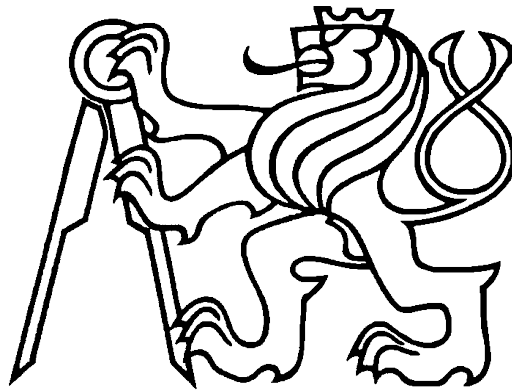


České Vysoké Učení Technické v Praze.



**FAKULTA STROJNÍ**

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

## **Bakalářská práce**

Přehled a trendy ve vývoji převodných ústrojí terénních čtyřkolových motocyklů Quad

Overview and trends in the development of Quad powertrains.

Vypracoval:

Német Josef

Vedoucí projektu:

doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Praha:

Červen 2016

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

**V Praze dne: .....**

.....

**Josef Német**

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce  
doc. Dr. Ing. Gabriele Achtenové za vstřícný přístup, ochotu a mnoho cenných rad.

**V Praze dne: .....**

.....

**Josef Nemet**

**Abstrakt:**

Tato práce se zaměřuje na převodová ústrojí čtyřkolových vozidel quad. Zpřehledňuje používané systémy převodových ústrojí současných výrobců. Vysvětluje principy a funkce jednotlivých převodovek, mezinápravových a nápravových diferenciálů a spojek. V závěru práce je výpočet a návrh rozsahu převodovky vybraného modelu Honda.

**Klíčová slova:**

Quad, terénní čtyřkolové vozidlo, čtyřkolka, převodové ústrojí, převodovka, pohon 4WD, mezinápravová spojka, diferenciál, svorný diferenciál

**Abstract:**

This thesis focuses on drivetrain of Quad vehicles. Firstly, the thesis sorts nowadays drivetrains used in quad vehicles, secondly explains its principles and functions. In the final part is calculation and design of gearbox for a certain model of Honda Quad.

**Keywords:**

Quad, all-terrain vehicle, quad-bike, drivetrain, gearbox, four wheel drive, the interaxle clutch, axle differential, limited slip axle differential

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>ČTYŘKOLOVÁ VOZIDLA</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>PŘEVODOVÁ ÚSTROJÍ</b> .....	<b>10</b>
3.1	SPORTOVNÍ ČTYŘKOLKY.....	10
3.1.1	<i>Převodovka s ručním řazením</i> .....	11
3.1.2	<i>Assist and slipper clutch</i> .....	12
3.2	UŽITKOVÉ ČTYŘKOLKY .....	13
3.2.1	<i>CVT – Variátorové převodovky</i> .....	14
3.2.2	<i>Electric Shift Program</i> .....	17
3.2.3	<i>3 – rychlostní automatická převodovka</i> .....	18
3.2.4	<i>Hydrostatická převodovka Hondamatic</i> .....	19
3.2.5	<i>DCT</i> .....	24
<b>4</b>	<b>POHONY 4WD</b> .....	<b>27</b>
4.1	HONDA 4WD .....	28
4.1.1	<i>TraxLok – Mezinápravová spojka</i> .....	28
4.1.2	<i>Diferenciál s posuvnými kameny</i> .....	30
4.2	YAMAHA.....	31
4.2.1	<i>On-Command 4WD systém</i> .....	31
4.3	POLARIS.....	32
4.3.1	<i>On-Demand 4WD systém</i> .....	32
<b>5</b>	<b>NÁVRH ROZSAHU PŘEVODOVKY</b> .....	<b>34</b>
5.1	VOLBA ČTYŘKOLKY .....	34
5.2	PARAMETRY ČTYŘKOLKY HONDA RANCHER 420 DCT (TRX 420) .....	34
5.2.1	<i>Motor</i> .....	34
5.2.2	<i>Rozměry</i> .....	34
5.2.3	<i>Převodové ústrojí</i> .....	35
5.3	VÝPOČET.....	37
5.3.1	<i>Odpor vzduchu</i> .....	37
5.3.2	<i>Odpor stoupání</i> .....	38
5.3.3	<i>Valivý odpor</i> .....	38
5.3.4	<i>Hnací síla</i> .....	39
5.3.5	<i>Návrh 5. převodového stupně</i> .....	40
5.3.6	<i>Návrh 1. převodového stupně</i> .....	41
5.3.7	<i>Návrh rozdělení převodových stupňů</i> .....	42
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>51</b>
7.1	CD-ROM – VÝPOČTY V PROGRAMU MATLAB.....	51

## 1 Úvod

V dnešní době můžeme nalézt velké množství literatury pojednávající o pohonech osobních terénních vozidel. Knihovny jsou plné schémat a odborných článků o jejich převodovkách a pohonných ústrojích. Lze dohledat informace potřebné nejen k pochopení ale i pro návrh, či inovaci. Nicméně o čtyřkolových vozidlech quad toho mnoho nenajdeme. Proto jsem se rozhodl zpracovat ucelený přehled těchto systémů pro quady.

V mé bakalářské práci shrnu systémy pohonů čtyřkolových vozidel quad, které se v současnosti používají. Pokusím se dohledat, jak jednotlivá pohonná ústrojí fungují a vytvořit dostatečnou základnu k jejich pochopení. Práce poslouží případným zájemcům o quady, kterým tento přehled ušetří spoustu času.

Vzhledem k tomu, že je mnoho výrobců quadů, tak se ve své práci zaměřím jen na značky Journeyman, ArticCat, Yamaha, Honda, Polaris, Can-Am, Kawasaki, Suzuki, Kymco. Vyjma Hondy, jsou všichni tito výrobci na českém trhu. Honda nemá oficiální distribuci čtyřkolek v České republice, dominuje především na trhu v USA. Nicméně do výběru jsem jí zařadil, protože používá naprosto odlišná řešení převodovek, než ostatní výrobci.

V závěru práce navrhnu převodovku a její rozsahy pro jednoho vybraného zástupce. Použiji postup používaný pro osobní vozidla s přihlédnutím k faktu, že návrh provádím pro vozidlo quad.

## 2 Čtyřkolová vozidla

Čtyřkolová vozidla kategorie ATV, někdy nazývané quad bike, jsou dvoustopé dopravní prostředky. Výraz ATV je zkratkou anglického slovního spojení „All-Terrain Vehicle“, ve volném překladu „Vozidlo do každého terénu“. Quad bike, často jen „quad“, souvisí s počtem kol, kdy definicí je čtyřkolové vozidlo s velkými koly, určené pro pohyb v terénu. [1] str. 14-15.

Pokud se pokusíme umístit čtyřkolky mezi dopravní prostředky, pohybovali bychom se někde mezi motocykly a terénními osobními automobily. Z obou těchto kategorií mají čtyřkolky část svých vlastností. S motocykly mají společný způsob řízení řídítky v poměru blížícímu se vždy 1:1 a obdobnou konstrukci rámu se srovnatelnými fyzikálními parametry. S automobily mají čtyřkolky společné jízdní vlastnosti, dvoustopou konstrukci, někdy zavěšení náprav. [2]

Čtyřkolky lze zhruba rozdělit na dvě základní skupiny - užitkové (utility) a sportovní (sport). Toto rozdělení je vžitě a nalezneme jej u prodejců. Oficiálně žádné dělení čtyřkolek neexistuje. Nicméně pro přehlednost toto rozdělení použijí. Rozdíl těchto dvou skupin je v jejich zaměření a tím i požadavky na konstrukci, pohonná a převodová ústrojí. Dle předchozího zařazení čtyřkolek mezi automobily a motocykly se sportovní čtyřkolky svou konstrukcí, motorem a převodovkou blíží spíše motocyklům a naopak užitkové mají mnoho společného s terénními automobily.

### 3 Převodová ústrojí

Právě převodová ústrojí u čtyřkolek tvoří hranici mezi sportovními a užitkovými. U sportovních quadů je převodovka srovnatelná s převodovkou u motocyklů, často velmi podobná převodovce použité pro enduro či krosové motocykly. Jedná se o převodovky manuálně řazené. Stejně jako u motocyklů je spojka ovládána rukou na řídítkách, řazení se provádí nohou pomocí páky u stupačky a rychlosti se volí sekvenčně. Hnaná je zadní náprava.

Užitkové čtyřkolky používají buď ručně řazené hřídelové převodovky, stejně tak jako sportovní, častěji ale převodovky automatické. Hnaná je pak zadní či obě nápravy.

#### 3.1 Sportovní čtyřkolky

Sportovní čtyřkolky jsou konstrukčně jednodušší a lehčí stroje než užitkové. Jejich zaměření je především na rychlou jízdu, po závodní trati. Z tohoto důvodu je pro tuto skupinu čtyřkolek většinou používána převodovka manuální. Vysoké nároky jsou kladeny na hmotnost, nízké těžiště, vhodné odpružení a také je velmi důležitý převodový poměr jednotlivých rychlostí. Mohou být využívány i rekreačně, lze je dovybavit homologací pro provoz na silničních komunikacích.



Obrázek 1 - Yamaha YFZ 450 R [3]

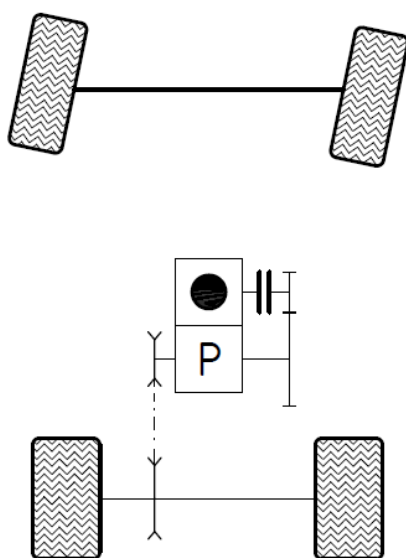


### 3.1.1 Převodovka s ručním řazením

Současní přední výrobci sportovních čtyřkolek (Yamaha, Honda, Suzuki) používají ručně řazenou převodovku. Převodové poměry se navrhují tak, aby čtyřkolka dokázala co nejrychleji akcelarovat. [1]

Převodová skříň je umístěna pod blokem motoru. Motory jsou lehké, jednoválcové. Mezi motorem a převodovkou je vícelamelová spojka, ovládána ručně pákou na řídítkách. Páka je spojena se spojkou hydraulickým vedením.

Převodovka je hřídelová, nejčastěji má pět převodových stupňů. Přenos výkonu na zadní nápravu je realizován řetězovým převodem z pastorku na řetězové kolo zadní nápravy. Zadní náprava je tuhá, zavěšená na kyvné vidlici. Čtyřkolky nejsou vybaveny zadními diferenciály. [4]

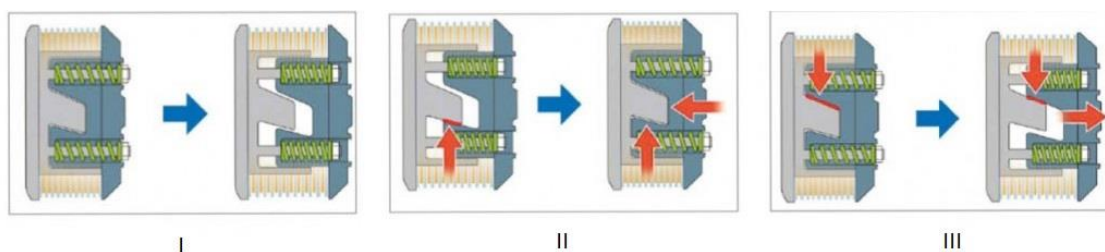


Obrázek 2 - Schéma pohonu Yamaha YFZ 450

Výjimkou je výrobce Can Am, který nabízí sportovní čtyřkolu, model Renegade, s pohonem 4x4 (volitelným). Nicméně z pohledu převodového ústrojí, se čtyřkolka řadí spíše mezi užitkové. Používá systém CVT. Tento systém rozeberu spolu s ostatními automatickými převodovkami v kapitole užitkových čtyřkolek.

### 3.1.2 Assist and slipper clutch

Yamaha u vybraných modelů sportovních čtyřkolek používá spojkový systém Assist and slipper clutch [5]. Tento systém sestává z více-lamelové spojky, u které jsou pružiny přítlačného kotouče podpořeny soustavou do sebe zapadajících zešikmených zubů. Přítlačné pružiny jsou méně tuhé. Tyto pružiny při sepnutí spojky tlačí lamely k sobě, aby vzniklo dostatečné tření pro přenos točivého momentu. Použitím slabších pružin, je docíleno menší síly potřebné k překonání odporu pro rozepnutí spojky a tím se zmenšila i práce pro uživatele, kterou musí vykonat při každém přeřazení. Nicméně použitím slabší pružiny, se zmenšila i třecí síla, která by při přenosu maximálního točivého momentu nestačila a docházelo by k prokluzu a tím i k energetickým ztrátám, snížení výkonu a nakonec i kratší životnosti spojky. To je vyřešeno použitím zubů, které při zvýšené akceleraci tlačí spojkové lamely k sobě a naopak při podřazování a zpomalování spojkové lamely odlehčuje a umožňuje prokluz, a nedochází tak k brzdění motorem. Obdobný systém Yamaha používá i u svých motocyklů. [6]



Obrázek 3- Yamaha Assist and Slippery clutch [3]

I – Stav spojky - sepnutý (vlevo) a rozepnutý (vpravo)

II – Akcelerace – Zleva přivedený vyšší točivý moment od motoru způsobuje zasouvání zubu do drážky a ve spojce dochází k vyššímu přítlaku

III – Zpomalování – Při zařazené rychlosti a zpomalování je naopak zprava přiváděný moment od kol a síly které působí na zub, zároveň rozevírají spojku a tím se přítlak spojky snižuje a umožňuje prokluz.

## 3.2 Užitkové čtyřkolky

Užitkové čtyřkolky mají podstatně složitější a rozmanitější pohonná ústrojí. U těchto čtyřkolek jsou kladeny vysoké požadavky na univerzálnost. Některé z požadavků jsou například: vysoká prostupnost terénem, velká tažná síla (velký převodový poměr), ale zároveň dostatečná maximální rychlost pro přesun, stabilitu a dobré jízdní vlastnosti při sportovnější jízdě. Veškeré tyto požadavky se projevují v konstrukci a použitých pohonných systémech.

V této kategorii jsou k dispozici modely s pohonem zadní nápravy 2WD (Two-wheel Drive). Pro vyšší prostupnost terénem a větší tažnou sílu jsou ale častější čtyřkolky s pohonem 4WD (Four-wheel Drive), jejich převodovky jsou vybaveny redukcí, která násobí převody hlavní převodovky. [7] Pohon přední nápravy je řaditelný. Na této nápravě přibývá další prvek, diferenciál, který se u ryze sportovních modelů nevyskytuje. Diferenciál je zde nutností. Umožňuje rozdílné otáčky na kolech přední nápravy, které vznikají z důvodu rozdílných poloměrů kružnic, které opisují přední kola při zatáčení. Některé modely jsou vybaveny uzávěrkou předního diferenciálu, či jiným obdobně fungujícím systémem. Uzávěrka předního diferenciálu je doprovázena mnoha omezeními, jako je maximální dovolená rychlost. Především se používá jen v nejtěžším terénu.



Obrázek 4 - Honda Fourtrax Foreman 2016 [8]

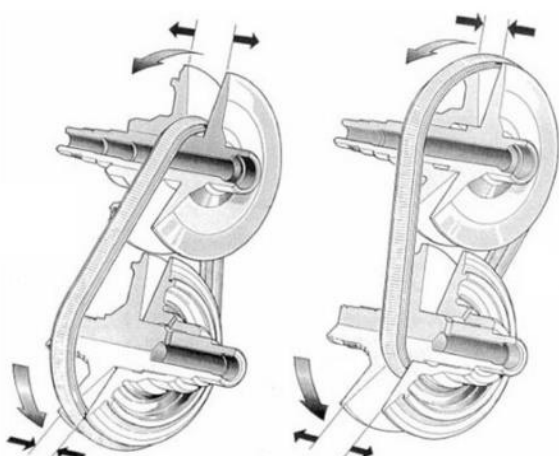
### 3.2.1 CVT – Variátorové převodovky

Nejčastějším používaným systémem je CVT převodovka. Dá se říci, že je stále trendem používat tyto převodovky. Kromě Hondy ji nalezneme u většiny ostatních výrobců.

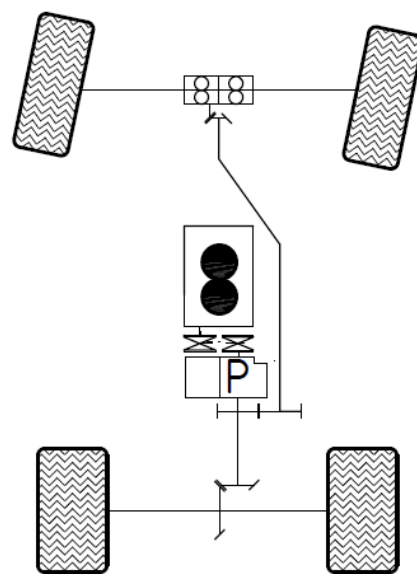
CVT (Continuously variable transmission) je systém plynulé změny převodového poměru pomocí řemenu a dvou řemenic. Obě jsou dělené, jejich poloviny jsou proti sobě posuvné, změnou své polohy mění poloměr opásání řemenem a tím i převodový poměr mezi krajními hodnotami. Krajní hodnoty jsou dané rozměry a konstrukčním řešením a lze mezi nimi volit nekonečně mnoho převodových poměrů. CVT převodovky jsou doplněné hřídelovou převodovkou pro neutrál, zpětný chod a dva jízdní režimy vpřed (L, H).

Kužely, které jsou na hřídeli spojené s výstupem z motoru, reagují na zvýšení otáček a stlačují se k sobě, čímž se snižuje převodový poměr. Naopak kužely spojené se vstupem do hřídelové převodovky reagují na rostoucí krouticí moment. Při vyšší zátěži se také stlačí kužely k sobě, ale převodový poměr se naopak zvyšuje. Schéma funkce je na obrázku 5. [9]

Na obrázku 6 můžeme vidět schéma pohonu modelu Polaris Sportsman 850. Motor je uložen v podélném směru. Variátor je umístěn mezi převodovkou a motorem. Variátor plní funkci převodovky a zároveň rozjezdové spojky.



Obrázek 5 - Schéma funkce CVT převodovky [31]



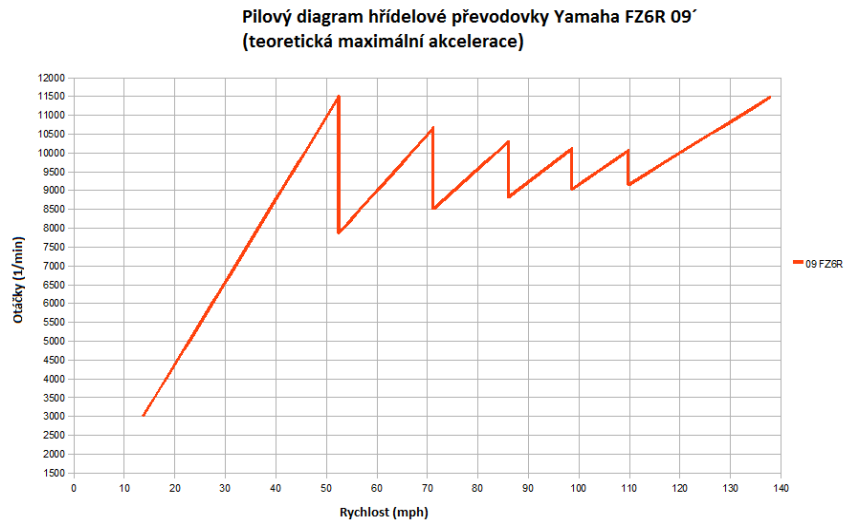
Obrázek 6 - Schéma pohonu CVT

CVT převodovku můžeme nalézt u mnoha modelů předních výrobců (Yamaha - Ultramatic®, Polaris nebo Can Am). Nespornou výhodou tohoto systému je možnost udržovat po celou dobu akcelerace motor v optimálních otáčkách. Akcelerace je také plynulá, systém nevyžaduje spojku pro změnu převodového poměru a tak nedochází k přerušení momentového toku na nápravy. Spojka musí být pouze pro zastavení, či rozjezd. Nevýhodou je omezený moment, který je převodovka schopna přenést a opotřebení řemenu, který je vyztužený, aby odolával vysokým namáháním, jak třecím, tak tahovým.

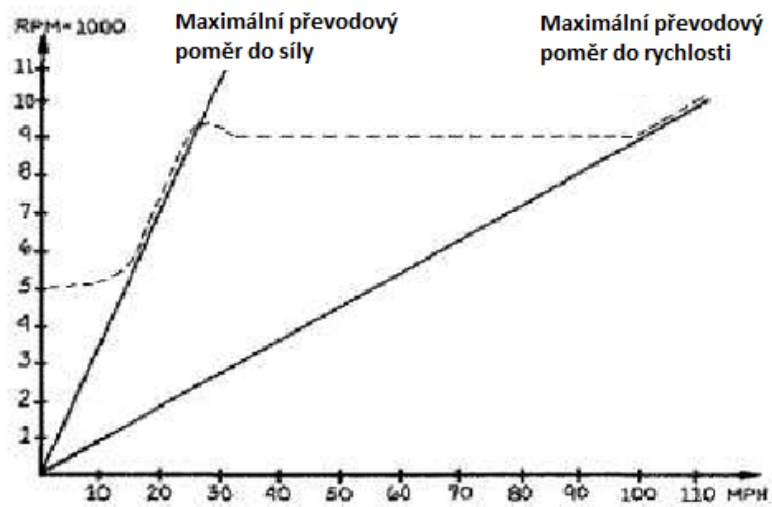


*Obrázek 7 - CVT - Řemen [28]*

Pro porovnání uvádím grafy závislosti otáček motoru na rychlosti vozidla. Takzvaný pilový diagram hřídelové převodovky a jeho obdobu u variátorové převodovky CVT.



Obrázek 8 - Hřídelová převodovka - Graf závislosti otáček na rychlosti při maximální akceleraci [11]



Obrázek 9 - CVT - Graf závislosti otáček na rychlosti při maximální akceleraci [10]

Zajímavější řešení pohonného ústrojí nabízí společnost Honda. Na rozdíl od ostatních výrobců nepoužívá systém CVT, naproti tomu u Hondy nalezneme ESP (Electronic Shift Program), automatickou převodovku s hydraulickým měničem, hydrostatickou převodovku Hondamatic a nejnovější systém DCT (Dual clutch transmission). [11]

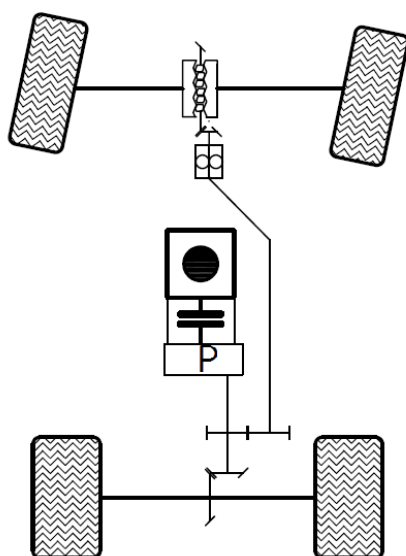
### 3.2.2 Electric Shift Program

Electric shift program systémem je vybaven model Honda FourTrax Foreman 4x4. Systém používá automatizovanou hřídelovou převodovku, u které je spojka a řazení převodů řízeno elektronicky. Uživatel si volí jednotlivé převody pomocí dvojice tlačítek na řídítkách nebo nožní pákou, jako je tomu u sportovních čtyřkolek. Tento systém postrádá logické řízení a tak nenabízí plně automatický režim, ale pouze sekvenční automat. Spojka při volbě elektromechanicky vypne a po zařazení převodového stupně opět sepne.



Obrázek 10 - Jednotka pro volbu převodového stupně [30]

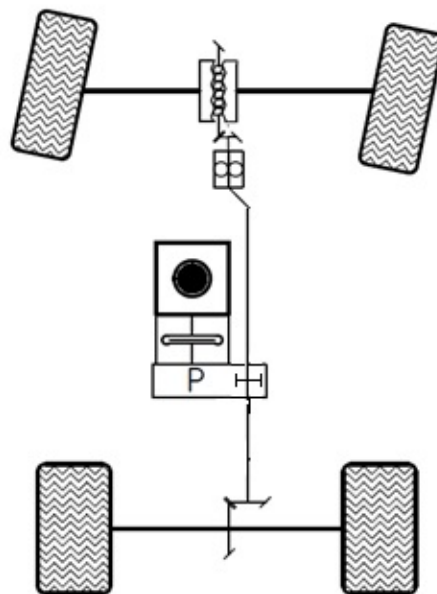
Na obrázku 11 je funkční schéma pohonu Hondy Foreman 4x4. Jako mezinápravová spojka je zde použit systém TraxLok, viz. kapitola 4.1.1. Přední diferenciál je svorný s posuvnými kameny. [2]



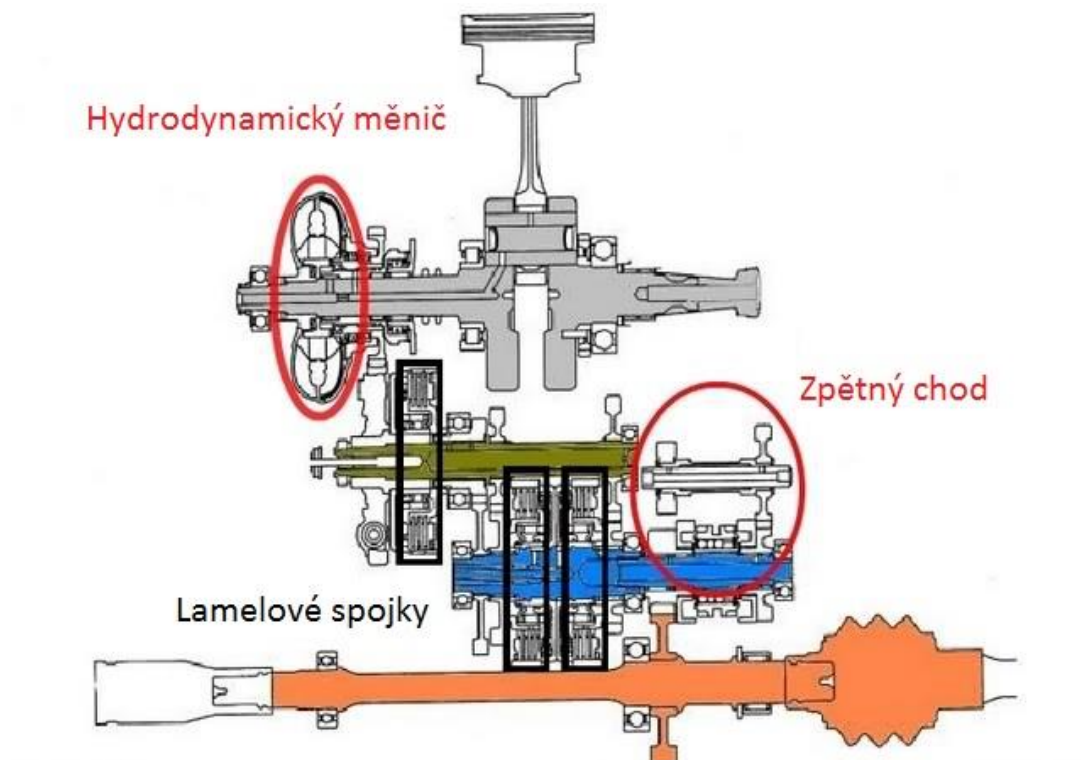
Obrázek 11 - Schéma pohonu ESP Honda FourTrax Foreman 4x4 (2016)

### 3.2.3 3 – rychlostní automatická převodovka

Převodový mechanismus používaný Hondou u modelu Honda FourTrax Rincon, je obdobou převodovek používaných v automobilovém průmyslu. Úlohu rozjezdové spojky plní hydrodynamický měnič umístěný mezi převodovkou a motorem, za ním následuje 3- stupňová převodovka. Na rozdíl od běžně používaných planetových soukolí u automatických převodovek automobilů, je zde použito podobné uspořádání jako u manuální převodovky. Pro jednoduchost si lze představit, že místo brzdícího synchronizačního kroužku a zubové spojky jsou použity lamelové spojky. Při změně převodového stupně jednoduše rozepeje spojka zařazeného převodového stupně a zároveň sepeje spojka s požadovaným převodovým stupněm. [12]



Obrázek 13 - Schéma pohonu s hydrodynamickým měničem - Honda Rincon



Obrázek 12 - 3 - stupňová převodovka Honda Rincon [29]

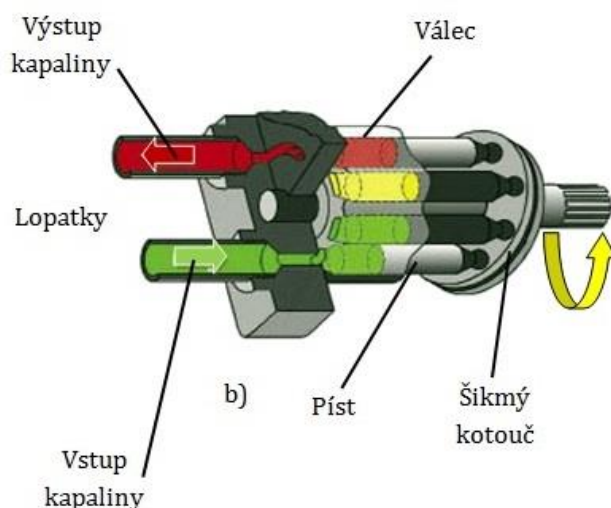


### 3.2.4 Hydrostatická převodovka Hondamatic

Hydrostatická převodovka Hondamatic byla používána v modelech Honda FourTrax Foreman Rubicon. Od roku 2015 byla nahrazena dvouspojkovou převodovkou. (viz. DCT).

Jedná se o převodovku, která se skládá z hydrostatické převodovky s plynule regulovatelným převodovým poměrem a za ní je zařazena převodovka hřídelová, která umožňuje řazení neutrálu, dvou rychlostních převodů vpřed ( L – pomalý a H – rychlý) a řazení zpětného chodu. Mezi motorem a hydrostatickou převodovkou je odstředivá rozjezdová spojka. Pro pochopení systému Hondamatic je třeba si nejprve osvětlit, jak funguje hydrostatická převodovka.

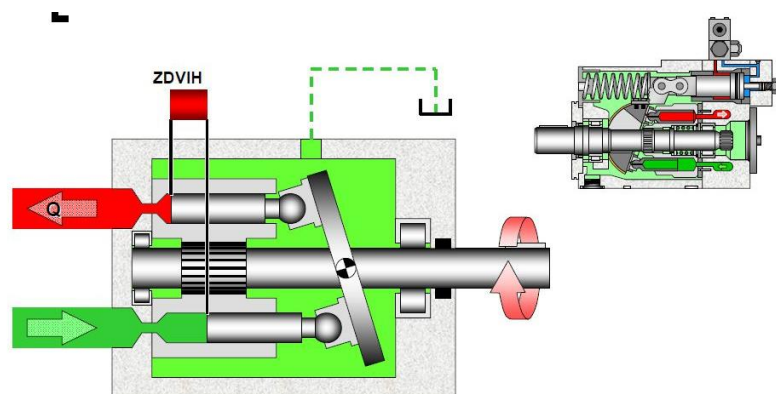
Hydrostatická převodovka se skládá z hydraulického čerpadla a hydraulického motoru. Čerpadlo převádí mechanickou energii na tlakovou energii pracovního média. Je opatřeno soustavou pístů, které jsou umístěné ve válcích v revolverovém bubnu. Buben je spojen hřídelí s motorem a rotuje i s písty. Písty jsou spojené s šikmým kotoučem, díky čemuž dochází k jejich zdvihu, a tím k nasávání a posléze k vytlačování kapaliny. Protože kotouč má konstantní úhel, průtok kapaliny závisí na otáčkách motoru spojeného s bubnem. [13]



Obrázek 14- pístová axiální pumpa pevným kotoučem [14]

Čerpadlo je spojeno s hydraulickým motorem. Výstup kapaliny z čerpadla vede do vstupu hydraulického motoru a výstup z motoru do čerpadla.

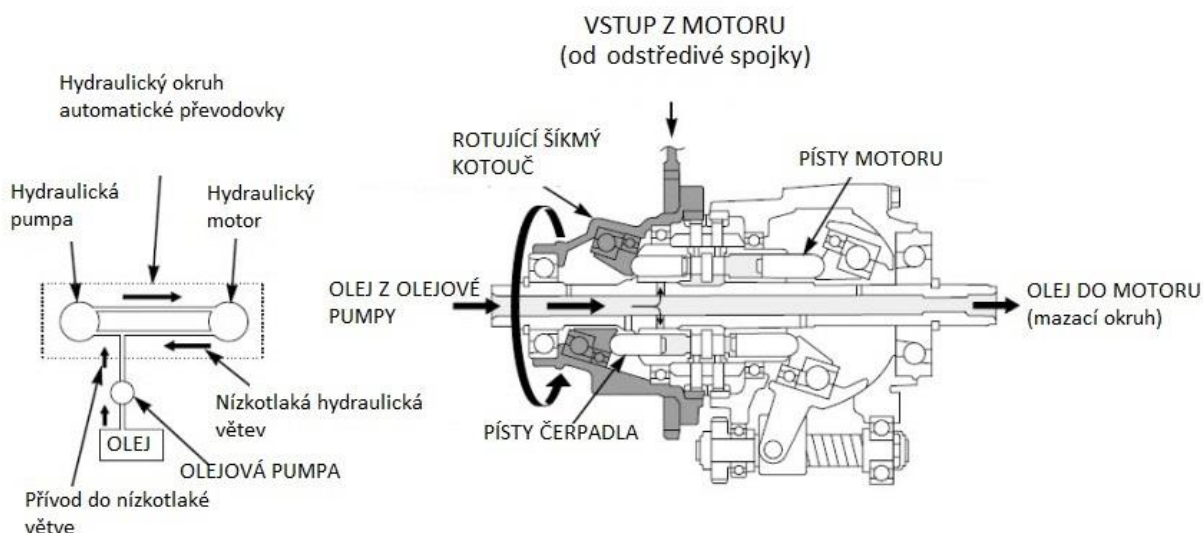
Hydraulický motor je vlastně téměř identický s čerpadlem, s tím rozdílem, že zde je přenos energie opačný, z tlakové na mechanickou. Tlak média (hydraulický olej, či jiné objemově stálé médium) na vstupu tlačí na písty v revolverovém bubnu, tyto písty tlačí proti šikmému kotouči a tím uvádí buben do rotace. Rychlost rotace lze ovlivňovat jednak průtokem přiváděného média, jednak změnou úhlu šikmého kotouče. Změnou úhlu kotouče se mění pracovní zdvih pístů v hydraulickém motoru, čímž se mění přenášený objem. Čím menší je úhel, tím méně média dokáže jeden válec přenést na jednu otáčku. Z toho vyplývá, že pokud je konstantní průtok přiváděného média, tak při malém úhlu je třeba vyšších otáček, aby se stihlo přenést přiváděné médium, naopak, při větším úhlu kotouče stačí otáčky nižší. Tím je dosaženo různých převodových poměrů. Je dobré si uvědomit, že pokud bude šikmý kotouč kolmo k ose bubnu, nebude hydraulický motor schopen přenášet žádné médium, protože písty budou tlačít kolmo na rovinu kotouče a buben se neroztočí. V takovém případě musí být soustava vybavena pojistnou přetlakovou větví, která umožní proudění média tlačeno čerpadlem, jinak by došlo k poškození některé ze součástí. [13]



Obrázek 15- Axiální hydraulický motor s proměnným sklonem kotouče [14]

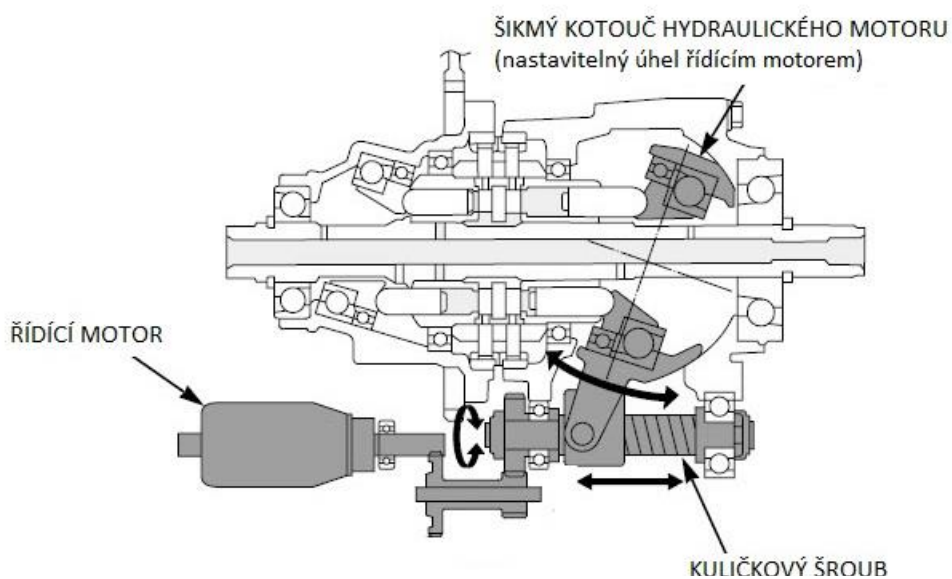
Tento systém je používán u stavebních strojů nebo zahradní techniky, všude tam, kde je s výhodou využíváno síly hydraulického pohonu.

Nyní se tedy podíváme na systém Hondamatic. V tomto systému je využita hydrostatická převodovka jako násobič momentového toku. Hydrostatická převodovka zde ovšem funguje poněkud odlišně od toho, než bylo uvedeno výše. V první řadě je hřídel na vstupu z motoru spojena s šikmým kotoučem u hydraulického čerpadla. Tento šikmý kotouč tedy rotuje.



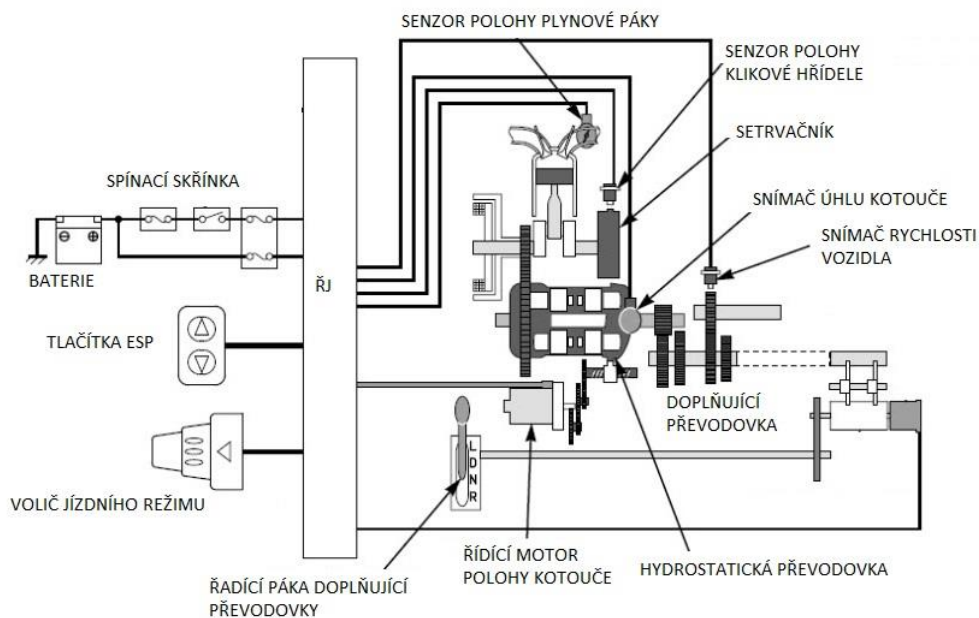
Obrázek 16 - Hydraulické čerpadlo (Rotující šikmý kotouč) [17]

Soustava bubnů s válci a písty hydraulického čerpadla a motoru jsou z jednoho spojeného dílu a ten je spojen s hřídelí na výstupu. Soustava bubnů tedy také rotuje. Šikmý kotouč s proměnným úhlem u hydraulického motoru je spojen s rámem, nerotuje.



Obrázek 17 - Hydraulický motor (Variabilní šikmý kotouč) . [16]

Pokud je šikmý kotouč hydraulického motoru skloněn v maximálním úhlu, převodový poměr mezi vstupem a výstupem je nejvyšší. Rotující šikmý kotouč na hydraulickém čerpadle rotuje rychleji než revolverový buben. Je to způsobeno tím, že šikmý kotouč přes písty z čerpadla vhání médium do hydraulického motoru a ten rotuje následkem tlaku proti variabilnímu šikmému kotouči. Pokud budeme snižovat úhel sklonu variabilního kotouče, bude se převodový poměr snižovat. V okamžiku, kdy kotouč dosáhne kolmosti k ose bubnů, médium přestane proudit. To má za následek zablokování pístů hydraulického čerpadla a buben je nucen rotovat v poměru 1:1 s šikmým kotoučem, který je poháněn motorem. [15] [16]

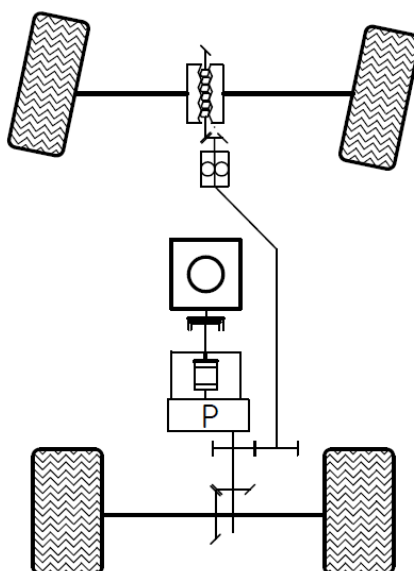


Obrázek 18 - Schéma uspořádání systému Hondamatic [17]

Řidič si může volit mezi různými režimy převodovky. Buď automaticky řízený převodový poměr, nebo imitaci Electronic Shift Program, řídicí jednotka pak mění převodové poměry skokově.

Níže na obrázku 18 můžeme vidět schéma pohonného systému u modelu Honda FourTrax Rubicon z roku 2013. Motor je uložen podélně, k motoru je připojena rozjezdová odstředivá spojka. Za ní následuje hydrostatická převodovka, k níž je připojena převodovka sekundární. Pro změnu převodu sekundární převodovky je třeba uvést vozidlo do klidu. Tedy změnu H/L/N/R nelze provést za jízdy.

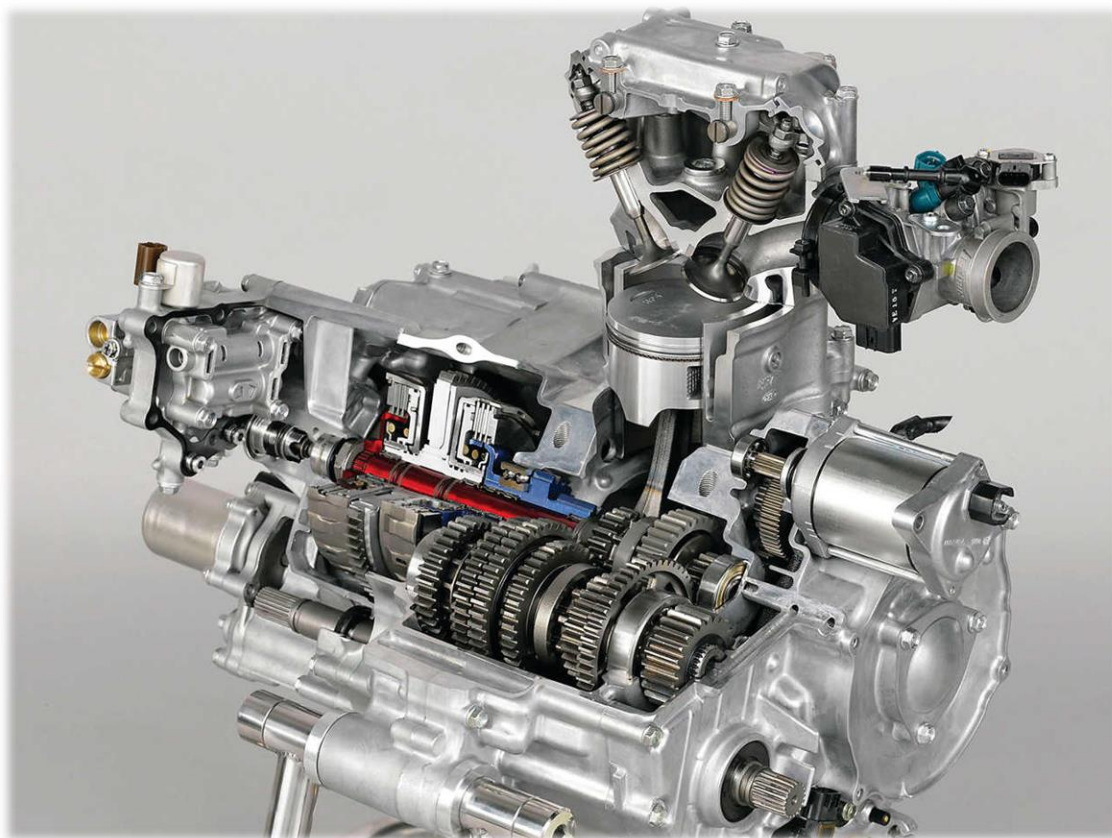
Přední náprava je již standardně u Hondy osazena diferenciálem s posuvnými kameny a připojuje se přes obousměrnou volnoběžku (systém TraxLok). [2]



Obrázek 19 - Schéma pohonu Hondamatic - Honda FourTrax Rubicon 2013

### 3.2.5 DCT

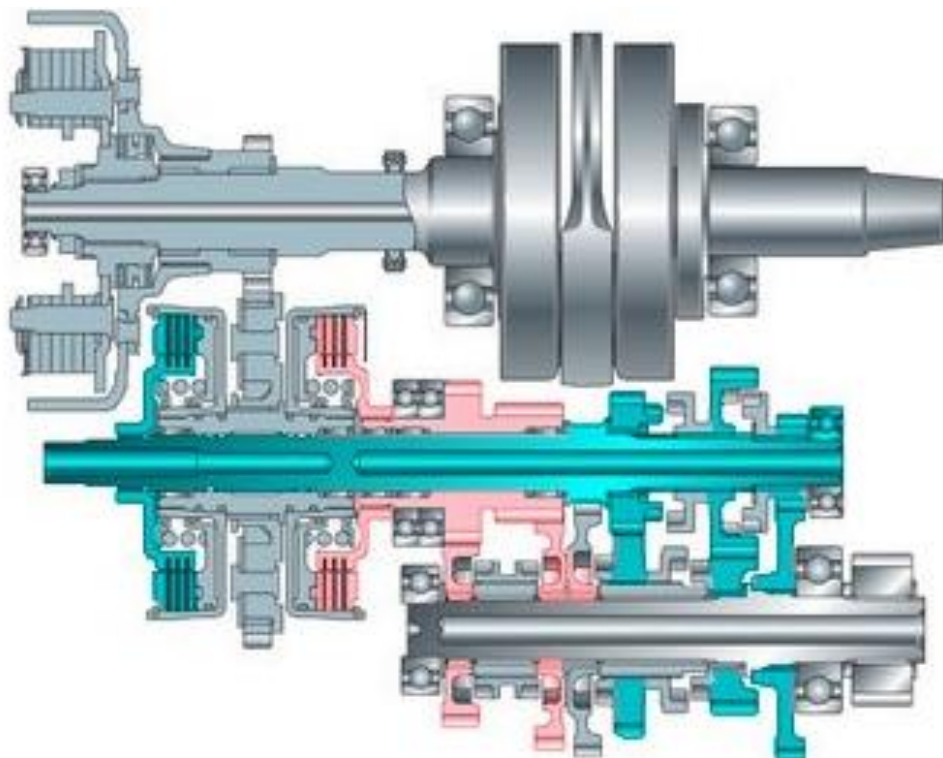
DCT převodovka se začala používat v modelech Honda FourTrax Rancher nebo Rubicon. DCT ( Dual clutch transmission ) je dvouspojková převodovka, která se stala v posledních letech na poli osobních automobilů velmi oblíbenou. Její hlavní předností je krátká doba, kterou jí zabere řazení mezi jednotlivými převodovými stupni. Mechanicky se jedná o variaci automatizované hřídelové převodovky.



Obrázek 20 - Honda DCT – Řez hnací jednotkou [17]

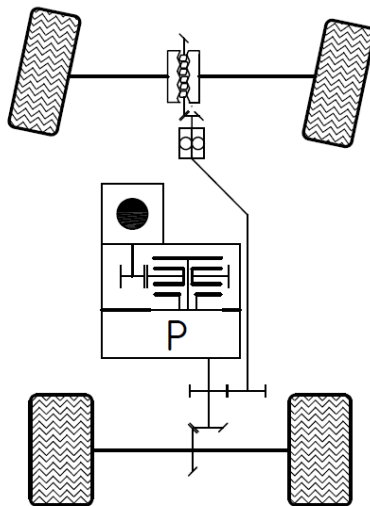
Převodovka se skládá ze dvou spojek, první je rozjezdová i řadící a druhá je pouze řadící. Každá ze spojek je spojena s převodovými koly jen pro liché nebo sudé převodové stupně. Řazení je ovládáno elektromechanicky. Celá převodovka je pak řízena pomocí řídící jednotky – počítače. Dále jsou v převodovce pro každý rychlostní stupeň synchronizační kroužky, umožňující zařazení voleného převodové stupně při vypnutí příslušné spojky. [9]

První spojka, rozjezdová i řadící (modrá barva), je spojena hřídelí s převodovými koly pro první, třetí a pátý převodový stupeň. Druhá spojka, jen řadící, je spojena dutou hřídelí s koly pro druhý a čtvrtý převodový stupeň. Hřídel od druhé spojky je dutá, skrz ní vede hřídel od první spojky. Obě dílčí hřídele mají společnou předlohovou hřídel, která je spojena převodem s hnací hřídelí pro přenos momentu na nápravy.



Obrázek 21 - Schéma převodového ústrojí DCT [18]

Při rozjezdu jednotka automaticky, jako reakci na sešlápnutý akcelerační pedál, spíná rozjezdovou spojku, k níž je na hřídeli zařazený první lichý stupeň. Současně je předřazen druhý převodový stupeň, který je spojený s druhou, v tento okamžik rozepnutou, řadící spojku. V okamžiku, kdy řídicí jednotka vyšle příkaz k přeřazení, dojde k rozepnutí první spojky a současně k sepnutí spojky druhé. Tak se momentový tok z motoru na nápravu prakticky vůbec nepřerušuje. [19]



Obrázek 22 - Schéma pohonu DCT



## 4 Pohony 4WD

Většina užitkových čtyřkolek je vybavena pohonem všech kol. Obě nápravy jsou poháněny hřídelemi. Zadní náprava je připojena stále a přední nápravu lze připojit. Všichni výrobci používají permanentně uzavřený zadní diferenciál. Jedinou výjimkou na trhu je čtyřkolka Polaris Sportsman X2 570 EPS, která je vybavena systémem TURF Mode, který umožňuje otevřít zadní diferenciál. Problémem uzavřeného diferenciálu zadní nápravy je, že pokud začneme zatáčet, zadní kola se musejí smýkat, aby čtyřkolka zatočila. Každé kolo opisuje kružnici o jiném poloměru, vnější kolo se odvaluje po delší dráze než vnitřní a tak pokud mu není umožněno točit se rozdílnými otáčkami než vnitřní, dojde ke smýkání. U čtyřkolek, jejichž hmotnost je nízká, lze smýkat koly relativně snadno. Nicméně při nízkých rychlostech a ostrém zatáčení je třeba počítat s jistým odporem. Navíc pokud se budeme pohybovat například po golfovém hřišti, kde je drahý a udržovaný trávník, je jisté, že za sebou čtyřkolka nechá stopy po smýkání kol i při opatrné jízdě a to je nežádoucí. TURF Mode od Polarisu tento problém řeší. [20]

Nicméně otevřený diferenciál způsobuje zhoršení trakce. To může způsobit nechtěné komplikace v terénu. Polaris přímo udává v uživatelském manuálu pokyny, podle kterých se TURF mode smí používat pouze na zpevněném povrchu při pomalé jízdě. Při prudkém stoupání, či klesání a jízdě po nezpevněném povrchu má být sepnuta uzávěrka zadního diferenciálu.

Přední diferenciály jsou řešeny individuálně každým výrobcem jinak. Základem ale je, že pokud se pohybujeme po dostatečně zpevněném povrchu a je sepnut pohon 4x4, tak přední diferenciál musí být nezbytně otevřený. V opačném případě by bylo jen velmi obtížné se čtyřkolkou zatočit, viz. kapitola 3.2 Užitkové čtyřkolky.

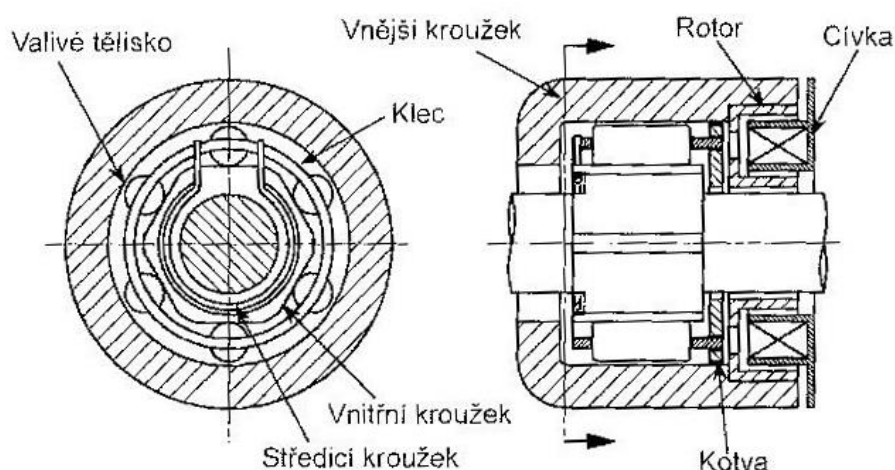
## 4.1 Honda 4WD

Honda pro pohon všech kol u modelů 4x4 používá systém TraxLok spolu se svorným diferenciálem s posuvnými kameny na přední nápravě. U vybraných modelů je svorný diferenciál doplněn možností úplné uzávěrky.

### 4.1.1 TraxLok – Mezinápravová spojka

Mezinápravová spojka TraxLok je součástí skříně předního diferenciálu. Umožňuje připojit přední nápravu během jízdy, pokud je splněna podmínka maximálního rozdílu rychlosti mezi přední a zadní nápravou 6 mph (~ 10 km/h). Kdyby byl rozdíl otáček vyšší, spojka by se nadměrně opotřebovávala nebo poškodila.

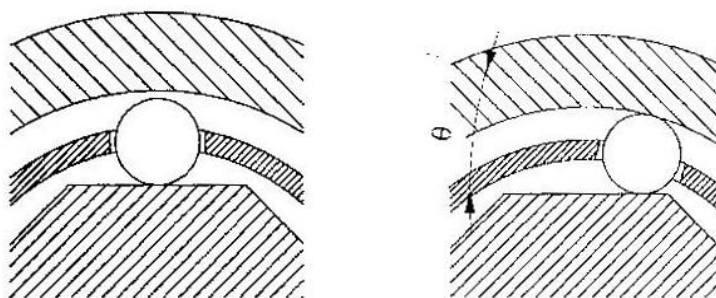
Spojka TraxLok funguje na principu volnoběžky. Valivá tělíska jsou umístěna mezi vnějším válcovitým kroužkem a vnitřním kroužkem vačkového profilu. Klec ustavuje polohu valivých tělísek, jednak souosost s kroužky, jednak pravidelné rozmístění na stěnách po obvodu vnitřního kroužku. Vzájemná poloha klece a vnitřního kroužku je zajištěna centrovací pružinou. Klec tedy ustavuje válečky na středu stěn vnitřního kroužku. Klec je pak spojena s kotvou elektromagnetu a může se spolu s vnitřním kroužkem vůči vnějšímu kroužku volně otáčet. Do vnějšího kroužku je nalisován rotor, mezi ním a kotvou je tenká vzduchová mezera. Pomocí cívky, pevně spojené se skříní volnoběžky (nerotuje), lze průtokem proud vytvořit magnetické pole, které přitáhne kotvu k rotoru. [7]



Obrázek 23- Obousměrná volnoběžka s iniciační elektromagnetickou spojkou [8]

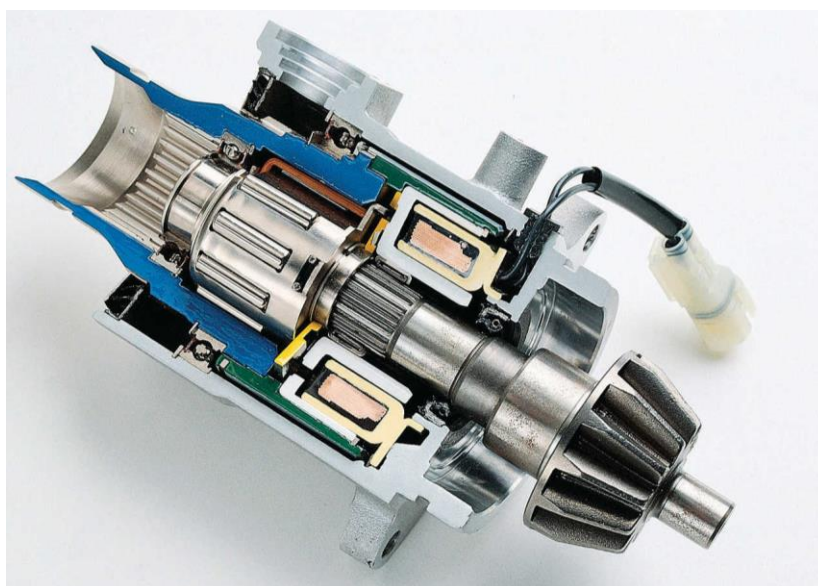
Pokud cívkou neprochází žádný proud, valivá tělíska jsou klecí držena ve středu stěn vnitřního kroužku a je mezi nimi a vnějším kroužkem vůle. Válečky jsou v neutrální poloze a spojka je rozpojena. Spojka v neutrální poloze je nakreslena na obr. 22 vlevo.

Pokud do cívky pustíme proud, dojde k přitažení kotvy k rotoru. To má za následek tření mezi kotvou a rotorem a následné vychýlení kotvy společně s klecí ze své neutrální polohy. Soustava klece, kotvy a valivých tělísek se pootočí oproti vnitřnímu kroužku a dojde k zaklínění valivých tělísek mezi vnitřní a vnější kroužek. Tím se kroužky spojí a mohou přenášet krouticí moment. Spojka je v tomto okamžiku sepnuta, obr. 22 vpravo.



Obrázek 24 - Neutrální poloha spojky (vlevo) a zablokovaná poloha spojky (vpravo) [7]

Pro opětné rozepnutí spojky je třeba přerušit protékající proud cívkou a především přerušit tok momentu z vnějšího kroužku na vnitřní, aby se valivá tělíska mohla uvolnit ze zaklíněné polohy silou centrovací pružiny.



Obrázek 25 - Řez tělesem spojky TraxLok [18]

#### 4.1.2 Diferenciál s posuvnými kameny

Diferenciál s posuvnými kameny používá Honda do všech modelů vybavených s pohonem 4WD. Tento diferenciál se do určité míry chová jako svorný. Pokud ale překročíme moment, který je diferenciál schopný přenášet na kolo s vyšší trakcí, kolo se zastaví a protáčí se pouze kolo nadlehčované.

Na obrázku níže vidíme rozložený diferenciál s detailním pohledem na posuvné kameny a vačkové kotouče. Tyto posuvné kameny jsou spojeny s klecí diferenciálu, ale je jim umožněn posuv v axiálním směru. Na klec je od motoru přiváděn točivý moment. Vačkové kotouče doléhají na posuvné kameny z obou stran. Vzdálenost mezi kotouči je konstantní a právě taková, aby kamenům bylo umožněno kmitavě klouzat mezi zuby kotoučů. Lze si pro přirovnání představit, že vačkové kotouče zde plní obdobnou funkci jako planetová kola ozubeného diferenciálu, posuvné kameny lze přirovnat ke kolům satelitním.

Rotující kameny spojené s klecí přenášejí moment na vačkové kotouče a ty pak pohánají kola. Pokud se jedno z kol nadlehčí a začne rotovat rychleji než druhé, začnou se vačkové kotouče proti sobě otáčet. Proti této vzájemné rotaci působí třecí síla vznikající v dotyku mezi kameny a zuby vačkových kotoučů. Právě tato třecí síla způsobuje svornost diferenciálů. [7]

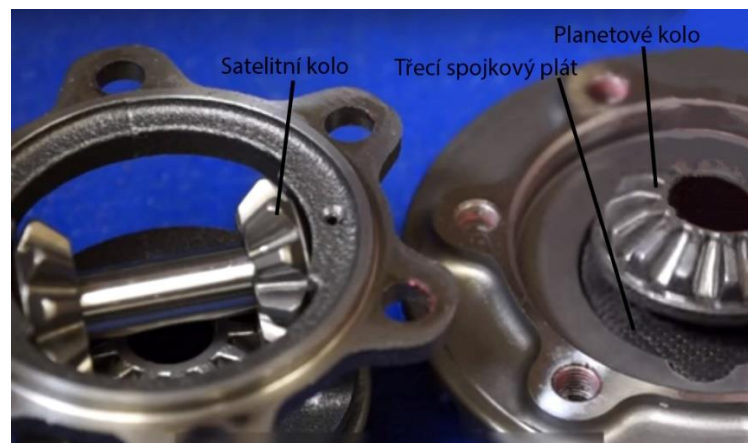


Obrázek 26 - Diferenciál s posuvnými kameny [21]

## 4.2 Yamaha

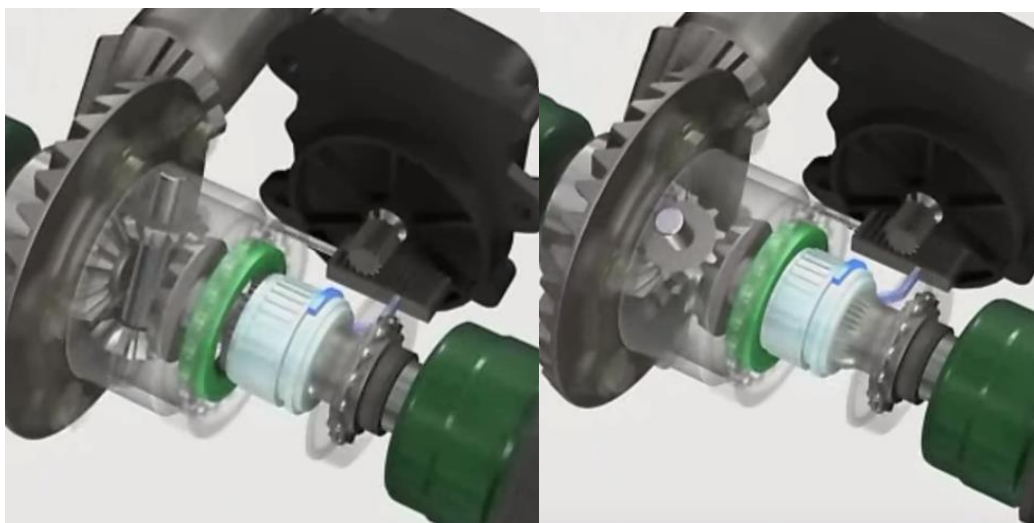
### 4.2.1 On-Command 4WD systém

Yamaha nabízí systém On-Command, volitelně připojitelnou přední nápravu s diferenciálem s omezeným prokluzem a následně i možnost úplného uzavření diferenciálu. Diferenciál používá třecí spojku mezi planetovým kolem a skříní diferenciálu. Spojka přitlačována pružinou klade odpor proti prokluzu a tím je zajištěn přenos na kolo s vyšší trakcí.



Obrázek 27 - Diferenciál Yamaha On-Command [22]

Pro uzavření diferenciálu je třeba uvést čtyřkolku do klidu, sepnout tlačítko pro volbu uzávěrky a systém pomocí vidlice zasune válcovitý element s vnitřním a vnějším drážkováním do mezikruží klece diferenciálu a výstupu k poloose. Tím se diferenciál mechanicky uzavře. [22]



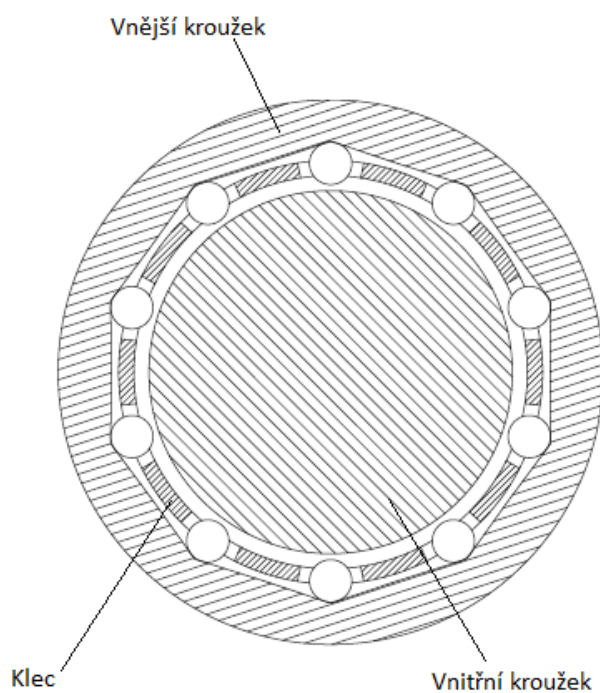
Obrázek 28 - Otevřený diferenciál Yamaha On-Command (vlevo) a uzavřený (vpravo) [22]

## 4.3 Polaris

### 4.3.1 On-Demand 4WD systém

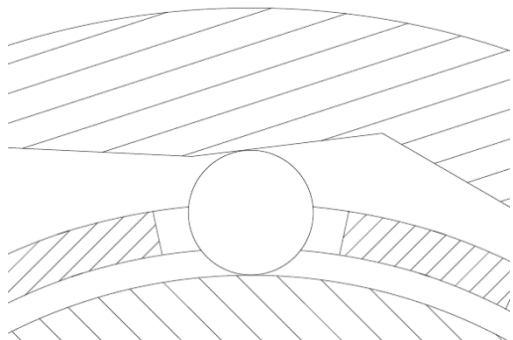
Polaris používá pro připojení přední nápravy naprosto odlišný systém. Nazývá se On-Demand. Velkou výhodou tohoto systému je, že se může připojit kdykoliv je potřeba, není nutné zastavit a navíc pokud je nastaveno automatické připojování přední nápravy, řidič se nemusí vůbec o nic starat. Zároveň pokud se otáčí přední a zadní náprava stejnými otáčkami, čtyřkolka jede v režimu 2WD. Jednoduše se dá říci, že výkon se vždy přenáší na kolo s největší trakcí.

Pro pochopení tohoto systému je třeba znát, jak funguje Hillardova spojka. Vlastně se jedná o obousměrnou volnoběžku, se kterou jsme se setkali u Hondy, s tím rozdílem, že volnoběžka u Polarisu má vnitřní kroužek válcovitého tvaru a vnější je s profilem ve tvaru mnohoúhelníku. Vnější kroužek je stále spojen s výstupem z motoru, je hnací. Vnitřní kroužek je výstupem na hřídele ke kolům, je tedy hnaný. [13]

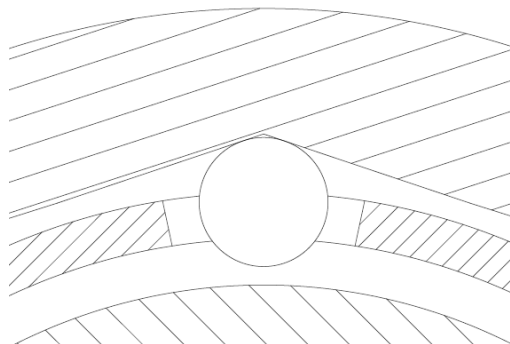


Obrázek 29 - Schéma centralizované Hillardovi spojky

Centrální pružina ustavuje klec a valivá tělíska v neutrální rozepnuté poloze, obr. 29. Pokud se pustí proud do cívky, kotva spojená s klecí se přitáhne ke skříni a začne se třením přibrzďovat, což způsobí zaklínění valivých tělísek, obr. 28.



Obrázek 31 - Neutrální poloha Hillardovi spojky



Obrázek 30 - Sepnutý stav Hillardovi spojky

Hillardova spojka nahrazuje diferenciál i mezinápravovou spojku. Je jednoduchá a malých rozměrů.

## 5 Návrh rozsahu převodovky

### 5.1 Volba čtyřkolky

Pro návrh převodovky volím qsuad Honda Rancher 420 DCT. Hlavním důvodem této volby je převodovka DCT. Jedná se o nejmladší převodovku od Hondy, která se doposud vyskytovala především v automobilovém průmyslu a Honda je jediným výrobcem, který tuto převodovku používá pro své čtyřkolky.

### 5.2 Parametry čtyřkolky Honda Rancher 420 DCT (TRX 420)

Technické údaje a specifikace pochází ze zdrojů [23], [24].

#### 5.2.1 Motor:

-Čtyřtákní jednoválcový motor OHV o objemu 420 cm<sup>3</sup>, vodou chlazený s přímým vstřikováním paliva

-podélná zástavba motoru

Maximální výkon	$P_m = 20 \text{ kW}$	při	$6\,250 \text{ min}^{-1}$
Maximální točivý moment	$M_m = 33,4 \text{ Nm}$	při	$5\,000 \text{ min}^{-1}$

#### 5.2.2 Rozměry:

Délka	2148.84	mm
Šířka	1203.96	mm
Výška	1188.72	mm
Rozchod kol	1292.86	mm
Výška sedla	886.46	mm
Světlá výška	233.68	mm
Mokrá váha	312	kg (včetně kapalin)
Poloměr otáčení	3,5	m
Přední pneu	24 x 8-12	in
- Valivý průměr	609.6	mm
Zadní pneu	24 x 10-11	in
- Valivý průměr	609.6	mm



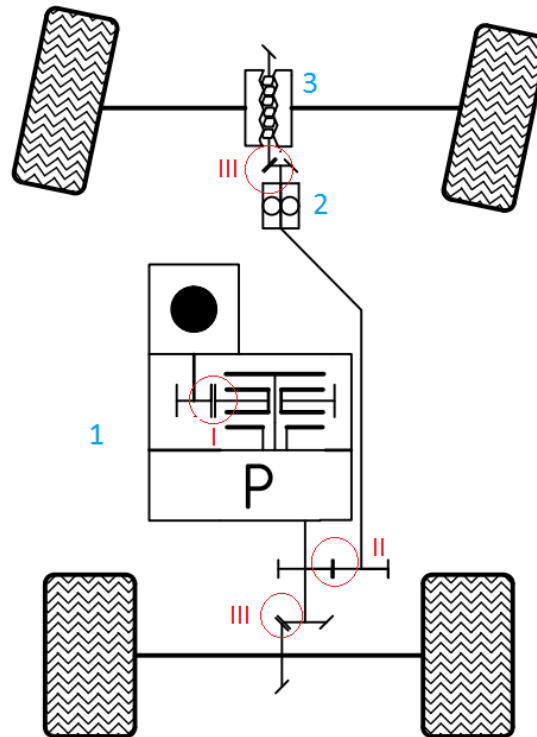
### 5.2.3 Převodové ústrojí:

#### Prvky převodového ústrojí:

- 1 - DCT – Dvojspojková automatická převodovka
- 2 - Honda Traxlok mezinápravová spojka
- 3 - Přední diferenciál s omezeným prokluzem

#### Stálé převody:

- I – Výstupní hřídel (kliková)  
-> Vstupní hřídel převodovky
- II – výstupní hřídel převodovky ->  
Kardanova hřídel
- III – Kuželová převodovka  
diferenciálu



Obrázek 32 - Schéma pohonu Honda Rancher

P – Převodovka hřídelová

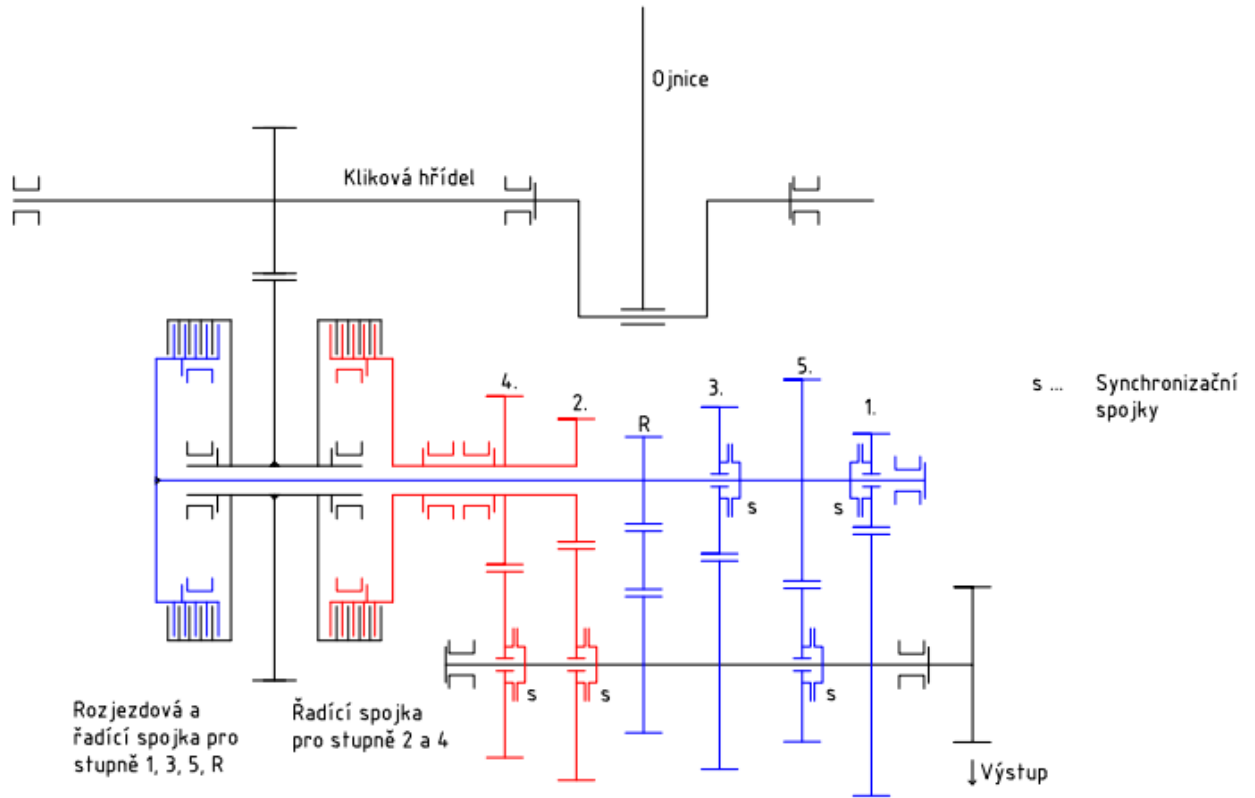
#### Celkový stálý převodový poměr:

- I – 2.103
- II – 1.818
- III – 3.153

$$I_{KC} = I \cdot II \cdot III \quad (5.1)$$

$$I_{KC} = 2,103 \cdot 1,818 \cdot 3,153 = 12,055 \quad (5.2)$$

Schéma uspořádání převodovky P je na obrázku níže. Soukolí každého převodového stupně je doplněné o synchronizační spojky mezi ozubeným kolem a výstupní hřídelí.



Obrázek 33 - Schéma uspořádání převodovky Honda DCT

### Účinnost převodového ústrojí:

Pro výpočet zahrnují účinnost čelních a kuželových soukolí, která jsou při přenosu momentu od motoru na kola čtyři. Viz. Obrázek 32 - Schéma pohonu Honda Rancher.

Účinnost jednoho soukolí čelního soukolí  $\eta_{\xi} = 0.98$  a kuželového  $\eta_k = 0.96$ .

Celková účinnost

$$\eta_C = \eta_{\xi}^3 \cdot \eta_k \quad (5.3)$$

$$\eta_C = 0.90 \quad (5.4)$$

## 5.3 Výpočet

Při návrhu převodovky je nejprve třeba určit rozsah celkového převodu. Rozsah získáme tak, že si určíme převodové poměry pro krajní rychlostní stupně. Z těchto hodnot se pomocí progresivního odstupňování určí zbylé převody a nakonec se tyto převody přerozdělí mezi stálý převod čtyřkolky a převodovku. [25]

Pro výpočet krajních rychlostních stupňů se využije silové rovnováhy sil působících na vozidlo.

$$F_{hnací} = O_v + O_s + O_f \quad (5.5)$$

$F_{hnací}$  ... Hnací síla motoru

$O_v$  ... Odpor vzduchu

$O_s$  ... Odpor stoupání

$O_f$  ... Odpor valení

### 5.3.1 Odpor vzduchu

Aerodynamický odpor se určí ze vzorce

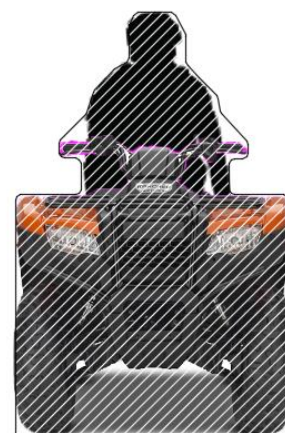
$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2 \quad (5.6)$$

$S_x$  se určí z čelního průmětu. Vzhledem k tomu, že čtyřkolky nejsou příliš aerodynamicky tvarované, koeficient odporu lze brát téměř jako pro rovné desky. Pro výpočet použijí koeficient odporu vzduchu o hodnotě  $c_x = 1$ . Hustota vzduchu při 15 °C  $\rho = 1,225 \text{ 6 kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$$S_x = 1,57 \text{ m}^2$$

$$c_x = 1$$

$$\rho = 1,225 \text{ 6 kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



Obrázek 34 - Čelní plocha čtyřkolky

### 5.3.2 Odpor stoupání

Odpor stoupání využiji při návrhu 1. převodového stupně. Odpor je roven složce síly od tíhy vozidla při pohybu po nakloněné rovině.

$$O_S = G \cdot \sin \alpha \quad (5.7)$$

$m_q = 312 \text{ kg}$       ...hmotnost čtyřkolky

$m_j = 85 \text{ kg}$       ...hmotnost jezdce

$$G = m_c \cdot g = 397 \cdot 9.81 \cong 3895 \text{ N}$$

### 5.3.3 Valivý odpor

Valivý odpor závisí na terénu, pneumatikách a jejich vlastnostech a na zatížení kol.

$$O_f = G \cdot f_i \cdot \cos \alpha \quad (5.8)$$

$$G \cong 3895 \text{ N}$$

Typické hodnoty součinitele odporu valení pro čtyřkolky se mi nepodařilo dohledat. Použiji tedy ponížený součinitel pro osobní a terénní vozidla. Pokud bych chtěl tyto součinitele znát přesně, musel bych je určit experimentálně.

Pro výpočet maximální rychlosti, předpokládám pohyb pro suchém asfaltu. Součinitel odporu pro osobní vozidla po asfaltu  $f_{vs} = 0.015$  ponížím na  $f_s = 0.02$ .

Pro určení stoupavosti uvažuji součinitel odporu pro terénního vozidla po polní cestě  $f_{vp} = 0.1$  ponížený na  $f_p = 0.2$ . [26]

### 5.3.4 Hnací síla

Hnací síla se vypočte z točivého momentu na kolech přes jejich dynamický poloměr. Točivý moment od motoru  $M_M$ , který se přeneše na kola  $M_k$ , musíme násobit převodovým poměrem  $i_c$  a ponížít o ztráty v převodovém ústrojí  $\eta_c$ .

$$F_h = \frac{M_k}{r_d} \quad (5.9)$$

$$M_k = M_M \cdot i_c \cdot \eta_c \quad (5.10)$$

Převodový poměr se určí z poměru úhlové rychlosti motoru k úhlové rychlosti kol.

$$i_c = \frac{\omega_M}{\omega_K} \quad (5.11)$$

$$\omega_M = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_M}{60} \quad (5.12)$$

$$\omega_K = \frac{v}{r} \quad (5.13)$$

$r_d = 0.3 \text{ m}$

$M_M = 30.56 \text{ Nm}$

$n_M = 6250 \text{ min}^{-1}$

...dynamický poloměr kola

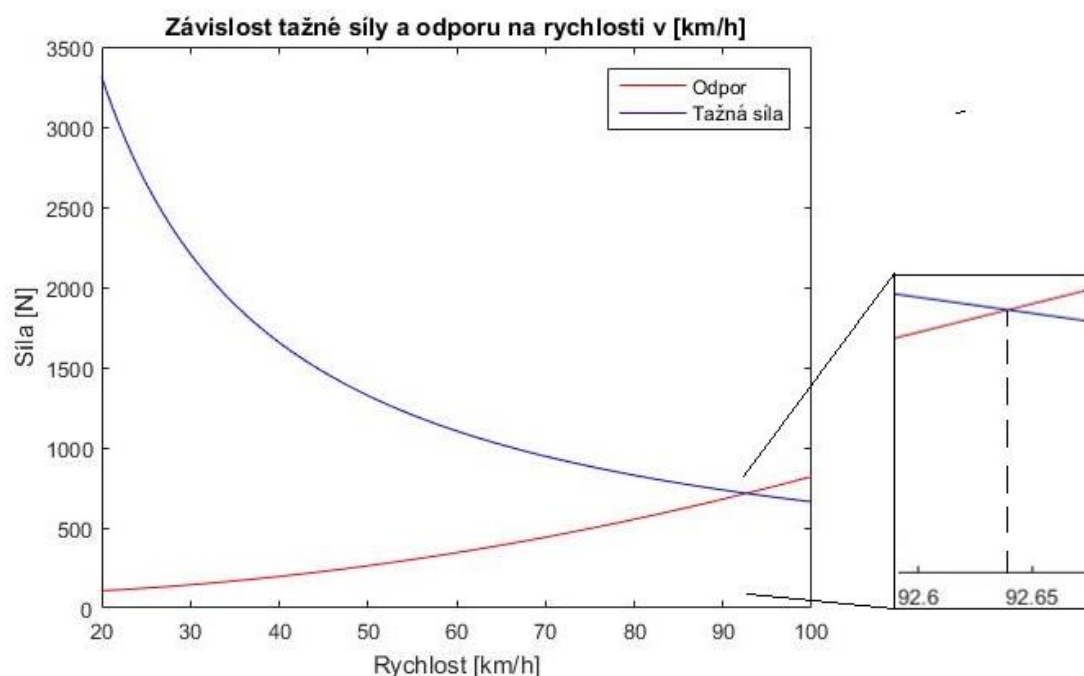
...moment motoru při  $6250 \text{ min}^{-1}$

### 5.3.5 Návrh 5. převodového stupně

Pro návrh nejvyššího převodového stupně je třeba vypočítat, jakou maximální rychlost lze dosáhnout. Ze silových poměrů dopočítám rovnovážný stav mezi odpory proti pohybu  $\Sigma O$  a tažné síly motoru  $F_h$ . Tím se stanoví teoretická maximální rychlost vozidla  $v_{max}$ .

Předpokladem výpočtu je, že čtyřkolka dosáhne  $v_{max}$  na špičce výkonostní křivky při  $P_m = 20kW$  při  $n_M = 6250 \text{ min}^{-1}$ .

Vynesení křivky maximálního výkonu  $F_h = f(v)$  a odporů  $\Sigma O = f(v)$  v závislosti na rychlosti.



Obrázek 35 - Závislost tažné síly a odporu na rychlosti

Z grafu výše (Obrázek 35 - Závislost tažné síly a odporu na rychlosti) lze vyčíst, že teoreticky maximální dosažitelná rychlost při stoupání  $0^\circ$  je 92.6 km/h.

Odpovídající převodový poměr po dosazení do (5.10)(5.11); (5.12); (5.13).

$$i_{c5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 6250}{\frac{60}{\frac{92.6/3.6}{0.3}}} = 7.63 \quad (5.14)$$

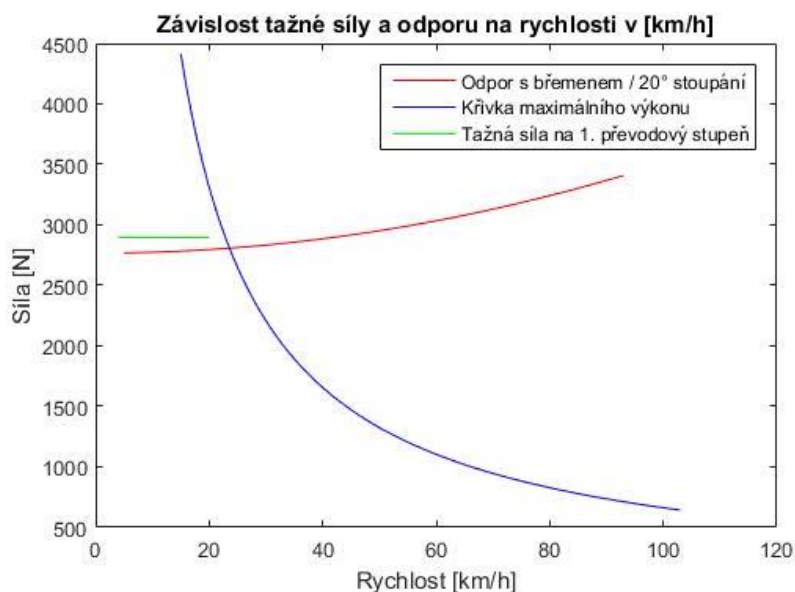
### 5.3.6 Návrh 1. převodového stupně

Pro první převodový stupeň budu vycházet z minimální rychlosti dosažitelné při zařazeném 1. převodové stupni na téměř volnoběžné otáčky motoru  $n_0 = 1000 \text{ ot}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že tyto čtyřkolky jsou využívány k manipulaci a tažení břemen často ve velmi obtížných podmínkách se stísněnými prostory, tak pro minimální rychlost volím rychlost chůze  $v_{min} = 4 \text{ km/h}$ . [27] Čím bude nižší rozjezdová rychlost, tím se také více sníží mechanické namáhání rozjezdové spojky, především při tažení těžkých břemen.

Celkový převodový poměr pro rychlost 4 km/h při 1000 min<sup>-1</sup>:

$$i_{c1} = \frac{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{60}}{\frac{4/3.6}{0.3}} = 28.27 \quad (5.15)$$

Teoreticky maximální stoupavost s břemenem o hmotnosti  $m_b = 384 \text{ kg}$  a valivém odporu  $f_b = 0.02$  pro převodový poměr 1. rychlostního stupně  $i_{c1} = 28.27$  je 20°. Těžší břemeno za čtyřkolku nelze upnout, vzhledem k maximální únosnosti tažného zařízení. Tato stoupavost bude splněna za předpokladu dostatečné adheze mezi koly a povrchem vozovky.



Obrázek 36-Tažná síla 1. převodový stupeň

### 5.3.7 Návrh rozdělení převodových stupňů

Z předchozích výpočtů a grafů jsem navrhl převodové poměry 1. a 5. převodového stupně.

Zbylé převodové stupně určím progresivní metodou, která respektuje nárůst výkonu s otáčkami, a tak jsou menší rozdíly mezi převodovými poměry vyšších rychlostních stupňů. Naopak mezi nižšími převody jsou rozdíly větší.

Nejprve určím pro celkový počet převodových stupňů  $z=5$ , jejich rozsah pomocí vzorce:

$$\delta_z = \delta_5 = \frac{i_1}{i_5} = \frac{28.27}{7.63} = 3.71 \quad (5.16)$$

Pomocí vzorce pro progresivní odstupňování určím skok  $\varphi_z$ :

$$\varphi_z = \sqrt[z-1]{\frac{\delta_z}{\delta^{[0.5 \cdot (z-1) \cdot (z-2)]}}} \quad (5.17)$$

Kde

$z=5$	... Počet převodových stupňů
$\delta_5=3.71$	... Rozsah pro 5 stupňů
$\delta= 1.0 - 1.2 \Rightarrow 1.05$	... Faktor progresse – volená veličina

$$\varphi_5 = \sqrt[4]{\frac{3.71}{1.1^{(0.5 \cdot 4 \cdot 3)}}} = 1.203 \quad (5.18)$$

Nyní určím zbylé převody ze vzorce:

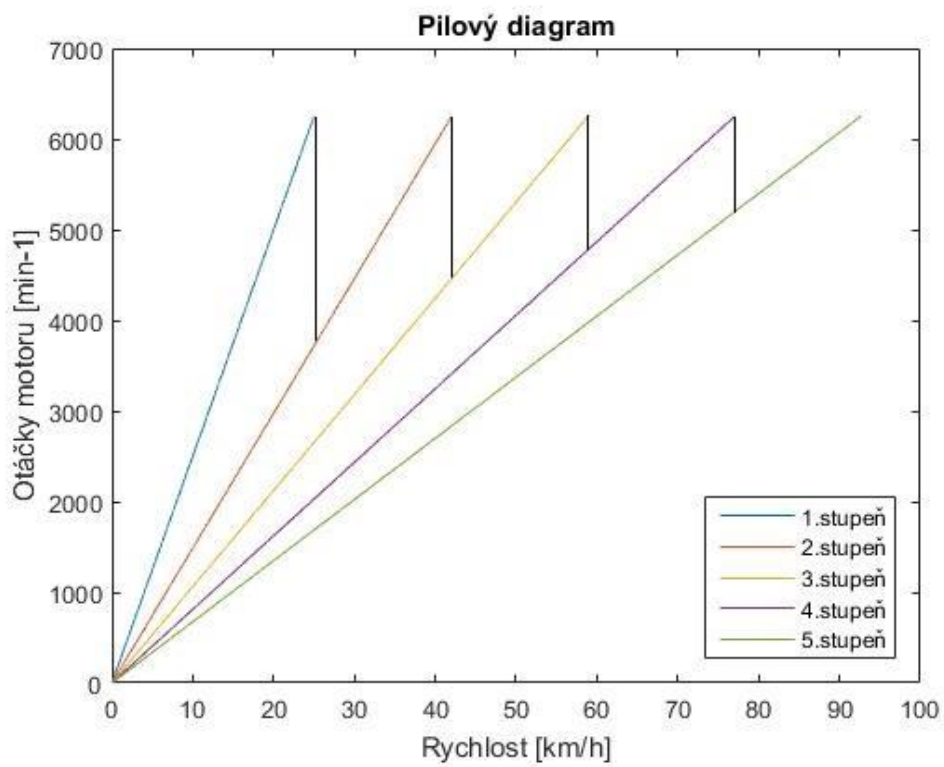
$$i_n = i_z \cdot \varphi_z^{(z-n)} \cdot \delta^{[0.5 \cdot (z-1) \cdot (z-n-1)]} \quad (5.19)$$



Výsledná tabulka s převodovými poměry a skoky mezi nimi a pilový diagram.

Tabulka 1 - Tabulka výsledných převodů

převod n	převod n	1	2	3	4	5
poměr $i_n$	poměr	28.27	16.82	12.0012	9.1756	7.63
Skok $\varphi_n$	skok	-	1.680737	1.401527	1.307947	1.202569



Obrázek 37 - Pilový diagram

## 6 Závěr

Největším překvapením pro mě při vypracovávání této práce byla nedostupnost materiálů ke čtyřkolovým vozidlům. Cílem práce bylo popsat a seskupit používané převodové systémy. Nad mé očekávání jsou tyto systémy velmi sofistikované a každý výrobce řeší, alespoň tedy pohon 4WD, vlastní cestou.

Převodovky jsou nejčastěji variátorové. Najdeme je téměř na všech čtyřkolkách. Je to pravděpodobně z toho důvodu, že CVT převodovky jsou vhodné pro použití v lehčích strojích, kdy není potřeba řešit vysoká zatížení působící na řemen variátoru. Nespornou výhodou je také kompaktnost systému, nízká hmotnost a efektivní využití výkonu motoru. Pouze Honda převodovku CVT nepoužívá, jako jediná vyvíjí jiná řešení.

Nejzajímavější řešení pohonu 4WD nalezneme nejspíše u Polarisu. Jeho využití Hillardovi spojky zjednodušilo celý systém, který potřebuje pouze dvě volnoběžky pro svou funkci. Některé pohony čtyř kol mají naopak nedostatky, například Honda donedávna nenabízela úplnou uzávěrku předního diferenciálu. Zajímavostí je pak téměř úplná absence diferenciálu zadní nápravy. Ze seznamu čtyřkolek jmenovaných v úvodu práce, najdeme zadní diferenciál pouze u některých vybraných modelů čtyřkolek Polaris nebo Kymco.

Návrh převodovky čtyřkolky Honda Rancher jsem bez větších obtíží provedl dle postupu pro osobní vozidla. Pouze návrh prvního převodového stupně jsem zvolil odlišným způsobem, vzhledem k tomu, že pro užitkové čtyřkolky je důležitá tažná síla a manévrovatelnost při nízkých rychlostech oproti akceleraci.

## Seznam použitých symbolů

symbol	jednotka	význam
$c_x$	[-]	součinitel odporu vzduchu
$F_h$	[N]	tažná síla motoru
$f_n$	[-]	součinitele odporu
$G$	[N]	tíhová síla
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$I_n$	[-]	převodový poměr
$M_k$	[N.m]	točivý moment na kole
$M_m$	[N.m]	maximální točivý moment motoru
$m_q$	[kg]	hmotnost čtyřkolky
$m_j$	[kg]	hmotnost jezdce
$m_c$	[kg]	hmotnost celková
$n_n$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru při n otáčkách
$O_v$	[N]	odpor vzduchu
$O_s$	[N]	odpor stoupání
$O_f$	[N]	odpor valení
$P_m$	[W]	výkon
$r_d$	[m]	dynamický poloměr kola
$S_x$	[m <sup>2</sup> ]	čelní průmět čtyřkolky
$v$	[m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost
$z$	[-]	počet převodových stupňů
$\alpha$	[°]	úhel stoupání
$\delta_z$	[-]	rozsah z převodových stupňů
$\eta$	[-]	účinnost
$\rho$	[kg.m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$\varphi_z$	[-]	skok z převodových stupňů
$\omega_M$	[rad.s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost motoru
$\omega_K$	[rad.s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost kola

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Yamaha YFZ 450 R [3] .....	10
Obrázek 2 - Schéma pohonu Yamaha YFZ 450 .....	11
Obrázek 3- Yamaha Assist and Slippery clutch [3].....	12
Obrázek 4 - Honda Fourtrax Foreman 2016 [8] .....	13
Obrázek 5 - Schéma funkce CVT převodovky [31].....	14
Obrázek 6 - Schéma pohonu CVT .....	14
Obrázek 7 - CVT - Řemen [28] .....	15
Obrázek 8 - Hřídelová převodovka - Graf závislosti otáček na rychlosti při maximální akceleraci [11].....	16
Obrázek 9 - CVT - Graf závislosti otáček na rychlosti při maximální akceleraci [10].....	16
Obrázek 10 - Jednotka pro volbu převodového stupně [30] .....	17
Obrázek 11 - Schéma pohonu ESP Honda FourTrax Foreman 4x4 (2016).....	17
Obrázek 12 - 3 - stupňová převodovka Honda Rincon [29] .....	18
Obrázek 13 - Schéma pohonu s hydrodynamickým měničem - Honda Rincon .....	18
Obrázek 14- pístová axiální pumpa pevným kotoučem [14] .....	19
Obrázek 15- Axiální hydraulický motor s proměnným sklonem kotouče [14].....	20
Obrázek 16 - Hydraulické čerpadlo (Rotující šikmý kotouč) [17] .....	21
Obrázek 17 - Hydraulický motor (Variabilní šikmý kotouč) . [16] .....	21
Obrázek 18 - Schéma uspořádání systému Hondamatic [17] .....	22
Obrázek 19 - Schéma pohonu Hondamatic - Honda FourTrax Rubicon 2013 .....	23
Obrázek 20 - Honda DCT – Řez hnací jednotkou [17].....	24
Obrázek 21 - Schéma převodového ústrojí DCT [18].....	25
Obrázek 22 - Schéma pohonu DCT .....	26
Obrázek 23- Obousměrná volnoběžka s iniciační elektromagnetickou spojkou [8] .....	28
Obrázek 24 - Neutrální poloha spojky (vlevo) a zablokovaná poloha spojky (vpravo) [7] .....	29
Obrázek 25 - Řez tělesem spojky TraxLok [18].....	29
Obrázek 26 - Diferenciál s posuvnými kameny [21] .....	30
Obrázek 27 - Diferenciál Yamaha On-Command [22].....	31

Obrázek 28 - Otevřený diferenciál Yamaha On-Command(vlevo) a uzavřený (vpravo) [22] .....	31
Obrázek 29 - Schéma centralizované Hillardovi spojky .....	32
Obrázek 30 - Sepnutý stav Hillardovi spojky .....	33
Obrázek 31 - Neutrální poloha Hillardovi spojky .....	33
Obrázek 32 - Schéma pohonu Honda Rancher.....	35
Obrázek 33 - Schéma uspořádání převodovky Honda DCT.....	36
Obrázek 34 - Čelní plocha čtyřkolky.....	37
Obrázek 35 - Závislost tažné síly a odporu na rychlosti .....	40
Obrázek 36-Tažná síla 1. převodový stupeň .....	41
Obrázek 37 - Pilový diagram .....	43

## Citovaná literatura

- [1] DEGELMANN, René. *Dokonalá jízda na čtyřkolce: ATV, quad*. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 9788072323845.
- [2] AHLSTRAND, Alan. a John HAYNES *Honda TRX350, TRX250 and TRX250EX ATV owners workshop manual*. Newbury Park, Calif.: Haynes North America, 2009. Haynes owners workshop manual series. ISBN 1563927780.
- [3] *Yamaha Motor* [online]. 2016 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.motorcycle.com/manufacture/yamaha/2016-yamaha-fjr1300a-and-fjr1300es-review.html>
- [4] YAMAHA MOTOR CORPORATION, U.S.A.,. *YFZ450S SERVICE MANUAL*. First Edition, May 2014. U.S.A.: Yamaha Motor Corporation, 2014. ISBN LIT-11616-17-11.
- [5] *Yamaha Motor Sports* [online]. 2016 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <https://www.yamahamotorsports.com/sport-atv/models/yfz450r>
- [6] *Yamaha Motor Sport* [online]. 2016 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <https://www.yamahamotorsports.com/cruiser-touring/models/roadliners/videos>
- [7] ACHTENOVÁ, Gabriela a Vlastislav TŮMA. *Vozidla s pohonem všech kol*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002367.
- [8] ROUSSEAU, Scott. *ATV.com* [online]. 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.atv.com/manufacturers/honda/2015-honda-atv-lineup-unveiled-2318.html>

- [9] NICHTRED. MS.-DR., *Drivetrain for Vehicles 2015 : Transmissions in Commercial Vehicles : Control Solutions for Transmissions : Friedrichshafen, June 16 - 17, 2015*. 1. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2015. ISBN 978-3-18-092256-0.
- [10] *CVT Diagram* [online]. b.r. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.600cc.org/forum/f68/shifting-normal-vs-aggressive-22783/index3.html>
- [11] *Honda PowerSports* [online]. 2016 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://powersports.honda.com/>
- [12] LECHNER, G., Harald NAUNHEIMER a Joachim. RYBORZ *Automotive transmissions: fundamentals, selection, design, and application*. 1. New York: Springer, 1999. ISBN 354065903X.
- [13] ANDREEV, Aleksandr Fedorovich., Viachaslau I. KABANAU a V. V. VANTSEVICH *Driveline systems of ground vehicles: theory and design*. 2010. Boca Raton: CRC Press, 2010. Ground vehicle engineering series. ISBN 1439817278.
- [14] *Publi* [online]. b.r. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/images/pics/37.jpg>
- [15] *Honda Motor Hondamatic* [online]. 2010 [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <http://world.honda.com/motorcycle-technology/hondamatic/p5.html>
- [16] *Honda Foreman* [online]. 2010 [cit. 2016-5-13]. Dostupné z: <http://www.hondaforeman.com/147-rubicon-500/70964-hondamatic-transmission.html>
- [17] *ATV and SxS Illustrated* [online]. b.r. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://atvillustrated.com/content/double-play-new-models-first-look>
- [18] *Honda PowerSports: DCT\_Cut* [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: [http://powersports.honda.com/documentum/experience/images/14Jan\\_Rancher-AT-Auto-Trans\\_01\\_gallery\\_large.jpg](http://powersports.honda.com/documentum/experience/images/14Jan_Rancher-AT-Auto-Trans_01_gallery_large.jpg)

- [19] MIZUNO, Kinya, Seiji HAMAOKA, Eiji KITAKA a Masaki KOBAYASHI. *Development of a Dual-Clutch Transmission System for ATVs* [online]. In: . b.r., s. - [cit. 2016-06-14]. DOI: 10.4271/2009-01-0514. Dostupné z: <http://papers.sae.org/2009-01-0514/>
- [20] *Polaris Owners Manual 2016*. 1. U.S.A.: Polaris, 2016. ISBN 9926438.
- [21] PFEIFER, Ralf. *ArsTechnica* [online]. 2015 [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <http://www.arstechnica.de/auto/differential/bauarten/zahnlos1.html>
- [22] *YamahaTechAcademy* [online]. 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=pGMkKJDSCJ0>
- [23] *Honda Rancher 420 DCT* [online]. 2016 [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <http://powersports.honda.com/2017/fourtrax-rancher/specifications.aspx>
- [24] *HondaProKevin\_HP\_Chart* [online]. 2015 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://www.hondaprokevin.com/2016-honda-atv-horsepower-chart-numbers-utility-4x4-sport-quad-2x4-four-wheeler/>
- [25] ACHTENOVÁ, Gabriela, Jan BANĚČEK a Josef KOLÁŘ. *Převodná ústrojí vozidel: návrh odstupňování převodovek*. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 9788001055571.
- [26] MORAVEC, Vladimír. *Mechanické a hydraulické převody: mechanické převody*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 8070788070.
- [27] *Mechanika ZCU* [online]. b.r. [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/mechanics/p/p1.htm>
- [28] *CVT* [online]. b.r. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.gates.com/products/automotive/powersport-recreational/gforce-cvt-belts>



- [29] *Rincon Riders* [online]. 2007 [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.rinconriders.com/19-drivetrain/11461-here-how-rincon-transmission-works-illustrated.html>
- [30] *HondaProKevin* [online]. 2016 [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <http://www.hondaprokevin.com/atv-models/2016/honda-foreman-500-eps-review-specs-trx500fm2g-4x4-utility>
- [31] *GObdp.com* [online]. b.r. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://gobdp.com/wp-content/uploads/2014/02/CVT-operation-richhelms-net.jpg>

## 7 Přílohy

### 7.1 CD-ROM – výpočty v programu Matlab