

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra využití strojů



Bakalářská práce

Multikriteriální porovnání vybrané typové řady tahačů návěsů

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Konzultant: Ing. Václav Novák

Autor práce: Karel Kolodziej

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Karel Kolodziej

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Multikriteriální porovnání vybrané typové řady tahačů návěsů

Název anglicky

Multicriterial comparison of a selected series of tractor semi-trailers

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je charakterizovat metody a přístupy používané při multikriteriálním hodnocení variant návrhů se zaměřením na vybranou typovou řadu tahačů návěsů. Pro tyto tahače uvést přehled technických, technologických a ekonomických parametrů a vybrat vhodná kritéria pro hodnocení. Následně stanovit významnost kritérií a vhodnou metodou realizovat multikriteriální porovnání.

Metodika

Metodický postup zpracování bude sestávat ze 4 hlavních kroků, tj.:

1. Charakteristika metod a přístupů používaných při multikriteriálním hodnocení.
2. Rozbor vhodných kritérií pro hodnocení variant návrhů.
3. Charakteristika vybraného segmentu tahačů návěsů. Stanovení významnosti kritérií a multikriteriální porovnání variant návrhů.
4. Závěry a doporučení.

Doporučený rozsah práce

30

Klíčová slova

kritéria hodnocení vozidel, parametry vozidel, multikriteriální porovnání, tahače návěsů

Doporučené zdroje informací

KAVAN M.: Výrobní a provozní management. Grada Publishing, Brno, 2002.

KAVKA, M.: Řízení a organizace výrobních procesů. Interní studijní text. ČZU v Praze, Technická fakulta, Praha, 2020.

RATAJ, V.: Projektovanie výrobných systémov. Výpočty a analýzy. SPU v Nitre, Nitra, 2005.

TIDD, J., BESSANT, J., PAVITT, K.: Managin innovation: Integrating Technological, Market and Organisational Change. Nottingham Trent University, Nottingham, 2001.

TOMEK, G., VÁVROVÁ, V.: Řízení výroby a nákupu. Grada Publishing, Brno, 2007.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra využití strojů

Konzultant

Ing. Václav Novák

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2020

doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 05. 2021

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Multikriteriální porovnání vybrané typové řady tahačů návěsů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

.....

Karel Kolodziej

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Petru Šařcovi, Ph.D., za odborné vedení této bakalářské práce a panu Ing. Václavu Novákovi za konzultace, ochotu a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat panu Pavlu Běhunkovi za spolupráci a poskytnutí informací o jeho firmě, díky nimž bylo možné tuto práci realizovat. V závěru bych rád poděkoval Bc. Ivetě Kosové a Mgr. Michaele Kosové za korekturu práce a v neposlední řadě také svým rodičům a přátelům za podporu během celého studia.

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá multikriteriálním porovnáním vybrané specifikované řady tahačů návěsů na základě požadavků dotazované přepravní společnosti. Práce nejprve charakterizuje dopravní firmu Autodoprava – Pavel Běhunek, pro kterou je tahač vybírán, a její požadavky na tahač návěsů. Následně jsou popsány jednotlivé parametry, jež je nutné zvolit při konfiguraci tahače. Poté jsou popsány metody multikriteriálního porovnání a metody pro stanovení vah jednotlivých kritérií. Kritéria jsou sestavena za asistence majitele přepravní společnosti. Nakonec je pomocí těchto metod vybrán nejlepší model tahače návěsů. Vybíráno je z osmi výrobců dostupných na tuzemském trhu, z nichž čtyři byly schopni splnit zadanou specifikaci vozidla a poskytnout dané informace. Následně je doporučen nejlépe hodnocený tahač, kterým je vozidlo od výrobce DAF.

Klíčová slova: tahač, multikriteriální porovnání, parametry vozidel, hodnocení parametrů

Multi-criteria comparison of selected series of tractor semi-trailers

Summary: This bachelor thesis applies multi-criteria comparison to the selected specified series of tractor semi-trailers which are based on the requirements of the surveyed transport company. Firstly, the thesis characterizes the transport company Autodoprava – Pavel Běhunek and its requirements for tractor semi-trailer which are then preferred. Secondly, it describes various parameters that must be chosen during the configuration of the tractor. Afterwards, the methods of multi-criteria comparison and the methods for determination of weights of individual criteria are defined. The criteria are compiled in cooperation with the owner of the transport company. Finally, these methods are used to select the best model of tractor. Models are picked from eight manufacturers available on the domestic market. Four of these manufacturers were able to meet specified configuration of the tractor and provide the information. Subsequently, the best rated tractor is recommended which is a vehicle from the manufacturer DAF.

Key words: tractor semi-trailers, multi-criteria comparison, vehicle parameters, comparison of parameters

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika.....	2
4	Teoretická východiska	3
4.1	Tahače návěsů	3
4.1.1	Nákladní automobil.....	3
4.1.2	Tahač návěsů.....	6
4.1.3	Základní konstrukční části volené při konfiguraci tahače	6
4.2	Multikriteriální porovnání	13
4.2.1	Základní pojmy	13
4.2.2	Převod kritéria minimalizačního na maximalizační či naopak.....	14
4.2.3	Metody pro výpočet hledané varianty	14
4.2.4	Stanovení vah kritérií.....	16
5	Výsledné porovnání.....	18
5.1	Firma Autodoprava – Pavel Běhuněk	18
5.1.1	Vozový park Dopravce	19
5.1.2	Požadavky Dopravce na tahač návěsů	19
5.2	Vytvoření základní konfigurace vozidla	20
5.3	Stanovení vah jednotlivých kritérií	21
5.4	Výpočet nejlepšího řešení	23
6	Závěr.....	26
7	Seznam použitých zdrojů	28
8	Seznam obrázků.....	31

1 Úvod

Jedním z typů nákladních automobilů je tahač návěsů. V roce 2018 bylo v České republice registrováno celkem 4 360 tahačů, ve státech Evropské unie včetně České republiky celkem 2 319 825 tahačů. Průměrné stáří tahačů bylo 13,9 roku (Eurostat, 2021).

Návěs je druh přípojného vozidla, dělí se na různé typy, jako jsou například plachtové, izotermické, skříňové nebo podvalníkové. Každý typ návěsu je určen pro konkrétní druh nákladu a spolu s tahačem tvoří automobilovou soupravu určenou pro tento typ přepravy. Podle typu návěsu je zapotřebí zvolit i vhodnou konfiguraci tahače.

Dopracovníci při koupi tahače kladou důraz především na co nejnižší spotřebu tahače a servisní náklady. Při koupi tahače se ceny pohybují v rozmezí zhruba od 70 000 eur do 140 000 eur. Pokud však bude mít tahač spotřebu např. $0,3 \text{ l}\cdot\text{km}^{-1}$ a roční nájezd se bude pohybovat kolem 100 000 km, budou při ceně nafty $1,16 \text{ eur}\cdot\text{l}^{-1}$ náklady na palivo činit 34 800 euro za rok. Mezi další náklady patří například silniční daň a mýtné na dálnicích, jejichž cena se odvíjí od emisní normy, kterou daný tahač splňuje a další. Náklady na tahač činí velkou část výdajů a je kladen velký důraz na jejich snížení (Slabý, 2016). Při koupi tahače je nutno tyto aspekty brát v úvahu. Pro dopravce je výhodnější kupovat tahače na leasingový úvěr, avšak u menších dopravců se zvyšuje riziko, že nebudou schopni zajistit dostatečně velký příjem, aby mohli leasingové splátky umořit. V dnešní době je nabízeno velké množství konfigurací, a přední výrobci jsou tak schopni každý tahač sestavit individuálně pro potřeby zákazníka. Je tedy důležité správně specifikovat, jaké bude využití tahače, kde bude tahač provozován, jaký bude vozit náklad atd. Na základě těchto požadavků je možné vyrobit vhodný tahač. Nevhodně zvolená konfigurace může mít pak za následek nadměrné namáhání některých součástí vozidla, provoz motoru v neoptimálním rozsahu otáček, a s tím spojenou vyšší spotřebu paliva, a v krajních případech větší riziko zranění osádky vozidla (provoz v rizikových oblastech bez použití ochranných prvků).

Tato práce se zabývá porovnáním specifikovaných tahačů návěsů pomocí metod multikriteriálního porovnání. Účelem je najít vhodný tahač pro firmu Autodoprava – Pavel Běhunek. Specifikuje, co je třeba nakonfigurovat při stavbě tahače, a tyto parametry a důsledky jejich volby pak popisuje. Dále je pro porovnání sestavena konkrétní konfigurace tahače na základě požadavků dotázaného dopravce. Pro tuto konfiguraci jsou vybrána určitá kritéria, s jejichž pomocí je volena nejlepší varianta.

2 Cíl práce

Cílem práce je vybrat tahače návěsů pro firmu Autodoprava – Pavel Běhunek, které budou splňovat stanovená kritéria dopravce. Tyto tahače se budou následně porovnávat pomocí jedné z metod multikriteriálního porovnání. Poté bude vybrán tahač, jenž nejlépe splňuje potřeby dopravce, a je tedy nejvíce vhodný ke koupi.

3 Metodika

Pro dopravce jsou nejdůležitější následující hlediska (v pořadí od nejdůležitějšího po nejméně důležité): kupní cena tahače, splnění předchozích požadavků, spotřeba a náklady na servis. Z hlediska spotřeby u vozidel kategorie N není povinností ji udávat při homologaci vozidla a nelze tedy použít žádné tabulkové údaje (Zákon č. 56/2001 Sb.). Spotřebu tahače lze ovlivnit mnoha faktory, např. stylem jízdy, stavem vozidla nebo jeho konfigurací, proto je spotřeba velmi individuální pro každý tahač. Pokud by měla být do hodnocení zahrnuta přímo spotřeba paliva, bylo by nutné provést měření na konkrétním tahači, který by odpovídal stejným požadavkům, jež jsou uvedeny Dopravcem (Slabý, 2016). Hodnotí se tedy kritérium, které se na snížení spotřeby může podílet, a tím jsou hmotnost tahače a největší možný objem palivové nádrže pro co nejdelší dojezd. Dále by bylo možné počítat s koeficientem odporu vzduchu, ale ten výrobci neudávají.

Vybraná kritéria jsou sepsána v tabulce č. 1 a byla vybrána tak, aby splňovala přání dopravce.

Tabulka 1 Vybraná kritéria

Parametr	Kritérium
p1	Výška vozidla
p2	Délka vozidla
p3	Světlá výška vozidla
p4	Celková pohotovostní hmotnost vozidla
p5	Poloměr otáčení vozidla
p6	Cena vozidla
p7	Objem palivové nádrže
p8	Objem nádrže na AdBlue
p9	Výkon motoru
p10	Maximální točivý moment motoru
p11	Výkon pomocné brzdy
p12	Servisní náklady na 4 roky při nájezdu 70 000-100 000 km
p13	Emise CO ₂
p14	Délka lehátka

Zdroj: (Autor, 2021)

Pro stanovení vah jednotlivých kritérií bude vybrána metoda Fullerova trojúhelníku, která je popsána v kapitole 4.2.4.2. Pro nalezení nejlepší varianty bude potom vybrána metoda TOPSIS, jenž je uvedena v kapitole 4.2.3.1.

4 Teoretická východiska

4.1 Tahače návěsů

Tahač návěsů je automobil uzpůsobený k tahání přípojného vozidla neboli návěsu. Tahač tedy zajišťuje pohon a návěs ložnou plochu pro určitý náklad. Spolu s návěsem tvoří automobilovou soupravu, která je omezena legislativou.

4.1.1 Nákladní automobil

Nákladní automobil je vozidlo určené k přepravě nákladů. Dělí se na různé druhy podle způsobu použití. Každý z těchto druhů je určen pro konkrétní typ nákladu.

4.1.1.1 Definice

Nákladní automobily jsou motorová vozidla s nejméně čtyřmi koly konstruovaná a vyrobená pro dopravu nákladů (Zákon č. 56/2001 Sb.). Tato vozidla se označují jako kategorie N. Mezi podkategorie poté patří vozidla (Koutný, 2002):

- a) N_1 – vozidla s nejvyšší přípustnou hmotností 3,5 t;
- b) N_2 – vozidla převyšující hmotnost 3,5 t ale nepřevyšující 12 t;
- c) N_3 – vozidla převyšující největší přípustnou hmotnost 12 t.

Přípustná hmotnost je definována jako hmotnost vozidla s provozními náplněmi, řidičem a nákladem. Nákladních automobilů kategorie N je několik druhů: valníkový, sklápěčový, skříňový, cisternový, mrazírenský, autodomíhávač, tahač návěsů a jiné. Existují také speciální automobily kategorie N. Ty jsou definovány jako vozidla určená k provádění speciálních činností. Tato vozidla tedy nejsou primárně určena pro převoz osob nebo nákladu. Jsou vybavena speciálními pevně zabudovanými zařízeními. Pod tento druh spadá např.: autojeřáb, požární automobil, pohřební vůz, pojízdná dílna, vyprošťovací vozy a další (Weigel, 2001).

4.1.1.2 Legislativní limity

V České republice udávají zákon č. 56/2001 Sb. a vyhláška č. 341/2014 Sb. limity pro vozidla pohybující se na pozemních komunikacích. Pro vozidla nad 3,5 t jsou tyto limity rozměrové a hmotnostní.

Hmotnostní limity udávají maximální povolenou hmotnost vozidla nebo soupravy. Jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Tabulka 2 Seznam limitních hmotností pro jednotlivá vozidla

Popis kritéria	Doplňěk ke kritériu	Největší povolená hmotnost (t)
Motorová vozidla se dvěma nápravami		18
Motorová vozidla se dvěma nápravami	Jedná-li se o vozidlo kategorie M ₃ *	19
Motorová vozidla se třemi nápravami		25
Motorová vozidla se třemi nápravami	Je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží pneumatik a vzduchovým pérováním (nebo rovnocenným) nebo pokud je každá hnací náprava opatřena dvojitou montáží pneumatik	26
Motorová vozidla se čtyřmi a více nápravami		32
Přívěsy se dvěma nápravami		18
Přívěsy se třemi nápravami		24
Přívěsy se čtyřmi a více nápravami		32
Jízdní soupravy		48

*vozidlo s více než osmi místy k sezení, kromě místa sezení řidiče a s maximální hmotností

Zdroj: (Celjak, 2017)

Limity jsou stanoveny také pro nejvyšší povolenou hmotnost na nápravu, ty jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tabulka 3 Seznam maximálních zatížení jednotlivých náprav

Popis kritéria	Doplněk ke kritériu	Největší povolená hmotnost (t)
Jednotlivá náprava		10
Jednotlivá náprava hnací		11,5
Dvojnáprava motorového vozidla při dílčím rozvoru	méně než 1 m	11,5
Dvojnáprava motorového vozidla při dílčím rozvoru	od 1 a méně než 1,3 m	16
Dvojnáprava motorového vozidla při dílčím rozvoru	od 1,3 a méně než 1,8 m, je-li hnací náprava vybavena dvojitou montáží pneumatik a vzduchovým pérováním (nebo rovnocenným) nebo pokud je každá hnací náprava opatřena dvojitou montáží pneumatik a max. zatížení na nápravu nepřekročí 9,5 t	19
U dvojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení obou náprav dvojnápravy nesmí překročit	při jejím dílčím rozvoru méně než 1 m	11
U dvojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení obou náprav dvojnápravy nesmí překročit	při jejím dílčím rozvoru od 1 m a méně než 1,3 m	16
U dvojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení obou náprav dvojnápravy nesmí překročit	při jejím dílčím rozvoru od 1,3 m a méně než 1,8 m	18
U trojnápravy motorových vozidel		27
U jednotlivé nepoháněné nápravy v trojnápravě		9
U trojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení tří náprav trojnápravy nesmí překročit	při jejich větším z dílčích rozvorů jednotlivých náprav do 1,3 m včetně	21
U trojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení tří náprav trojnápravy nesmí překročit	při jejich větším z dílčích rozvorů jednotlivých náprav nad 1,3 m do 1,4 m včetně	24
U trojnápravy přípojných vozidel, součet zatížení tří náprav trojnápravy nesmí překročit	při jejich větším z dílčích rozvorů jednotlivých náprav nad 1,4 m do 1,8 m včetně	27

Zdroj: (Celjak, 2017)

Co se týče rozměrových limitů, největší povolená délka jednotlivého vozidla nesmí přesáhnout 12 m (vyjma autobusu a návěsu). Pro soupravy tahače s návěsem je maximální délka určena na 16,5 m, souprava motorového vozidla s přívěsem může dosahovat délky maximálně 18,75 m, soupravy s dvěma přívěsy nebo s návěsem a jedním přívěsem 22 m. Dalším limitujícím rozměrem je šířka, která nesmí přesáhnout 2,55 m (vozidla s tepelně izolovanou nástavbou 2,6 m). Výška vozidla musí být maximálně 4 m (u vozidel určených pro přepravu vozidel 4,2 m) (Koutný, 2002). Zákon č. 361/2000 Sb. dále ukládá vozidlům a jízdním soupravám nad 3,5 t maximální povolenou rychlost $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Z tohoto důvodu musí být všechny nákladní automobily nad 3,5 t vybaveny omezovačem rychlosti. Na základě tohoto zákona se také sleduje dodržování povinných přestávek řidičů pomocí zařízení zvaného tachograf (Faus, 2007).

4.1.2 Tahač návěsů

Tahač návěsů je automobil uzpůsobený k tahání návěsu, což jsou přípojná vozidla, u kterých je podstatná část jejich celkové hmotnosti přenášena na tahač. Tahače návěsů jsou nejčastěji dvou nebo třinápravové. Čtyřnápravové tahače jsou pak určeny pro tahání nadrozměrných a těžkých břemen, převyšujících povolené limity (Weigel, 2001).

4.1.3 Základní konstrukční části volené při konfiguraci tahače

V České republice jsou, jako nově vyrobené, nabízeny tahače návěsů pouze od těchto výrobců: DAF, Ford, Iveco, MAN, Renault, Mercedes, Scania a Volvo (Centrální registr vozidel, 2021). Společnost Tatra sice také vyrábí tahač návěsů, ale pouze s homologačním označením traktor.

4.1.3.1 Hnací ústrojí

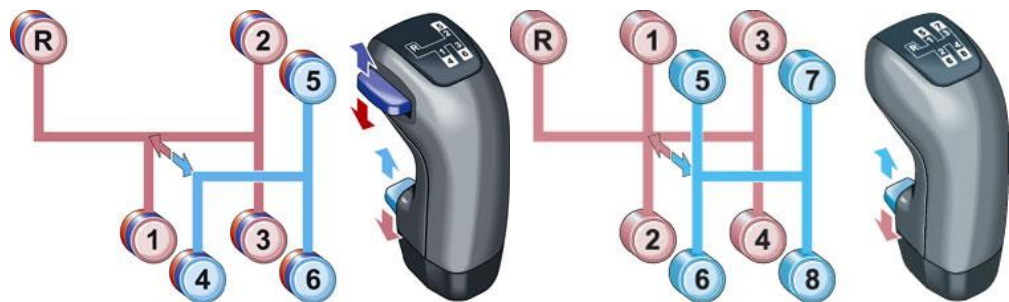
V následujících podkapitolách jsou uvedena jednotlivá konstrukční řešení součástí hnacího ústrojí. Detailnější popis jednotlivých konstrukcí nelze uvést, jelikož se jedná o obchodní tajemství všech společností, jež tyto informace nesdělují.

Motory tahačů návěsů jsou z velké míry vznětové, tedy uzpůsobené ke spalování nafty vyrobené z ropy, můžeme se ovšem také setkat s motory upravenými pro paliva jako HVO (Hydrogenated Vegetable Oils) a FAME (Fatty Acid Methyl Esther). Paliva HVO a FAME jsou označována jako biopaliva 1. generace, což jsou paliva vyrobená z biomasy, kterou je možno využívat i pro výrobu potravin a krmiv (Šimáček, 2017). Dále jsou v nabídce např. motory upravené pro spalování Ethanolu (ED95), nebo zkapalněného ropného plynu (LPG). Co se týče alternativních pohonů (hybridních, elektrických nebo na kapalný vodík), není na českém trhu dostupný žádný výrobce, který by tuto specifikaci nabízel. Všechny uvedené alternativní typy pohonů jsou zatím jen ve fázi testování nebo nejsou dostupné pro český trh (Šmerda, 2013).

Většina nabízených motorů jsou řadové šestiválce nebo čtyřválce. Pouze výrobce Scania nabízí ve vrcholných verzích vznětový osmiválec s uložením válců do V. Nabídka motorů je velmi široká, takže zdvihové objemy se pohybují v rozmezí od 7,7 dm³ do 16,35 dm³. Pro stejné zdvihové objemy je navíc udáváno více výkonových variant. Výkony se pohybují v rozmezí od 175 kW (s maximálním točivým momentem 1 000 Nm) do 550 kW (s maximálním točivým momentem 3 550 Nm). Všechny nabízené motory plní emisní normu Euro 6 (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021) (MAN, 2021) (DAF, 2021) (Iveco Trucks, 2021) (Renault, 2021) (Ford Trucks, 2021).

Pokud jde o převodovky, všichni výrobci nabízí celkem tři technická provedení převodovek. Prvním typem je klasická manuální v různých provedeních např. osmistupňová, dvanáctistupňová nebo šestnáctistupňová. Tyto převodovky používají změnu rozsahu, dělicí převodovkou nebo obojí. Ukázkou volení převodů na řadící páce je možno vidět na obrázku 1 (Vlk, 2006) (Volvo Trucks, 2021) (Scania, 2021) (Renault, 2021) (DAF, 2021) (Iveco Trucks, 2021) (MAN, 2021).

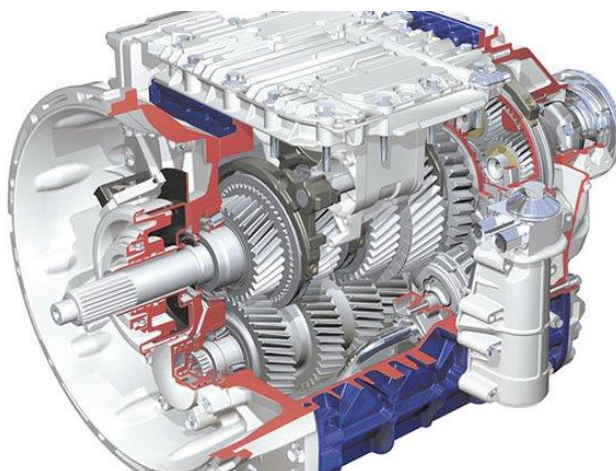
Obrázek 1 Schéma manuálního řazení (vlevo 12stupňová manuální převodovka, vpravo manuální 8stupňová převodovka) pro převodovky značky Scania



Zdroj: (Scania, 2021)

Dále jsou v nabídce automatizované převodovky, které vychází z konstrukce manuální převodovky. Převodová skříň tedy obsahuje ozubené převody, jež jsou řazeny pomocí synchronizačních spojek. Převodovka je odpojována od motoru pomocí klasické lamelové spojky. O zařazení převodů a odpojování lamelové spojky se stará hydraulický nebo elektromagnetický systém. Tyto převodovky disponují stejným počtem převodových stupňů jako manuální. U vozidel Scania je možnost lamelovou spojku při rozjezdech ovládat řidičem pomocí pedálu spojky a při řazení dalších převodových stupňů u již rozjetého vozidla spojku ovládá systém samostatně nebo lze převodovku objednat s úplnou absencí spojkového pedálu. Ostatní výrobci nabízejí automatizované převodovky s úplnou absencí spojkového pedálu, takže spojku při rozjezdech ovládá automaticky systém řazení. Tyto převodovky mají různá obchodní označení: TipMatic (MAN), I-shift a I-shift DC (Volvo), HI-TRONIX (Iveco), TraXon (DAF a Ford), PowerShift (Mercedes) nebo Opticruise (Scania). Převodovka Volvo I-shift DC oproti I-shift je navíc vybavena dvěma lamelovými spojkami (každá pro určité převody) pro rychlejší řazení převodových stupňů. Na obrázku 2 lze pozorovat průřez automatizovanou převodovkou Volvo (Vlk, 2006) (Volvo Trucks, 2021) (Scania, 2021).

Obrázek 2 Průřez převodovkou I-Shift



Zdroj: (Auto.cz, 2021)

Posledním nabízeným typem jsou plně automatické převodovky, nejčastěji šestistupňové s dvěma výkonovými režimy. O odpojení od motoru se stará hydrodynamický měnič. Tento typ převodovky je však určen převážně do městského provozu, kde se vozidlo často rozjíždí a zastavuje nebo pro speciální účely jako je pohyb v lomu (Scania, 2021) (Vlk, 2006) (MAN, 2021) (Volvo Trucks, 2021).

Další součástí hnacího ústrojí, kterou je nutno u výrobce nakonfigurovat, je rozvodová skříň, jež slouží k rozdělení točivého momentu vstupní hřídele na dvě a více výstupních hřídelů. Používá se buď pro rozdělení momentu mezi více náprav, nebo jako nápravová rozvodová skříň k rozdělení momentu mezi koly na jedné nápravě. Je složena ze stálého převodu hnací nápravy a diferenciálu. Účelem je tedy rozvést točivý moment a zvětšit jej, nebo jej naopak zmenšit. Při zvětšení momentu je vozidlo schopné dosáhnout větší tažné síly, ale na úkor snížení otáček hnacího kola. Při zmenšení momentu se tažná síla sice zmenší, ale naopak se zvýší otáčky kol. Při konfiguraci se udává poměr mezi otáčkami hnací hřídele a hnaných kol. Tento poměr se určuje v závislosti na použití tahače. Kupříkladu pro dálniční provoz jsou vhodnější nižší převodové poměry, jelikož není nutno dosáhnout velkých přenášených momentů, ale naopak je kladen důraz na to, aby motor při dálničních rychlostech z hlediska spotřeby paliva pracoval v rozsahu optimálních otáček. Naopak pro využití na stavbách a v terénu jsou zapotřebí vysoké převodové poměry rozvodové skříně, aby se mohl přenést co největší moment. Převodové poměry jsou nabízeny v rozmezí od 2,31 do 7,22.

Diferenciál jakožto součást rozvodové skříně slouží k rovnoměrnému rozdělení točivého momentu, ale zároveň musí umožnit kolům rozdílné otáčky, ke kterým dochází zejména při průjezdu zatáčkou. Nevýhodou diferenciálu je neschopnost rovnoměrně rozdělit točivý

moment v případě, že je každé z hnaných kol umístěno na rozdílných površích s různou přilnavostí. V tomto případě diferenciál předává všem točivý moment kolu, které je umístěno na méně přilnavém povrchu. V krajním případě potom dochází k situaci, kdy jedno z kol stojí a druhé se protáčí.

Tato vlastnost je nežádoucí a je řešena uzávěrkou diferenciálu, jež je schopna vyřadit jeho funkci a předávat stejný točivý moment na obě kola nebo nápravy. Uzávěrky diferenciálu jsou mechanicky ovládané vzduchovou soustavou, která bude specifikována později (Vlk, 2006) (Volvo Trucks, 2021) (Scania, 2021) (MAN, 2021) (Iveco Trucks, 2021) (Renault, 2021).

4.1.3.2 Podvozek

V případě podvozku je zásadním parametrem druh odpružení. U uvedených výrobců se volí mezi dvěma typy odpružení: pružinovým nebo vzduchovým. Na každé nápravě mohou být umístěny různé typy. Pružinové odpružení je nejčastěji zajištěno listovými pery. Výhodou těchto náprav je jednoduchá konstrukce a nízká cena. Nevýhodou je ovšem měnící se světlá výška vozidla v závislosti na hmotnosti nákladu.

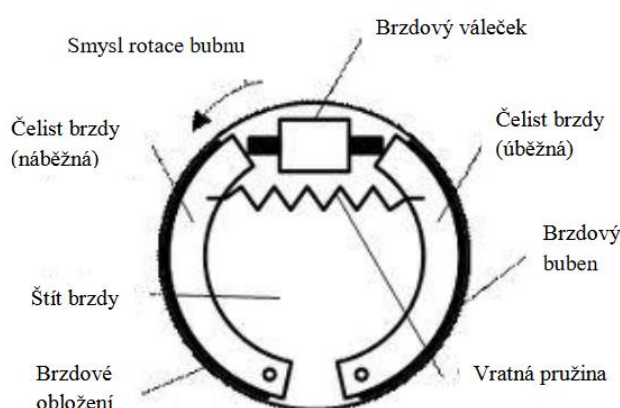
Druhým typem je vzduchové odpružení vzduchovými měchy, jež jsou plněny stlačeným atmosférickým vzduchem, který dodává vzduchová soustava. Ta bude specifikována dále. Výhodou těchto měchů je možnost měnit světlou výšku vozidla podle potřeb řidiče, a zároveň udržet stejnou světlou výšku po naložení vozidla (návěsu) nákladem. Nevýhodou je naopak vyšší cena, složitější konstrukce (k měchům jsou navíc montovány tlumiče) a možnost exploze měchů, což vede k úniku vzduchu ze vzduchové soustavy, která má za úkol ovládat i brzdový systém. To vede k prudkému poklesu jejich účinku (Neruda, 2013) (Volvo Trucks, 2021) (Scania, 2021) (Jan, 2009) (Celjak, 2017) (MAN, 2021).

V případě všech uvedených výrobců je brzdové ústrojí poháněno stlačeným atmosférickým vzduchem. Vzduch je přes filtr nasáván do kompresoru, zde je stlačován, následně zbaven zkondenzované vody a vlhkosti ve vysoušeči a odtud putuje buď do vzduchových zásobníků, kde je uložen, nebo do brzdového systému, v němž je jeho tlak je využíván ke stlačení pístu v brzdovém válci. Brzdový válec potom může ovládat buď bubnové nebo kotoučové brzdy. Z bezpečnostních důvodů musí mít brzdový systém minimálně dva okruhy, které jsou většinou zapojeny do kříže. První okruh ovládá levé přední kolo a pravé zadní a druhý okruh obráceně. Dále je vzduch využíván k plnění již zmíněných měchů, v posilovači spojky, v posilovači převodovky, k brždění návěsu, k uzavření diferenciálu, k pomocným funkcím některých návěsů, jakými jsou např. prodloužení či zkrácení délky návěsu nebo k odpružení sedačky řidiče, pokud je takovou

sedáčkou vozidlo vybaveno a další (Jan, 2009) (Scania, 2021) (MAN, 2021) (Volvo Trucks, 2021) (Iveco Trucks, 2021).

Bubnové brzdy se skládají z bubnu, který rotuje společně s kolem, a z čelistí, jež jsou pevně připevněny k nápravě. Čelisti se během brzdění rozevírají a přitlačují k bubnu. Brzdová síla vzniká třením čelistí o bubnový válec. Výhodami těchto brzd jsou nižší cena a velký brzdící účinek, do brzdového ústrojí se nedostávají venkovní nečistoty. Nevýhodou je pokles brzdového účinku při zahřívání brzd vlivem dlouhodobého brzdění. Na obrázku 3 je znázorněno schéma bubnových brzd. (Havlín, 2013) (Jan, 2009) (Vlk, 2003a).

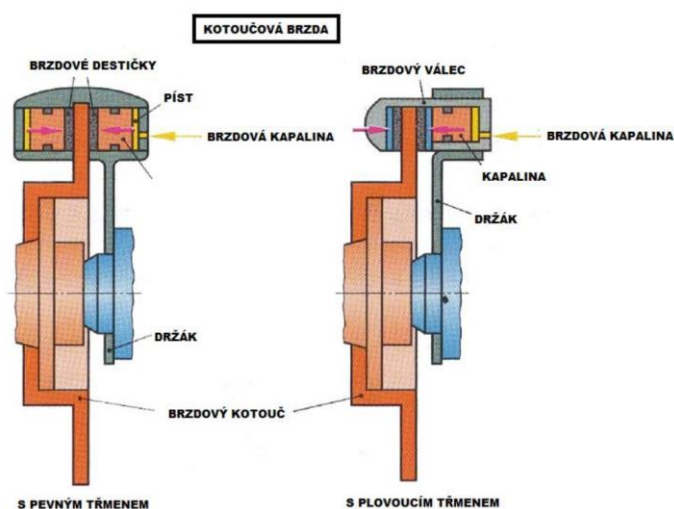
Obrázek 3 Schéma bubnové brzdy



Zdroj: (Havlín, 2013)

Kotoučové brzdy se skládají z kotouče, který rotuje spolu s kolem, a třmenem, jenž je upevněn na nápravě vozidla. Brzdná síla vzniká vlivem tření, které zde vytváří třmen tlačící brzdové obložení na kotouč. Výhodou je stálý součinitel tření i při vysokých teplotách, nevýhodou zase jejich vyšší cena. Na obrázku 4 lze vidět dva druhy provedení kotoučových brzd (Jan, 2009).

Obrázek 4 Schéma kotoučové brzdy



Zdroj: (Šula, 2014)

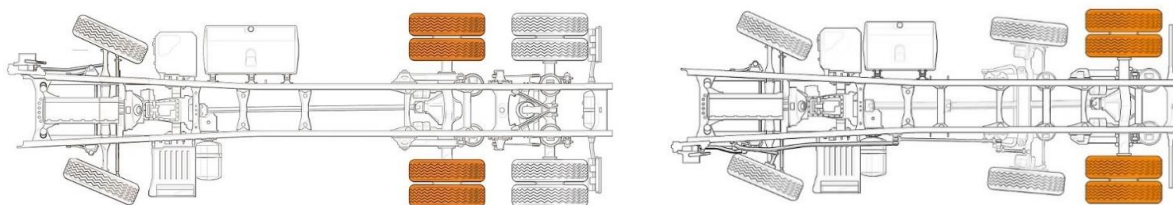
K odlehčení brzdové soustavy slouží tzv. pomocné brzdy. Ty jsou do tahačů návěsů montovány za účelem snížení opotřebení brzd tahače, k odlehčení brzd při dlouhodobém brždění nebo lze tyto brzdy využít samostatně pro zpomalení tahače. Žádná pomocná brzda však nedokáže tahač zcela zastavit (Westerwelle, 2018).

Jednou z nejčastějších pomocných brzd je motorová brzda. Ta pracuje s pomocí motoru, který v režimu brždění funguje jako vzduchový kompresor. Vzduch je tedy nasáván do motoru a je mu částečně zamezeno v odvodu do výfukového potrubí pomocí klapky ve výfuku nebo dočasnou úpravou časování výfukových ventilů. Motor v tomto režimu tedy tvoří moment proti směru pohybu vozidla. Motorové brzdy dosahují výkonu od 100 kW až do 600 kW. Motorovou brzdou používají výrobci Volvo, DAF, Man, Scania, Iveco, Mercedes, Ford a Renault.

Druhým používaným typem jsou hydrodynamické brzdy. Z konstrukčního hlediska se jedná o hydrodynamické kapalinové spojky s tím rozdílem, že jedno z lopatkových kol je nehybně přichyceno k rámu vozidla nebo převodovce a rotor je spojen s hnací hřídelí. Pro brždění je využíváno kinetické energie kapaliny, konkrétně motorového oleje. Jako zdroj oleje může být využíván buď olej sloužící zároveň k mazání motoru, nebo má retardér svůj vlastní oddělený zdroj oleje. Rotor retardéru je spojován s hnací hřídelí přímo nebo přes ozubený převod, který zvyšuje jeho otáčky. Toto řešení se používá pro zvýšení výkonu retardéru při nižších pojezdových rychlostech vozidla (Christoffersen, 2011) (Vlk, 2003b) (DAF, 2021) (MAN, 2021) (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021).

Další volenou částí podvozku je tzv. konfigurace náprav, čímž se rozumí počet náprav na vozidle a jejich umístění. Dále pak určují, které budou hnané a které vlečné či tlačné. Základní konfigurací je dvounápravový tahač, jenž je nejčastěji v provedení zadní hnané nápravy a přední tlačné. Někteří výrobci nabízejí i pohon obou náprav. Dále jsou v nabídce třínápravové tahače. Opět je možné najít provedení jedné hnané nápravy, dvou nebo všech náprav. U třínápravových tahačů je navíc možné v nabídce nalézt natáčecí prostřední nebo zadní nápravu. Toto provedení umožňuje zmenšit poloměr zatáčení tahače a snižuje se i opotřebení pneumatik na těchto nápravách. Dále je možné pro některé konfigurace zvolit jednu ze zadních náprav zvedací. Toho lze využívat při jízdě bez nákladu. Je tak snížena spotřeba, opotřebení pneumatik a brzd na zvednuté nápravě. Všichni výrobci jsou schopni nabídnout provedení náprav takové, aby maximální možné udávané zatížení jednotlivých náprav splňovalo maximální limitní podmínky legislativy. Na obrázku 5 jsou znázorněna dvě možná provedení náprav. Poslední konfigurací jsou potom čtyřnápravové tahače, které jsou však určeny pro přepravu nadlimitních nákladů (Celjak, 2017) (Vlk, 2003) (Scania, 2021) (MAN, 2021) (Volvo Trucks, 2021).

Obrázek 5 Vlevo podvozek s prostřední hnanou nápravou a zdvihací vlečnou, vpravo podvozek se zadní hnanou nápravou a natáčecí prostřední nápravou.

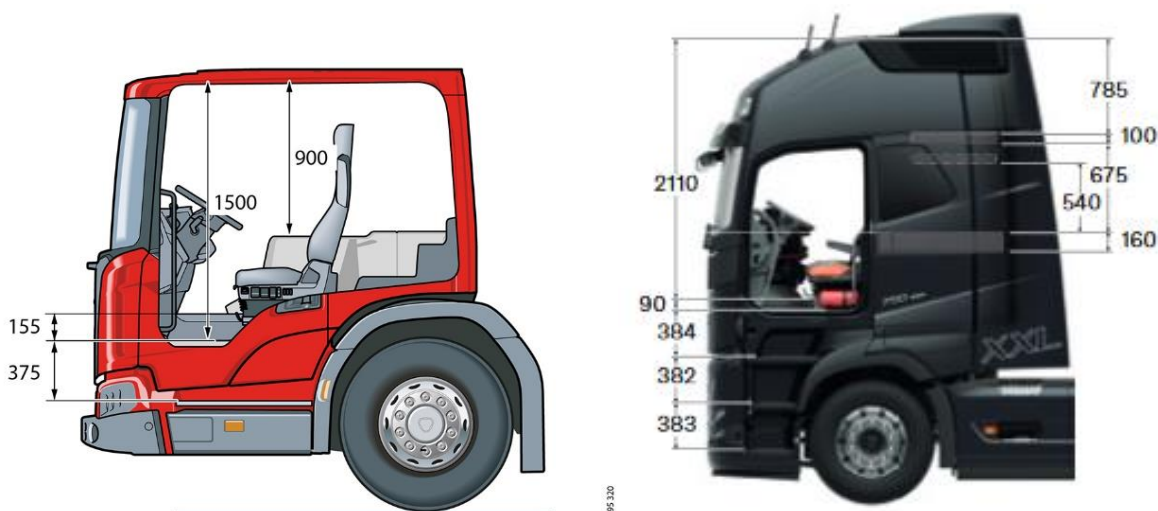


Zdroj: (Scania, 2021)

4.1.3.3 Kabina

I v případě kabiny lze volit z několika typů konstruovaných pro různé účely. Kabiny mohou být navrženy kupříkladu pro co největší pohodlí řidiče. Při konstrukci tohoto typu kabiny se klade důraz na prostornost interiéru, dostatek úložného prostoru a zvukotěsnost. Kabiny navržené do městského provozu by měly být co nejnižší a zabírat co nejméně místa. Dále je možno vybírat z konfigurací určených do terénu. Takové kabiny obsahují např. kovové nárazníky pro větší odolnost a robustnost a nárazníky uzpůsobené k zajištění co největšího nájezdového úhlu. Dále je třeba při výběru kabiny brát v potaz, zda bude nutné vybavit tahač lůžkem pro řidiče. Na obrázku 6 je srovnání nejnižší nabízené kabiny Scania a nejvyšší nabízené kabiny Volvo (Jan, 2009) (Koutný, 2002) (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021) (Saltzman, 2007).

Obrázek 6 Vlevo nejnižší nabízená kabina od značky Scania, vpravo největší možná kabina od značky Volvo. Údaje uvedeny v milimetrech.



Zdroj: (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021)

V rámci vybavení kabiny lze vybírat z mnoha možností. V nabídce jsou např. příplatkové větší displeje rádia, navigace, chladnička, kávovar, mikrovlnná trouba či asistenční bezpečnostní systémy, jako asistent držení v jízdním pruhu nebo adaptivní tempomat. Dále je možné volit potah sedaček, zbarvení palubní desky, vyhřívání sedaček, odvětrávání sedaček a mnoho dalšího. Tato

výbava je určena především pro pohodlí řidiče a je také z velké části příplatková. Rovněž lze zakoupit různé dekorace, jako např. osvětlení nástupního prostoru při otevření dveří promítnutím loga výrobce (DAF, 2021) (Ford Trucks, 2021) (MAN, 2021) (Renault, 2021) (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021) (Koubaa, 2016).

4.1.3.4 Další doplňkové vybavení

Výrobci jsou schopni nabídnout také např. vývod pro doplňkové pohony jakožto přípravu pro dodatečnou nástavbu, kterou může být např. hydraulická ruka (v tomto případě je nutné zajistit pohon hydraulického čerpadla). Dále výrobci zajišťují přípravu pro připojení dodatkových světel. Kromě interiéru kabiny lze volit dekorační prvky i v exteriéru kabiny. Za příplatek je možné pořídit např. lakovaná zrcátka, kliky dveří a další (Scania, 2021) (Volvo Trucks, 2021) (MAN, 2021) (DAF, 2021) (Iveco Trucks 2021).

4.2 Multikriteriální porovnání

Multikriteriální porovnání (anglicky Multi-Criteria Decision) nebo také vícekriteriální rozhodování je metoda analýzy dat, která umožňuje posoudit varianty s více kritérii. Principem těchto metod je vyjádření jednotlivých hledisek, jako např. spotřebu, cenu vozidla nebo výkon motoru, ve formě kritérií, jež jsou posouzeny, a následně je vybráno nejlepší (ideální) nebo nejhorší (bazální) řešení, případně jsou seřazeny podle daných preferencí (Sekničková, 2018).

4.2.1 Základní pojmy

Nejdůležitějším pojmem pro multikriteriální porovnání jsou informace, které jsou děleny na nominální, kardinální a ordinální. Nominální udělují určitou informaci, např. cena auta nebo spotřeba paliva v litrech na sto kilometrů. Kardinální jsou takové informace, jež udávají rozdíl mezi objekty, např. tahač Scania je o třetinu levnější než tahač Mercedes. Ordinální informace určuje pořadí objektů, např. nosnost návěsu je důležitější než jeho délka.

K dalším důležitým faktorům řadíme kritéria, která označují hlediska, jež jsou zahrnuta do hodnocení. Lze je rozdělit na kvantitativní a kvalitativní. Kvantitativní kritéria stanovují číselnou hodnotu. Naopak kvalitativní udávají popis (např. barvu nebo vzhled). Kvalitativní kritéria je třeba kvantifikovat do určité škály hodnot. Kritéria lze také rozdělit podle povahy na maximalizační a minimalizační – maximalizační v případě, kdy požadujeme kladné vyšší hodnoty, například točivý moment motoru; naproti tomu minimalizační, chceme-li nižší hodnotu, například spotřeba paliva. Pokud se vyskytují v hodnocení obě povahy, je potřeba převést kritéria na jeden typ, nejčastěji maximalizační. Matice, do které se zapíšou jednotlivé produkty do sloupců a jednotlivá kritéria do řádků, se nazývá maticí kritériální.

Dále jsou pro různé varianty vymezeny pojmy ideální a bazální. Ideální varianta je hypotetické, ale i reálné řešení, kdy jsou všechna kritéria současně nejlepšími možnými hodnotami. Bazální řešení je stejné jako ideální varianta s tím rozdílem, že jde o kritéria s nejhorším hodnocením (Fiala, 1994).

4.2.2 Převod kritéria minimalizačního na maximalizační či naopak

Pro výsledné porovnání je vhodné pracovat s kritérii stejné povahy, a to buď jen s minimalizačními, nebo jen s maximalizačními, což je častější. Pro splnění tohoto předpokladu je tedy nutné převést kritéria minimalizační na maximalizační nebo naopak. Nejčastěji používanými jsou dva následující způsoby, které lze využít jak pro převod minimalizačního kritéria na maximalizační, tak i naopak (Šubrt, 2011):

- vynásobení minimalizačních kritérií hodnotou -1, tedy $y'_{ij} = -y_{ij}$
- výpočet hodnot, které udávají zlepšení oproti nejhorší kritériální hodnotě, tedy $y'_{ij} = y_{ij} - \max(y_{ij})$

4.2.3 Metody pro výpočet hledané varianty

Metod pro vícekritériální porovnání existuje velká řada. Pro nalezení nejlepší varianty byly vybrány metody, které hledají řešení na základě stanovených vah, a metody, jež používají systém bodování (Fiala, 1994).

4.2.3.1 Metoda TOPSIS

Metoda TOPSIS je zkratka pro Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. Jedná se o metodu založenou na výpočtu nejmenší vzdálenosti od ideální varianty, nebo naopak největší vzdálenosti od varianty bazální. Pro výpočet je potřeba nejdříve převést všechna kritéria na maximalizační. Takto převedená kritéria se poté zapíší do matice, kde sloupce tvoří jednotlivé produkty a řádky jednotlivá kritéria. Dále je nutno stanovit každému kritérii váhu. Počítejme, že jednotlivé varianty jsou sloupce a jednotlivá kritéria řádky, pak je možné sestavit normalizovanou kritériální matici R , pro kterou platí:

$$r_{mn} = \frac{y_{mn}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p y_{in}^2}} [-] \quad (1)$$

kde m je počet řádků matice, n je počet sloupců matice, p počet kritérií a $r_{mn} [-]$ označuje jednotlivé prvky matice a y_{mn} jsou konkrétní hodnoty kritérií.

Dále vypočteme normalizovanou váženou kritériální matici $W = (w_{mn})$ ze vztahu:

$$w_{mn} = v_m r_{mn} [-] \quad (2)$$

kde w_{mn} [–] jsou jednotlivé prvky matice W a v_m [–] jsou váhy pro jednotlivá kritéria.

Z hodnot matice W určíme ideální variantu $h = (h_1, h_2, h_3, \dots, h_m)$ a bazální variantu $b = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$ tak, že $h_m = \max h_{mn}$ a $b_m = \max b_{mn}$. Následně vypočteme vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{n=1}^k (w_{mn} - h_m)^2} \text{ [–]} \quad (3)$$

a od bazální varianty:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{n=1}^k (w_{mn} - b_m)^2} \text{ [–]} \quad (4)$$

Nakonec spočítáme relativní ukazatele vzdáleností:

$$c_n = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \text{ [–]} \quad (5)$$

Hodnoty se budou pohybovat mezi 0 a 1, načež hodnoty jsou tím více bazální, čím více se blíží k nule a naopak (Olson, 2004) (Fiala, 1994).

4.2.3.2 Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu, anglicky WSA (Weight Sum Approach), vytvoří celkové hodnocení, takže ji lze použít jak při hledání jedné varianty, tak pro hledání více variant nebo je možno uspořádat varianty od nejhorší po nejlepší. Nejprve je zapotřebí sestavit kritériální matici a vektor vah. Po jejich sestavení následuje určení ideální varianty H s hodnocením (h_1, h_2, \dots, h_n) a bazální varianty B s hodnocením (b_1, b_2, \dots, b_n) . Poté se vytvoří standardizovaná kritériální matice R , kde se jednotlivé prvky určují podle vzorce

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - b_j}{h_j - b_j} \text{ [–]} \quad (6)$$

Hodnoty matice jsou transformovány tak, že $r_{ij} \in (0; 1)$. Hodnota 0 odpovídá bazální variantě a hodnota 1 ideální variantě. Dále se vypočítá suma součinů každé varianty.

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^n v_j r_{ij} \text{ [–]} \quad (7)$$

Dále se varianty seřadí od nejnižších hodnot po nejvyšší, přičemž nejvyšší hodnota odpovídá variantě, která se nejvíce blíží ideální, a naopak nejnižší odpovídá nejvíce bazální variantě (Šubrt, 2011) (Thor, 2013).

4.2.3.3 Bodovací metoda

Bodovací metoda, anglicky Point Method, nevyžaduje informaci o preferenci kritérií. Základem bodovací metody je stanovení vhodné stupnice např. od 1 do 10 (1 je nejhorší hodnocení, 10 je nejlepší hodnocení). Body se pak přidělí jednotlivým kritériím každé z variant b.

Celkové hodnocení každé varianty se vyjádří jako součet dílčích hodnot kritérií.

$$b_i = \sum_{j=1}^k b_{ij} [-] \quad (8)$$

Nejlepší varianta je potom vybrána ze vztahu:

$$a_i: b_i = \max(b_i) ; i = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

V případě, že jako nejlepší hodnocení je zvolena hodnota 1 a nejhorší hodnota 10, výsledná varianta se hledá jako minimální hodnota, nikoliv maximální. Pokud je třeba zvolit více variant, vybírají se následně varianty s druhým nejvyšším součtem, třetím nejvyšším součtem atd. (Šubrt, 2011) (Fiala, 1994).

4.2.4 Stanovení vah kritérií

Pro výpočet nejlepší hledané varianty metodou TOPSIS a metodou váženého součtu je nutno stanovit váhy jednotlivým kritériím. Váhy lze určit pomocí metod, jako jsou např. Saatyho metoda nebo Fullerova metoda (Fiala, 1994).

4.2.4.1 Saatyho metoda

Saatyho metoda, pojmenovaná po Thomasovi L. Saaty, je metodou párového porovnání, kdy se porovnají dvě kritéria mezi sebou hodnotami 1 až 9. Hodnoty se pak ukládají do tzv. Saatyho matice. Hodnoty mají následující význam (sudé hodnoty se ponechávají pro hodnocení mezistupňů):

- 1 – kritéria i a j jsou si rovnocenná
- 3 – kritérium i je slabě preferováno před j
- 5 – kritérium i je silně preferováno před j
- 7 – kritérium i je velmi silně preferováno před j
- 9 – kritérium i je absolutně preferováno před j

Saatyho matice, kde S_{ij} jsou jednotlivé hodnoty vypadá takto:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1/S_1 & S_1/S_2 & \dots & S_1/S_n \\ S_2/S_1 & S_2/S_2 & \dots & S_2/S_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_n/S_1 & S_n/S_2 & \dots & S_n/S_n \end{bmatrix} [-] \quad (10)$$

Pro hodnoty S_i se následně spočítá geometrický průměr ze vztahu:

$$R_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k S_{ij}} \quad [-] \quad (11)$$

Dále se spočítá váha:

$$v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^k R_i} \quad [-] \quad (12)$$

Problém však může nastat, pokud např. kritérium i preferujeme před kritériem j a zároveň kritérium j před kritériem k . Potom by kritérium i mělo být preferovanější než kritérium k . Pokud toto tvrzení neplatí nazýváme matici nekonzistentní. Míru konzistence určíme ze vztahu:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [-] \quad (13)$$

kde:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [-] \quad (14)$$

CI značí index konzistence, RI náhodný koeficient nekonzistence a λ_{max} maximální vlastní číslo matice S a n počet kritérií. Hodnota RI se určuje pomocí tabulky.

Číslo λ_{max} je dáno vztahem:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_i^n (S \cdot \vec{w})_i / w_i \quad [-] \quad (15)$$

kde n je počet kritérií, \vec{w} je vektor vah, $(S \cdot \vec{w})_i$ je i -tý prvek vektoru a w_i je váha kritéria.

Matice se považuje za konzistentní, pokud se číslo $CR < 0,1$ pro $k = 3$, $CR < 0,2$ pro $k = 4, 5, 6, 7$, $CR < 0,3$ pro $k > 7$.

V uvedeném případě je toto stanovení vah vhodné pro metodu váženého součtu (Sekničková, 2018) (Saaty, 1990).

4.2.4.2 Fullerova metoda

Tato metoda funguje opět na základě párového porovnání, kdy využíváme tzv. Fullerova trojúhelníku. Princip spočívá v porovnávání dvou kritérií, kdy z každé takové dvojice vybereme to důležitější. Počet srovnání je dán vztahem:

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2} \quad [-] \quad (16)$$

kde k je počet kritérií.

Fullerův trojúhelník se potom skládá z $k-1$ dvojřádků, kde každý dvojřádek tvoří kombinaci porovnání jednoho kritéria s ostatními. První řádek představuje porovnání prvního kritéria s ostatními. Druhý řádek tvoří porovnání druhého kritéria s ostatními atd. V každém následujícím řádku se vynechá porovnání, které již bylo zapsáno v předchozích řádcích. Kupříkladu pokud porovnáme kritérium 1 s kritériem 2, již není v dalším řádku nutno porovnávat kritérium 2 s kritériem 1, jelikož jsou daná porovnání komutativní. V každém následujícím řádku tak klesá počet porovnání o jeden, a vzniká tak trojúhelník. Schéma Fullerova trojúhelníku vypadá takto:

$$\begin{array}{cccccc}
 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & \\
 2 & 3 & 4 & \dots & k & \\
 & & & & & \\
 & & 2 & 2 & \dots & 2 \\
 & & 3 & 4 & \dots & k \\
 & & & & & \\
 & & & & \vdots & \vdots \\
 & & & & \vdots & \vdots \\
 & & & & k-2 & k-2 \\
 & & & & k-1 & k \\
 & & & & & \\
 & & & & & k-1 \\
 & & & & & k
 \end{array}$$

V každé dvojici se zakroužkuje to kritérium, které je vyhodnoceno jako důležitější. Označíme-li každé kritérium číslem i , počet zakroužkování jednoho kritéria se bude označovat jako n_i . Výpočet vah se provádí následovně:

$$v_i = \frac{n_i}{N} [-] \tag{17}$$

Nevýhoda tohoto postupu spočívá v tom, že může nastat situace, kdy je jedno z kritérií rovno nule. Tento problém lze vyřešit, pokud zvýšíme všechny hodnoty vah o hodnotu jedna. (Šubrt, 2011).

5 Výsledné porovnání

V další části bude vytvořena konfigurace tahače, která bude poté zadána jednotlivým výrobcům tahačů. Dále budou definována kritéria porovnání, jež budou požadována po výrobcích. Podle předchozích uvedených metod se vybere jedna z nich a bude stanovena váha pro jednotlivá kritéria. Následně se zvolí jedna metoda vyhodnocení, pomocí které se nalezne nejlepší vyhovující řešení.

5.1 Firma Autodoprava – Pavel Běhunek

Firma autodoprava – Pavel Běhunek (dále jen Dopravce) je malá firma, kde se vozový park skládá ze dvou kamionů s hydraulickou rukou, které mají k dispozici dva přívěsy. Tyto kamiony slouží

především k přepravě stavebních materiálů ze stavebnin k zákazníkovi, kde vykládka probíhá pomocí hydraulické ruky. Dále jsou využívány k přepravě 30stopých ISO kontejnerů nebo stavebních buněk. Dopravce chce rozšířit svoji působnost a zamýšlí koupit tahače návěsů, který by přepravoval stavební materiály z výroby do stavebnin, případně přímo na stavbu.

5.1.1 Vozový park Dopravce

Vozový park se skládá z kamionu MAN TGA s ložnou plochou. Jedná se o kamion, jenž je osazen šestiválcovým motorem o výkonu 440 hp, automatizovanou převodovkou s obchodním názvem TipMatic a nosností 10 t. Na zádi vozidla za ložnou plochou je umístěna hydraulická ruka značky HMF s označením 2823-K5. Tato ruka má maximální udávaný dosah 14,6 m a na tento maximální výsuv uzvedne 1 360 kg. Ložná plocha má rozměry 6,3 m na délku a 2,5 m na šířku. Tento kamion je třinápravový se zadní natáčecí nápravou.

Druhé vozidlo značky DAF 95 XF je kamion stejné konstrukce jako předešlý. Parametry vozidla jsou šestiválcový motor o výkonu 420 hp, manuální 16stupňová převodovka, nosnost 12 t, ložná plocha 6,8 m dlouhá a 2,5 m široká, hydraulická ruka HIAB 140 umístěná na zádi s dosahem 8,2 m a nosností na této délce 1 550 kg. Tento kamion je taktéž třinápravový, ale bez natáčecí nápravy. Poslední nápravu lze při jízdě bez nákladu zvednout.

Vozový park Dopravce dále tvoří dva přívěsy: První z nich je vlek Schmitz AWE 18 s ložnou plochou 7,3 m dlouhou a 2,5 m širokou a nosností 13 t; druhým je tandemový přívěs Schmitz-Cargobull ZWF 18 s ložnou plochou 7,4 m dlouhou a 2,5 m širokou.

5.1.2 Požadavky Dopravce na tahač návěsů

Dopravce má již vybraný návěs. Jedná se o třinápravový odkrytý návěs s bočnicemi Schmitz Cargobull Standard 20220 s jednou zdvihací nápravou, maximální nosností 29,5 t, délkou ložné plochy 13,62 m a šířkou 2,48 m. Návěs je vybaven fixačními prvky pro uchycení ISO kontejnerů. Pneumatiky mají rozměry 315/80/R22,5.

Tahače návěsů budou mít působnost především v rámci České republiky. Tahač bude využíván ve velké míře přes den, jelikož stavebniny přijímají kamiony na vykládku pouze během otevírací doby a firmy vyrábějící stavební materiály na nakládku taktéž v průběhu dne. Vzhledem k menším ujetým vzdálenostem se tedy předpokládá, že se tahač bude každý den vracet na stanoviště Dopravce, které je umístěno na Praze-východ. Existuje však možnost, že občas bude zapotřebí, aby kamion zůstal mimo stanoviště firmy. Dále je možné, že se v kabině budou vyskytovat dva řidiči, proto si Dopravce přeje spací kabinu se dvěma lůžky. Dalším požadavkem je co nejnižší výška kabiny, jež umožňuje podjet nižší viadukty a mosty.

Dopravce si dále žádá třinápravový podvozek z důvodu větší nosnosti soupravy. Konstrukce má být volena tak, aby tahač mohl vozit co největší možné zatížení, které je dovoleno. Prostřední nebo zadní náprava by měla být natáčecí pro lepší manévrovatelnost v malých prostorech a jedna z náprav zdvihací pro snížení spotřeby paliva a opotřebení pneumatik při jízdě bez nákladu. Celý podvozek by měl být na vzduchovém pérování. Tahač bude vybaven motorovou brzdou, retardérem nebo obojím, pro odlehčení brzdné soustavy.

Vůz bude jezdit převážně po dálnici, ale i v městském provozu a občasně v lehkém terénu na stavbě. Z toho důvodu bude muset být vůz vybaven pneumatikami o rozměrech 315/80/R22,5 nebo 315/70/R22,5. Dalším přáním Dopravce je automatizovaná převodovka, pro kterou bude následně navržen příslušný poměr rozvodové skříně zadní nápravy.

Vybavení kabiny musí zahrnovat klimatizaci, nezávislé topení, chladničku a výše zmíněná dvě spací lůžka.

5.2 Vytvoření základní konfigurace vozidla

Požadavky Dopravce, jež byly specifikovány v kapitole 5.1.2, byly konzultovány se zástupci jednotlivých výrobců. Na základě těchto požadavků se vytvořila jednotná konfigurace tahače tak, aby porovnání bylo co nejrelevantnější. Požadavky byli schopni splnit výrobci DAF, Mercedes, Scania a Volvo. Společnosti Iveco a MAN odmítly jakoukoliv spolupráci a společnost Ford nebyla schopna splnit velkou část požadavků.

Konfigurace tahače se tedy stanovila následovně. Tahač je specifikován jako vozidlo pro regionální dopravu převážně provozovaný na silnici s občasnou jízdou v lehkém terénu na stavbách. Účelem bude rozvoz stavebních produktů z výroby do stavebnin nebo přímo na stavbu. Konfigurace náprav 6x2 musí disponovat prostřední natáčecí a zdvihací nápravou, přičemž hnaná náprava bude zadní. Podvozek bude kompletně odpružen vzduchovými měchy. V této konfiguraci jsou nabízeny u všech výrobců automaticky jen kotoučové brzdy. Další část představuje automatizovaná 12stupňová převodovka s dvěma plazivými chody (jeden pro jízdu vpřed a druhý pro jízdu vzad). Maximální možné zatížení tahače bude 26 tun, maximální hmotnost soupravy 45 tun. Rozvor přední a prostřední nápravy činí 3,7 metru. Dále se zvolí ocelová kola s pneumatikami 315/80/R22,5 typu A, výška rámu střední, velikost kabiny pro možnou konstrukci se dvěma lůžky, ale zároveň v co nejnižším provedení. Rozvodovou skříně je třeba zvolit tak, aby otáčky byly 1 100-1 200 ot·min⁻¹ při rychlosti 85 km·h⁻¹. Vozidlo dále bude disponovat motorem o objemu 13 l, výkonu 430-460 hp (315–338 kW) plnícím emisní normu Euro 6 step D. Součástí výbavy bude také možnost ruční regenerace filtru DPF, jednoduché olovené baterie s nabíječkou,

nezávislé vzduchové topení, základní klimatizace ve vozidle, lednice pro řidiče, základní halogenová světla, přítomnost pomocné brzdy, bez systémů sledování vozidla pro vyhodnocení efektivnosti jízdy. Výška točnice bude činit 205 mm. Další výbavu je důležité volit s ohledem na co nejnižší cenu vozidla, což znamená nepořizovat žádnou další příplatkovou výbavu než tu, která byla uvedena.

5.3 Stanovení vah jednotlivých kritérií

K vybraným kritériím se přiřadila příslušná povaha, která je uvedena pro následné utvoření ideální a bazální varianty v tabulce číslo 4.

Tabulka 4 Vybraná kritéria

Parametr	Kritérium	Povaha
p1	Výška vozidla	Minimalizační
p2	Délka vozidla	Minimalizační
p3	Světlá výška vozidla	Maximalizační
p4	Celková pohotovostní hmotnost vozidla	Minimalizační
p5	Poloměr otáčení vozidla	Minimalizační
p6	Cena vozidla	Minimalizační
p7	Objem palivové nádrže	Maximalizační
p8	Objem nádrže na AdBlue	Maximalizační
p9	Výkon motoru	Maximalizační
p10	Maximální točivý moment motoru	Maximalizační
p11	Výkon pomocné brzdy	Maximalizační
p12	Servisní náklady na 4 roky při nájedu 70 000-100 000 km	Minimalizační
p13	Emise CO ₂	Minimalizační
p14	Délka lehátka	Maximalizační

Zdroj: (Autor, 2021)

Jak již bylo zmíněno, pro stanovení vah kritérií byla vybrána Fullerova metoda, sestavíme tedy Fullerův trojúhelník pro přiřazení jednotlivých vah kritérií. Konkrétní Fullerův trojúhelník je zobrazen na obrázku 7. Zvýrazněno je vždy to kritérium, které je považováno za důležitější. Při vybírání důležitějšího kritéria v každé dvojici bylo každé kritérium konzultováno s Dopravcem.

Obrázek 7 Fullerův trojúhelník pro dané kritéria



Zdroj: (Autor, 2021)

Tento trojúhelník se využije pro vztahy popsané v kapitole 4.2.4.2 Pomocí těchto vztahů se určí výsledné váhy jednotlivých parametrů, které jsou uvedeny v tabulce 5, v tomto případě pro $N = 14$. Jelikož vyšla jedna z hodnot nulová, byla provedena korekce přičtením hodnoty 1 ke každé hodnotě n_i . V tabulce 5 nalezneme jednotlivé součty a vypočítané váhy pro jednotlivá kritéria.

Tabulka 5 Váhy jednotlivých kritérií

	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
n_i	8	4	7	5	6	10	4
$n_i + 1$	9	5	8	6	7	11	5
v_i	0,0989	0,0549	0,0879	0,0659	0,0769	0,1209	0,0549
	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
n_i	3	9	12	10	11	0	2
$n_i + 1$	4	10	13	11	12	1	3
v_i	0,0440	0,1099	0,1429	0,1209	0,1319	0,0110	0,0330

Zdroj: (Autor, 2021)

5.4 Výpočet nejlepšího řešení

Pro výsledné porovnání jsou již zapotřebí konkrétní data od výrobců. Žádný z nich nebyl ochoten sdělovat většinu dotazovaných dat a zasílat technické listy nebo výkresy z důvodu interních zákazů a pravidel firmy. Data tak byla získána z webových stránek výrobců a z formuláře, který byl sestaven ve spolupráci s jednotlivými společnostmi. U každého výrobce byly tedy sestaveny konfigurace splňující požadavky kapitoly 5.2 a následně každý výrobce sdělil svoje data do již zmíněného formuláře. Ty jsou uvedeny v tabulce číslo 6 spolu s jejich váhami.

Tabulka 6 Souhrnný přehled konkrétních parametrů jednotlivých modelů

Parametr [pi]	Název parametru	Jednotka	Model				Váha [vi]
			Volvo FH 13.460	DAF XF 430 MX-13	Scania P450	Mercedes Actros 2545 LS	
p1	Výška vozidla	[mm]	3 720	3 490	3 430	3 800	0,0989
p2	Délka vozidla	[mm]	6 334	6 310	6 340	6 400	0,0549
p3	Světlá výška vozidla	[mm]	340	430	380	335	0,0879
p4	Celková pohotovostní hmotnost vozidla	[kg]	8 705	8 487	8 658	8 173	0,0659
p5	Poloměr otáčení vozidla	[mm]	13 400	15 210	16 200	15 600	0,0769
p6	Cena vozidla	[Eur]	82 000	75 000	85 000	84 000	0,1209
p7	Objem palivové nádrže	[l]	800	430	715	450	0,0549
p8	Objem nádrže na AdBlue	[l]	100	90	75	50	0,0440
p9	Výkon motoru	[kW]	345	315	331	330	0,1099
p10	Maximální točivý moment motoru	[Nm]	2 600	2 300	2 350	2 200	0,1429
p11	Výkon pomocné brzdy	[kW]	580	870	750	235	0,1209
p12	Servisní náklady na 4 roky při nájedu 70 000 km – 100 000 km	[Eur]	623 000	570 000	590 000	710 000	0,1319
p13	Emise CO2	[g·km ⁻¹]	0,13	0,7	0,3	0,5	0,0110
p14	Délka lehátka	[mm]	2 000	2 050	2 100	2 200	0,0330

Zdroj: (Autor, 2021)

K určení ideálního řešení byla zvolena zmíněná metoda TOPSIS, pro jejíž splnění je nutné stanovit váhy jednotlivým kritériím. Tento předpoklad je již splněn. Uvedená metoda pracuje na principu určení vzdálenosti od ideální varianty, tudíž je schopna pracovat nezávisle na povaze kritéria. Není tedy zapotřebí převádět kritéria na jeden typ povahy. Dále je tedy třeba sestavit normalizovanou

kritériální matici R (viz tabulka 7) a následně normalizovanou váženou kritériální matici W (viz tabulka 8) podle vztahů v kapitole 5.3.1.

Tabulka 7 Normalizovaná kritériální matice R

Matice R				
Parametr [pi]	Volvo FH 13.460	DAF XF 430 MX- 13	Scania P450	Mercedes Actros 2425 LS
p1	0,5148	0,4829	0,4746	0,5258
p2	0,4990	0,4972	0,4995	0,5042
p3	0,4555	0,5761	0,5091	0,4488
p4	0,5116	0,4987	0,5088	0,4803
p5	0,4426	0,5024	0,5351	0,5152
p6	0,5025	0,4596	0,5209	0,5147
p7	0,6449	0,3467	0,5764	0,3628
p8	0,6175	0,5558	0,4631	0,3088
p9	0,5221	0,4767	0,5009	0,4994
p10	0,5492	0,4858	0,4964	0,4647
p11	0,4434	0,6651	0,5734	0,1797
p12	0,4980	0,4556	0,4716	0,5675
p13	0,1413	0,7606	0,3260	0,5433
p14	0,4787	0,4907	0,5027	0,5266

Zdroj: (Autor, 2021)

Tabulka 8 Normalizovaná vážená kritériální matice W

Matice W				
Parametr [pi]	Volvo FH 13.460	DAF XF 430 MX- 13	Scania P450	Mercedes Actros 2425 LS
p1	0,0509	0,0478	0,0469	0,0520
p2	0,0274	0,0273	0,0274	0,0277
p3	0,0400	0,0506	0,0448	0,0395
p4	0,0337	0,0329	0,0335	0,0317
p5	0,0340	0,0386	0,0412	0,0396
p6	0,0607	0,0556	0,0630	0,0622
p7	0,0354	0,0190	0,0317	0,0199
p8	0,0271	0,0244	0,0204	0,0136
p9	0,0574	0,0524	0,0550	0,0549
p10	0,0785	0,0694	0,0709	0,0664
p11	0,0536	0,0804	0,0693	0,0217
p12	0,0657	0,0601	0,0622	0,0748
p13	0,0016	0,0084	0,0036	0,0060
p14	0,0158	0,0162	0,0166	0,0174

Zdroj: (Autor, 2021)

Z matice W se určí ideální a bazální varianta. Pro toto zadání tedy platí:

$h = (0,0469; 0,0273; 0,0506; 0,0317; 0,0340; 0,0556; 0,0354; 0,0271; 0,0574; 0,0785; 0,0804; 0,0601; 0,0016; 0,0174)$

$b = (0,0520; 0,0277; 0,0395; 0,0337; 0,0412; 0,0630; 0,0190; 0,0136; 0,0524; 0,0664; 0,0217; 0,0748; 0,0084; 0,0158)$

Nakonec spočítáme vzdálenosti od ideální varianty $di+$, bazální varianty $di-$ a relativní ukazatel vzdálenosti ci . Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 8.

Tabulka 9 Výsledné hodnocení

	Volvo FH 13.460	DAF XF 430 MX-13	Scania P450	Mercedes Actros 2425 LS
$di+$	0,0302	0,0213	0,0200	0,0670
$di-$	0,0427	0,0632	0,0523	0,0047
ci	0,5861	0,7479	0,7238	0,0659
Pořadí	3	1	2	4

Zdroj: (Autor, 2021)

6 Závěr

Cílem této práce bylo porovnat vybranou typovou řadu tahačů pomocí jedné z metod multikriteriálního porovnání. Pro nabídku tahače byli dotázáni všichni výrobci působící na trhu v České republice vyrábějící tahače návěšů. Jednalo se o firmy DAF, Ford, Iveco, MAN, Renault, Mercedes, Scania a Volvo (společnost Tatra se zabývá jen výrobou tahačů homologovaných jako traktor). Společnosti Ford a Renault nebyly schopny vyhovět většině požadavků Dopravce. Společnosti MAN a Iveco byly dotazovány vícekrát u různých zástupců firem, ale pokaždé obě firmy odmítly jakoukoliv spolupráci. Byly tedy osloveny tři leasingové firmy, ty ovšem pokaždé odkázaly na zástupce firem MAN a Iveco.

Výběr typové řady charakterizoval Dopravce, následně byly specifikovány a popsány údaje, které je nutno volit při konfiguraci tahače. S ohledem na požadavky a možnosti volené konfigurace tahače byla tato fakta konzultována s Dopravcem, následně byla vytvořena taková konfigurace tahače pro porovnání, aby následná kritéria vybraná pro hodnocení byla co nejrelevantnější a zároveň aby danou konfiguraci mohlo poskytnout co nejvíce výrobců. Výběr kritérií pro hodnocení probíhal ve spolupráci s Dopravcem. Kritéria se vybírala tak, aby byla co nejsmysluplnější pro Dopravce. Byly tedy stanoveny konkrétní tahače s určitou konfigurací a konkrétními kritérii pro hodnocení.

Pro stanovení vah kritérií byl použit Fullerův trojúhelník, kde jednotlivá kritéria vybíral taktéž Dopravce. Pro finální zhodnocení byla použita metoda TOPSIS. Výsledkem hodnocení byly hodnoty od 0 do 1. Čím více se výsledek blížil hodnotě 1, tím byl tento tahač vhodnější volbou pro Dopravce. Výsledky byly následující (s pořadím od nejvhodnější varianty po nejméně vhodnou): DAF XF 430 MX-13, Scania P450, Volvo FH 13.460 a Mercedes Actros 2425 LS. Společnosti DAF a Scania byly hodnoceny hodnotou větší než 0,7, což se dá považovat za vyhovující. Společnost Mercedes skončila s ohodnocením pod 0,1, jelikož přesně polovina hodnot kritérií pro bazální variantu (opak ideální varianty) pocházela právě z modelu tohoto výrobce. Další nevýhodou byly veliké rozdíly hodnot oproti konkurenci, např. výkon pomocné brzdy. Model značky Mercedes je tak absolutně nevyhovující pro danou konfiguraci.

Nejlépe tedy splnil podmínky tahač značky DAF, a byl tak doporučen Dopravci pro následnou koupi. Jelikož ceny, které jsou uvedeny v hodnocení, jsou pouze základní a prodejci jednotlivých výrobců jsou schopni poskytnout slevu, doporučuje se vyslovit poptávku dvěma prodejčům nejlépe vyhodnocených značek a vyjednat co nejnižší možnou nákupní cenu. Dále je nutné upozornit, že kritéria, která byla použita při hodnocení jsou pouze tabulkové údaje udávané

výrobce. Daleko důležitější údaje pro Dopravce jsou kupříkladu spotřeba nebo spolehlivost. Informace k těmto údajům lze zjistit pouze pro konkrétní konfigurace vozidel se stářím větším než jeden rok, pro nová vozidla nebo pro vozidla v popsané konfiguraci nejsou tyto informace dohledatelné.

7 Seznam použitých zdrojů

Auto.cz, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/>

CELJAK, Ivo, 2017. *Dopravní zařízení I*. České Budějovice. Jihočeská univerzita.

Centrální registr vozidel, 2021. *Ministerstvo dopravy* [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel>

DAF, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.daftrucks.cz/cs-cz>

Eurostat, 2020 [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/>

FAUS, Pavel, 2007. *Autoškola - C,D,E,T*. 2007. Praha: Computer Press, a.s. ISBN 80-251-1715-4.

FIALA, Petr a Miroslav MAŇAS, 1994. *Vícekritériální rozhodování: Určeno pro stud. všech fak.* 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická. ISBN isbn80-7079-748-7.

Ford Trucks, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://ftrucks.cz/cs>

HAVLÍN, Marek, 2013. *Analýza a návrh bubnové třecí brzdy: Fakulta strojní*. Plzeň. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.

CHRISTOFFERSEN, Steven, Jerry WALLINGFORD a Bill GREENLEES, 2011. *Heavy truck engine retarders: testing and theory*. SAE Technical Paper, **2011**.

Iveco Trucks, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.iveco.com/czech/Pages/HomePage.aspx>

JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA, 2009. *Automobily*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid. ISBN 978-80-87143-12-4.

KOUBAA, Mayssa, 2016. *Truck driver scheduling problem literature review* [online]. IFAC-PapersOnLine [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/306074806_Truck_Driver_Scheduling_Problem_Literature_Review

KOUTNÝ, Zdeněk, 2002. *Technické podmínky provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích: (informační sborník)*. Vyd. 1. Praha: Kodex.

MAN, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.truck.man.eu/cz/cz/index.html>

- NERUDA, Jindřich, 2013. *Technika pro arboriky: Lesnická a dřevařská fakulta*. 28. 2. 2013. Brno: Ústav lesnické a dřevařské fakulty.
- OLSON, David L, 2004. Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling* [online]. 407-8721-727 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228539619_Comparison_of_weights_in_TOPSIS_models
- Renault, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.renault-trucks.cz/>
- SAATY, Thomas L, 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* [online]. 1990, 4819-26 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>
- SALTZMAN, Gregory Martin a Michael H. BELZER, 2007. *Truck driver occupational safety and health* [online]. conference report and selective literature review [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-120/pdfs/2007-120.pdf>
- Scania, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.scania.com/cz/cs/home.html>
- SEKNIČKOVÁ, Jana, 2021. *Vícekritériální hodnocení variant* [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-Vahy.pdf>
- SLABÝ, Bc. Martin, 2016. *Logistika, technologie a management dopravy: Objektivní hodnocení užitečných vlastností nákladních automobilů*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Bouchner, Ph. D.
- ŠIMÁČEK, Pavel, Dan VRTIŠKA, Zlata MUŽÍKOVÁ a Milan POSPÍŠIL, 2017. MOTOROVÁ PALIVA VYRÁBĚNÁ HYDROGENACÍ ROSTLINNÝCH OLEJŮ A ŽIVOČIŠNÝCH TUKŮ. *Chem. Listy* [online]. 206-212 [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017_03_206-212.pdf
- ŠMERDA, Tomáš, Jiří ČUPERA a Martin FAJMAN, 2013. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, traktory*. 1. vyd. Brno: CPress. Auto-moto-profi (CPress). ISBN 978-80-264-0160-5.
- ŠUBRT, Tomáš, 2011. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-738-0345-2.
- ŠULA, Jan, 2014. *Význam automatizace pro inovaci strojírenských výrobků*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

- THOR, Jureen, Siew-Hong DING a Shahrul KAMARUDDIN, 2013. Comparison of multi criteria decision making methods from the maintenance alternative selection perspective. *The International Journal of Engineering and Science.*, 2627-34.
- VLK, František, 2003a. *Automobilová technická příručka*. 1. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-238-9681-4.
- VLK, František, 2003b. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-0026-9.
- VLK, František, 2006. *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk. ISBN 80-239-6463-1.
- Volvo Trucks*, 2021 [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.cz/>
- WEIGEL, Ondřej, 2001. *Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*. Vyd. 1. Praha: Computer Press. Všechny cesty k informacím. ISBN 80-7226-496-6.
- WESTERWELLE, Wolfgang, 2018. *MAN*. 2018. Deutschland: Motorbuch Verlag. ISBN 978-3-613-04051-9.
- Zákon č. 56/2001 Sb.*, Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma manuálního řazení (vlevo 12stupňová manuální převodovka, vpravo manuální 8stupňová převodovka) pro převodovky značky Scania	7
Obrázek 2 Průřez převodovkou I-Shift	8
Obrázek 3 Schéma bubnové brzdy	10
Obrázek 4 Schéma kotoučové brzdy	10
Obrázek 5 Vlevo podvozek s prostřední hnanou nápravou a zdvihací vlečnou, vpravo podvozek se zadní hnanou nápravou a natáčecí prostřední nápravou.	12
Obrázek 6 Vlevo nejnižší nabízená kabina od značky Scania, vpravo největší možná kabina od značky Volvo. Údaje uvedeny v milimetrech.....	12