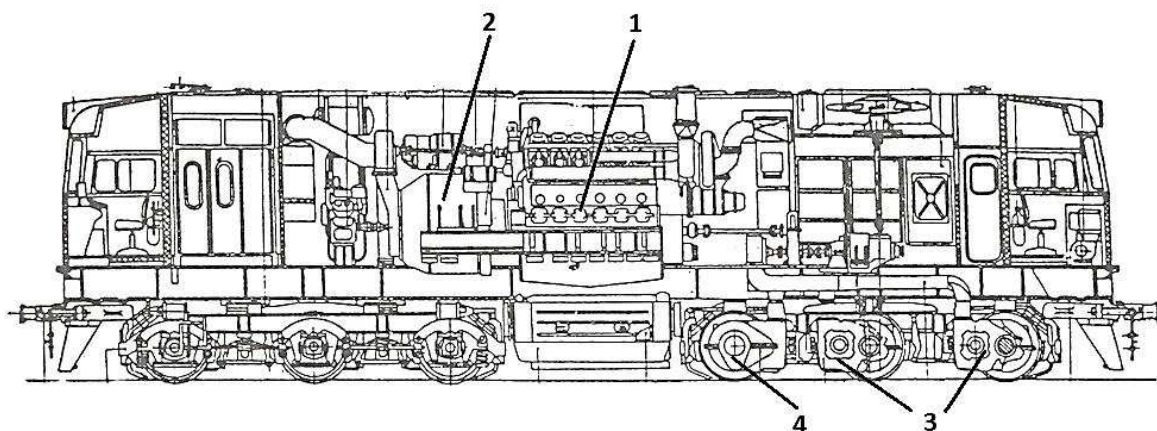
Přenosová zařízení se dělí do tří základních skupin podle druhu elektrické energie na:

- stejnoseměrné přenosové zařízení
- střídavě stejnosměrné přenosové zařízení
- střídavé přenosové zařízení

4.1 STEJNOSMĚRNÉ PŘENOSOVÉ ZAŘÍZENÍ

4.1.1 POPIS KONSTRUKCE

Hlavní části tohoto typu přenosového zařízení tvoří: **trakční dynamo** – spojené s výstupní hřídelí spalovacího motoru, **trakční elektromotor** – uložen na otočném podvozku lokomotivy, **trakční jednostupňová převodovka** a **poháněné dvojkolí**.



Obr. 39 Stejnoseměrné přenosové zařízení lokomotivy T 679 (dnes u ČD neprovozní řada 781): 1-spalovací motor, 2-trakční dynamo, 3-trakční elektromotor, 4-jednostupňová nápravová převodovka [16]

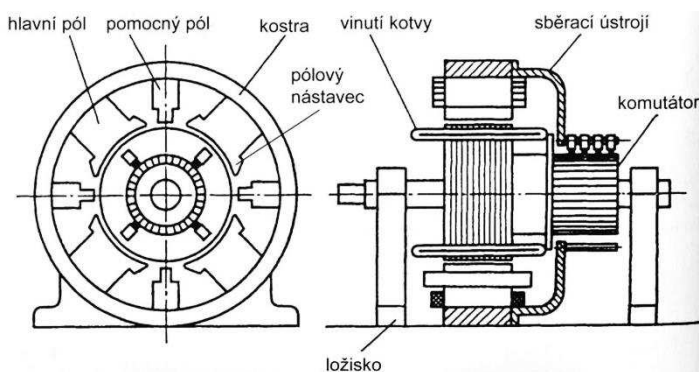
4.1.2 ZÁKLADNÍ PRVKY STEJNOSMĚRNÉHO PŘENOSOVÉHO ZAŘÍZENÍ

TRAKČNÍ ELEKTROMOTOR

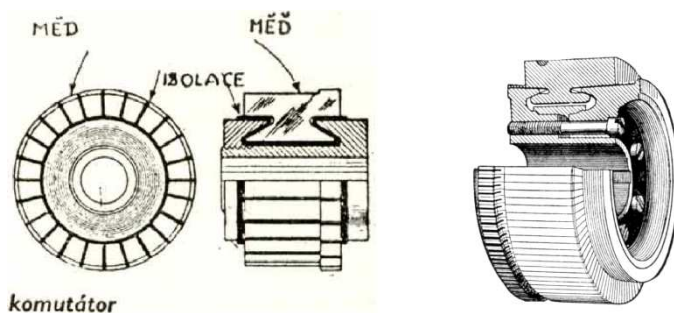
Elektromotor je točivý elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci [17]. Jako trakční motor se používá motor stejnosměrný. V motoru na sebe vzájemně působí dvě magnetická pole: pole hlavních pólů ve statoru motoru a pole rotoru vznikající průchodem proudu vinutím kotvy. Stejnosměrný motor se skládá ze tří základních částí:

1. **Stator** – vnější část motoru, obsahuje vinutí, přičemž dva hlavní póly jsou od sebe izolovány. Přivedením proudu do vinutí vzniká magnetické pole – jedná se tzv. buzení elektromotoru.
2. **Rotor** – vnitřní točivá část motoru. Na rotoru je nasazená kotva, jejíž vinutí vytváří druhé magnetické pole a dochází k přitažlivým magnetickým silám.
3. **Komutátor** – nezbytná součást stejnosměrných motorů, je uložen na hřídeli rotoru. Komutátor je složen z měděných sekcí od sebe izolovaných, přičemž na každou dvojici protějších sekcí jsou připojeny konce vinutí kotvy. Počet vinutí v kotvě se tedy rovná počtu měděných dvojic na komutátoru. Probíhá zde jev zvaný komutace, což je změna směru proudu ve vinutí kotvy, která prochází neutrální osou magnetického indukčního toku. Při tomto ději jsou jednotlivé vinutí připojovány a odpojovány otáčením komutátoru, na který je přiveden proud sběrači, tedy ocelovými kartáčky nebo uhlíky.

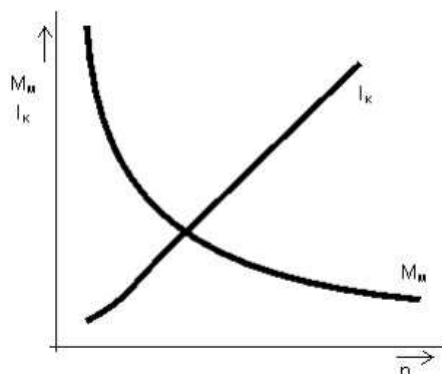
V kolejových vozidlech se obvykle používá **sériový stejnosměrný motor**, jehož budící vinutí je zapojeno v sérii s vinutím kotvy.



Obr. 41 Náčrtes stejnosměrného motoru [18]



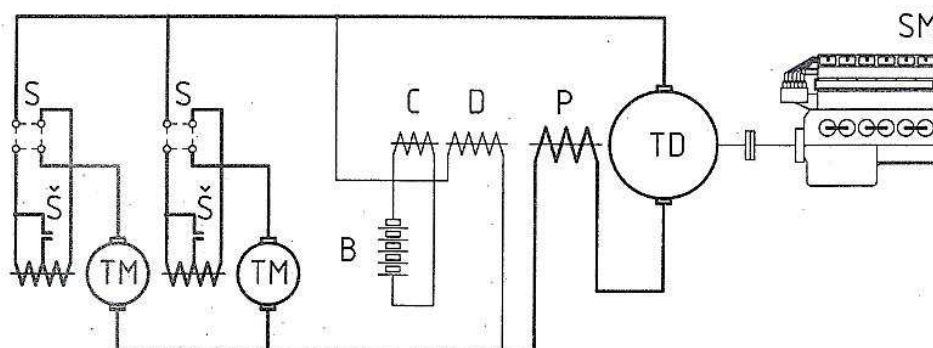
Obr. 40 Komutátor [19]



Obr. 42 Otáčková charakteristika stejnosměrného sériového motoru [8]

TRAKČNÍ DYNAMO

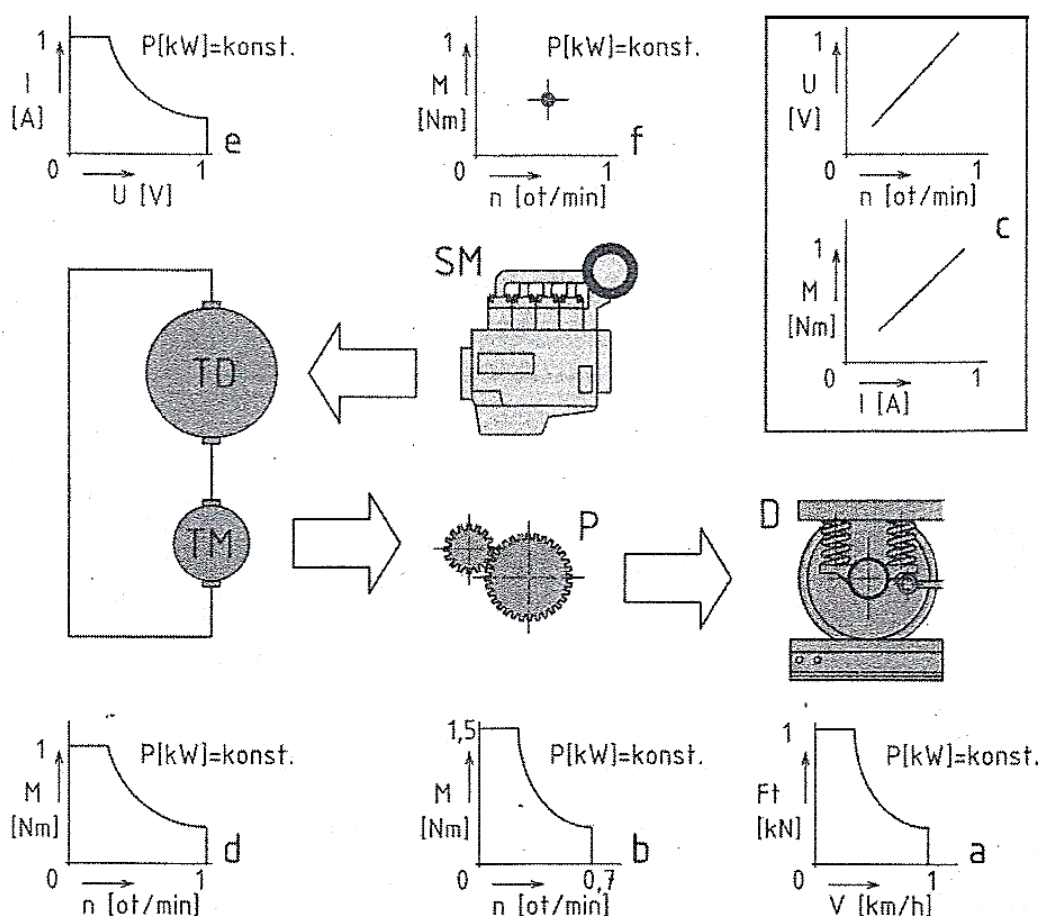
Dynamo je točivý elektrický stroj, který mění mechanickou energii spalovacího motoru na energii elektrickou ve formě stejnosměrného proudu. Jeho konstrukce je velmi podobná konstrukci stejnosměrného motoru. Problém ovšem představuje buzení dynama. Protože dynamo před rozběhem nevyrábí proud potřebný pro své vlastní buzení, nevytvoří se ve statoru magnetické pole potřebné pro výrobu elektrické energie při jeho rozběhu. Dynamo s vlastním buzením by tak nikdy nezačalo plnit svou funkci a vyrábět elektrickou energii. Tento problém je vyřešen tzv. cizím buzením, tzn. vinutí statoru je při rozběhu napájeno proudem z baterie, který vytvoří magnetické pole a umožní dynamu výrobu elektrické energie. Jakmile je v obvodu dostatečné množství elektrického proudu je baterie odpojena a dynamo využívá pouze vlastní buzení. Vlastní buzení může být protikompaundní – budící vinutí je zapojeno sériově v trakčním obvodu, nebo derivační – vinutí je připojeno paralelně k trakčnímu obvodu. Jako zdroj energie pro cizí buzení může také sloužit menší dynamo s permanentními magnety, které vytvářejí stálé magnetické pole. Takové dynamo nevyžaduje žádné buzení a může zcela nahradit baterii. Je praxi nazýváno pomocným generátorem neboli budičem.



Obr. 43 Uspořádání přenosu motorového vozu M 262.0 (dnes řada 830): SM - spalovací motor, TD - trakční dynamo, C - cizí buzení, D - derivační buzení, P - protikompaundní buzení, S - přepínač směru, B - baterie [1]

4.1.3 POPIS ČINNOSTI

Na obr. 40 je zakreslena činnost zařízení s příslušnými charakteristikami jednotlivých prvků. Na hnacím dvojkolí požadujeme ideální závislost tažné síly na rychlosti, tedy ideální trakční hyperbolu. Závislost momentu na otáčkách stejnosměrného motoru má hyperbolický průběh, avšak pro dosažení ideální trakční hyperboly je nutno tuto charakteristiku upravit ozubeným převodem mezi motorem a dvojkolím (obr. a, b, d). V obr. c je zakreslena závislost napětí na otáčkách stejnosměrného motoru i jeho závislost momentu na elektrickém proudu. Z uvedených závislostí lze sestavit napěťově proudovou charakteristiku hlavního obvodu mezi trakčním motorem a trakčním dynamem. Tuto charakteristiku musí být schopno dodávat trakční dynamo a to i při konstantních otáčkách (obr. f), čehož se dosahuje vhodnou konstrukcí a pomocí regulace.



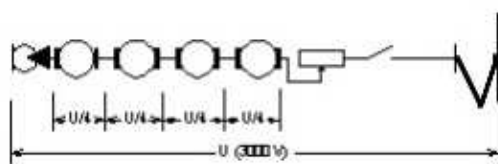
Obr. 44 Uspořádání stejnosměrného přenosového zařízení: SM - spalovací motor, TD - trakční dynamo, TM - trakční elektromotor, P - převod, D - hnací dvojkolí [1]

Spalovací motor dodává dle potřeby určitý výkon. Na příslušném výkonovém stupni je udržován výkonovým regulátorem, který udržuje konstantní otáčky. Stejně otáčky má díky pevnému spojení i trakční dynamo. Stálý výkon spalovacího motoru musí být na dynamu odebrán a beze zbytku přeměněn na elektrickou energii. To platí pro jakýkoliv výkonový stupeň. Výkon elektrického proudu je roven součinu napětí a proudu: $P = U \cdot I$. Trakční motory však vyžadují proměnlivou dodávku el. proudu dle momentální potřeby vytvořit větší

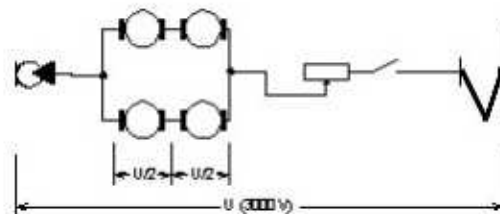
nebo menší tažnou sílu. Pokud má dynamo dodávat trakčnímu motoru proměnlivý el. proud, musí tomu odpovídajícím způsobem měnit velikost napětí a dodržet křivku konstantního výkonu (obr. 40, e). Pokud by dynamo udržovalo stálou hodnotu napětí, při vyšších proudech by odebíralo vyšší výkon než je v daný okamžik schopen spalovací motor poskytnout. Došlo by k přetěžování motoru, což by se projevilo poklesem jeho otáček. Žádné dynamo ale nemá při proměnlivém proudu konstantní výkon, proto napětí na dynamu musí být řízeno, aby při jakémkoli odběru proudu bylo dosaženo konstantního výkonu. Toto řízení je nazýváno regulace a probíhá změnou magnetického toku na hlavních pólech statoru. Jedná se tedy o regulaci budícího vinutí. Pro dosažení ideálních trakčních vlastností je třeba regulovat i napětí na trakčních motorech. U stejnosměrných vozidel se stupňovitou odporovou regulací se provádí třemi základními způsoby:

1. Skoková změna napětí na trakčních motorech

– provádí se změnou vzájemného řazení motorů. Změna napětí na svorkách TM se projeví posunem průběhu otáček v charakteristice motoru. Průběh momentu v závislosti na proudu kotvy se nemění [4].

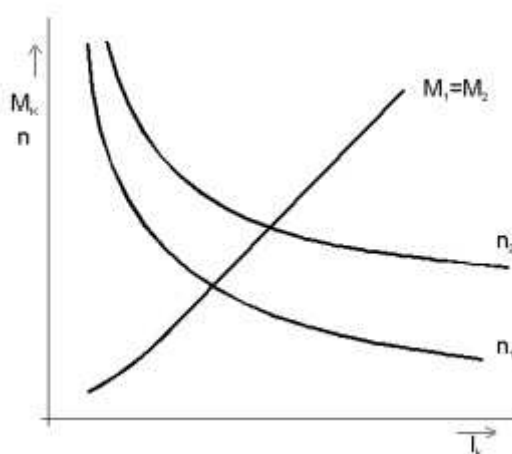


Všechny TM jsou v sériovém zapojení.
Napětí se rovnoměrně rozdělí na jednotlivé motory v poměru $U/4$.



Dva TM jsou zapojeny do série (motorová skupina). Ty jsou spojeny paralelně a napětí na TM má hodnotu $U/2$.

Obr. 45 Regulace čtyřnápravového hnacího vozidla změnou řazení motorů [8]



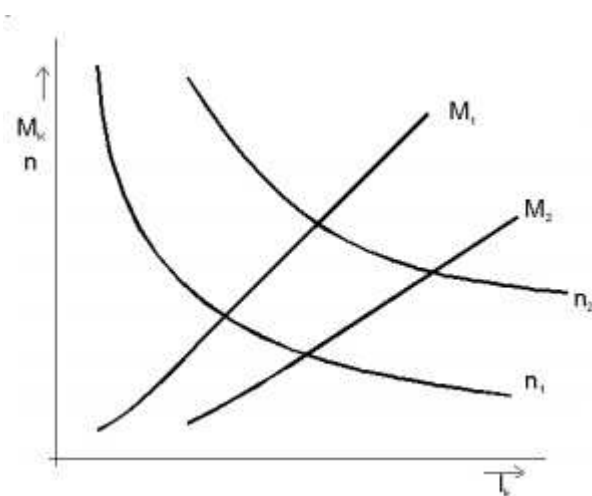
Obr. 46 Změna otáček při změně napětí na svorkách trakčního motoru (platí $U_1 > U_2$) [8]

2. Změna napětí trakčních motorů předřadným odporníkem

-napětí a proud procházející motorem jsou závislé na hodnotě předřadného rozjezdového rezistoru. Při rozjezdu se odpor rezistoru snižuje a vzrůstá napětí na trakčním motoru a mění se jeho charakteristika (obr. 46).

3. Šuntování – změna buzení trakčního motoru

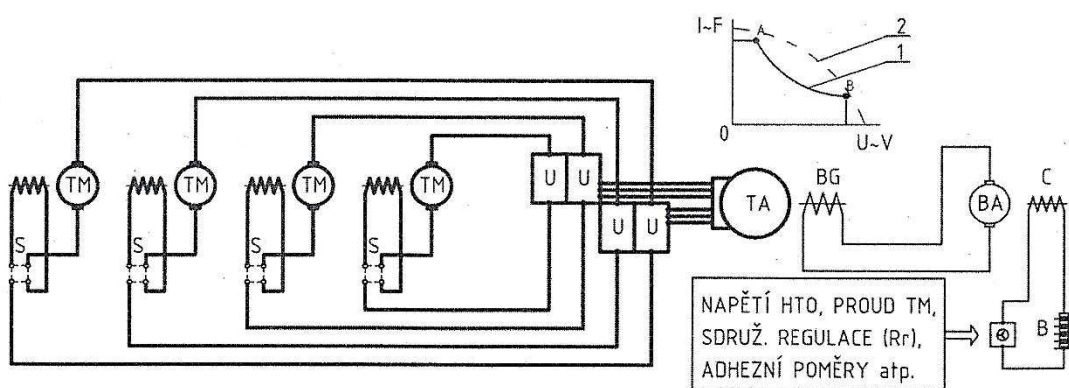
- u sériového trakčního motoru prochází kotvou i budícím vinutím stejný proud. K budícímu vinutí je paralelně připojen šuntovací rezistor, který snižuje hodnotu proudu procházející budícím vinutím, což způsobí snížení magnetického pole mezi póly statoru. To se projeví zvýšením otáček a snížením momentu. Šuntování se používá pro zvýšení rychlosti v situacích, kde není potřebná velká tažná síla, nebo naopak ke zvýšení tažné síly při rozjezdu na úkor otáček a rychlosti.



Obr. 47 Změna otáček a momentu při šuntování [8]

4.2 STŘÍDAVĚ STEJNOSMĚRNÉ PŘENOSOVÉ ZAŘÍZENÍ

Konstrukce střídavě stejnosměrného přenosového zařízení spočívá v nahrazení trakčního dynama trakčním alternátorem a použití usměrňovače.

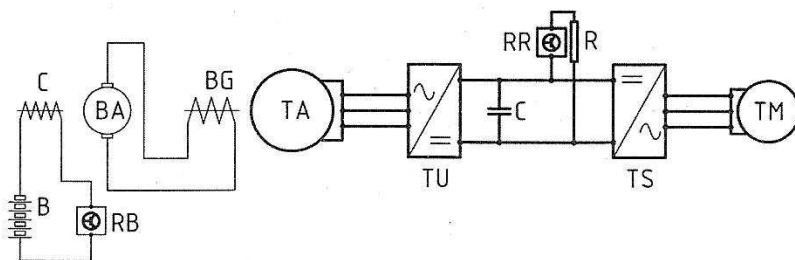


Obr. 48 Střídavě stejnosměrný přenos: TA - trakční alternátor, U - usměrňovač, BG - buzení generátoru, BA - budič [1]

Alternátor vyrábí střídavý trojfázový elektrický proud, který je následně usměrněn v polovodičovém usměrňovači. Hlavní předností alternátoru oproti dynamu je absence komutátoru a tím odstranění ztrát vzniklých třením sběrných kartáčů nebo uhlíků o komutátor. Příkladem může být lokomotiva řady 730, jejíž trakční alternátor má čtyři statorová vinutí a každé je napojeno na vlastní usměrňovač. Vznikly tak čtyři samostatné trakční obvody pro každý ze čtyř motorů, viz. obr. 48.

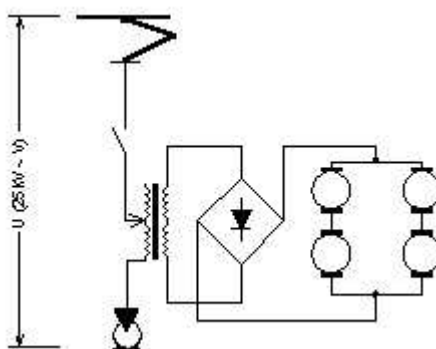
4.3 STŘÍDAVÉ PŘENOSOVÉ ZAŘÍZENÍ

Střídavé přenosové zařízení doznalo v posledních letech velkého rozvoje. Pro pohon dvojkolí jsou užity asynchronní i synchronní motory. Zdrojem energie v trakčním obvodu je alternátor vyrábějící střídavý trojfázový elektrický proud. Ten je usměrňován trakčním usměrňovačem na proud stejnosměrný. Zde je obvykle připojen brzdový odpor, poté je proud opět měněn na střídavý pomocí trakčního střídače.

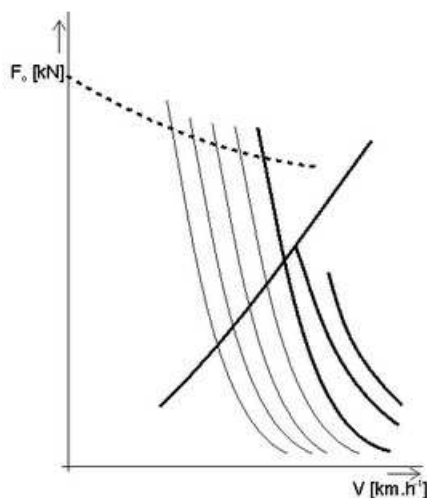


Obr. 49 Střídavý přenos: TU - trakční usměrňovač, TS - trakční střídač, R - brzdící odpor, RR - brzdící regulátor [1]

Otáčky trakčních motorů jsou řízeny frekvenčním měničem nebo je obvod regulován stupňovitou odbočkovou regulací. Základní tvar trakční charakteristiky střídavého motoru je podobný charakteristice sériového stejnosměrného motoru. Regulace je realizována změnou napětí prostřednictvím změny počtu závitů na trakčním transformátoru, většinou na primární cívice. Při této regulaci nedochází k přeměně energie na teplo.



Obr. 50 Odbočková regulace střídavého přenosu [8]



Obr. 51 Trakční charakteristika střídavého přenosu s odbočkovou regulací [8]

4.4 VÝHODY ELEKTRICKÉHO PŘENOSU

1. Využití spalovacího motoru

Podstatnou výhodnou vlastností je optimální využívání spalovacího motoru, kterého jsou ostatní přenosová zařízení – mechanická a hydraulická – poněkud hůře schopna [1]. Režim spalovacího motoru je možné vhodnou regulací sladit s pohonem lokomotivy.

2. Dobrá trakční charakteristika

Mezi hlavní výhody elektrického přenosu patří jeho trakční charakteristika, která se značně přibližuje ideální trakční hyperbole a při rozjezdu dosahuje velkého záběrového momentu. Její průběh je spojitý a nedochází k přerušování tažné síly.

3. Přenos elektrické energie

Elektrickou energii lze snadno rozvádět do otočných podvozků nebo pohybujících se částí vozidla a není třeba používat složitý rozvod pomocí hřídelů a rozvodových nápravových převodovek. Elektrickou energii jde snadno přivést k jednotlivým motorům každého dvojkolí.

4. Rekuperace energie

Umožňuje brždění nejen do odporů, ale i akumulátorů nebo kapacitních kondenzátorů a elektrická energie je dále využitelná.

5. Snadná reverzace

Změna směru jízdy se provádí přepólováním svorek trakčního motoru a není třeba používat reverzační převodovky.

6. Nepřetržitý průběh tažné síly

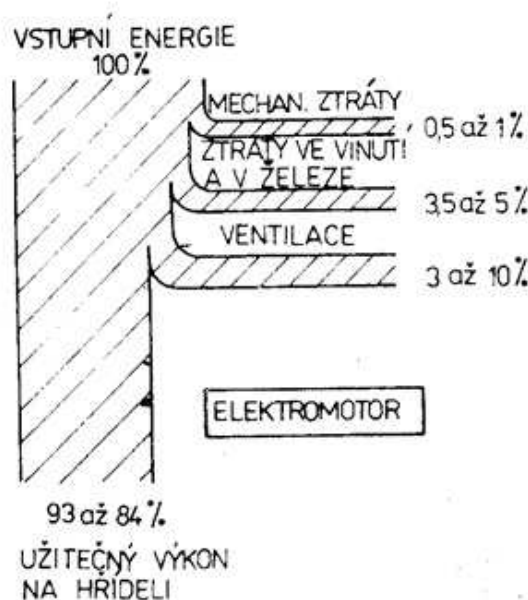


Na rozdíl od předchozích typů přenosu nedochází ke skokové změně tažné síly řazením rychlostních stupňů. Nejsou tak způsobovány podélné rázy, které v případě těžkých nákladních vlaků mohou vést i k roztržení spřáhla vagónů.

4.5 NEVÝHODY ELEKTRICKÉHO PŘENOSU

1. Nižší účinnost

Celková účinnost je součtem všech účinností jednotlivých prvků a to: generátoru, elektromotoru, vedení el. energie, a trakční převodovky. K největším ztrátám dochází na generátoru a elektromotoru, jedná se hlavně o ztráty ohmické. *Ztráty jsou závislé na velikosti přechodových a vnitřních odporů a na proudu trakčního obvodu, jsou nejvyšší zejména při rozjezdu, kdy trakčním obvodem protéká největší proud [1].* Při šuntování vozidla se stejnosměrným přenosem dochází ke skokové změně velikosti proudu. Při rozjíždění dochází k okamžitému zvýšení proudu, zvýšení ztrátového výkonu a poklesu účinnosti.



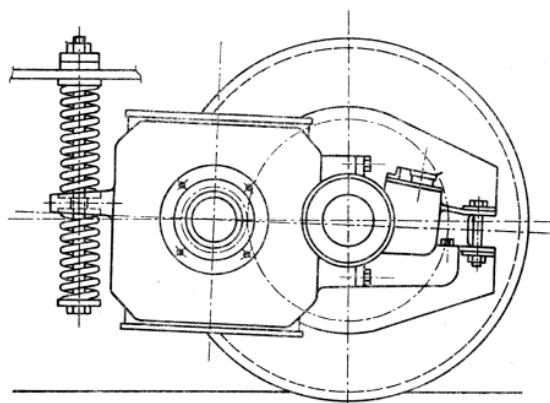
Obr. 52 Účinnost elektromotoru [9]

2. Vysoká hmotnost

Vysoká hmotnost je dána použitím trakčního generátoru a trakčních motorů. Velikost a hmotnost motorů není závislá na výkonu, ale je dána maximálním momentem. Jednostupňové převody na hnací dvojkolí jsou konstruovány na nejvyšší možnou hodnotu převodového poměru. Tím se zvyšují nároky na otáčky trakčního motoru, avšak klesá jeho kroutící moment potřebný pro rozjezd vozidla. Použitím velkého převodového poměru lze tedy snížit hmotnost motoru. Vyšší hmotnost vozidla způsobuje větší namáhání kolejového svršku. Zejména nevypružené části pojezdu působí svou setrvačnou silou na nerovnosti na kolejnici, což může způsobit její porušení. Velice časté je tzv. tlapové uložení trakčních motorů. *Tlapové trakční motory jsou na jedné straně přimontovány k rámu podvozku, zatímco na druhé straně*



jsou uloženy na kluzném - tzv. tlapovém ložisku, které spočívá přímo na nápravě lokomotivy [3]. Nevypruženou část tedy tvoří jen dvojkolí, ale i převodovka s trakčním motorem.



Obr. 53 Tlapové uložení trakčního motoru [20]

3. Náročná údržba

Údržba vozidla s elektrickým přenosem je složitější než u mechanického nebo hydraulického přenosu, kde spočívá jen v pravidelné výměně oleje. Pro správný chod jsou funkční plochy komutátorů často kontrolovány a čištěny, je sledován stav a přítlak sběrných kartáčů. Na znečištěných strojích může snadno dojít ke zkratům, nebo přeskokům na komutátorech.



ZÁVĚR

V práci jsou popsány základní typy přenosu výkonu a přenosových zařízení u hnacích vozidel nezávislé trakce.

Prvním a nejjednodušším typem byl přenos mechanický, který je však schopen přenášet jen omezené výkony a pro těžší traťovou službu je nepoužitelný. Jednou z jeho mála výhod je jeho vysoká účinnost, avšak nevýhody převažují. Dnes jsou jím vybaveny některé lehké drezíny a dožívají poslední kusy lehkých postrkových lokomotiv. S jeho dalším rozvojem se u nás ani ve světě nepočítá.

Dalším typem jsou hydraulické přenosy. Hydrodynamický přenos umožňuje značné zlepšení trakční charakteristiky, je schopen vyvíjet větší tažnou sílu a vozidla jím vybavená vykonávat těžší traťovou službu. Výhodné je použití hydrodynamického měniče, který dokáže znásobit kroutící moment, ovšem za cenu nižší účinnosti. To může být vykompenzováno vhodnou konstrukcí měniče nebo použitím hydromechanické převodovky a řazení mechanických stupňů s vysokou účinností při vyšších rychlostech. Hydrodynamický a hydromechanický přenos je dnes používán zejména v motorových vozech, výhodnou vlastností je jeho nízká hmotnost a tím i bezproblémový provoz na starších tratích. Významným výrobcem hydraulických prvků i samotných lokomotiv je např. německá firma Voith. Hydrostatický přenos není pro své vlastnosti v dopravních vozidlech příliš rozšířený. Využívá se hlavně k pohonům stavebních strojů jako jsou kolejové bagry, podbíječky nebo jeřáby. U stavebních strojů jsou hydrostaticky poháněné i další mechanismy, proto je výhodné použít jej i pro pojezd stroje.

Posledním a nejvíce se rozvíjejícím se typem je přenos elektrický. Je užíván v lokomotivách pro osobní i nákladní dopravu, pro těžkou traťovou službu a díky snadné reverzaci i posunovacích lokomotivách. Disponuje řadou výhod a má dominantní zastoupení v lokomotivách u nás i ve světě. Určitou nevýhodu představuje jeho vyšší hmotnost, ale i tyto nedostatky jsou co nejvíce minimalizovány a může být použit i pro pohon motorových jednotek nebo vozů. Významným výrobcem těžších dieselelektrických lokomotiv je např. americká firma GE Transportation Systems.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KONOPÍK, J. *Přenosy výkonů I-V. Dráha*. Praha: Nadatur, 2007-2011. ISSN 1211-1260.
- [2] VLK, F. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Druhé vydání. Brno: František Vlk, 2003, 312 s. ISBN 80-239-0025-0
- [3] [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:
<<http://www.atlaslokomotiv.net/katalog/801/vykres.jpg>>
- [4] [online]. [cit. 2014-03-27]. Dostupný z WWW:
<http://homen.vsb.cz/~s1i95/mvd/mvd_tah.htm>
- [5] [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupný z WWW:
<www.strojvedouciplzen.cz/file/12/prenosy-vykonu.doc>
- [6] [online]. [cit. 2014-04-02]. Dostupný z WWW:
<http://kdmr.uniza.sk/files/podklady/KV1/F_131.pdf>
- [7] [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tratovestroje.wbs.cz/mechanicky.html>>
- [8] [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupný z WWW:
<http://homen.vsb.cz/~s1i95/PDP/PHV_RAM.HTM>
- [9] [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupný z WWW:
<www.strojvedouciplzen.cz/file/12/prenosy-vykonu.doc>
- [10] [online]. [cit. 2014-04-07]. Dostupný z WWW:
<<http://www.vlaky.net/upload/images/reports/002952/03.jpg>>
- [11] [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupný z WWW:
<http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/sablony/SPS_III/VY_32_INOVACE_C-08-19.pdf>
- [12] [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupný z WWW:
<<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=874644>>
- [13] [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.mjauto.cz/jiricech/jiricech.php?clanek=15>>
- [14] [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupný z WWW:
<<http://www.directindustry.com/prod/duplomatic-oleodinamica/variable-displacement-axial-piston-hydraulic-pumps-open-circuit-14061-636854.html>>
- [15] DANČÁK, Zdeněk. *Hydraulické spojky a měniče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 55 s. vedoucí bakalářské práce Ing. Roman Klas, Ph.D.



- [16] [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://sergeje.bilysklep.cz/techpop.php>>
- [17] [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupný z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>>
- [18] [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupný z WWW:
<http://elektrika.cz/obr/08_principstejnostimotoru_02v.jpg>
- [19] [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupný z WWW:
<<http://elektrika.cz/terminolog/komutator/view>>
- [20] [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupný z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9riov%C3%BD_elektromotor>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

v	$[\text{ms}^{-1}]$	rychlost
F	$[\text{N}]$	tažná síla
P	$[\text{W}]$	výkon
F_a	$[\text{N}]$	adhezní tažná síla
μ_a	$[-]$	součinitel adheze
G_a	$[\text{N}]$	adhezní tíha
ε	$[-]$	součinitel využití adheze
F_o	$[\text{N}]$	tažná síla na obvodu kol
f_t	$[-]$	součinitel tření
v_{krit}	$[\text{ms}^{-1}]$	kritická rychlost
P_{max}	$[\text{W}]$	maximální výkon
Q	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	objemový průtok
Q_v	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	teoretický objemový průtok
n	$[-]$	počet otáček
V_g	$[\text{m}^3]$	geometrický objem
η	$[\%]$	účinnost
M_1	$[\text{Nm}]$	kroučící moment na vstupním členu
M_2	$[\text{Nm}]$	kroučící moment na výstupním členu
n_1	$[-]$	otáčky na vstupním členu
n_2	$[-]$	otáčky na výstupním členu
$n_{\text{č}}$	$[-]$	otáčky čerpadla
n_t	$[-]$	otáčky turbíny
s	$[\%]$	skluz
P_1	$[\text{W}]$	výkon dodávaný
P_2	$[\text{W}]$	výkon odevzdaný
$M_{\text{č}}$	$[\text{Nm}]$	moment čerpadla
M_t	$[\text{Nm}]$	moment turbíny
M_p	$[\text{Nm}]$	moment převaděče
μ	$[-]$	koeficient zvýšení momentu
I	$[\text{A}]$	elektrický proud
U	$[\text{V}]$	elektrické napětí