

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jiří Berlínský, DiS.

Návrh jednotné napájecí soustavy na železnici

Diplomová práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K617 Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jiří Berlínský, DiS.

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Návrh jednotné napájecí soustavy na železnici**

Název tématu (anglicky): Proposal of Unified Power System on Railways

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Současné trakční napájecí soustavy v ČR
- Analýza příležitostí zavedení jednotné napájecí soustavy
- Přínosy a důsledky změny na vozový park
- Technické a ekonomické aspekty přechodu na jednotnou napájecí soustavu
- Hodnocení uvažované změny na novou napájecí soustavu na vybrané trati



Rozsah grafických prací: určí vedoucí diplomové práce podle charakteru tématu

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Doleček, V. Trakční napájecí soustavy. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015
Merhulík, V. Řešení styků elektrické trakční soustavy stejnosměrného a střídavého proudu. 1. vyd. Praha: Nadas, 1964

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Michl**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jiří Berlínský, DiS.
jméno a podpis studenta

V Praze dne 6. června 2017

Poděkování

Rád bych zde poděkoval Ing. Zdeňku Michlovi, vedoucímu diplomové práce, za zájem, vedení, připomínky a čas, který mi při řešení dané problematiky věnoval. Poděkování patří také mojí rodině a blízkým přátelům za pomoc, podporu a trpělivost během studia.

Věnování

Diplomovou práci bych rád věnoval vynálezci a objeviteli panu Nikolu Teslovi (1856-1943), který v roce 1887 přihlásil k patentování rozvod střídavého elektrického proudu a téhož roku také přihlásil patent na dnes nejrozšířenější třífázový indukční motor.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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 Děčíně dne 11. listopadu 2017

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁVRH JEDNOTNÉ NAPÁJECÍ SOUSTAVY NA ŽELEZNICI

diplomová práce

srpen 2017

Bc. Jiří Berlínský, DiS.

ABSTRAKT

Diplomová práce „Návrh jednotné napájecí soustavy na železnici“ se zabývá možností přechodu ze stejnosměrné napájecí trakce na železnici na trakci střídavou. Po seznámení se současným stavem a uvedením do řešené problematiky uvádí popis ekonomického hodnocení a technických řešení k přechodu na jednotný systém napájení. Společně s modernizací vozového parku dopravců a volbou jednotného technického řešení v napájení trakce a trakčních napájecích stanic by došlo k dosažení nemalé finanční úspory. Vyhodnocení jednotlivých řešení a porovnání se současným stavem je shrnuto i s doporučeními v závěru mé diplomové práce.

KLÍČOVÁ SLOVA: Střídavá trakce, vozový park, trakční napájecí stanice

ABSTRACT

The thesis "Design of a Unified Power Supply System on Railway" deals with the possibility of switching from DC power traction to rail to alternating traction. After acquaintance with the current state and introduction to the problem solved, it provides a description of economic evaluation and technical solutions for the transition to a unified power system. Together with the modernization of the fleet of carriers and the choice of a single technical solution for traction power supply and traction power stations, significant financial savings would be achieved. The evaluation of the individual solutions and the comparison with the current situation is summarized also with the recommendations in the conclusion of my diploma thesis.

KEY WORDS: Alternating traction, rolling stock, traction power station

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ:

DSS	Dopravní sektorová strategie
RFC	Nákladní dopravní koridor
ETCS	Vlakový zabezpečovací systém
TEN-T	Transevropská dopravní síť
NS	Napájecí stanice
DC	Stejnoseměrný napájecí systém
AC	Střídavý napájecí systém
SEK	Státní energetická koncepce České republiky (2015)
TM	Trakční měnič
TNS	Trakční napájecí stanice
DS	Distribuční síť
TM	Trakční měčirna
NP	Neutrální pole
SZZ	Staniční zabezpečovací zařízení
TZZ	Traťová zabezpečovací zařízení
PZS	Přejezdová zabezpečovací zařízení
VRT	Vysokorychlostní trať
FKZ	Filtračně kompenzační zařízení
TSI	Technická specifikace pro interoperabilitu
HDO	Hromadný dálkový ovladač
RFC	Nákladní dopravní koridor
ETCS	Vlakový zabezpečovací systém
SDH	Synchronní digitální hierarchie
TRS	Traťový radiový systém
GSM-R	Rádiová síť určená pro železnici
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
ČD – T	ČD – Telematika a.s.

Obsah

Úvod	10
1 Uvedení do řešené problematiky	11
1.1 Přijatá vládní koncepce	11
1.2 Rozdělení nákladní dopravy	12
1.3 Trend růstu osobní dopravy	12
1.4 Strukturální subsystém Energie	13
2 Současné napájecí soustavy v Evropě	15
2.1 Charakteristiky napájecích soustav	15
2.1.1 Soustava stejnosměrná	16
2.1.2 Stejnosměrné napětí 600 V	16
2.1.3 Stejnosměrné napětí 750 V	17
2.1.4 Stejnosměrné napětí 1 500 V	17
2.1.5 Stejnosměrné napětí 3 000 V	17
2.1.6 Shrnutí stejnosměrné soustavy	18
2.1.7 Soustava střídavá	18
2.1.8 Soustava střídavá 15 kV, 16,7 Hz	19
2.1.9 Soustava střídavá 25 kV; 50 Hz	19
2.1.10 Soustava střídavá 25 kV; 50 Hz systém jednotné fáze	22
2.1.11 Soustava střídavá 2x 25 kV; 50 Hz	23
2.1.12 Shrnutí střídavé soustavy	23
3 Analýza příležitostí zavedení jednotné napájecí soustavy	24
3.1 Zabezpečovací zařízení	25
3.1.1 Místní kabelizace	25
3.1.2 Kabelizace na přípojných tratích	25
3.1.3 Stávající přenosové systémy	26
3.1.4 Radiová síť typu GSM-R	27
3.2 Vazba nové napájecí soustavy na VRT	27
4 Přínosy a důsledky změny na vozový park	32
4.1 Vozový park dopravců	33
4.2 Celkový podíl dopravců na nákladní dopravě	35
4.3 Možnost leasingu lokomotiv	36
5 Technické a ekonomické aspekty přechodu na jednotnou napájecí soustavu	37
5.1 Základní parametry napájecího systému	37
5.2 Vazba na sousední státy s ČR	44
5.3 Připojení na distribuční energetickou síť	45
5.3.1 Způsob připojení TNS v systému 3 kV	46

5.3.2	Způsob připojení TNS v systému 25 kV	46
5.3.3	Připojení nových nebo stávajících TNS v systému 3 kV.....	48
5.4	Možné varianty napájení systému 25 kV.....	49
5.4.1	Systém 25 kV; 50 Hz (R/S/T).....	50
5.4.2	Systém 25 kV; 50 Hz – železniční „R“ fáze	51
6	Hodnocení uvažované změny na jednotnou napájecí soustavu na vybrané trati.....	57
6.1	Rozložení distribuční sítě VVN v ČR.....	58
6.2	Počet a druh TNS zapojených do drážní trakce	60
6.3	Porovnání investic do DC a AC soustavy.....	61
6.4	Porovnání investic DC / AC napájecí trakce u konkrétního případu	63
6.5	Porovnání ztrát v trakčním napájecím obvodu	63
6.6	Cenová kalkulace při výstavbě nové linky VVN 110 kV.....	68
6.7	Etapy přechodu na systém 25 kV; 50 Hz	70
	Závěr	72
	Literatura	74
	Seznam obrázků.....	76
	Seznam tabulek	77
	Seznam grafů	78
	Seznam příloh.....	79

Úvod

Cílem diplomové práce je nalézt řešení pro plánovaný přechod ze stejnosměrné napájecí soustavy na železnici na střídavou soustavu, společně se všemi důsledky, technickými parametry a finanční náročností kterou s sebou toto technické řešení přináší.

Je známo, že na území České republiky jsou dnes v provozu dvě napájecí trakční soustavy. Jedna z nich, rozšířená především v okolí Prahy a v severní části České republiky je stejnosměrná trakční napájecí soustava s napětím 3 kV. Druhá trakční napájecí soustava je střídavá s napětím 25 kV; 50 Hz.

Z historie je patrné, že na počátku byl vznik a výstavba stejnosměrné napájecí soustavy, a to v Itálii ve 20. letech 20. století, která byla evropským průkopníkem v této oblasti. Samotná výše napětí, tedy 3 kV stejnosměrných, je hraniční, vzhledem k dosažení potřebného izolačního stavu trakčních obvodů, stejně jako je hraniční pro napětí mezi lamelami komutátorových trakčních motorů.

Při výstavbě nových elektrifikovaných tratí postupovaly jednotlivé státy na svých územích tak, jak nejlépe uznaly za vhodné. K jedinému sjednocení na mezistátní úrovni došlo mezi německy mluvícími státy jako je Německo, Rakousko a Švýcarsko. V období po II. světové válce díky rozvoji polovodičové techniky mohlo dojít na výstavbu napájení s průmyslovým kmitočtem 50 Hz. To vedlo k zavedení druhého napájecího systému především v tehdejších Československu a ve Francii.

Obě uvedené trakční napájecí soustavy mají svoje přednosti, ale také negativa, která budou zmíněna v další kapitolách.

Cílem práce je předložit reálné technické a ekonomické řešení pro plánovaný přechod celého území České republiky na jednotnou napájecí soustavu. Ukázat proč je nezbytné přejít na střídanou napájecí soustavu 25 kV; 50 Hz za použití dostupných informací a studií proveditelnosti.

Nejprve budu popisovat současný stav obou napájecích soustav v ČR. Poté bude provedena analýza příležitosti přechodu na jednotnou napájecí soustavu s přínosy a důsledky na vozový park a v závěru budou uvedeny technické a ekonomické aspekty s hodnocením změny napájecí soustavy na vybrané trati v ČR.

V závěru diplomové práce celý návrh postupu přechodu na jednotnou napájecí soustavu vyhodnotím.

1 Uvedení do řešené problematiky

Na území ČR je dnes v provozu stejnosměrná napájecí soustava 3 kV společně se střídavou soustavou 25 kV; 50 Hz. Obě tyto soustavy mají svoje výhody i nevýhody. Úkolem je odpovědět na otázku, proč provést v blízké budoucnosti sjednocení napájecího systému na železnici na napětí 25 kV; 50 Hz.

V diplomové práci se zabývám technickými parametry, které je nezbytné provést při přechodu na střídavou trakční soustavu, úpravou stávajících napájecích stanic a ekonomickými aspekty, která tato změna přináší.

Při řešení úlohy konkrétní trati při přechodu ze stejnosměrné soustavy na střídavou vycházím z údajů poskytnutých společnostmi SŽDC s.o. společnosti SUDOP Praha a SUDOP Brno v rámci zpracované studie a také z vlastní projektové dokumentace a zpracovaných rozpočtů, vypracovaných při projektování distribuční sítě VN 22 kV pro společnost ČEZ Distribuce a.s. při své současné praxi.

1.1 Přijatá vládní koncepce

Vláda ČR schválila dne 18. 5. 2015 Státní energetickou koncepci České republiky (2015) [15]. Tento dokument zavazuje ČR především k těmto krokům:

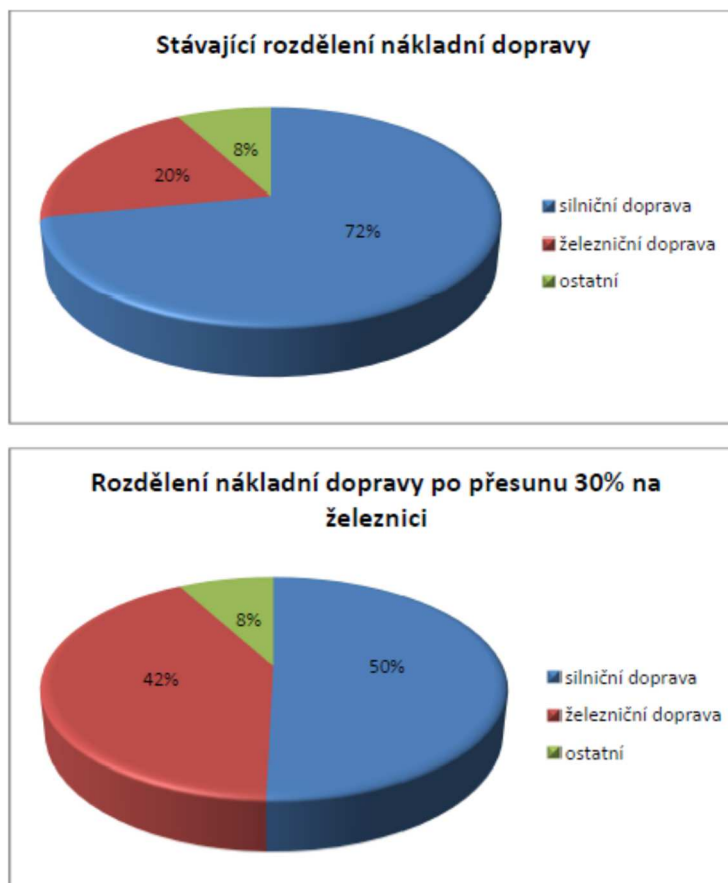
- Snížení spotřeby ropných produktů v dopravě ze současných 59 miliard kWh/rok (hodnota z roku 2015) na 50 miliard kWh/rok v roce 2030.
- Zvýšení využití elektrické energie v dopravě ze současných 2,4 miliard kWh/rok (hodnota z roku 2015) na 4,3 miliard kWh/rok v roce 2030.

Ke splnění uvedené vládní koncepce by bylo potřeba nahradit roční spotřebu 9 miliard kWh energie ropných paliv roční spotřebou 1,9 miliardy kWh za rok. Pro představu se jedná omezení spotřeby nafty a benzínu o 900 milionů litrů za rok. Roční spotřeba ropných paliv by tak měla klesnout 4,7krát, což není reálně splnitelné prostou výměnou automobilů se spalovacím motorem automobily s elektromotorem. Pokud by ale k takovéto výměně přeci jen došlo, mohli bychom počítat s úsporou spotřeby jen asi 2,5krát menší. Tento poměr je dán poměrem účinností elektromotoru a spalovacího motoru (1 kWh elektrické energie nahradí 2,5 kWh energie z ropných paliv).

Základem je převedení dopravy z automobilů na elektrifikované železnice. V takovém případě 1 kWh elektrické energie dokáže nahradit 7,5 kWh energie z ropných produktů, neboť kromě zvýšení účinnosti (faktor úspory 2,5) působí i efekt poklesu trakční práce převedením silniční dopravy na železnici s menším valivým odporem a menším aerodynamickým odporem vozidel jedoucích v zákrytu (faktor úspory 3), tedy v součinu je dosažen faktor úspory 7,5. [9]

1.2 Rozdělení nákladní dopravy

V plánovaném výhledu pro převedení nákladní dopravy na železnici dle Usnesení Vlády č.978/2015 (Národní program snižování emisí ČR [16]) je zakotveno ustanovení, které ukládá rezortu dopravy převést ze silnic na železniční dopravu 30 % nákladní dopravy, a to do roku 2030. Pokud uvážíme, že dnešní silniční doprava se na přepravních výkonech podílí 72 % a železniční doprava 20 %, pak by to znamenalo, že výkon nákladní železniční dopravy by do roku 2030 měl vzrůst o 273 % oproti výkonu z roku 2015.

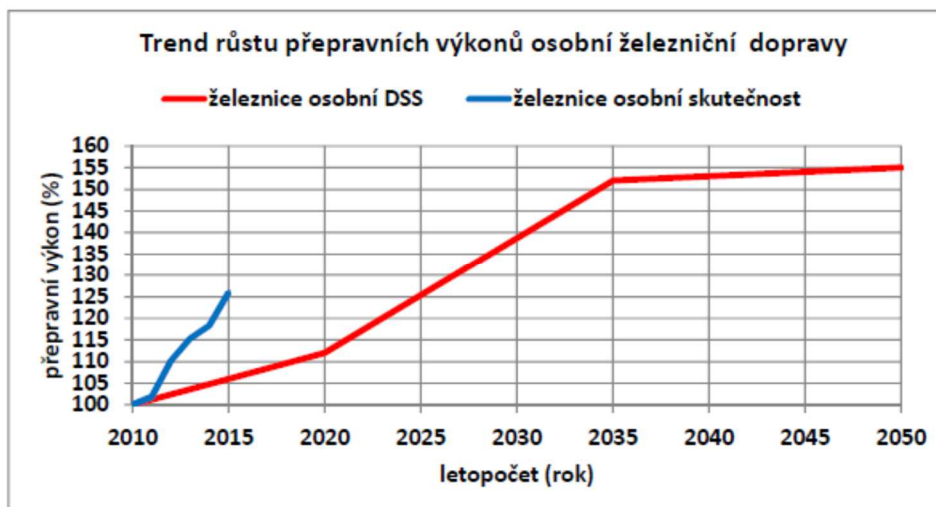


Graf 1 Koláčový graf rozdělení nákladní dopravy [9]

1.3 Trend růstu osobní dopravy

Osobní železniční doprava se také rozvíjí, a proto musíme zmínit i tento sektor přepravy. Od roku 2010 rostou ročně přepravní výkony v osobní přepravě v průměru o 5,2 %, což je násobně více, než jak předpokládala Dopravní sektorová strategie (DSS) 1,2 %/rok. Tato strategie předpokládala výši přepravních výkonů, které budou dosaženy v roce 2025, avšak ty byly překročeny již v roce 2015. Je zřejmé, že tempo růstu přepravních výkonů v osobní železniční přepravě se zvyšuje. V období mezi roky 2014 a 2015 byl nárůst osobní přepravy 7,7 % z úrovně roku 2010. Data dokládají, že mezi 1.čtvrtletím roku 2015 a stejným obdobím roku 2016 vzrostla meziročně osobní doprava o 9,4 %. Střední přepravní vzdálenost vzrůstá ze

40 km v roce 2010 na vzdálenost 50 km v roce 2015. Příčinou poptávky ze strany cestujících je dálková železniční doprava.



Graf 2 Trend růstu přepravních výkonů osobní železniční přepravy [9]

Zájem dopravců a cestujících je především o elektrifikované tratě sítě TEN-T, které nesou tíhu dopravního provozu v železniční dopravě ČR následovně:

- Tratě sítě TEN-T (až na výjimky elektrizované) představují 27 % celkové délky sítě a zajišťují 84 % dopravních výkonů
- Tratě celostátní (zpravidla bez elektrizace) představují 32 % celkové délky sítě a zajišťují 12 % dopravních výkonů
- Tratě regionální (zpravidla bez elektrizace) představují 41 % celkové délky sítě a zajišťují 4 % dopravních výkonů

Z uvedeného vyplývá, že elektrizované páteřní tratě jsou přetíženy a dopravci se potýkají s nedostatkem kapacity, zatímco regionální dráhy nejsou zpravidla v osobní a zejména nákladní dopravě atraktivní.

1.4 Strukturální subsystém Energie

Jedná se o systém elektrického napájení drah, který je řešením pro:

- a) Zvýšení výkonnosti pevných trakčních zařízení, který umožní zvýšený rozsah dopravního zatížení tratí sítě TEN-T, zejména RFC koridorů (nákladní dopravní koridor) pro pokrytí výkonových potřeb těžších vlaků. S tím souvisí i vyšší rychlost vlaků všech kategorií, jízda vlaků v těsnějším sledu s využitím systému ETCS. Aerodynamická složka jízdního odporu vozidel roste s druhou mocninou rychlosti, výkon potřebný na její překonání roste také s druhou mocninou rychlosti. Odpovídající

výkon roste se třetí mocninou rychlosti a ztráty v trakčním vedení ($P_z = R \cdot I^2$) rostou se šestou mocninou rychlosti. K tomu se přidává limitující faktor pro přenos výkonu ve stejnosměrných napájecích systémech. Ten je již dnes více než trojnásobně přetěžován současnými trakčními vozidly s výkonem cca 6 MW oproti původně nasazovaným trakčním vozidlům s výkonem 2 MW. Nejedná se jen o výkon napájecích stanic (NS), ale současně o velké úbytky napětí mezi napájecí stanicí a trakčním vozidlem vzhledem k průřezům trakčního vedení, dimenzovaného na dřívější příkony trakčních vozidel.

b) Elektrizací nových tratí s potenciálem růstu přepravních výkonů. Nabídnout zákazníkům rychlejší a levější dopravu, než je u naftových vozidel. Technické a ekonomické parametry běžně dostupných trakčních vozidel závislé trakce a naftových vozidel nezávislé trakce se liší takto [9]:

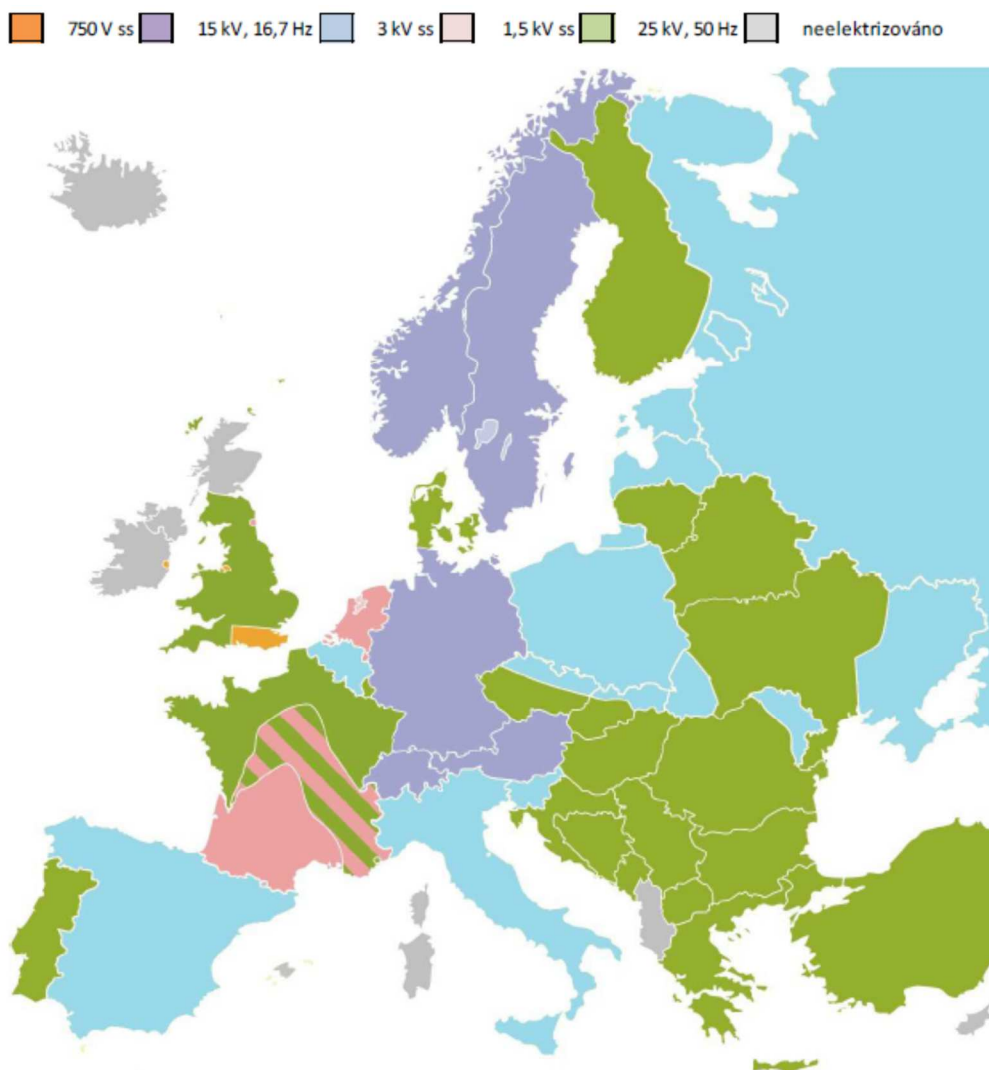
- Měrný trakční výkon (určuje rychlost jízdy) elektrické lokomotivy: cca 80 kW/t,
- Měrný trakční výkon (určuje rychlost jízdy) naftové lokomotivy: cca 20 kW/t,
- Měrný trakční výkon elektrické regionální jednotky: cca 12 kW/t,
- Měrný trakční výkon naftové regionální jednotky: cca 6 kW/t,
- Měrná pořizovací cena elektrické lokomotivy: cca 17 000 Kč/kW,
- Měrná pořizovací cena naftové lokomotivy: cca 45 000 Kč/kW,
- Měrné náklady na trakční energii pro elektrickou vozbu: cca 2,70 Kč/km,
- Měrné náklady na trakční energii pro naftovou vozbu: cca 7,0 Kč/km,
- Měrné náklady na údržbu elektrické lokomotivy: cca 15 Kč/t,
- Měrné náklady na údržbu naftové lokomotivy: cca 30 Kč/t.

Pro příklad uveďme přemístění fiktivního nákladu bez ohledu na rozměry a váhu na vzdálenost 50 km. Pro elektrifikovanou trať dostáváme zjednodušený výsledek měrných nákladů: 885 Kč. Pro neelektrifikovanou trať obdržíme výsledek s hodnotou měrných nákladů ve výši: 1 850 Kč. Tyto náklady společně s malou přepravní rychlostí jen podtrhují nezáměr o nákladní dopravu na neelektrifikovaných tratích oproti silniční dopravě s kratšími dopravními časy a nižší cenou.

Je zcela na místě provést rozhodnutí vedoucí k dalšímu rozšíření elektrifikovaných tratí po celém území ČR. Určit posloupnost a prioritu nových elektrifikovaných tratí s návazností na stávající tratě. Zajistit plynulou výstavbu trakčních zařízení se zajištěním napájecích stanic, které budou vybaveny technologií jednotné napájecí soustavy. Volba typu napájecího napětí, resp. jeho velikosti, závisí na strategickém rozhodnutí představitelů vlády ČR současně s předními odborníky v tomto odvětví. Tato otázka by měla být vyřešena co nejdříve, protože odkládání řešení bude draze vykoupeno v podobě zpoždění vlaků, výluk na trati a nesplnění závazku ČR vůči Evropské unii, strategií jednotného evropského dopravního prostoru, známého jako „Bílá kniha“.

2 Současné napájecí soustavy v Evropě

K dnešnímu dni je v Evropě provozováno celkem pět různých systémů pro napájení drážní elektrické trakce. Níže je vyobrazeno graficky rozložení jednotlivých napájecích systémů. Jedná se o stav před zahájením procesu konverze v ČR. Systém 3 kV se provozuje ve Španělsku, Itálii, Belgii, Polsku a na území Ruské federace. Systém 25 kV; 50 Hz se používá na území Norska, Velké Británie, Portugalska, severní části Francie a jihovýchodní Evropy.



Obrázek 1 Druhy napájecích soustav v Evropě [17]

2.1 Charakteristiky napájecích soustav

Jak již bylo zmíněno dříve, pro drážní trakční dopravu se v Evropě používají dva základní systémy. První systém je stejnosměrný a druhý střídavý. Oba druhy se dále dělí podle velikosti napětí v troleji. Bližší popis obou základních soustav uvádím níže.

2.1.1 Soustava stejnosměrná

Stejnosměrná napájecí soustava zahrnuje trakční měničny (TM) připojené k distribuční síti (DS) v ČR nejběžněji z hladiny VN 22 kV, v nichž dochází k transformaci napětí na požadovanou hodnotu a k jeho usměrnění. Součástí TM je rozvodna zajišťující rozdělení usměrněného napětí na jednotlivé vývody pro napájení samostatných traťových úseků. Přívody k trakčnímu vedení nebo k napájecí kolejnici jsou obvykle provedeny kabelem. U vedení pro tramvajový provoz je zpravidla kladný pól připojen k troleji a záporný pól ke kolejnici. Pro napájení metra a příměstských drah typu S-Bahn se často používá třetí napájecí kolej nahrazující trolejové vedení.

Nevýhody stejnosměrného napájecího systému jsou:

- Vysoké proudové hodnoty a z toho vyplývající velké průřezy trolejového vedení,
- Nízká přenosová schopnost vedení a z toho vyplývající nízká efektivita rekuperačního brzdění (předávání energie nepříliš vzdálenému vozidlu),
- Běžné diodové měničny nedokáží vracet energii zpět do distribuční sítě,
- Hustší síť napájecích stanic s ohledem na úbytky napětí a proudovou zatížitelnost vedení,
- V porovnání s AC soustavami mají složitější napájecí stanice,
- Existence bludných (zemních) proudů a jejich důsledky,
- Existence podélných (vozidlových) proudů a jejich důsledky.

Výhody stejnosměrného napájecího systému jsou:

- Jednoduchost regulace sériového trakčního motoru,
- Bezpečnost s ohledem na hodnotu provozovaného napětí,
- Nižší izolační hladina.

V současnosti stejnosměrné napájecí a trakční systémy na železnici ustupují. Ve městech s tramvajovou a trolejbusovou dopravou však budou i nadále provozovány stejně jako stejnosměrný systém napájení metra v Praze.

2.1.2 Stejnosměrné napětí 600 V

Tato napájecí soustava se používá v tramvajové a trolejbusové (dvoustopé vedení) dopravě v Praze, Brně, Liberci, Ostravě, Plzni, Olomouci a Mostě-Litvínově (rychlodráha). Tramvajová síť je napájena kladným pólem do troleje (do sběrače) a záporným pólem do kolejnice, což nemusí být vždy pravidlem. Obrácená polarita je např. v Ostravě a v Brně z důvodu eliminace bludných (zemních) proudů v blízkém okolí TM.

2.1.3 Stejnoseměrné napětí 750 V

Tato napájecí soustava se používá k napájení metra v Praze. Kladný pól je připojen na napájecí kolejnici a záporný k pojížděným kolejím. V systému metra jsou měničny umístěny ve vzdálenosti 1 až 2 km, což znamená, že jsou téměř v každé stanici.

2.1.4 Stejnoseměrné napětí 1 500 V

Tato napájecí soustava se instalovala v období s nižší úrovní elektrotechniky, tj. v období mezi světovými válkami. V zemích, kde je ještě dnes rozšířená (Francie-jihní část, Nizozemí) přináší problémy, i přesto, že se pro napájecí trolej používají vodivé průřezy přes 1000 mm². I tak není tato soustava již schopná přenášet požadované výkony. Dnešní, moderní vícesystémová vozidla na tomto napájení pracují s výrazně sníženým výkonem, ve srovnání s napájením 3 kV, 15 kV a 25 kV přibližně polovičním. Obecně byl vývoj této soustavy ukončen ve 30. letech 20. století. Na území ČR je takto provozována již jen trať Tábor – Bechyně.

Původní napájecí zdroje (dynama poháněná parními stroji, vodní elektrárny) byly nahrazeny měničny napájenými z DS, což je výhodou pro napájecí DC soustavu pro téměř symetrické zatížení trojfázové DS. Vhodným zapojením trakčních transformátorů a měničů je dostatečně eliminován vliv vyšších harmonických směrem k DS a není tedy nutné používat filtračních zařízení pro splnění požadavků dodavatele elektrické energie ohledně zkreslení napětí [1].

2.1.5 Stejnoseměrné napětí 3 000 V

Tato napájecí soustava s napětím 3 000 V se využívá pro železniční síť především v Belgii, Španělsku, Itálii, Polsku, ČR (severní část) na Slovensku a představuje hranici pro stejnoseměrný napájecí systém. Je to z důvodu zajištění izolačního stavu trakčního obvodu, motorů, zvýšenými nároky na spínací prvky s ohledem na napětí při přechodových jevech a při zhášení oblouku, stejně jako na napětí mezi lamelami komutátorů trakčních motorů. Dřívější výhodou byla jednoduchost trakčních vozidel, která pominula na konci minulého století s příchodem vozidel s technikou střídavých trakčních a pomocných pohonů. U tohoto systému napájení se výraznou měrou projevují vysoké ztráty v trakčním napájecím vedení, nízká přenosová (proudová) schopnost vedení, což brání využití plného výkonu moderních vozidel a omezuje použití rekuperačního brzdění. Především u velkých železničních stanic (Olomouc, Pardubice), které jsou vzdáleny od TM je tento problém nejpálčivější, a to i přes to, že pro tuto soustavu je charakteristické oboustranné napájení (jeden úsek je napájen současně ze dvou TM současně). To vede k vyšší spolehlivosti napájení a k poměrnému rozložení zátěže na jednotlivé napáječe dle polohy vozidla.

2.1.6 Shrnutí stejnosměrné soustavy

Stejnosemřný napájecí systém pro provoz na železnici s napájením 3 000 V se jeví jako nevhodný pro rozšíření na celou síť tratí v ČR pro blízkou i vzdálenou budoucnost z důvodu nároku na velké napájecí proudy, na průřezy trakčního vedení, a s tím související masivní konstrukce nosné trakční soustavy. Navíc je nutné eliminovat působení bludných proudů, které poškozují také cizí zařízení umístěná v blízkosti elektrizované železniční trati a TM, což by v budoucnu mohlo vést řešit případné soudní spory.

2.1.7 Soustava střídavá

Střídavá napájecí soustava v trakčním vedení se provozuje na napětí 10 až 25 kV. To znamená, že je možné trakční napájecí stanice (TNS) napájet z distribuční sítě VN (DS), která se v ČR provozuje na hladině 22 kV, 50 Hz. Protože střídavá soustava je provozována na vyšší napěťové hladině, je možné ve srovnání se stejnosměrnou soustavou podstatně zmenšit průřez trakčního napájecího vedení a stavět lehčí trakční vedení vč. stožárů (menší kubatura betonu pro základ stožáru). Dalším důležitým aspektem je fakt, že vzdálenost mezi jednotlivými TNS je větší a pohybuje se okolo 50 km v závislosti na zatížení trati. Zápornou vlastností střídavé soustavy je rušivé působení na sdělovací kabely a zařízení umístěné podél tratí, kde způsobují nebezpečné indukované stavy. Ochrana proti těmto vlivům je výstavba sdělovacích kabelů se stíněním nebo lépe, výstavba optických kabelových tras, které jsou vůči vlivům ze střídavé trakce imunní. V současné době je upřednostňován také bezdrátový přenos hovorů a informací a lze předpokládat, že problematika feromagnetických nestíněných kabelů postupem času zanikne. Rušivé vlivy z napájecího vedení lze také potlačit použitím zemního lana, a protože střídavé systémy negenerují bludné proudy, je možné provést uzemnění všech ocelových konstrukcí, což zjednodušuje vedení zpětného proudu, ochranu před nebezpečným dotykem neživých částí s vazbou na další systémy (bleskojistky, ochranné vodiče v distribučních sítích apod.). Při zkratu na neživou část trakčního vedení, např. přeskokem proudu přes izolátor na trakční podpěru musí co nejrychleji dojít ke snížení dotykového napětí na neživé části na přípustnou hodnotu a současně musí co nejrychleji vypnout vypínač v trakční napájecí stanici [5].

Nevýhody střídavého napájecího systému jsou:

- Nesymetrické zatížení distribuční trojfázové soustavy,
- Nutnost použití filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) pro dodržení účinníku v hodnotách 0,95 – 1 (požadavek distributora energie),
- Potřeba omezit deformaci časového průběhu odebíraného proudu vlivem vyšších harmonických (generují především starší hnací vozidla),
- Dosud nepovolené vracení přetoku elektrické energie do sítě distributora při rekuperaci (v ČR do roku 2008 zakázána, dnes ve zkušebním provozu),

- Existence rušivých vlivů na sdělovací kabely a zařízení podél trati (pouze na metalické kabely bez stínění),
- Vyšší izolační hladina oproti napěťové hladině DC soustavy.

Výhody střídavého napájecího systému jsou:

- Malé ztráty v trolejovém vedení vzhledem k soustavám nižších napěťových hladin,
- Možnost použití menšího průřezu trolejového vedení,
- Větší vzdálenosti mezi napájecími stanicemi (40–60 km),
- V porovnání s DC soustavami mají AC stanice jednodušší technologii,
- Možnost napájení stanic ze sítě distributora na hladině VN 22 kV.

2.1.8 Soustava střídavá 15 kV, 16,7 Hz

Střídavá napájecí soustava 15 kV s frekvencí 16,7 Hz byla na železnici zavedena ve Švýcarsku, Německu, Rakousku, Švédsku a Norsku na počátku 20. století. Vznik této soustavy byl vyvolán požadavkem na zvýšení napájecího napětí a použití AC proudu na elektrické trakci. Snížení frekvence bylo nezbytné pro zlepšení komutace jednofázových trakčních motorů bez nutnosti použití usměrňovače. Tato vlastnost trakčních motorů dnes již ustoupila do pozadí s ohledem na současná vozidla s třífázovým frekvenčně řízeným motorem. Uvedená hodnota 16,7 Hz byla zvolena z technických důvodů, neboť se jedná o 1/3 síťového kmitočtu 50 Hz. Frekvence 16,7 Hz byla snadno realizovatelná pomocí rotačních měničů na bázi šestipólového synchronního motoru a dvoupólového alternátoru. Tento kmitočet se mimo jiné příznivě projevil ve snížení impedance trakčního napájecího vedení a ve spojení s pětinasobně vyšším napětím oproti DC soustavě také s nižším počtem napájecích stanic. K dalším provozním výhodám tohoto systému patří spojitě dvoustranné napájení bez střídání fází, které umožňuje budovat levné trakční vedení bez neutrálních polí a nepřerušované napájení trakčních vozidel. Nevýhodou frekvence 16,7 Hz je nutnost budovat vlastní jednofázové přenosové vedení vysokého napětí, nezávislé na třífázové rozvodné síti. Díky tomu však je rekuperace v této síti bezproblémová. V zemích, kde byl tento systém napájení železniční sítě zaveden, je dále rozšiřován, a to i na VRT tratích. Jeho největší nevýhodou je atypičnost řešení a nutnost vybudování vlastní napájecí sítě a elektráren oddělených od distribuční sítě.

2.1.9 Soustava střídavá 25 kV; 50 Hz

Tato střídavá napájecí soustava nevyžaduje výstavbu měníren, ani zvláštního napájecího vedení. Napěťová hladina 25 kV je získána jednoduchou transformací z napájecí distribuční sítě, která se provozuje s napětím 22 kV. Není třeba zřízení neutrálního pole v trakčním vedení staničních kolejí, které zabezpečuje oddělení jednoho systému od druhého a umožňuje přetahy jednoúčelovými lokomotivami [2].

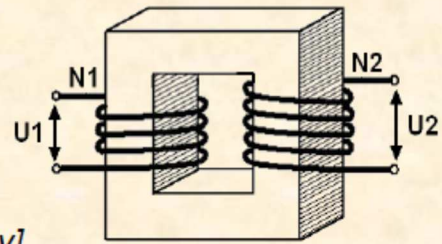
Pro transformační poměr p platí vztah :

$$p = \frac{N_2}{N_1}$$

kde

N_1 = počet závitů primární (vstupní) cívky [záv]

N_2 = počet závitů sekundární (výstupní) cívky [záv]



Obrázek 2 Transformační poměr (převod) [7]

Stejný poměr, jako mají mezi sebou počty závitů obou vinutí transformátoru, mají i napětí na nich naměřená neboli kolikrát více závitů je na výstupním vinutí N_2 než na vstupním vinutí N_1 , tolikrát větší je výstupní napětí U_2 oproti vstupnímu napětí U_1 .

Tato soustava napájení s sebou však nese nerovnoměrné proudové zatížení třífázové distribuční sítě, která způsobuje nesymetrii třífázového napětí ostatním odběratelům v DS, tato nesymetrie způsobuje mj. zvýšený ohřev motorů. Distributor proto povoluje odběr z třífázové sítě jen do určité hodnoty jednofázového výkonu, a to v závislosti na impedanci sítě, resp. jejím zkratovém výkonu v místě odběru. Aktuální hodnota odběru jednofázového zkratového výkonu je stanovena na 0,7 % (z dřívějších 2 %). Zpřísnění ze strany distributora je dáno povinností dodávat odběratelům nezkraslené symetrické třífázové napětí. Otázce asymetrie při stoupající spotřebě elektrické energie je nutné věnovat náležitou pozornost [3].

Systém 25 kV vykazuje nejmenší ztráty při přenosu a napětí lze velmi jednoduše pomocí transformátorů dodávat z distribuční sítě do trakčního vedení. Problémem je nutnost zajistit rovnoměrné zatížení veřejné sítě, a proto jsou jednotlivé trolejové úseky napájeny z různých fází, které tím musí být od sebe odděleny pomocí neutrálních polí v trolejovém vedení. To způsobuje další problém při rekuperačním brzdění a vracení energie do sítě distributora, které se tak stává nevýhodné. Distributor elektrické energie se těmto přetokům do své sítě brání z ekonomických, ale i z technických důvodů. Pro představu se takový zdroj energie chová jako alternativní zdroj, který vyrábí elektrickou energii nárazově, nepravidelně a nelze ji nijak ovlivnit, stejně jako např. větrnou elektrárnu. Stejný vlak nemusí být další den na stejném místě a vracet do sítě stejné množství energie, protože se bude pohybovat jinou rychlostí. Dochází tak k nárazovým dodávkám, s nízkým účínkem, s deformovaným průběhem napětí a proudu, protože v daném úseku nemusí být k dispozici jiné vozidlo, které by dodanou energii odebralo. U starších jednofázových trakčních vozidel se stejnosměrnými motory je známo, že neodebírají sinusový, ale přibližně obdélkový proud, který je vlivem indukční zátěže fázově posunut. Při přetocích energie z trakční do DS by tato síť byla zatěžována vyššími harmonickými složkami proudu (deformační výkon) a také magnetizačním proudem (jalový

výkon). Pro dodržení kvality odběru energie z DS je nutné zajistit kompenzaci fázového posunu odebíraného napětí a proudu pomocí tzv. filtračně kompenzačního zařízení (FKZ). Praxe je taková, že trakční napájecí stanice je zapojena jen na jedno sdružené napětí. I prostá činná zátěž způsobuje při takovém připojení fázové posuny proudů vůči fázovým napětím až o 30°. Přírodním třífázovým vedením tak mohou cirkulovat jalové i činné výkony. Nesymetrická zátěž při rozjezdu vlaku má pulzující charakter a současně deformuje kruhové pole ve strojích připojených k síti. Z důvodu různých napětí v připojovacích bodech k DS 110 kV je v ČR používáno výhradně jednostranné napájení trakčního vedení. To zvyšuje počet míst střídání fází v trakčním vedení na dvojnásobek (u TNS a uprostřed mezi nimi), což komplikuje trakční vedení i provoz vozidel.

Střídání fází je tak pro provoz železniční dopravy nežádoucí. V úseku mezi dvěma trolejovými napájecími dvou různých fází je jmenovité efektivní napětí 43 kV ($25 \times \sqrt{3}$), a proto se v místě styku dvou fází vkládá neutrální pole (NP). Toto NP, provozované bez napětí, mohou elektrická trakční vozidla přejíždět se zvednutým sběračem, ale s vypnutým odběrem proudu. Pokud by se tak nestalo, mohlo by dojít na sběrači k natažení elektrického oblouku mezi opouštěnou fází a neutrálním polem (došlo by k propojení do neutrálního pole) a následně po vjetí do oddílu napájeného jinou fází k mezifázovému zkratu s destruktivními účinky. Periodické vypínání odběru proudu u každé napájecí stanice a uprostřed mezi napájecími stanicemi vede k nespojitému napájení s negativními dopady na vlakové soupravy jako je:

- Přerušení tažné síly,
- Přerušení chodu kompresorů,
- Přerušení napájení AC palubních sítí,
- Přerušení přímého napájení DC palubních sítí a dobíjení akumulátorů,
- Přerušení činnosti vytápění a chlazení u klimatizačních agregátů,
- Snížení rychlosti soupravy v obloucích u vozidel s aktivním nakláněním.

S rostoucí rychlostí jízdy problém narůstá. Byla proto hledána technická řešení, jak přepnout neutrální pole v okamžiku jeho obsazení sběračem vlaku z napětí jedné fáze na druhou. Jedná se o velmi komplikovanou úlohu, kde se v obvodu při výpočtu objevuje amplituda napětí až 67 kV ($1,1 \times \sqrt{2} \times \sqrt{3} \times 25$), neboť zde působí závažné fyzikální jevy:

- Současné zapnutí obou fází znamená mezifázový zkrat,
- Vypnutí a nové zapnutí napětí s prodlevou vede v mezičase k aktivaci podpěťové ochrany na vozidle,

- Vypnutí a nové zapnutí napětí bez prodlevy vede ke krátkodobému přesycování transformátoru, kdy složka magnetizačního proudu mnohonásobně vzroste. Na tento jev jsou náchylné zejména transformátory starších elektrických lokomotiv. Pro eliminaci jevu jsou tyto lokomotivy již od výroby připojovány na napětí zvednutím sběrače, nikoliv zapnutím hlavního vypínače. Tím je docíleno sepnutí proudového okruhu přeskokem v okamžiku maximální amplitudy napětí, které je doprovázeno charakteristickým prsknutím.

Byly provedeny provozní zkoušky s automatickým přepínáním neutrálního pole ve stanici Popice, které potvrdily složitost problému. I přes vyřešení této otázky pro spojitě napájení vlaků, zůstává řešení hlavního problému před námi. Distribuční síť 3 x 110 kV; 50 Hz by stále byla zatěžována nesymetrickým odběrem proudu a požadavky dle PNE 33 3430-0 (pro nesymetrii do hodnoty 0,7 %, tedy zatěžováním výkonem do nejvýše 0,7 % zkratového výkonu) by nebyly splněny. [9]

2.1.10 Soustava střídavá 25 kV; 50 Hz systém jednotné fáze

Dnešní moderní trakční vozidla se střídavými frekvenčně řízenými trakčními a pomocnými pohony jsou vybaveny vstupními čtyřkvadrantovými měniči. Díky této technologii odebírají přibližně sinusový proud, který je ve fázi s napětím, takže nezatěžují síť ani jalovým (magnetizačním) ani deformačním (působení vyšších harmonických) výkonem a nepotřebují žádné stacionární filtračně kompenzační zařízení. Lokomotiva s touto technologií o výkonu 6 MW s AC trakčními motory s účinnkem přibližně hodnoty 1 nepředstavuje pro pevná trakční zařízení větší zátěž, než starší lokomotiva o výkonu 4,5 MW s DC trakčními motory, a tedy s účinnkem přibližně hodnoty 0,7.

Požadavek vyšší rychlosti vlaků spojený s větším výkonem vozidel současně s požadavkem vyššího nároku na kvalitu odběru energie z DS vede k nemožnosti připojovat jednoduše jednofázové trakční transformovny s obyčejnými transformátory s jednou fází nebo se dvěma fázemi zapojenými do „V“ k DS 110 kV tak, jak tomu bylo v minulosti běžné. Pokud bychom chtěli dnes připojit k DS napájecí stanici o výkonu 16 MVA a splnit kritérium jednofázového nebo dvoufázového odběru do úrovně nejvýše 0,7 % zkratového výkonu, znamenalo by to pro DS na hladině 3 x 110 kV v místě připojení zkratový výkon 2 286 MVA. Tak velkým zkratovým výkonem běžné DS 110 kV nedisponují.

Řešením pro tuto soustavu by mohlo být použití aktivních balancérů. Jedná se o vysokonapěťové mezifázové IGBT spínače, které jsou řízeny tak, aby část proudu z fáze, která napájí trakční vedení, byla převáděna do ostatních dvou fází.

Využití aktivních balancérů přináší:

- Možnost zavedení jednotné fáze na napětí 25 kV (obdobně jako na napětí 15 kV) namísto tradičního systému střídání tří fází,
- Možnost využívat balancér ke kompenzaci jalového odběru,
- Zavedení dvoustranného, resp. spojitého napájení systému 25 kV.

2.1.11 Soustava střídavá 2x 25 kV; 50 Hz

Princip soustavy se dvěma fázemi je podobná u vedení 25 kV navíc s pomocným vedením, které je zavěšeno na trakčních stožárech podél trati. Pomocné vedení (negativní napáječ) je napájeno opačným střídavým napětím 25 kV, fázově posunutým o 180° vůči napětí v troleji (mezifázové napětí má tedy hodnotu 50 kV). Smyslem tohoto druhu napájení je přivést energii co nejbližší místu spotřeby dvou vodičovým vedením s napětím 50 kV a následně jeho transformaci v místě spotřeby pomocí autotransformátorů na hodnotu 25 kV, jejichž jeden konec vinutí je zapojen na trakční vedení a druhý na pomocné vedení. Střed vinutí transformátoru je propojen s traťovou kolejnící. Trolejové vedení i pomocné vedení mají proti kolejnici (zemi) napětí 25 kV. Tyto autotransformátory se na napájecím úseku trati opakují přibližně každých 10 až 12 km, zatímco vzdálenost mezi napájecími stanicemi se pohybuje okolo 50 km. Tato soustava je označována jako soustava AT a využívá se především pro napájení drah rychlovlaků a vysokokapacitních sítí např. ve Francii, Japonsku, Španělsku, Itálii a Jižní Koreji.



Obrázek 3 Autotransformátor na širé trati ve Francii [1]

Výhodou takovéto soustavy je, že v úsecích, kde se aktuálně nenachází žádná jedoucí lokomotiva, neprochází kolejnící ani zemí žádný zpětný trakční proud. Ten se uzavírá pouze v úseku s tažným vozidlem a nejbližšími autotransformátory. Výsledkem je značné omezení působení rušivých vlivů a nepříznivých korozních účinků na ostatní podzemní zařízení.

2.1.12 Shrnutí střídavé soustavy

Střídavá soustava nabízí několik možností napájení. Důležitý je úhel pohledu na budoucí výstavbu trakčních zařízení a napájecího vedení, druh hnacích vozidel, která na soustavě mají

být provozována a volbu typu napájení pro budoucí využití s ohledem na ekonomický provoz. Pokud bychom upřednostnili výstavbu konstrukčně lehčích zařízení a menšího průřezu trolejového vodiče, pak volba jednoznačně povede ke střídavé napájecí soustavě. Musíme si také ale uvědomit, že nelze celou síť napájení na železnici v ČR během krátké doby změnit na střídavou. Pokud chceme efektivně využívat stávající síť, je vhodné nadále modernizovat vozový park na vícesystémová hnací vozidla, která v daleko menším měřítku ovlivňují chod napájecí DS a mohou být provozována na obou typech napájecích systémů provozovaných v ČR.

Dle mého názoru by volba měla padnout buď na systém AC 25 kV; 50 Hz nebo na systém 25 kV; 50 Hz jednotné fáze. V současnosti je však velmi obtížné získat územní rozhodnutí pro nové venkovní vedení VVN 110 kV vzhledem k právům majitelů pozemků. Proto se domnívám, že systém jednotné fáze při napájení z DS 22 kV za použití aktivních balancérů je možnou cestou, jak postupovat. Otázkou k zamyšlení zůstává rekuperace energie do sítě distributora.

3 Analýza příležitostí zavedení jednotné napájecí soustavy

Pro komplexní analýzu se zavedením jednotné napájecí soustavy je potřeba uvažovat stávající rozlohu a stav elektrizovaných tratí, vytížení jednotlivých tratí, typ napájecí soustavy, umístění stávajících TNS, typ stávajícího sdělovacího a zabezpečovacího zařízení, a to vše s již probíhajícími stavbami včetně staveb plánovaných. Bylo by nereálné domnívat se, že jedním rozhodnutím bude provedena změna napájecí soustavy na železnici na všech tratích do roku 2030. Jednak z časových důvodů, ale především z důvodů ekonomických, které se pokusím dále rozepsat.



Obrázek 4 Mapa AC/DC trakce v ČR [18]

3.1 Zabezpečovací zařízení

V rámci uvažovaného přechodu na jednotnou napájecí soustavu na železnici musíme počítat se stávajícím staničním zabezpečovacím zařízením (SZZ), traťovým zabezpečovacím zařízením (TZZ) a přejezdovým zabezpečovací zařízením (PZS), které by bylo v rámci přechodu na soustavu 25 kV; 50 Hz ovlivněno. Ovlivnění z napájecí střídavé trakce je především v oblasti rušivých a nebezpečných indukčních vlivů. Ovlivnění lze rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé ovlivnění se projeví na metalických kabelech uložených podél elektrifikované železniční trati nebo v její těsné blízkosti elektromagnetickou indukcí při běžném provozu trakční soustavy. V případě poruchy (nepřímé vlivy), např. zkratu na trakčním vedení mohou nastat nebezpečné vlivy, které by mohly vést k přímému poškození připojeného zařízení nebo úrazu obsluhy ze strany připojeného zařízení. Jedná se především o dálkové metalické kabely typu DCKQxxx. Ostatní používané traťové metalické kabely typu TCEKEY(ZE) a TCEPKPFLEY(ZE) nejsou ze strany střídavé trakce na indukční vlivy citlivé a jejich parametry jsou pro současný železniční provoz dostatečné. Společně s metalickými kabely byly a jsou ukládány podél tratí dálkové optické kabely v majetku SŽDC a ČD - Telematika (ČD – T) nebo se používají závěsné optické kabely instalované na trakčních podpěrách. Společnost ČD – T vyčlenila pro drážní provoz společnosti SŽDC celkem 6 optických vláken, která jsou společně s ostatními zafouknuty do chrániček HDPE 40/33 v pozemcích SŽDC, což je ošetřeno smlouvou. V případě požadavku ze strany SŽDC na další přenosovou kapacitu poskytuje ČD – T další volná optická vlákna za finanční úhradu společnosti SŽDC. Tímto komerčním způsobem pronajímá firma ČD – T zbylá optická vlákna jiným subjektům.

3.1.1 Místní kabelizace

Ve většině železničních stanic (ŽST) byla místní kabelizace vystavěna v období let 1960 až 1990 s použitím kabelů typu TCKQ, TCEKEY(ZE) xxXN0,6(0,8). V současné době jsou tyto kabely ve většině případů za hranicí svojí životnosti, která je počítána na dobu cca 30 let od výstavby. Pokud byly ŽST dotčeny revitalizací nebo byly součástí přestavby v rámci koridorových staveb, pak byly použity kabely typu TCEPKPFLEY(ZE) xxXN0,6(0,8) a jsou pro současný železniční provoz dostatečné. Až na výjimky jsou tyto kabely položeny v pozemcích SŽDC.

3.1.2 Kabelizace na přípojných tratích

Na přípojných železničních tratích, které jsou zaústěny do elektrifikovaných tratí jsou v souběhu tratě uloženy sdělovací kabely do nejbližších ŽST a kabely jsou typu:

- Dálkové metalické kabely typu DCKQxxx,
- Traťové metalické kabely typu TCEKEY(ZE), TCEPKPFLEY(ZE),
- Přípojné optické kabely v majetku SŽDC,

- Hybridní dálkové kabely typu TCEPKPFLEY(ZE) xxXN0,8+xx vláken (SM),
- Přípojné ŽST a tratě bez připojení na sdělovací kabely v majetku SŽDC

Dálkové metalické kabely typu DCKQxxx jsou dnes již za hrabicí svojí životnosti a nevyhovují současným požadavkům na přenosové vlastnosti a kvalitu přenášených informací. Jejich provoz bývá značně poruchový z důvodu překládek, vložkováním celoplastovými kabely, čímž se dále snižuje jejich využití. Navíc jsou tyto kabely uloženy ve větší vzdálenosti od železničních tratí, a tedy mimo pozemky SŽDC.

Traťové metalické kabely typu TCEKEY(ZE) xxXN0,8 a TCEPKPFLEY(ZE) xxN0,8 byly použity v rámci výstavby nových železničních koridorů od roku 1995, jsou provozovány a jejich parametry pro přenos informací jsou dostatečné. Koncovka „ZE“ v názvu kabelu označuje typ kabelu se zvýšeným redukčním činitelem, což je koeficient, který snižuje naindukované napětí v kabelu. Proto je v rámci nové výstavby nejjednodušší použít právě takový typ kabelu. Při pokládce více kabelů s redukčním činitelem do jedné kabelové trasy dojde navíc k vylepšení redukčního činitele jednotlivých kabelů. Ve většině případů jsou kabely uloženy v pozemcích v majetku SŽDC.

Přípojné optické kabely v majetku SŽDC byly ukládány v rámci výstavby nových železničních koridorů od roku 1995 a optická vlákna jsou zafouknuta do chrániček HDPE 40/33. Tyto optické kabely jsou provozovány a jejich přenosové parametry jsou pro současný železniční provoz vyhovující. S rozvojem technologií na železnici však přestávají být dostatečně kapacitní (nedostatek volných optických vláken). Ve většině případů jsou optické kabely uloženy v pozemcích v majetku SŽDC.

Hybridní dálkové kabely, které byly pokládány při stavbách nových železničních koridorů v letech 2000 až 2010 jsou provozovány a jejich parametry pro dnešní provoz na železničních tratích jsou dostatečné. Ve většině případů jsou hybridní kabely uloženy v pozemcích v majetku SŽDC.

3.1.3 Stávající přenosové systémy

K dnešnímu dni jsou na železnici provozovány dva systémy přenosové sítě. První, starší systém byl vystavěn při modernizaci a optimalizaci tratí. Jedná se o systém SDH (synchronní digitální hierarchie, pracuje ve stuhové topologii), složená pomocí modemů provozovaných na stávajících dálkových metalických kabelech. S příchodem optických sítí je postupně přebudována na propojování datových prvků pomocí optických převodníků, a to IMC modemů a SFP převodníků, které jsou součástí datových přepínačů. Uzly v přenosové SDH síti a uzly pro překryvnou síť jsou vybudovány za použití technologie Cisco. Přenosové rychlosti jsou u menších ŽST, BTS systému GSM-R na úrovni STM-1. Zbylé ŽST jsou

připojeny s přenosovou rychlostí STM-4 a překryvná úroveň přenosové sítě běží na bázi STM - 16. Tato technologie však již končí vzhledem k ukončení dodávek ze strany firmy Cisco, je nahrazována boxy od firmy Ericsson (typ SPO 1410), ale v dalším postupu se již počítá s přenosovou technologií synchronního ethernetu s MPLS protokolem. V roce 2015 byly vybudovány nové přenosové sítě v systému DWDM a byly umístěny v 11 lokalitách uzlových stanic vč. instalace DWDM opakovače (v 11 případech) z důvodu velkého útlumu vzhledem k velké vzdálenosti. Ve stejných lokalitách byly osazeny nové core routery MPLS, které zabezpečují přechod mezi páteřním systémem DWDM systémem nižší úrovně typu MPLS. V této nižší úrovni také probíhají sběry příspěvkových signálů systému KAC z navazujících tratí. Tyto přenosy jsou realizovány jako datové s rozhraním Ethernet pomocí síťového prvku ASR902. Souběžně s tímto je nutné na stávajících traťových okruzích provozovaných na stávajících traťových kabelech nahradit telefonní zapojovače. V úsecích, kde probíhá stavba dálkového ovládání zabezpečovacího zařízení (DOZ), jsou telefonní zapojovače nahrazovány IP systémem pro dálkové ovládání. Na tratích se stejnosměrnou trakční soustavou je v provozu jak traťový radiový systém (TRS), tak radiový systém GSM-R. V místech paralelního chodu analogového (TRS) systému a GSM-R systému je plánováno postupné ukončení analogového systému od 1.1.2017. Toto je spojeno s realizací funkce STOP na tratích s GSM - R.

3.1.4 Radiová síť typu GSM-R

Síť GSM-R s plánovaným přechodem na střídavou trakci není nijak ovlivněna přímo ani nepřímo a může bez potíží nahradit některé současně provozované technologie a okruhy. U operátorů, kteří provozují metalickou síť v souběhu se střídavou trakci dojde k induktivnímu ovlivňování, avšak v minulých 20 letech došlo k náhradě většiny těchto kabelů za dálkové optické kabely, které nejsou střídavou trakcí nijak ovlivněny. Přesto by bylo nutné stav zbylých metalických sítí individuálně mapovat a vyhodnocovat s případnými opatřeními.

3.2 Vazba nové napájecí soustavy na VRT

Vysokorychlostní tratě (VRT) mají mimo jiné spojuvat také města Ústí nad Labem, Praha, Plzeň, Přerov, Brno a Ostrava. K jejich provozu je nutné napájet plánovaný systém napětím 25 kV z důvodu plánované rychlosti do 300 km/h. K tomu jsou nezbytné vysoké výkony lokomotiv, kterých není možné dosáhnout na systému stejnosměrném. V prvopočátku se plánuje výstavba VRT na trati Praha – Ústí nad Labem, což vychází z ustanovení Evropského parlamentu a rady č. 1315/2013 a je plánována do konce roku 2030. Pokračování vysokorychlostní trati směrem na Drážďany se počítá do roku 2036. Z tohoto důvodu vzniklo sdružení Evropské uskupení pro územní spolupráci (ESÚS), která má koordinovat projektovou majetkoprávní činnost v této oblasti. Klíčovým uzlem je Ústí nad Labem, který je situován ve

stísněném území. K tomu se přidávají náročné sklonové poměry k navrhovanému krušnohorskému tunelu a styk dvou trakčních soustav by mohl být v tomto místě kritický. Při přechodu na střídavou napájecí soustavu v úseku trati Praha – Kralupy nad Vltavou – Ústí nad Labem, Ústí n. Labem – Teplice, Ústí n. Labem – Bílina a Štětí – Litoměřice – Velké Březno dojde k podstatnému ovlivnění stávající konvenční tratě. Pokud budou výše jmenované tratě budovány samostatně, musí být prakticky v celém úseku vyměněna kabeláž pro sdělovací a zabezpečovací zařízení. Změna napájecího systému na střídavý na trati Štětí – Litoměřice – Velké Březno je plánována na rok 2026. Na trati Ústí n. Labem – Bílina a Ústí nad Labem – Teplice na rok 2031 a poslední trať Ústí n. Labem – Kralupy nad Vltavou do roku 2032. Uvedený harmonogram koresponduje s plánovanou výstavbou VRT Praha – Ústí nad Labem. Pro dosažení maximálních úspor pro souběžnou realizaci staveb je vhodné dodržet uvedené termíny přepínání na systém 25 kV. V součinnosti obou záměrů je vhodné vybudovat společné napájecí stanice pro konvenční tratě i pro trať VRT. Obdobné řešení je vhodné i pro další výstavbu VRT a navazujících konvenčních tratí. Z praxe je známo, že rozjezd vysokorychlostního vlaku lze přirovnat ke startu letadla, kdy na krátké vzdálenosti musí vlak při rozjezdu dosáhnout velkou rychlost a překonat poměrně velký výškový rozdíl mezi stanicemi, protože velká města jsou situována v údolích řek a jsou oddělena hornatým terénem. Přerušování tažné síly v místech přechodu na jiný napájecí systém v době rozjezdu vlaku nepříznivě ovlivňuje akceleraci s těmito nežádoucími důsledky:

- Prodloužení doby jízdy,
- Zvýšení spotřeby energie pro snížení časové ztráty jízdou vyšší rychlostí,
- Snížení propustnosti tratě pomalým rozjezdem vlaků.

Nejhorší situace nastává při zastavování (brzdění) vlaku v místě změny napájecího systému, a to z rekuperačního (25 kV) na ztrátové brzdění (3 kV). U vysokorychlostního vlaku s délkou 200 m a celkové hmotnosti 450 tun při rychlosti 300 km/h se jedná o energii 450 kWh. Vyjádřeno v penězích se jedná přibližně o 1.100 Kč. O tyto prostředky by bylo vhodné nepřijít, energii tedy rekuperovat. Proto je změna napájecího systému ze 3 kV na 25 kV na železničních uzlech Ústí nad Labem, Praha, Písek a Ostrava racionálním krokem k integraci ČR do evropské sítě vysokorychlostních tratí. Následnou výstavbu a provoz VRT nebude nutné komplikovat dvousystémovým napájecím řešením. Přepínání tratí na střídavý napájecí systém na Moravě je navržen od hraničních přechodů se Slovenskem a postupuje dále směrem k hlavnímu městu. Železniční uzel Praha je plánován na přepojení ke střídavé napájecí trakci jako poslední.

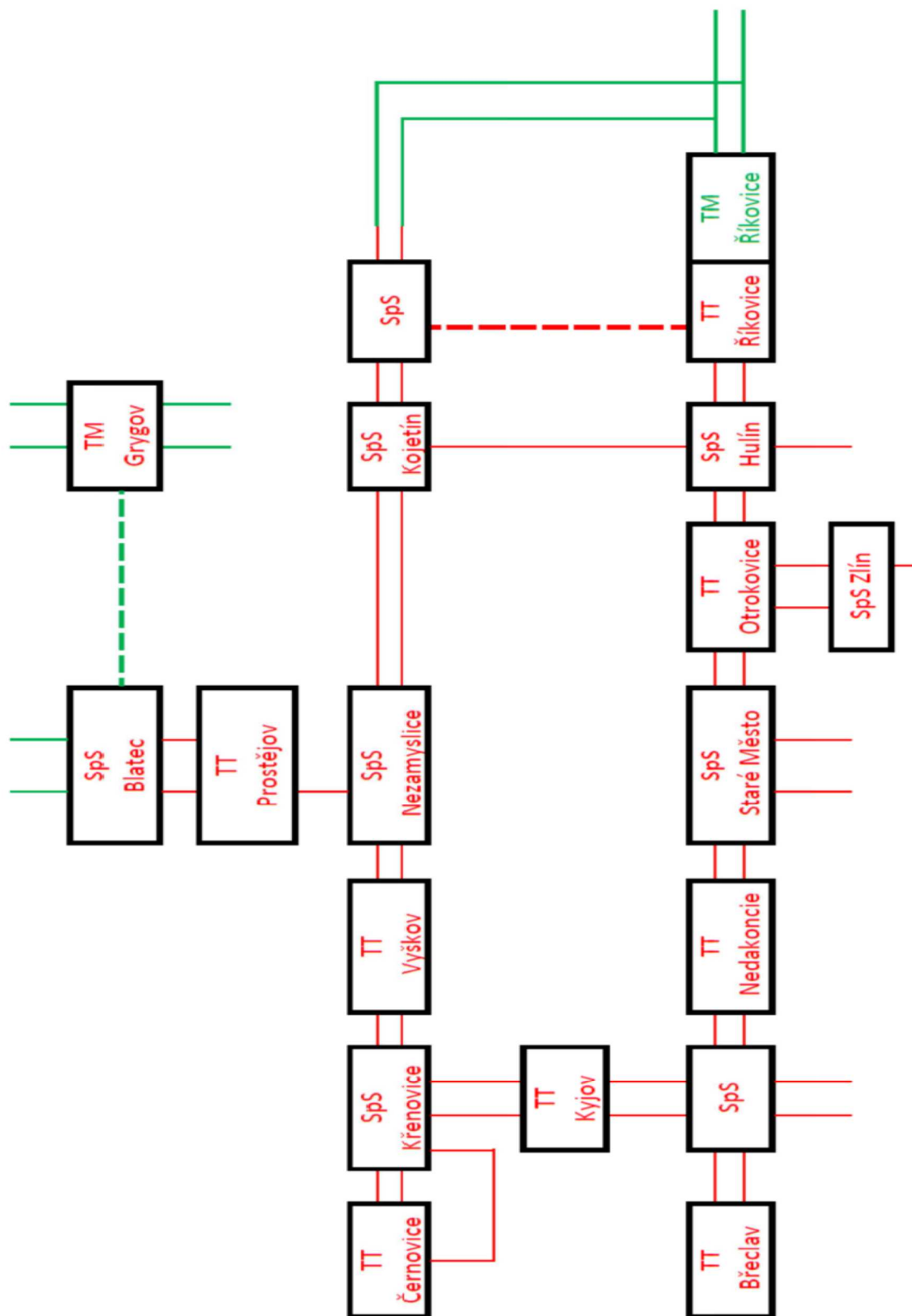
Ke každé z plánovaných tratí, u kterých se v blízké budoucnosti plánuje přepojení na střídavý napájecí systém je nutné provést podrobné energetické výpočty, a to komplexním způsobem jak pro trať hlavní, tak i pro okolní, navazující tratě. Stejně tak nelze napájení řešit bez vazby

na jiné, související projekty. Podrobný energetický výpočet s optimálním řešením je nutné provést jako celek (vč. provizorních stavů napájení) u staveb jako jsou:

- Modernizace trati Olomouc – Prostějov – Nezamyslice,
- Modernizace trati Brno – Přerov,
- Změna napájecí soustavy na 25 kV; 50 Hz v úseku Nedakonice – Říkovice,
- Modernizace a elektrizace trati Otrokovice – Vizovice,
- Studie proveditelnosti trati Veselí nad Moravou – Blažovice (- Brno),
- Studie proveditelnosti trati Staré Město u Uherského Hradiště – Luhačovice / Bylnice / Veselí nad Moravou,
- Studie proveditelnosti železničního uzlu Brno,
- Trať Kojetín – Hulín,
- VRT Brno – Ostrava.

S ohledem na všechny projekty se nyní jeví jako nejvýhodnější toto schéma napájení pro trakční napájecí stanice na Moravě. [9]

Vysvětlivky: TT – trakční transformovna, TM – trakční měnírna, SpS – spínací stanice



Obrázek 5 Návrh typu a umístění TNS na Moravě v systému střídavé soustavy [9]

Pokud nebude provedena konverze v severní části území ČR ze stávajícího stejnosměrného systému 3 kV na plánovaný střídavý systém 25 kV, bude nutné posílit síť stávajících trakčních napájecích stanic na hladině 3 kV. To v důsledku s sebou přinese komplikace zejména na jednokolejných tratích. Stávající TNS dnes nejsou dimenzovány pro dodávky energie vlakům při křížování v určitých stanicích, u kterých vychází velký poměr mezi jmenovitým a středním výkonem na který by měly být v budoucnu zatěžovány. Vzdálenost mezi stejnosměrnými napájecími stanicemi pro hlavní dvoukolejně tratě, s nákladním provozem vlaku o hmotnosti 2 000 tun a s rychlíky s hmotností 500 tun pro rychlost 160 km/h s lokomotivou o výkonu 6 MW, by měla být asi 12,5 km. V případě jednokolejných tratí, pojížděných nižšími rychlostmi, s vlaky nižší hmotnosti a lokomotivami o výkonu do 3 MW by vzdálenost mezi jednotlivými napájecími stanicemi byla přibližně 20 km. Pro tyto vstupní parametry vychází elektrizace uvedených tratí nerentabilně. V případě použití střídavého systému 25 kV, který disponuje vyšší přenosovou schopností, lze zvýšit vzdálenost napájecích stanic na cca 100 km. Celkový počet napájecích stanic pro stejnosměrnou a střídavou trakci v severní části území ČR je uveden v příložené Tabulce 1. Z výsledků vyplývá, že u systému 3 kV by bylo potřeba celkem 67 napájecích stanic oproti celkovému počtu 4 napájecích stanic na střídavém systému napájení.

U elektrizací stávajících tratí v severní části ČR v systému 25 kV nastává druhotný technický problém. Jedná se o druh použitých trakčních transformoven, které nejsou konstruovány na uvažovaný soufázový systém. Tyto TNS bude nutné přebudovat (modernizovat) s výsledkem stabilnějšího napájení, rekuperace a levnější elektrizace odbočných tratí. Pokud nedojde k modernizaci stávajících transformoven na soufázové, bude nutné vystavět nové napájecí stanice pro odbočující elektrizované tratě.

Tabulka 1 Investice v severní části ČR do systému DC / AC napájecích stanic [9]

cena DC TNS	mil. Kč	200
cena AC NS (vys. výkon, redunance)	mil. Kč	300
cena DC TV	mil Kč/km	7,0
cena AC TV	mil Kč/km	5,0
rozdíl cen DC/AC TV	mil Kč/km	2,0

ze stanice (odbočení)	do stanice	délka km	koleji	DC TNS	AC TNS	úspora mil. Kč
Hulín	Kojetín	17	1	1	0	234
Hulín	Bystřice pod Hostýnem	18	1	1	0	236
Otrokovice	Vizovice	25	1,44	1	0	272
Staré Město u Uherského Hradiště	Luhačovice/Bojkovice/Veselí n.M.	64	1	2	0	528
Valašské Meziříčí	Bystřice pod Hostýnem	26	1	1	0	252
Valašské Meziříčí	Frýdlant nad Ostravicí	40	1	2	0	480
Valašské Meziříčí	Rožnov pod Radhoštěm	13	1	0	0	26
Ostrava Kunčice	Ostravice	31	1	2	0	462
Český Těšín	Frýdek-Místek	27	1	1	0	254
Opava	Krnov	29	1	1	0	258
Olomouc	Krnov	87	1	4	0	974
Olomouc	Šumperk	58	1	2	0	516
Valšov	Rýmařov	15	1	0	0	30
Zábřeh na Moravě	Jeseník	64	1	3	0	728
Týniště nad Orlicí	Letohrad	41	1	1	0	282
Častolovice	Solnice	15	1	1	0	230
Jaroměř	Trutnov - Svoboda nad Úpou	62	1	3	1	424
Starkoč	Broumov	50	1	2	0	500
Jaroměř	Tumov	84	1	4	1	668
Chlumeck nad Cidlinou	Trutnov	102	1	4	0	1 004
Hradec Králové	Jičín - Turnov	82	1	3	0	764
Nymburk	Mladá Boleslav	30	1	1	0	260
Všetaty	Praha Vysočany	34	1	1	0	268
Všetaty	Turnov - Liberec - Černousy	139	1	7	1	1 378
Kralupy nad Vltavou	Neratovice	17	1	1	0	234
Železný Brod	Tanvald	17	1	1	0	234
Děčín východ	Bakov nad Jizerou	73	1	3	1	446
Česká Lipa	Rumburk	45	1	2	0	490
Česká Lipa	Liberec	59	1	2	0	518
Liberec	Hrádek n. N.	27	1	1	0	254
Liberec	Raspenava - Černousy	43	1	2	0	486
Luuka u Litvínova	Litvínov	2	1	0	0	4
Chomutov	Březno u Chomutova	11	1	0	0	22
Kadaň Pruněřov	Kadaň předměstí	6	1	1	0	212
Praha Bubny	Kladno - Rakovník	73	1	3	0	746
Kladno	Kralupy nad Vltavou	25	1	1	0	250
Praha Smíchov	Rudná u Prahy - Beroun	34	1	1	0	268
Praha Krč	Vrané nad Vltavou	15	1	1	0	230
celkem		1 600		67	4	15 422
délka tratí / počet NS				24	400	

Úspora investic v případě volby střídavého systému je vyčíslena na více než 15 000 mil Kč.

4 Přínosy a důsledky změny na vozový park

Na území ČR působí několik dopravců. V osobní dopravě se jedná především o dopravce: České dráhy, Leo Express a společnost RegioJet. V nákladní dopravě jsou to především dopravci: ČD Cargo, Advanced World Transport (AWT), Unipetrol Doprava, IDS Cargo, SD Kolejová doprava, Metrains Rail, LokoTrain, LTE Logistik a Transport Czechia, BF Logistic a TSS Cargo.

4.1 Vozový park dopravců

Dopravce České dráhy má k dispozici velmi obsáhlý vozový park, který zahrnuje hnací vozidla jednosystémová i vícesystémová. V tabulce níže je uveden počet jednotlivých vozidel, jejich řada a elektrický výkon. Stav ke konci roku 2016.

Tabulka 2 Vozový park společnosti České dráhy [24]

Dopravce:	Systém napájení:	Označení:	Počet:	Výkon:	Název:
České dráhy a.s.	Jednosystémový stejnoseměrný	150	12	4 MW	
		151	13	4 MW	
		162	16	3,48 MW	
		163	57	3,48 MW	
		371	7	3,08 MW	
		440	12	2,04 MW	RegioPanter
		451	22	1,32 MW	Pantograf
		452	6	1,32 MW	Pantograf
		460	37	2 MW	
		471	83	2 MW	Pantograf dvoupodlažní
	Jednosystémový střídavý	210	4	0,9 MW	
		242	67	3,08 MW	
		263	2	3,06 MW	Princezna
	Dvousystémový	362	77	DC 3,48 MW	Eso
				AC 3,06 MW	
		363	6	DC 3,48 MW	Eso
				AC 3,06 MW	
		640	8	2,04 MW	RegioPanter
		650	4	1,36 MW	RegioPanter
	660	8	2,72 MW	InterPanter	
	680	7	3,92 MW	Pendolino	
	Třísystémový	380	20	6,4 MW	Emil Zátopek

Dopravce LeoExpress provozuje v osobní dopravě celkem 5 stejnoseměrných pětičlánkových jednotek řady 480 ozn. Flirt, které vyrábí švýcarská společnost Stadler. Tyto jednotky mají udávanou maximální provozní rychlost 160 km/hod. Příkon jednotky je 2,6 MW. Konverze napájecího systému se společností dotkne na všech vozidlech. Východiskem bude zřejmě obnova vozového parku za vícesystémové lokomotivy – turnusová potřeba.

Dopravce RegioJet provozuje osobní dopravu s klasickou vozbou, tj. soupravou taženou lokomotivou. V čele vlaků jsou řazeny lokomotivy Škoda, které byly vyrobeny na začátku 90. let jako poslední stroje páté série úspěšné řady 162 pro stejnosměrnou trakci s výkonem 3,48 MW a maximální dovolenou rychlostí 140 km/hod. Nejsou však schopny využívat traťovou rychlost 160 km/hod na modernizované železniční trati (tranzitním koridoru), což je nesprávné, komplikuje tvorbu jízdního řádu a snižuje kapacitu dopravní cesty při jízdě vlaku ve svazku s vlaky vedenými odpovídajícími vozidly. V důsledku konverze bude společnost nucena vyměnit jednosystémové lokomotivy za vícesystémové a nahrazuje vozidla řady 162 pronajatými vozidly od společnosti ELL řady Vectron s výkonem 6,4 MW. Lze předpokládat, že do doby změny napájecího systému bude mít společnost obměněný vozový park. Obrázky obou lokomotiv uvádím níže.



Obrázek 6 Lokomotiva řady 162 [autor]



Obrázek 7 Lokomotiva Vectron [autor]

Dopravce ČD Cargo je nákladní dopravce, který provozuje na železnici celkem 132 kusy stejnosměrných hnacích vozidel a 9 dvousystémových hnacích vozidel řady 372 (DC 3 kV/AC 15 kV, 16,7 Hz). Dvousystémová vozidla řady 372 mají výkon 3,02 MW. V nedávné minulosti odkoupilo ČD Cargo od mateřské společnosti České dráhy celkem 23 lokomotiv řady 163 pro stejnosměrnou trakci, které jsou vhodné pro přestavbu na systém 25 kV. Navíc nakoupila společnost několik kusů třísystemových lokomotiv Siemens Vectron řady 383 o výkonu 6,4 MW.

Dopravce AWT používá pro nákladní dopravu několik moderních vícesystémových lokomotiv s řadovým označením 183 a 189. Ve svém vozovém parku má několik stejnosměrných vozidel řady 130 a 181 původem od ČD.

Dopravce Unipetrol Doprava provozuje mimo dieselových lokomotiv také 2 lokomotivy řady 121 s výkonem 2,032 MW pro stejnosměrnou trakci, které prošly v roce 2010 modernizací. Jsou tedy v dobrém technickém stavu a je v zájmu společnosti, aby sloužily co možná nejdéle.

Společnost vlastní mimo dieselové lokomotivy také 5 lokomotiv pro stejnosměrnou trakci řady 121 a jednu lokomotivu má v dlouhodobém pronájmu. Vozový park pro trakci zajišťuje ve společnosti přibližně 73 % celkových výkonů.

Dopravce SD Kolejová doprava společně s dieselovými lokomotivami provozuje také 11 stejnosměrných lokomotiv řady 130 starší řady u kterých je přestavba na střídavou trakci nereálná. V současnosti je trakční vozový park v dobré kondici a zajišťuje dopravu uhelných vlaků ze severočeské hnědouhelné pánve. Společnost vyčkává na rozhodnutí o konverzi na jednotnou napájecí soustavu, aby následně mohla provést obnovu svého vozového parku.

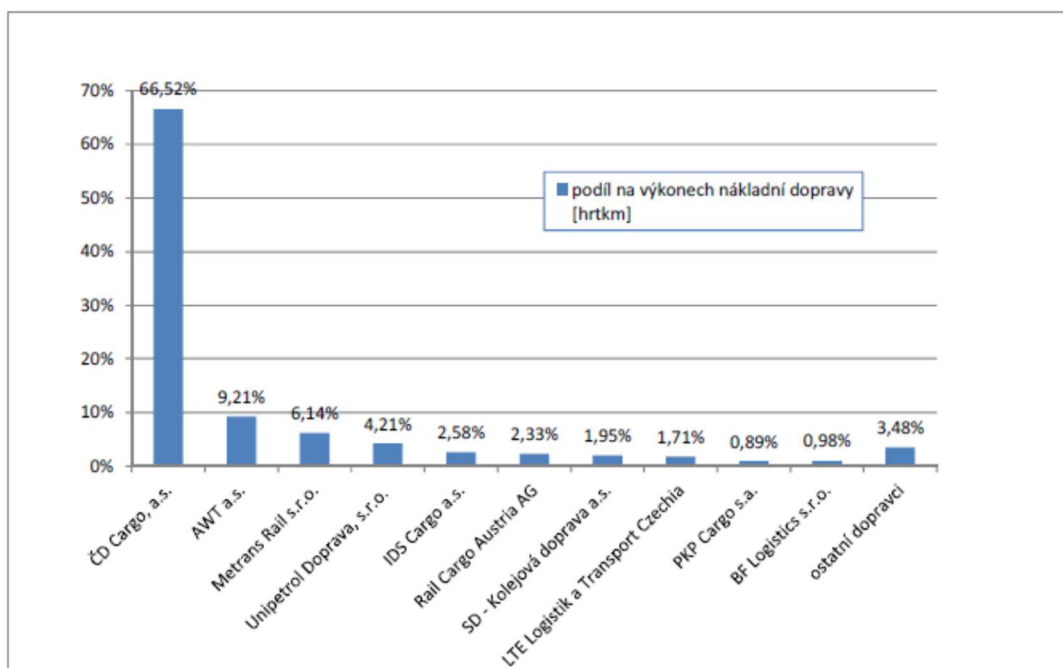
Dopravce Metrans Rail vlastní celkem 20 moderních čtyřsystémových lokomotiv TRAXX s výkonem 5,6 MW od výrobce Bombardier. Plánovaná konverze napájecího systému se tak společnosti nedotkne.

Dopravce LokoTrain vlastní a pronajímá jiným operátorům čtyřsystémové lokomotivy řady 193 Vectron MS X4 a jednu lokomotivu řady 242 o výkonu 3,08 MW pro střídavou trakční soustavu 25 kV. Plánovaná konverze tak pro tuto společnost nepředstavuje žádný problém.

Dopravce TSS Cargo provozuje celkem 16 dvousystémových lokomotiv řady 372 pro soustavu DC 3 kV a AC 15 kV; 16,7 Hz. Lokomotivy odkoupil od německé strany, kde byly provozovány jako řada 180 a jsou v Německu nadále registrovány. Drážní úřad ČR vystavil pro tyto vozidla průkaz technické způsobilosti. Lokomotivy jsou schopné přestavby na střídavou trakci 25 kV.

4.2 Celkový podíl dopravců na nákladní dopravě

Největší podíl na nákladní dopravě v ČR má dopravce ČD Cargo, který převyšuje druhého v pořadí, dopravce AWT, více než sedminásobně, viz příložený graf. Ve srovnání s rokem 2014 zaznamenala společnost ČD Cargo pokles výkonů o 3,4 % společně s AWT o 3,2 %. Naopak nárůst výkonů měla společnost Metrans Rail s hodnotou 4,6 % a ostatní dopravci o 1,8 %. V následujících letech se objem dopravy opět zvyšuje.



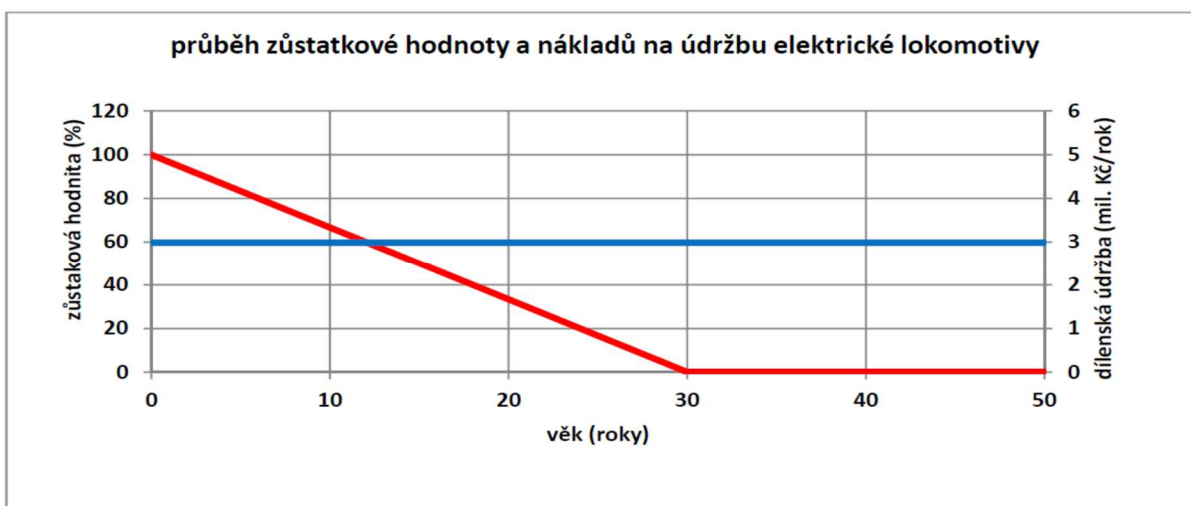
Graf 3 Statistika SŽDC (výroční zpráva 2015) výkony dopravců za rok 2015 [11]

Z výše uvedeného vyplývá, že konverze na jednotnou napájecí soustavu bude zásadní pro největšího dopravce v ČR, kterým jsou České dráhy a ČD Cargo. Ostatní společnosti jsou buď na plánovanou konverzi připraveni a mají ve svém vozovém parku vícesystémová hnací vozidla nebo vyčkávají na konečné rozhodnutí. I tak postupem času v případě přechodu na jednotnou napájecí soustavu budou nuceni všichni dopravci přejít na vozidla s pohonem na soustavě AC 25 kV resp. vícesystémová vozidla pro případnou jízdu mimo území ČR bez nutnosti přepřahat lokomotivu.

4.3 Možnost leasingu lokomotiv

K dnešními dny se na českém trhu pohybuje několik společností, které nabízejí možnost leasingu kolejových hnacích vozidel. Jedná se například o společnost ELL Austria GmbH, bankovní společnost Raiffeisen Leasing nebo ČSOB Leasing. Žádná z uvedených společností však neuvádí na svých internetových stránkách modelový výpočet pro leasing jednoho drážního vozidla. Je tak možné dozvědět se pouze obecné informace typu: financování v CZK, EUR či USD, nabídky fixní i floatingové sazby, individuálního přístupu s řešením šitým na míru. Přesto bych uvedl jeden příklad, který byl zpracován v rámci bakalářské práce pana Jana Paroubka z roku 2016 z ČVUT FD, který ve své práci v kapitole 5 uvádí, že cena nové lokomotivy typu Vectron MS var. A01 (vč. ETCS) je 4 050 000 EUR a cena lokomotivy typu Vectron var. D02 je 3 300 000 EUR. Následně pak vypočítává, že při době úvěru 12 let s úrokem 5 % při kurzu 27 Kč/EUR činí měsíční splátka celkem 1 027 890 Kč za první typ uvedené lokomotivy. Z faktu, že nová lokomotiva představuje velmi vysokou investici, její

životnost je 30 let, ale doba závazku veřejné služby se obvykle uzavírá na dobu 10 let, vyplývá pro společnost provozující dopravní služby velká nejistota. Proto prakticky většina společností uzavírá leasingové smlouvy k nákupu nových lokomotiv, kdy mají zajištěný servis po celou dobu leasingu a mimo měsíčních splátek nemají s vozidlem žádné další náklady. Pokud bychom uvažovali o nákupu nových třísystemových lokomotiv pro nákladní vozbu všech dopravců na současných tratích v systému DC 3 kV, kde je celková turnusová potřeba 70 lokomotiv se zálohou 10 lokomotiv, obdrželi bychom částku 4 mil. EUR (108 mil. Kč) x (70 + 10) = 8 640 mil. Kč – jedná se o sumu, kterou si dopravci zjevně nemohou dovolit investovat. Současně s čistou investicí do nákupu nové lokomotivy je nutné počítat také s částkou na údržbu vozidla vzhledem k její životnosti. Graf níže zachycuje průběh zůstatkové hodnoty lokomotivy a nákladů na její údržbu.



Graf 4 Průběh zůstatkové hodnoty a nákladů na údržbu lokomotivy [8]

5 Technické a ekonomické aspekty přechodu na jednotnou napájecí soustavu

ČR v rámci sbližování s evropskými standardy zavedla harmonizované národní předpisy a legislativu. Současně vychází také z evropských předpisů a předpisů Technické specifikace pro interoperabilitu (TSI). Pro potřeby silnoproudé technologie a systému napájení musí být koncepční návrh v souladu s požadavky platných dokumentů a norem ČSN.

5.1 Základní parametry napájecího systému

Jestliže budeme uvažovat napájecí systém železnice jako samostatný funkční systém, bez ohledu na napěťovou hladinu, budeme hovořit o subsystému drážní energie. Tento subsystém ve svém základním pojetí musí obsahovat:

- TNS připojené na vstupní (primární) straně na distribuční síť VVN/VN s transformací napětí vhodného pro železnici nebo s přeměnou na napájecí soustavu vhodnou pro vlaky,
- Spínací stanice jako elektrická zařízení umístěná na mezilehlých místech mezi TNS sloužící k napájení a paralelnímu zapojení trakčního vedení s úkolem zajištění ochrany, izolace a pomocného napájení,
- Oddělovací úseky s funkcí přechodu mezi různými elektrickými soustavami nebo přechodu mezi jednotlivými fázemi elektrické soustavy,
- Systém trakčního vedení jako soustavy pro rozvod elektrické energie k vlakům prostřednictvím sběračů proudu umístěných na lokomotivách,
- Zpětný obvod tvořený veškerými vodiči (strojenými i náhodnými), které slouží jako cesta zpětného trakčního proudu ke zdroji.

V rámci platných předpisů TSI jsou definovány základní parametry a požadavky, ze kterých uvádím ty zásadní s vlivem na:

- Napětí a kmitočet (frekvenci),
- Parametry výkonnosti napájecí soustavy,
- Proudová zatížitelnost soustavy,
- Rekuperační brzdění,
- Účinky harmonických a dynamických jevů ve střídavých trakčních soustavách,
- Dynamické chování a jakost odběru proudu,
- Úseky oddělující fáze,
- Úseky oddělující soustavy,
- Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem,
- Pozemní systém sběru energetických údajů,
- Odborná kvalifikace.

Prioritní technický ukazatel v silnoproudé technologii v rámci napájení nejen trakčního vedení je zejména účinník vlaku, který vyjadřuje poměr mezi činným a zdánlivým výkonem v obvodu střídavého napětí a proudu.

K dosažení optimálního účinníku vlaku, a tedy kvalitního napájení, musí pro elektrickou konstrukci hnacího vozidla platit požadavky:

Induktivní účinník: v tabulce uvedené níže jsou uvedeny požadavky na celkový induktivní účinník vlaku dle ČSN EN 50 388 ed.2. K výpočtu se bere v úvahu pouze základní harmonické napětí na pantografovém sběrači.

Tabulka 3 Celkový induktivní účinek vlaku λ [22]

Okamžitý příkon vlaku P na pantografovém sběrači (MW)	Celkový induktivní účinek vlaku λ	
	Kategorie I a II tratí HS TSI ^a	Kategorie III; IV; V; VI; VII tratí TSI a klasických tratí
$P > 2$	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$
$0 \leq P \leq 2$	b	b

Na odstavných kolejích nebo v depech, kdy je vlaková souprava odstavena, trakční příkon je vypnut, všechna pomocná zařízení jsou v provozu a odebíraný činný výkon je větší než 200 kW, musí být účinek základní vlny roven nebo vyšší než 0,8 (viz níže uvedenou poznámku 2).

POZNÁMKA 1 Výpočet celkového průměru hodnoty λ pro jízdu vlaku, včetně zastávek, se provádí na základě hodnot činné energie W_p (MWh) a jalové energie W_Q (Mvarh), daných počítačovou simulací jízdy vlaku nebo změřených na skutečném vlaku.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_p}\right)^2}}$$

POZNÁMKA 2 Hodnoty účinku vyšší než 0,8 budou mít za následek lepší ekonomické parametry v důsledku menších požadavků na pevná trakční zařízení.

^a Platí pro vlaky odpovídající HS TSI pro drážní vozidla (HS TSI Rolling Stock)^{NP8}.

^b Kvůli řízení celkového účinku pomocného zatížení vlaku během fáze jízdy výběhem, musí být hodnota celkového průměru λ (pro trakci a pomocná zařízení), daná simulací a/nebo měřeními, po celou cestu podle jízdního řádu (typická cesta mezi dvěma stanicemi včetně provozních zastávek), vyšší než 0,85.

V době rekuperace je možné nechat induktivní účinek volně poklesnout tak, aby se napětí udrželo v mezních hodnotách.

Kapacitní účinek: z důvodu zajištění mezních hodnot napětí během trakčního režimu a klidu, jsou na kapacitní účinek kladeny následující požadavky.

- V rozsahu napětí od U_{min1} do U_{max1} dle platné EN 50163 nejsou kapacitní účinky omezeny,
- V rozsahu od U_{max1} do U_{max2} dle platné EN 50163 se vlak nesmí chovat jako kapacitor.

Během rekuperace musí být případný kapacitní výkon omezen na 150 kVAr v rozsahu napětí od U_{min1} do U_{max2} dle platné EN 50163.

Hodnoty pro $U_{střední}$ užitečné na pantografovém sběrači jsou definovány jako minimální hodnoty pro střední užitečné napětí na pantografovém sběrači za normálních provozních podmínek a musí odpovídat hodnotám uvedeným v následující tabulce dle ČSN EN 50 388 ed.2.

Fázový účinek $\cos \varphi$ je důležitým faktorem při výpočtu napájecích systémů, zejména pak pro reléová staniční a traťová zabezpečovací zařízení, neboť jeho hodnoty jsou poměrně nízké [6].

Tabulka 4 Minimální $U_{střední}$ užitečné na pantografovém sběrači [22]

Napájecí soustava		Minimální střední užitečné napětí $U_{střední}$ užitečné na pantografovém sběrači	
		V	
		Kategorie I, II, III tratí HS TSI	Kategorie IV; V; VI; VII tratí TSI a klasické tratě
		Oblast a vlak	Oblast a vlak
AC 25 000 V	50 Hz	22 500	22 000
AC 15 000 V	16,7 Hz	14 200	13 500
DC 3 000 V		2 800	2 700
DC 1 500 V		1 300	1 300
DC 750 V		N.A.	675
Legenda			
N.A.: nepoužívá se			

Současně platí vztah mezi $U_{střední}$ užitečné a U_{min1} tak, že napájení musí být navrženo, aby se za normálních provozních podmínek nikdy nevytvářely na pantografovém sběrači vlaku hodnoty napětí (efektivní nebo střední) nižší, než je mezní hodnota U_{min1} pro dopravu na odpovídajícím typu tratě. Správce infrastruktury musí uvést parametry tratě, zejména pokud jde o rychlost na trati, minimální možné následné mezidobí a maximální příkon vlaku.

Napájecí soustavy, používané v závislosti na kategorii tratě s ohledem na rychlost jsou uvedeny níže v tabulce dle ČSN EN 50 388 ed.2.

Tabulka 5 Trakční soustavy v závislosti na typu tratí [22]

Rozsah rychlosti km/h	Kategorie tratí HS TSI		Kategorie tratí CR TSI ^(NP0) a klasické tratě	
	I	II a III	IV, V, VI, VII	klasické
$300 \leq v$	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz ^a	N.A.	N.A.	N.A.
$250 \leq v < 300$	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz ^a DC 3 000 V ^c	N.A.	N.A.	N.A.
$200 \leq v < 250$	N.A.	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V ^b	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V
$v \leq 200$	N.A.	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V	AC 25 000 V 50 Hz AC 15 000 V 16,7 Hz DC 3 000 V DC 1 500 V ^d DC 750 V ^e
Legenda				
N.A.: nepoužívá se				
^a Viz HS TSI Energie (HS TSI Energy) verze 2008, Tabulka 4.2.2, (1) ^(NP10) .				
^b Pro Francii.				
^c Pro Belgii, Španělsko, Itálii a Polsko, viz TSI Energie (HS TSI Energy), verze 2008, Tabulka 4.2.2, (2).				
^d Pro Dánsko má DC 1 500 V opačnou polaritu.				
^e Pro Velkou Británii.				

Současně musí být zajištěné, aby ochranné systémy na hnacích jednotkách a trakčních napájecích stanicích byly spolu kompatibilní.

U ochrany před zkraty se vychází z vypínací schopnosti použitého automatického vypínače příslušné trakční soustavy, ze které se určí, zda případné poruchy mohou být odstraněny automatickým vypínačem hnací jednotky nebo nikoliv. Následující tabulka ukazuje maximální hladiny napětí při zkratu mezi trakčním vedením a kolejnicí.

Tabulka 6 Maximální hladina napětí při zkratu mezi trakčním vedením a kolejnicí [22]

Napájecí soustava			Trakční napájecí stanice obecně zapojená paralelně Ano/Ne	Maximální poruchový proud ^c , který se může vyskytnout kA
AC	25 000 V	50 Hz	Ne	15 ^a
AC	15 000 V	16,7 Hz	Ano	40
DC	3 000 V		Ano	50 (předpokládaný trvalý ^b)
DC	1 500 V		Ano	100 (předpokládaný trvalý ^b)
DC	750 V		Ano	125 (předpokládaný trvalý ^b)

^a Dříve byla běžně akceptována hodnota 12 kA.
^b Definice viz EN 50123-1:2003, 3.2.12.
^c V případě maximálních proudů se předpokládá okamžité vypnutí ochrany.

Pokud dojde k vnitřnímu zkratu na hnací jednotce, musí dojít k odpojení na automatickém vypínači napájecího trakčního vedení nebo na hnací jednotce, jak ukazuje následující tabulka.

Tabulka 7 Činnost automatických vypínačů při vnitřním zkratu na hnací jednotce [22]

Napájecí soustava	V případě jakéhokoliv vnitřního zkratu na hnacích jednotkách Postup vypínání pro:	
	Automatický vypínač napájecího vedení trakční napájecí stanice	Automatický vypínač hnací jednotky
AC 25 000 V 50 Hz	Okamžité vypnutí ^a	Okamžité vypnutí
AC 15 000 V 16,7 Hz	Okamžité vypnutí ^a	<u>Primární strana transformátoru:</u> Vypínání musí být odstupňováno ^b <u>Sekundární strana transformátoru:</u> Okamžité vypnutí
DC 750 V, 1 500 V a 3 000 V	Okamžité vypnutí ^c	Okamžité vypnutí

^a Vypnutí automatického vypínače má být při vysokých zkratových proudech velmi rychlé. Pokud je to možné, má vypnout automatický vypínač hnací jednotky za účelem zabránit vypnutí automatických vypínačů trakční napájecí stanice.
^b Umožňuje-li to vypínací schopnost automatického vypínače, musí být vypnutí okamžité. Potom, je-li to možné, má vypnout automatický vypínač hnací jednotky ve snaze zabránit vypnutí automatických vypínačů trakční napájecí stanice.
^c Je-li zkratový proud velmi vysoký, má být vypnutí automatických vypínačů v trakčních napájecích stanicích velmi rychlé a tím se zabrání odstranění poruch automatickými vypínači hnacích jednotek.

Nutno poznamenat, že nové a modernizované hnací jednotky mají být vybaveny velmi rychlými automatickými vypínači, tzv. rychlovypínači, které svou funkcí jsou schopné vypnout maximální zkratový proud v co nejkratším čase. Pro představu uvádím, že u AC proudu s napětím 15 kV; 16,7 Hz se jedná přibližně o 100 ms. U systému AC napájení 25 kV; 50 Hz se jedná přibližně o 80 ms a u systému DC s napětím 750 V, 1500 V a 3000 V se jedná přibližně o 20 až 60 ms.

Systémy automatického opětného zapínání (v případě užití v napájecí trakční soustavě) jsou náchylné k opětnému připojování na síť. V tom případě nesmí být automatické vypínače v trakční napájecí stanici zapnuty před vypnutím automatických vypínačů na hnacích vozidlech, která se v danou chvíli nacházejí v oblasti postižené napájecí stanice. Automatické vypínače hnacích jednotek musí vypnout do 3 sekund po ztrátě napájecího napětí. Při obnovení napětí v trakční soustavě nesmí automatické vypínače hnacích vozidel znovu zapnout do 3 sekund od obnovení napětí. Automatické opětné zapnutí (OZ), které se používá i v distribučních sítích VN/VVN, se používá pro obnovení napájení trakčního vedení a pro lokaci postiženého úseku v síti. Pro tuto funkci se využívá postup přímého opětovného zapojení nebo zapojení s testem sítě pomocí zkušebního rezistoru s předepsaným postupem. Pro případ rekuperačního brzdění, kdy nesmí hnací jednotka pokračovat v rekuperaci do napájecího trakčního vedení:

- Ztráta napájecího napětí nebo zkrat mezi trakčním vedením a kolejnicí na stejném úseku,
- Síťové napětí je vyšší než U_{max2} dle EN 50163:2004, 4.1,
- Trakční vedení není schopné absorbovat rekuperovanou energii.

Pokud není možná absorpce rekuperované energie jinými vlaky, musí být u drážních vozidel použity jiné způsoby brzdění. U AC napájecí soustavy musí být provedeny taková opatření, aby bylo možné využívat rekuperovanou energii z vlaků. U DC napájecí soustavy mohou být tato opatření provedena nebo může správce infrastruktury požádat dodavatele elektrické energie, aby akceptoval vrácení rekuperované energie do distribuční sítě nebo použil jiný systém k jejímu absorbování. Úseky, na kterých není povoleno provádět rekuperaci energie musí být zaznamenány v registru infrastruktury. V níže uvedené tabulce je uvedeno, na kterých stávajících evropských sítích je povoleno správci infrastruktury provádět rekuperaci energie.

Tabulka 8 Povolené použití rekuperačního brzdění [22]

Napájecí soustava	Kategorie tratí HS TSI		Kategorie tratí IV, V, VI, VII CR TSI a klasické tratě																											
	I	II a III	Budoucí systém	AT	BE	CH	CZ	DE	DK	ES	FI	FR	GB	GR	HU	IE	IS	IT	LU	MT	NL	NO	PL	PT	SE	SI	SK			
AC 25 000 V 50 Hz	Ano	Ano	Ano	/	Ano	/	Ne	/	Ano	Ano	Ano	Ano ^a	Ano ^a	Ano	?	/	/	/	Ano	/	Ano	/	/	Ano	Ano	/	Ne			
AC 15 000 V 16,7 Hz	Ano	Ano	Ano	Ano ^a	/	Ano	/	Ano	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Ano ^a	/	/	Ano	/	Ano		
DC 3 000 V ^b	^b	^b	Ano	/	Ano	/	Ne ^{NP12)}	/	/	Ano	/	/	/	/	/	/	/	/	Ano	Ano	/	/	/	^b	/	/	Ano	Ne ^{NP12)}		
DC 1 500 V ^b	/	^b	Ano	/	/	/	Ne	/	Ano	/	/	Ano	/	/	/	Ano	/	/	/	/	/	Ano	/	/	?	/	/	Ano		
DC 750 V ^b	/	N.A.	Ano	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Ano	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		

Legenda
N.A.: Neplatí

^a Hodnota rekuperovaného výkonu je v některých místech omezena v důsledku starých instalací.
^b U DC soustav může na žádost provozovatele vlaku rozhodnout o použití rekuperačního brzdění správce infrastruktury.

V případě využití soufázového napájení střídavé trakce by bylo nutné provést změnu ČSN 33 3505 ed.2, čl. 9.9.9 – Zapojení trakčních transformoven vč. Přílohy A – Způsoby zapojení primárních vinutí trakčních transformátorů a předpis SR 34 s ohledem na nově naměřené vlastnosti kolejnic.

Poznámka: rekuperační brzdění se používá na trati v úseku Šatov – Znojmo.

Nesymetrie a harmonická napětí jsou další sledovanou složkou. U nesymetrie napájecího napětí je dána podmínka, kdy v libovolném týdenním období musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky, tj. základního napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky dle EN 50160. V tomto případě je povolený stupeň nesymetrie od jednoho odběratele menší než 0,7 %. U harmonických napětí platí obdobná podmínka, kdy v libovolném týdenním období musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce níže dle ČSN EN 50 160 ed.3. U jednotlivých harmonických složek napětí mohou rezonance způsobit vyšší napětí, avšak celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8 %.

Tabulka 9 Úrovně jednotlivých harmonických napětí až do řádu 20 [22]

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3		Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h
Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h	Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h		
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

POZNÁMKA Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů obtížně předvídatelné.

Po přechodu na napájecí hladinu 25 kV budou splněny parametry napájení dle TSI ENE, ale úpravy ostatních parametrů budou splněny pouze tam, kde přepnutí na napětí 25 kV bude v rámci modernizace. Stávající tratě, které nesplňují „mechanické“ požadavky na TSI ENE je nebudou splňovat ani po přechodu na síť 25 kV. Kladené požadavky budou splněny až při celkové rekonstrukci všech tratí.

5.2 Vazba na sousední státy s ČR

V globální hledisku by bylo ideální, kdyby byly propojeny systémy trakčního napájení na jednom typu napájecí soustavy, nejlépe však i na shodném napětí. Systém napájecích soustav v sousedních státech s ČR je však většinou odlišný.

Na hraničním přechodu do Německa se přechází z napájecí soustavy DC 3 kV na soustavu AC 15 kV na trati Děčín – Bad Schandau. Právě zde se projevují zásadní potíže s bludnými proudy, protože na německé straně jsou veškeré ocelové konstrukce přizemněny, protékají bludné proudy z české strany zemí na stranu německou. V případě přechodu na střídavou napájecí soustavu, byť 25 kV budou tyto problémy minimalizovány.

V Polsku se provozuje trakční napájecí síť DC 3 kV. Z ČR do Polska se jedná celkem o čtyři elektrizované přechody na tratích: Lichkov – Miedzylesie, Bohumín – Chalupki, Petrovice u Karviné – Zebrzydowice a Český Těšín – Cieczsyn. U těchto přechodů je prozatím v plánu ponechat instalované neutrální pole a dané úseky projíždět se staženým sběračem. Bude nutné posoudit vliv střídavé trakce na stávající kabeláž na polské straně. V případě provozu střídavé trakce 25 kV bude nezbytné nevyhovující kabely vyměnit. Bludné proudy z napájecí polské DC soustavy 3 kV bude nutné řešit na české straně v rámci konverze. Avšak při plánované výstavbě vysokorychlostní tratě Warszawa – Lodz – Poznan / Wroclav – (Praha) nazvaném jako projekt „Y“, je uvažováno se systémem 25 kV; 50 Hz. Důvodem je již zmiňovaná mez použitelnosti systému DC 3 kV s extrémně velkými proudy při rychlostech okolo 200 km/hod. Lze tedy do budoucna předpokládat také postupný přechod konvenčních tratí na jednotný systém 25 kV. Tento systém se jeví jako zvláště výhodný pro rovinný terén Polska, kde je tendence zvyšování rychlostí vlaků na místě.

Mezi ČR a Slovenskem se nacházejí v současné době čtyři elektrizované tratě. Jedná se o tratě Mosty u Jablunkova – Čadca, Horní Lideč – Púchov, Hodonín – Holíč nad Moravou a Lanžhot - Kúty. U posledních dvou přechodů je již na obou stranách střídavá napájecí soustava a z pohledu této práce je již není třeba dále řešit.

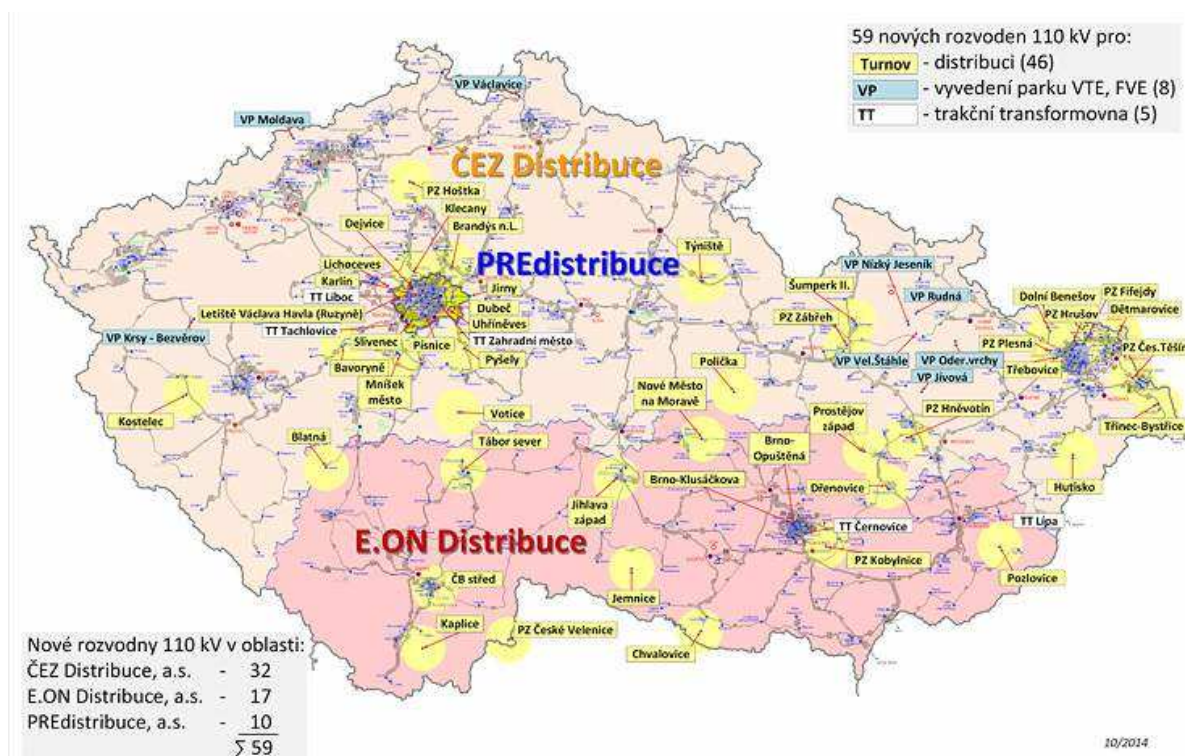
První dvě tratě se nacházejí na nákladním koridoru RFC 9 (Rýn – Dunaj). Slovensko přijalo Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1316/2013 pro změnu ze systému DC 3 kV na systém AC 25 kV, který postupně naplňuje od jihozápadu. Trať Púchov – státní hranice s ČR již byla přepnuta na střídavou soustavu, trať Žilina – Čadca – státní hranice s ČR bude přepnuta v následujících letech. Protože uvedené tratě byly stavěny v dobách Československa, byl na nich uplatněn systém zajištění provozu při výpadku kterékoli napájecí stanice. Při výpadku napájení tak převzaly úkol dodávky energie stanice sousední. To by při přechodu na systém AC 25 kV znamenalo výpadek redundantního napájení v rámci

provozované tratě. I proto je důležité koordinovat přechod na uvedených tratích z DC 3 kV na AC 25 kV také na straně ČR.

Mezi ČR a Rakouskem jsou k dnešnímu dni provozovány železniční tratě s napájením AC 25 kV (Břeclav, České Velenice) a AC 15 kV (Znojmo). Vzhledem k výše uvedeným poznatkům to nečiní žádné větší obtíže.

5.3 Připojení na distribuční energetickou síť

Trakční napájecí systém je připojen na distribuční elektrickou síť od společností ČEZ Distribuce a.s., E.ON Česká republika s.r.o. nebo PRE Distribuce a.s. (ČEZ, E.ON, PRE). Distributor ČEZ dodává elektrickou energii po celé ČR vyjma území Prahy, kde je distributorem PRE a jižních Čech a jižní Moravy, kde je distributorem společnost E.ON. Všechny společnosti mají společný distribuční systém, a to střídavý třífázový. Na území, které zásobuje elektrickou energií společnost ČEZ, což je většina dnešních TNS s napětím DC 3 kV, se nachází celkem 57 stanic. U společnosti E.ON se nacházejí celkem 3 napájecí stanice (Nezamyslice, Nedakonice a Otrokovice). Poslední TNS se nacházejí na území města Prahy, jedná se celkem o 4 stanice (Balabenka, Třešňovka, Chuchle a Roztoky).



Obrazek 8 Rozložení území distribučních společností v ČR [23]

Vzhledem k tomuto rozložení tří distributorů mohou tedy nastat tři varianty prostorové topologie pro napájení z distribuční sítě elektrické energie. První, nejjednodušší varianta je, že dvě sousední TNS se nacházejí na území jednoho distributora a jsou napájeny ze stejné větve

elektrického vedení. Zde by bylo nutné prověřit případný rozpad a vypínání zkratů, ale žádné zásadní problémy nejsou očekávány. Druhá varianta je, že dvě sousední TNS se nacházejí na území jednoho distributora, ale jsou napájeny z různých větví elektrického vedení. V tomto případě by bylo nutné technicky posoudit fázi napětí v obou TNS pro vliv podélného induktivního úbytku napětí způsobeného průtokem činné složky proudu v síti a také signály pro spínání hromadného dálkového ovládní (HDO). Třetí varianta je, že dvě sousední TNS jsou napájeny ze sítě různého distributora, kdy by bylo opět nezbytné posoudit fázi napětí v obou TNS a vliv podélného induktivního úbytku, ale zároveň zde vyvstává problematika obchodní, tj. otázka účtování případných přetoků energie při rekuperaci mezi různou distribuční sítí.

5.3.1 Způsob připojení TNS v systému 3 kV

V ČR se pro připojení stejnosměrných napájecích stanic na železnici používají dva způsoby transformace:

- Jednostupňová transformace AC 3 x 22 kV / AC 3 x 2,4 kV / DC 3,3 kV,
- Dvojstupňová transformace AC 3 x 110 kV / AC 3 x 22 kV / AC 3 x 2,4 kV / DC 3,3 kV.

Z celkového množství 59 stejnosměrných napájecích stanic 3 kV v síti SŽCD je celkem 31 stanic připojeno k distribuční síti 3 x 22 kV; 50 Hz. Zbýlých 28 napájecích stanic 3 kV v síti SŽCD jsou připojeny k distribuční síti 3 x 110 kV; 50 Hz. Pro konečné stejnosměrné napětí se používají diodové dvanáctipulsní usměrňovače (dva fázově posunuté třífázové můstky). Napájení trakčního vedení je dvoustranné, kdy trakční vedení je uprostřed mezi napájecími stanicemi podélně propojeno a u napájecích stanic taktéž. TNS pracují paralelně a vypínání vzdálených zkratů je řešeno vazbou napáječových rychlo vypínačů.

Tento způsob napájení TNS se vyznačuje těmito vlastnostmi:

- Všechny tři fáze distribučního vedení jsou zatěžovány symetricky,
- Odebírají malý jalový výkon (magnetizační proud),
- Odebírají malý deformační výkon (vyšší harmonické složky),
- Tok energie je pouze jednosměrný od distributora do TNS (diody neumožňují rekuperaci z trakčního vedení do distribuční sítě).

5.3.2 Způsob připojení TNS v systému 25 kV

V ČR jsou trakční napájecí stanice provozované na hladině 25 kV připojené k různým bodům distribuční elektrické sítě z hladiny VVN 110 kV. Ty se jednotlivě mohou lišit jak velikostí napětí, tak i fázovým úhlem. Z tohoto důvodu nebylo v minulosti přikročeno k dvojstrannému

napájení trakčního vedení a systém je až dosud provozován s jednostranným napájením a s podélným dělením jak uprostřed napájeného úseku, tak u napájecích stanic se střídáním jednotlivých fází (R/S/T). Všechny napájecí stanice 25 kV jsou připojeny na distribuční síť VVN 110 kV, protože napájecí hladina 22 kV je příliš měkká (má velkou vnitřní impedanci, tj. nízký zkratový výkon). To je hlavním důvodem, proč k síti 22 kV nelze připojit velké nesymetrické (jednofázové) odběry v řádech MW, které napájení trakčního vedení potřebuje. Transformátory jsou většinou zapojeny na sekundární straně do „V“ (otevřený trojúhelník), kdy každá fáze napájí jeden směr kolejí od napájecí stanice.

Pozn.: Hladina 22 kV je také nevhodná z důvodu připojení velkého počtu solárních elektráren a MVE, které v okamžiku svého největšího výkonu mění směr toku proudu v síti VN 22 kV.

Tento způsob napájení TNS se vyznačuje těmito vlastnostmi:

- Napájecí distribuční fáze jsou zatěžovány nesymetricky (nutnost připojení TNS na zdroj s velkým zkratovým výkonem tzv. „tvrdý“ zdroj, aby nedocházelo k napěťovým úbytkům na jednotlivých fázích v okamžiku velkého odběru proudu),
- Odebíraný jalový výkon (magnetizační proud) u starších lokomotiv s diodovými usměrňovači je poměrně velký s účinníkem hodnoty cca 0,75, což bylo následně řešeno pomocí kapacitní kompenzace v FKZ. Novější lokomotivy s technologií IGBT se vstupním čtyřkvadrantovým měničem odebírají jen činný výkon a účinník je blízký hodnotě 1. Technologii FKZ nepotřebují, naopak tato zařízení mohou být příčinou potíží (rezonanční jevy),
- Odebíraný deformační výkon (vyšší harmonické složky) u starších lokomotiv (s diodovými usměrňovači) byl velký (velmi silné liché harmonické složky proudu). Nutné použití laděných filtrů ve stanicích FKZ. Novější lokomotivy s IGBT a čtyřkvadrantovými měniči odebírají téměř sinusový proud (žádný deformační výkon). Systém stanic FKZ nepotřebují, naopak tato zařízení mohou být opět příčinou potíží (rezonanční jevy),
- Tok energie je možný za použití transformace oběma směry, tedy od distributora do TNS, tak z TNS do distribuční sítě, ale protože energie při rekuperaci není symetrická a kontinuální, není distributory vítána.

Oba výše uvedené systémy byly vybudovány před více než 50 lety. Od té doby došlo ke změnám na železnici. Vlaky jezdí vyšší rychlostí, lokomotivy mají daleko větší výkon, hnací vozidla jsou vybaveny moderní technologií s polovodičovou technologií, která umožňuje rekuperaci. Změny nastaly také na straně distribuce. Snížilo se zastoupení tepelných elektráren, u kterých lze řídit výkon řádově v hodinách. Zvýšil se počet jaderných elektráren, u kterých nelze v krátkém časovém úseku snížit (zvýšit) dodávaný výkon do sítě, byly

vybudovány alternativní zdroje energie jako jsou solární, větrné a malé vodní elektrárny běžící s náhodně proměnným výkonem. Změnila se struktura platby za dodanou elektrickou energii. Roste význam platby za odebíraný (rezervovaný) výkon a klesá význam platby za dodanou energii (kWh). Z toho vyplývá, že odběratel s časově vyrovnaným odběrem elektrické energie zaplatí v součtu méně než odběratel s časově nevyrovnaným odběrem. Došlo ke změně struktury spotřeby elektrické energie, kde s klesající energetickou náročností průmyslu (úspory na straně spotřebitele) bylo sníženo poměrné zastoupení velkých třífázových symetrických spotřebičů. Dnes již není tok energie jednostranný od elektráren ke spotřebitelům, ale díky alternativním zdrojům vč. kogeneračních jednotek dochází k lokálním přebytkům energie v distribuční síti. Jsou také k dispozici a využívají se přesné měřicí přístroje a analyzátoři sledující kontinuální kvalitu dodávky a odběru elektrické energie. Distribuční společnosti byly rozděleny na samostatné podnikatelské subjekty (výroba, přenos, distribuce) a jsou mezi sebou vázány smluvními vztahy se zakotvením kvality dodávané elektrické energie vč. sankcí za jejich nedodržení. To dodává technickému tématu kvality dodávek a odběru energie novou obchodní a právní dimenzi, než tomu bylo v minulosti. Nejsou již tolerovány dříve přípustné normativní smluvní podmínky zejména u vznikajících nových odběrů nebo změn u dříve uzavřených smluv. Ke všem technickým kritériím se přidává také velká obtížnost výstavby nových distribučních linek VVN/VN, které se často potýkají s podmínkami ochrany přírody a krajiny, ochrany vlastnických práv majitelů pozemků, rostoucí urbanizace apod. Nezáskání nabytí právní moci územního rozhodnutí pro plánovanou linku venkovního vedení VVN/VN od příslušného stavebního úřadu prakticky znamená konec plánům pro vybudování nového přípojného místa k napájecím stanicím, tedy plánům na elektrizaci dotčených tratí.

5.3.3 Připojení nových nebo stávajících TNS v systému 3 kV

Dnešní stavební zákon (SZ) č. 183/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů povoluje u stávajících energetických zařízení několik způsobů projednání předkládané projektové dokumentace nebo také provedení stavby nevyžadující povolení ani ohlášení dle §103, odst.1, písm.e), bod č. 5. V praxi je využití tohoto způsobu obnovy venkovního vedení VN velmi obtížné z důvodu nutnosti dodržet původní místa vetknutí stávajících podpěrných bodů, typ použitých bodů, velikosti průřezu fázového vodiče, konfigurace vedení, napájecí napěťové hladiny a dalších technických prvků. Stavební úřady také argumentují tím, že doba životnosti původního energetického zařízení skončila a je tak nutné požádat o zcela nové územní rozhodnutí s předložením alespoň souhlasu jednotlivých vlastníků dotčených pozemků se stavbou. Tím se ustanovení §103 stává prakticky nepoužitelným pro obnovu liniové stavby energetiky vyjma opravy samostatných podpěrných bodů v trase linky.

Výše uvedené vede k variantě „bez projektu“ pro systém 3 kV (ponechání stávajícího stavu) a k variantě „s projektem“ se změnou systému z DC 3 kV na systém AC 25 kV. Ponechání stávajícího stavu napájení na systému DC 3 kV považuji za anachronismus, protože trendem je sjednocování napájecí soustavy na střídavou trakci, jak z důvodu evropské integrace, tak z důvodu sjednocování soustav mezi státy v evropském měřítku. Ve výsledku by se projevila nedostatečná přenosová schopnost DC soustavy, která by si vyžádala výstavbu dalších TNS pro dodatečné posílení trakčního vedení, a to ve vzdálenosti cca 10 km od sebe nebo instalaci posilovacího napájecího vedení (izolovaný kabel 22 kV s nutností kompenzace kapacitního proudu) zavěšeného na stávajících konstrukcích podél trati. Při výstavbě nových TNS by SŽCD byla nucena najít a koupit vhodné pozemky pro napájecí stanice a přivést k nim distribuční vedení 22 kV nebo 110 kV.

5.4 Možné varianty napájení systému 25 kV

Podívejme se nyní podrobněji na možné způsoby střídavého napájecího systému 25 kV. Při jakékoliv volbě tohoto systému bude nutné nechat vypracovat projektovou dokumentaci (PD) na každou z variant a nechat ji schválit příslušný stavební úřad. Dle mého názoru se bude jednat o PD pro územní řízení se všemi důsledky, které jsou k takovéto dokumentaci potřeba. Výhodou by bylo, že při výstavbě nové střídavé napájecí soustavy, které má násobně vyšší přenosovou schopnost než soustava stejnosměrná, lze požadavky splnit bez nutnosti doplňovat nové napájecí stanice do stávajících míst s DC provozem. Přenosová schopnost střídavého systému je natolik velká, že by mohla být zrušena polovina stávajících napájecích stanic systému 3 kV. Tím by se stávající vzdálenost TNS cca 25 km přiblížila hodnotě vzdálenosti TNS na tratích přímo elektrifikovaných systémem 25 kV, a to na cca 50 km. Toto s sebou nese také důsledky jako jsou:

- Zrušení přibližně poloviny napájecích stanic DC systému,
- Posílení zbývajících poloviny napájecích stanic na dvojnásobný výkon.

Při tomto kroku by muselo být vybráno přednostně tolik stanic, kolik je nezbytně nutné pro zajištění napájení na AC systému, zejména těch, které jsou připojeny z distribuční sítě 110 kV. Tyto stanice jsou klíčové pro další elektrifikaci odbočných sítí v modelu rybí kosti, kde by se s výhodou využila právě přenosová schopnost střídavého systému a napájení z protilehlé uzlové stanice. Tím by bylo možné dosáhnout elektrifikace trati z místa odbočení do následující uzlové trati na vzdálenost cca 100 km. Úspora investic k budování nových TNS, jejich nové napájení z distribuční sítě, úspory plateb za elektřinu (menší poměr maximálního a středního výkonu než u malého celku) je nezanedbatelná.

5.4.1 Systém 25 kV; 50 Hz (R/S/T)

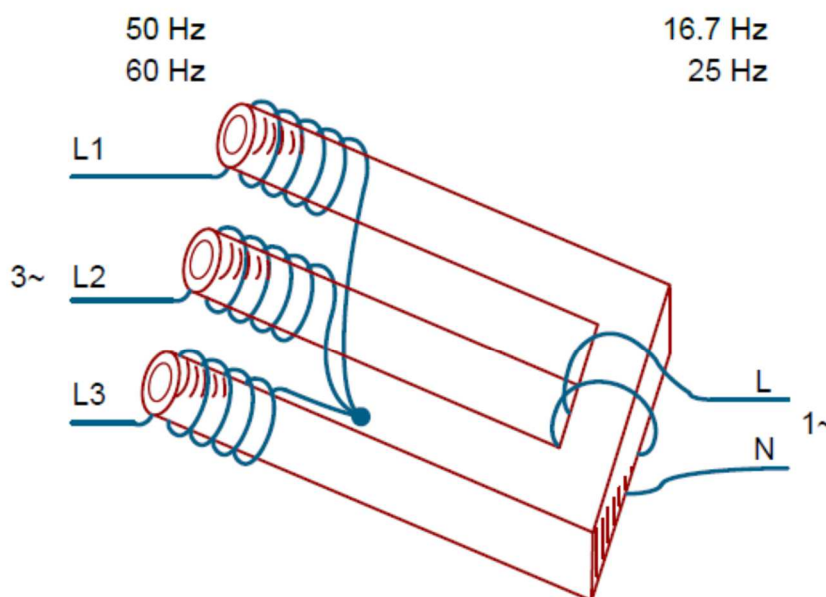
Charakteristikou tohoto řešení je podélné střídání jednotlivých fází (R/S/T) u napájecích stanic a uprostřed mezi stanicemi s použitím neutrálních polí mezi jednotlivými napájecími fázemi. Jedná se o stejné řešení, které bylo zavedeno v 60. letech minulého století a dosud se provozuje na dnešních tratích. Trakční transformovny jsou provozovány s transformátory se zapojením na sekundárního vinutí do „V“. Protože však došlo ke zpřísnění požadavků na odběry z distribuční sítě s důrazem na symetrii zatěžování všech tří fází, je dovoleno odebírat z jedné či dvou fází výkon (10 minutový) do úrovně 0,7 % zkratového výkonu. V minulosti bylo dovoleno odebírat výkon do 2 % zkratového výkonu. Důvodem zpřísnění od distributora je povinnost dodávat ostatním odběratelům elektrické energie symetrické třífázové napětí. Nesymetrický odběr proudu ze strany železnice způsobuje vlivem vnitřní impedance nesymetrii napětí v místě odběru. Jedná se o rozdílnost napětí na jednotlivých fázích mezi výrobou (elektrárnou) a spotřebou (TNS). Je dnes zřejmé, že nároky na přenosovou schopnost trakčního vedení porostou vzhledem k vyššímu výkonu hnacích vozidel (běžně 6 MW), a tím vedou k nesymetrickému zatěžování distribučního vedení. V současnosti mají běžné TNS maximální výkon 10 až 20 MVA a jsou proto připojitelné jen v místě se zkratovým výkonem sítě větším než 1 400 až 2 800 MVA. Realita je ale taková, že na distribuční hladině 22 kV se zkratový výkon distribuční sítě pohybuje od 100 do 200 MVA. U nadřazené distribuční soustavy 110 kV se zkratový výkon sítě pohybuje od 500 do 1 000 MVA. Z toho jasně vyplývá, že pro nová připojení TNS na střídavém systému lze využít pouze distribuční síť 110 kV pro zkratový výkon 2 000 až 3 000 MVA, a to pouze v blízkosti transformoven 400 kV / 110 kV, tedy v místech velkých průmyslových center a distribučních uzlů této soustavy. Pro tradiční technologii s napájením systému 25 kV s transformátory zapojenými do „V“ s náhradou měřičem 3 kV je tedy toto řešení prakticky nepoužitelné. Stávající distribuční napájecí soustava nemá v místě TNS potřebný zkratový výkon, nechová se jako „tvrdý“ zdroj. To samé platí i pro uvažované zvyšování výkonu na systému 25 kV na tratích v minulosti elektrifikovaných nebo pro stavbu nových TNS, které mají být v budoucnu elektrifikovány. Další nevýhodou trakčního napájecího systému střídání fází je nutnost vypínání odběru proudu hnacího vozidla u každé napájecí stanice a uprostřed mezi stanicemi, což způsobuje další komplikace jako:

- Přerušení tažné síly,
- Přerušení napájení pomocných obvodů vlaku,
- Přerušovaný chod klimatizace,
- Přerušení rekuperace,
- Omezení dosahu pro předávku energie mezi blízkými vozidly,
- Rozkolísanost odběru energie z distribuční sítě.

5.4.2 Systém 25 kV; 50 Hz – železniční „R“ fáze

Tento systém s jednotnou napájecí fází (soufáze) se vyznačuje výhodou pro napájení dlouhých úseků bez střídání fází R/S/T jak tomu bylo u předešlého řešení. Jedná se o podobný systém, který se využívá např. v Německu, Rakousku, Švýcarsku, ale i v Norsku a Švédsku. Protože se jedná o systém s jednou fází, odpadá v trase napájecího vedení použití neutrálních polí, což značným způsobem zjednodušuje trakční vedení i provoz vozidel. Odpadají problémy popsané v předchozí kapitole a jejich negativní vlivy. Zásadním přínosem je využívání rekuperace a její velký dosah předávání mezi hnacími vozidly. Používané brzdové odporníky pro maření vyrobené energie při rekuperaci zcela odpadají. Při použití tohoto systému je nutné provést technické úpravy pro přechod ze tří fází na fázi jednu. Lze přitom použít několika elektrických zařízení jako je například:

- Aktivní polovodičový balancér (rozděluje odebíraný proud do všech tří fází),
- Statický frekvenční měnič (kaskáda IGBT zařízení dle požadovaného výkonu).



© Siemens AG 2016

Obrázek 9 Zjednodušené schéma jednotné fáze [13]

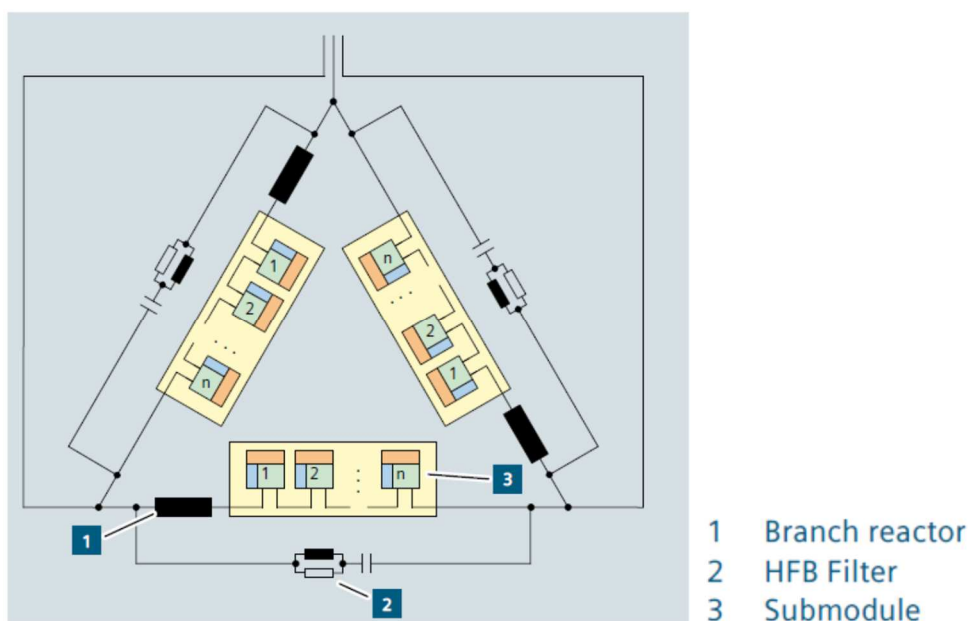
Při použití aktivních balancérů lze napájet trakční železniční vedení na hladině 25 kV; 50 Hz symetricky z distribuční sítě 110 kV a splnit kritérium 0,7 % zkratového výkonu i u „měkkých“ sítí (zdrojů). Dokonce je možné takový systém napájet i z distribuční sítě 22 kV v místě s malým zkratovým výkonem, což je při způsobu zapojení napájecích transformátorů do „V“ prakticky nemyslitelné. Ke splnění je potřeba, aby měla síť 22 kV v daném místě potřebný

činný výkon. To je v případě přestavby stávajících TNS 3 kV na TNS 25 kV splněno. Připočítáme-li k tomu nižší ztráty v trakčním vedení a využití rekuperace, pak se potřebný výkon z distribuční sítě ještě snižuje a máme rezervu pro růst dopravního zatížení.

Aktivní balancér dokáže také kompenzovat účinník, a proto není potřeba budovat nové kompenzační stanice. Neumí však filtrovat vyšší harmonické, pro které by bylo nutné instalovat přídatné filtry, laděné na příslušné kmitočty lichých harmonických proudů. Stávající lokomotivy s diodovými usměrňovači dnes dožívají a nahrazují je modernizovaná nebo nová vozidla se čtyřkvadrantovými měniči, která složky vyšších harmonických proudů neprodukují.

Aktivní balancér dokáže symetrizovat proud ze tří napájecích fází do jedné jak při odběru výkonu, tak při předávání rekuperované energie do třífázové distribuční sítě 110 kV; 50 Hz a sítě 22 kV; 50 Hz. S prodlužujícím se napájecím úsekem se zvyšuje pravděpodobnost odběru rekuperované energie jiným vozidlem na trati. To znamená, že při rozsáhlé napájecí síti na železnici se projeví model „velkého rybníka“ a vyrobená energie nebude vracena v zásadním měřítku do distribuční sítě, čemuž se distributoři brání a dojde k malé rozkolísanosti samotného odběru. Příznivě se projeví poměr mezi maximálním a středním výkonem.

Na obrázku 10 je znázorněno schéma aktivního balancéru s označením Sitras RAB plus (Rail Active Balancer) od firmy Siemens.

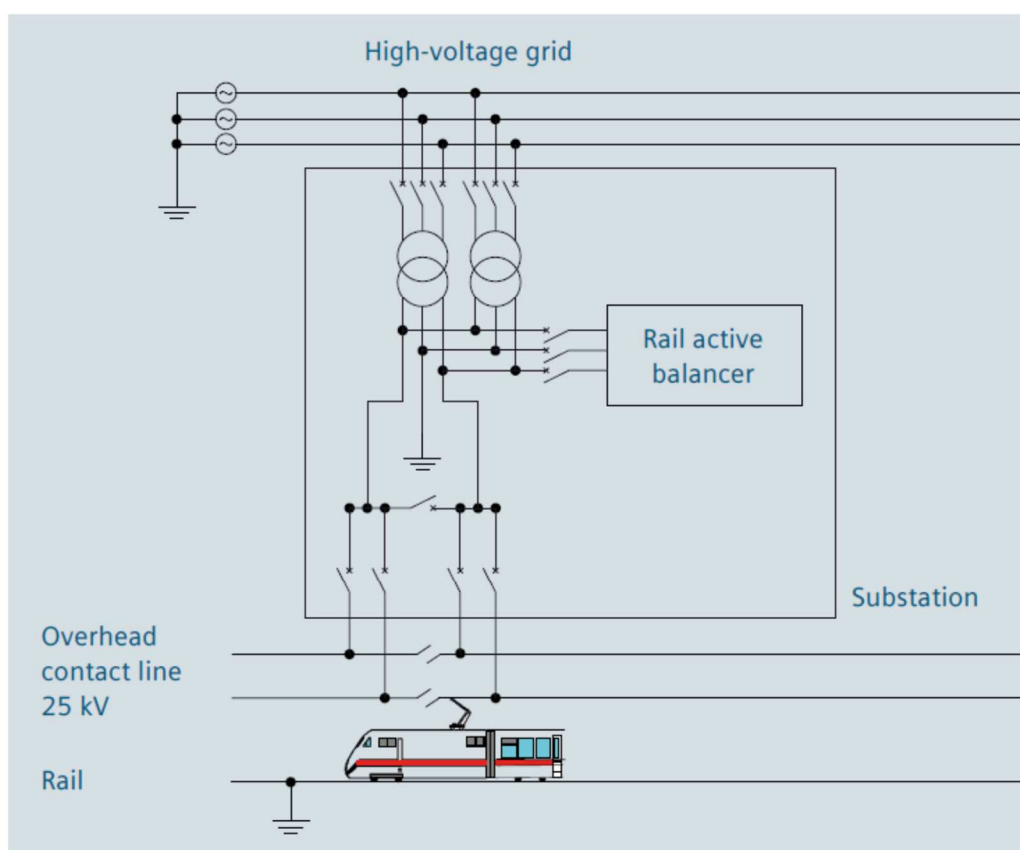


Obrázek 10 Schéma aktivního balancéru [13]

Jednotlivé aktivní balancéry společně s filtry pro vyšší harmonické by byly instalovány do prostor stávajících TNS. Tím by došlo k využití budov napájecích stanic bez potřeby budovat nové. V případech, kdy by z technických důvodů nebylo možné provést odstávku stávající TNS a odstavit traťový úsek od zdroje, přišla by na řadu výstavba nového technologického parku

na území nepřekračující hranice stávající TNS. Nebylo by tak nutné hledat řešení pro odkup pozemku od cizího majitele a mnohdy složitého vyjednávání o ceně za potřebnou plochu pozemků. Zjednodušilo by se tak projednávání i v rámci jednotlivé projektové dokumentace pro potřeby územního řízení u příslušného stavebního úřadu.

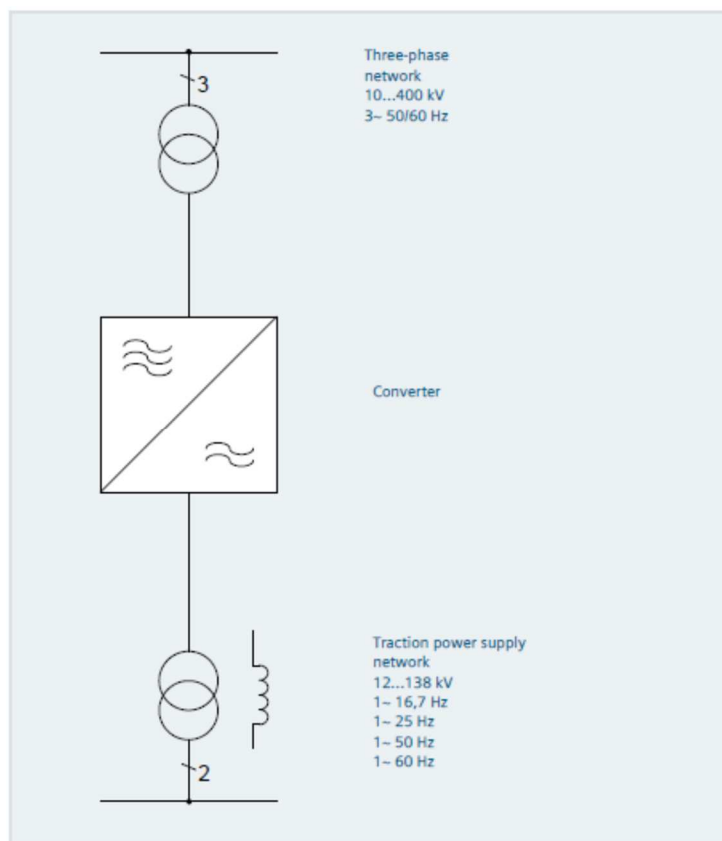
Názorné schéma připojení aktivního balancéru do distribučního systému a trakční napájecí stanice je znázorněno na Obrázku 11.



Obrázek 11 Schéma zapojení aktivního balancéru v systému napájení [13]

Podobně funguje také zdokonalený systém jednotné železniční fáze na hladině 25 kV; 50 Hz, nazvaný „R stab.“ Jedná se o systém, kdy je aktivní balancer využíván nejen k symetrizaci proudu do tří fází a kompenzaci účinníku, ale také ke stabilizaci výstupního napětí. To je docíleno na balancéru v součinnosti s odbočkovou regulací na primární straně transformátoru změnou jalového proudu (v rámci dovolených hodnot) a dosaženo změny induktivního úbytku napětí na vnitřní straně napájecí stanice. Je tak vyrovnán vliv různé úrovně napětí ve dvou různých bodech napájecí distribuční sítě 110 kV, ale i 22 kV. Cílem je potlačit vznik vyrovnávacích proudů mezi sousedními TNS přes trakční vedení. Při splnění těchto podmínek je možné zavést dvoustranné spojitě napájení bez nutnosti stahovat sběrač nebo vypínat proud na vlaku.

Druhé zmiňované technické řešení je pomocí statických frekvenčních měničů jako IGBT tranzistoru v podobě modulu s izolovanou základnou, které se podobá předchozímu technickému řešení. Výhodou u statických měničů je, že jejich potřebný výkon lze dimenzovat dle potřeb zákazníka, tedy požadavku železnice. Blokované schéma statického frekvenčního měniče typu Sitras SFC plus (Static Frequency Converter) od firmy Siemens uvádím níže.

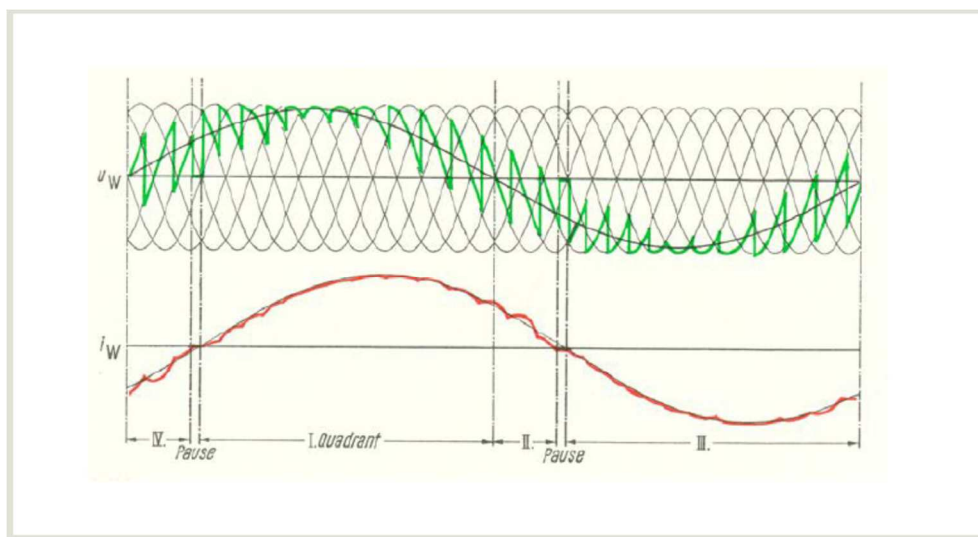


Sitras SFC plus		
Nominal power	[MW]	12...120
3-phase connection	[kV]	
• Input voltage	[Hz]	≥ 10
• Input frequency		50 / 60
• Power factor cos φ		adjustable
1-phase connection	[kV]	
• Output voltage	[Hz]	12...138
• Output frequency		16.7 / 25 / 50 / 60
• Power factor cos φ		adjustable

Obrázek 12 Blokované schéma statického měniče s technickými daty [13]

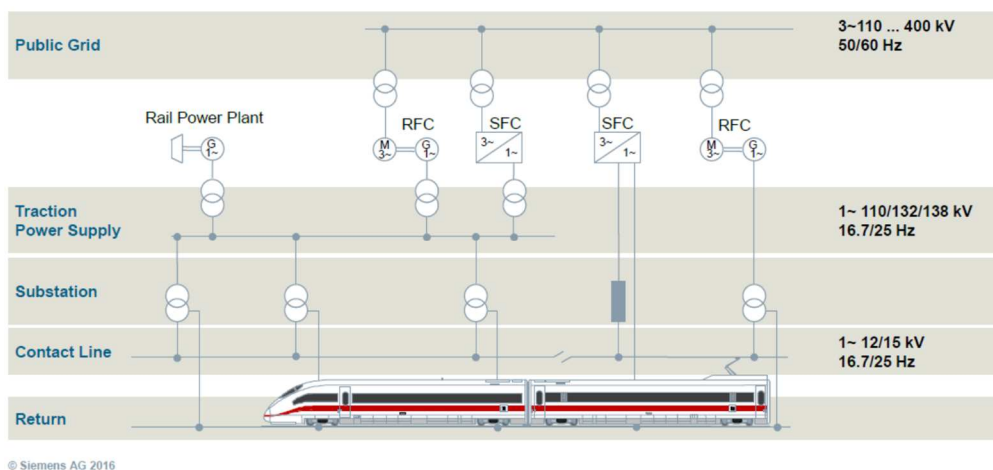
Statický frekvenční měnič tedy přímo převádí napětí z třífázové distribuční soustavy na trakční napětí jedné fáze. Díky víceúrovňové IGBT technologii jsou pro napájení trolejového vedení potřeba trakční napájecí transformátory. Modulární technologie umožňuje sestavu pro výkon od 12 do 120 MW.

Zde je uveden grafický průběh funkce změny z třífázového systému na systém jednotné fáze pomocí statického frekvenčního měniče.



Obrázek 13 Průběh funkce změny třífázového systému na jednofázový [13]

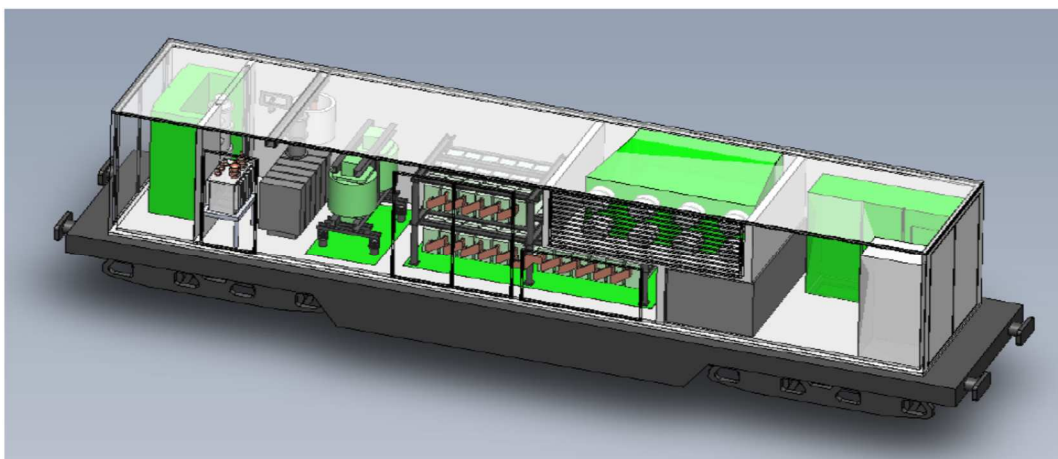
Schéma zapojení frekvenčního měniče do distribuční sítě a následně do napájecí železniční trakce, společně se zpětným tokem energie do distribuční soustavy při využití rekuperačního brzdění uvádím níže.



© Siemens AG 2016

Obrázek 14 Schéma zapojení frekvenčního měniče v napájecí soustavě [13]

Velkou výhodou při použití statických měničů je bezesporu to, že je lze umístit do standardizovaných kontejnerů pro požadovaný výkon železniční trakce viz obrázek níže.



© Siemens AG 2016

Obrázek 15 Kontejnerové řešení [13]

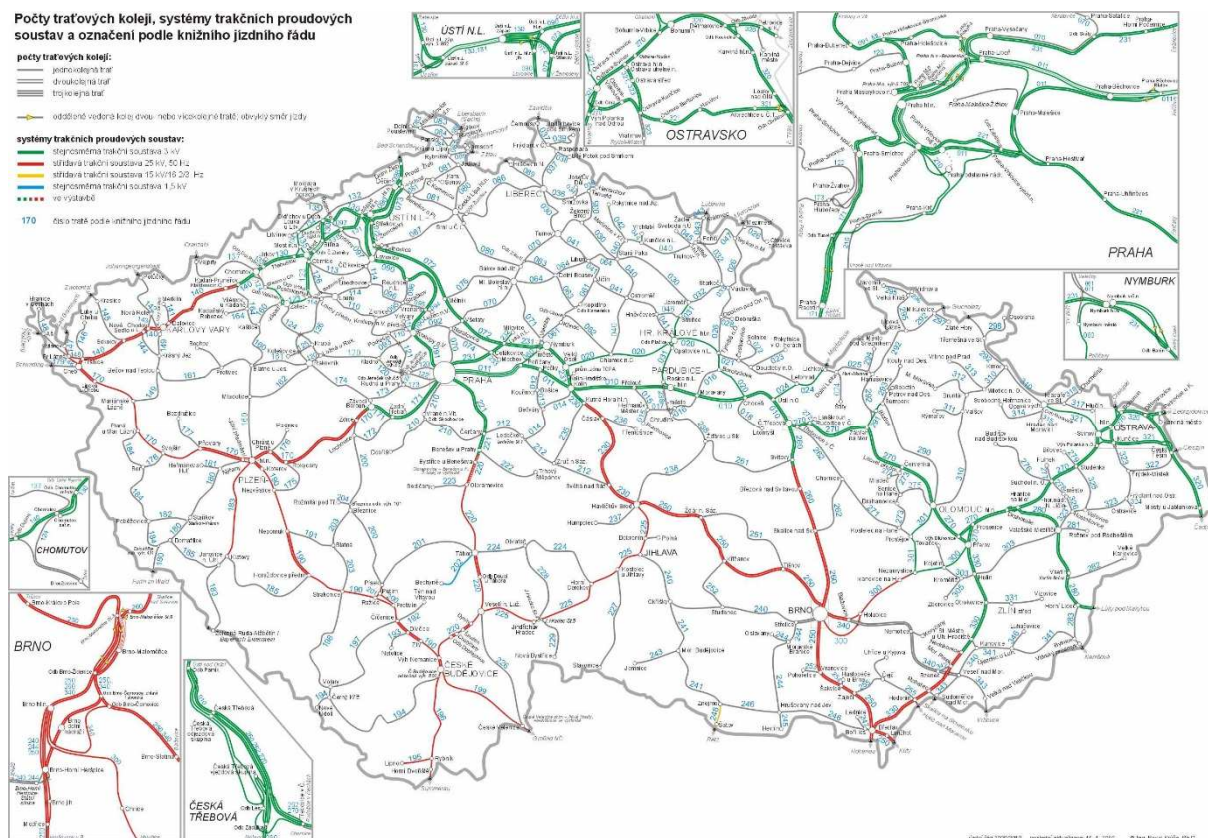
Z obrázku je patrné, že díky moderní technologii lze celé technické řešení umístit do relativně malého uzavřeného prostoru, není již potřeba výstavby zděných budov, které jsou náročné jak finančně, tak i časově, a během krátké doby realizovat technologickou změnu na jinou napájecí soustavu. Součástí systému je samozřejmě napájecí trakční transformátor připojený k distribuční síti a chladicí systém, ale ve své podstatě se nejedná o žádné komplikované zařízení s požadavkem na zábor velké plochy. Názorně je to patrné z následujícího obrázku.



Obrázek 16 Vizualizace technologického řešení [13]

6 Hodnocení uvažované změny na jednotnou napájecí soustavu na vybrané trati

Na území ČR jsou provozovány dvě soustavy pro napájení trakčního vedení na železnici. Pokud bychom provedli řez přes celou Českou republiku, dostali bychom přibližné rozložení obou provozovaných soustav. Ve spodní polovině řezu by se nacházelo území provozované se střídavou trakcí AC 25 kV; 50 Hz a v horní polovině řezu bychom našli území se stejnosměrnou trakcí DC 3kV. Názorně jsou obě soustavy zobrazeny na obrázku 17.



Obrázek 17 Železniční trakté v ČR [19]

Rozsah trakčních proudových soustav v ČR:

Celková délka jedno i víceokolejných tratí	9.469 km	100 %
Tratě se stejnosměrnou napájecí soustavou DC 3 kV	1.795 km	19 %
Tratě se střídavou napájecí soustavou AC 25 kV; 50 Hz	1.382 km	14,6 %
Celkem elektrifikováno tratí na území ČR	3.177 km	33,6 %

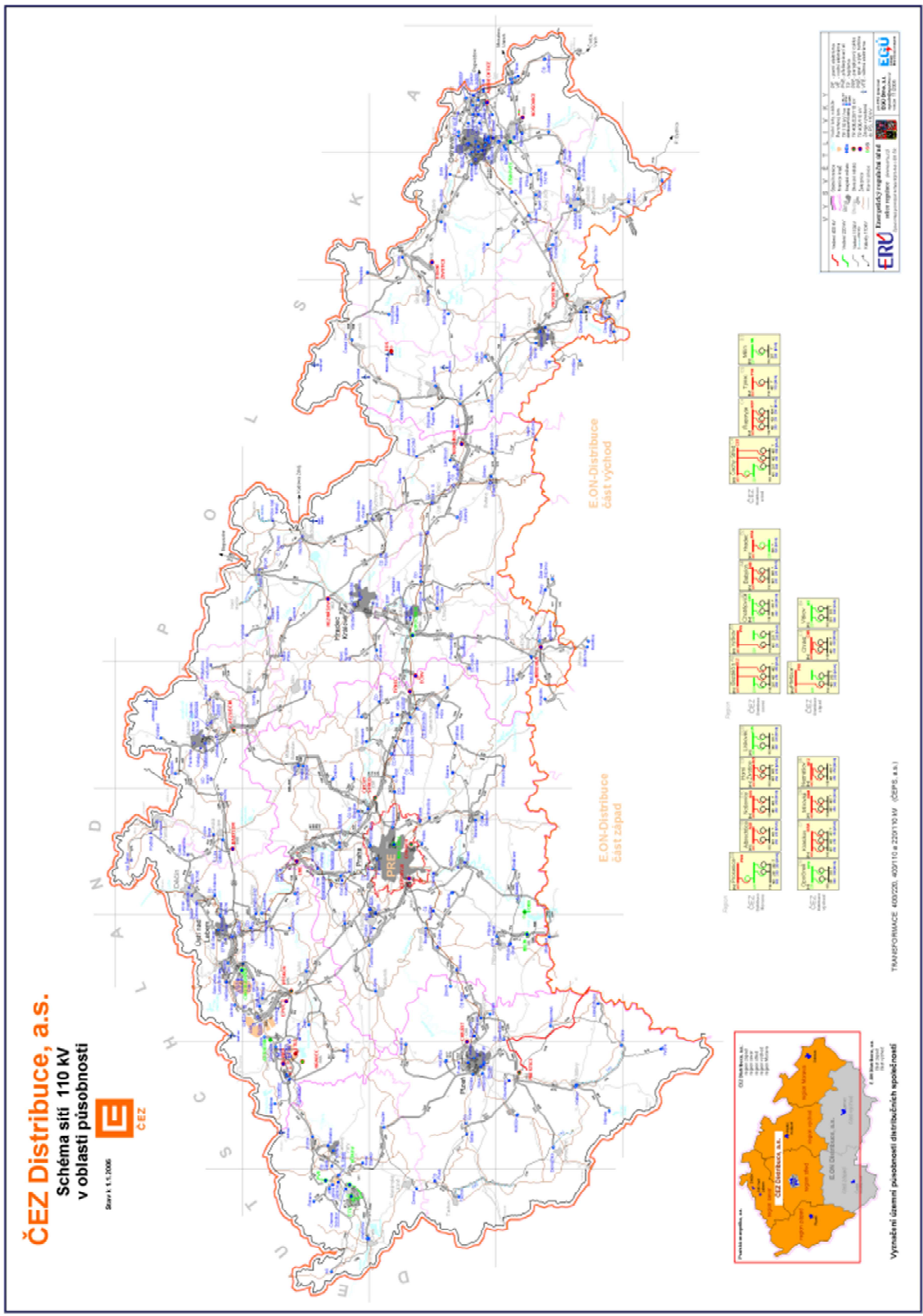
Pro srovnání s evropskými státy je v ČR elektrifikováno 34 %. Tento podíl je tak ve srovnání se sousedními státy jako je Německo 54 %, Slovensko 44 %, Rakousko 69 % a Polsko 59 %, poměrně nízký.

6.1 Rozložení distribuční sítě VVN v ČR

Jak bylo zmiňováno již dříve, prvotním úkolem pro změnu napájecího systému na železnici by mělo být podrobné zmapování stávající distribuční sítě elektrického vedení z pohledu možnosti připojení na napěťovou hladinu VVN 110 kV. Výchozím společným bodem pro všechny plánované přípojné body nových nebo rekonstruovaných TNS by mělo být:

- Umístění TNS v těsné nebo blízké vzdálenosti od vedení VVN,
- Volná kapacita v síti pro připojení TNS ze strany distributora,
- Možnost připojení TNS na pozemcích ve vlastnictví SŽDC,
- Smluvní zajištění pro dodávky energie z trakčního vedení do sítě distributora tak, aby bylo vrácení energie do distribuční sítě pro provozovatele dráhy ziskové,
- Volba optimálního technického vybavení TNS vzhledem ke stávajícímu i budoucímu provozu trakční soustavy nejlépe v modulárním provedení TNS,
- Volba nosné technologie TNS od jednoho výrobce pro jednoduché opravy a údržbu ve všech nových i rekonstruovaných stanicích.

Na obrázku 18 je znázorněná síť VVN v působnosti distribuční společnosti ČEZ Distribuce a.s.



Obrázek 18 Mapa distribuční sítě VVN společnosti ČEZ Distribuce a.s. [20]

6.2 Počet a druh TNS zapojených do drážní trakce

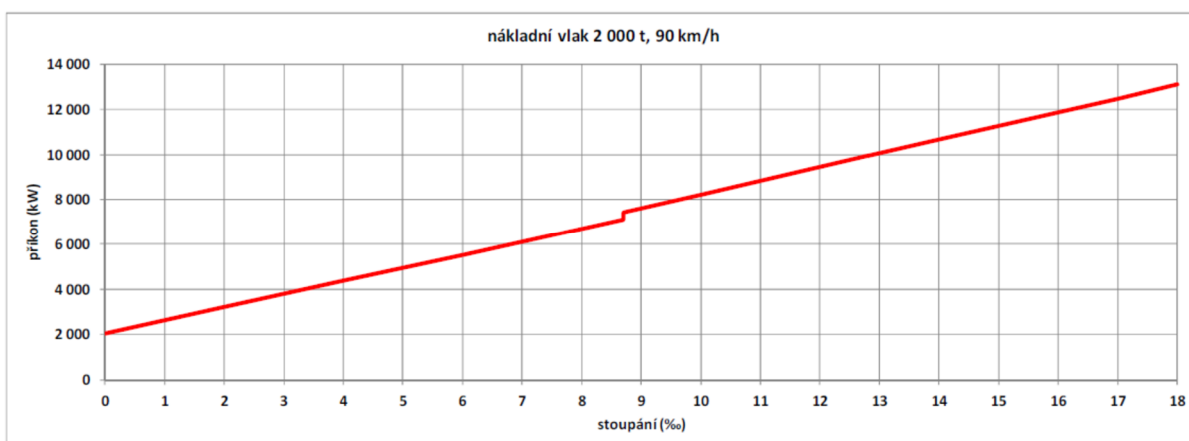
Z předchozích dvou obrázků je odvoditelné, že základním kamenem pro přechod na jednotnou napájecí soustavu 25 kV; 50 Hz bude založeno na jednání s distribuční společností ČEZ Distribuce a.s. Vzhledem k faktu, že ke dnešnímu dni je z hladiny VVN 110 kV napájeno celkem 31 stanic pro stejnosměrnou trakci (50 %) a zbylých 32 stanic (50 %) je napájeno z vedení VN 22 kV, zmenšil se problém s napájením TNS na polovinu. Pokud vezmeme do úvahy, že pro střídavou trakci nebude nutné provozovat všechny stávající TNS, můžeme říci, že hledání řešení pro připojení stanic na vedení VVN se bude týkat přibližně 10 až 12 stanic. I tak nelze tento problém přehlížet a je nutné věnovat této problematice zásadní pozornost.

Níže je uvedena tabulka s počtem a druhem napájecích stanic pro drážní trakci.

Tabulka 10 Počet a druh TNS s technickými daty [10]

	Počet TNS	Střední vzdálenost	Střední vzdálenost	Rezervovaný příkon	Rez. příkon TNS/100km	Rez. příkon TNS/100km	Úhrnná roční spotřeba	Úhrnná roční spotřeba
	ks	km	%	MW	MW	%	MWh/rok	%
Stejnoseměrná 3kV	63	28,5	100,0%	492	27,4	100,0%	884 219	100,0%
Střídavá 25kV, 50Hz	27	51,2	179,6%	389	28,1	102,7%	320 881	36,3%
Součet	90			881			1 205 100	

Pro změnu napájecího trakčního systému také hovoří nárůst příkonu hnacích vozidel u nákladních vlaků, kde je logický požadavek na zvýšení přepravní rychlosti pro jízdu v těsném sledu za rychlíky, zejména na dopravně silně zatížených tratích. Nárůst příkonu nákladních vlaků (odběr většího proudu) oproti minulosti dokazuje následující graf.



Graf 5 Příkon nákladního vlaku v závislosti na stoupání trati [10]

Zlom v grafu mezi stoupáním 8 a 9 promile je způsobeno nutností využití postrkové služby.

Dalším důležitým faktorem u TNS je přenosová schopnost trakčního napájecího vedení v systému DC 3 kV a systému AC 25 kV; 50 Hz pro hnací vozidlo na trati. Vzhledem dnešním a očekávaným příkonům lokomotiv je v tabulce níže uvedeno několik variant napájecího

trakčního vedení pro stejnosměrnou trať a pro trať střídavou. Zajímavé jsou hodnoty I_{max} pro maximální dovolený proud trakční soustavy a hodnoty P_{Umin} pro maximální možný odebíraný výkon a úbytek napětí uprostřed úseku s proudem I_{max} pro DC a AC soustavu.

Tabulka 11 Tabulka elektrických vlastností trakční soustavy pro DC a AC systém [10]

Soustava	U_{min} kV	dU_{max} kV	Trolej	Nosné lano	Zesilovací vedení	r, z ohm/km	I_{max} A	P_{UMIN} MW	$L_{max 2MW}$ km	$L_{max 4MW}$ km	$L_{max 6,5MW}$ km	Poznámka
3kV ss	2,7	0,6	150 Cu	120 Cu	-	0,120	1 414	7,636	27,0	13,5	8,3	oboustranné napájení
3kV ss	2,7	0,6	150 Cu	120 Cu	1 x 120 Cu	0,087	2 048	11,059	37,2	18,6	11,5	oboustranné napájení
3kV ss	2,7	0,6	150 Cu	120 Cu	2 x 120 Cu	0,071	2 682	14,483	45,6	22,8	14,0	oboustranné napájení
25kV, 50Hz cos ϕ = 0,95	22,5	4,5	100 Cu	50 Bz	-	0,52	760	16,245	92,6	46,3	28,5	jednostranné napájení

Hodnoty L_{max} jsou maximální hodnoty pro vzdálenost napájecích stanic s příkonem 1 lokomotivy dle uvedené hodnoty uprostřed napájecího úseku a v systému AC se jedná o vzdálenost k neutrálnímu poli.

Z tabulky je jasně patrné, že ani běžné, nejvíce dimenzované trakční vedení DC 3 kV při použití dvou zesilovacích lan nezajistí potřebnou energii v kvalitě dle TSI LOC & PAS a EN 50 388 pro jediné vozidlo s příkonem 6,5 MW v případě, kdy je vzdálenost mezi napájecími stanicemi větší než 14 km. Přitom běžná vzdálenost se dnes pohybuje okolo 25 km.

6.3 Porovnání investic do DC a AC soustavy

Pro výstavbu stejnosměrné trakce oproti trakci střídavé, při zajištění stejného výkonu, je potřeba použití většího průřezu napájecího trolejového vedení. Vzhledem k tomu, že proud protékající vodičem v DC systému je přibližně 8 krát větší než u AC systému, vyžaduje trolejové vedení 3 – 4 krát větší průřez. Současně použití větších průřezů trolejového vedení vyvolává větší kotevní tahy na koncových a výztužných stožárech, které musí být na tento tah dimenzovány a pro spolehlivý provoz trakční soustavy použity. To znamená další vícenáklady při výstavbě trakční infrastruktury. Budeme-li vycházet z modelových parametrů pro trakční napájecí soustavu na přímém úseku s délkou 1 km, obdržíme pro střední rozpětí 55,6 km s použitím 2 ks kotevních stožárů typu BP na konci vedení, 17 ks nosných stožárů typu DS a nebudeme uvažovat hmotnost kotevních armatur, proudových spojek, návěstí a ukolejnění toto investiční porovnání pro DC a AC soustavu. Do výpočtu také zahrnujeme kubaturu betonu pro základy stožárů trakčního vedení vč. hmotnosti stožárů a trakčního vedení dle použitého materiálu.

Soustava DC 3 kV: sestava „J“, trolejový drát Cu 150 mm² s tahem 15 kN, nosné lano Cu 120 mm² s tahem 15 kN bez přídatného lana, zesilovací vedení Cu 2x120 mm² s tahem 2x 4 kN.

Soustava AC 25 kV; 50 Hz: sestava „S“, trolejový drát Cu 100 mm² s tahem 10 kN, nosné lano 50 Bz (bez závěsů) s tahem 10 kN, bez přídatného lana, bez zesilovacího vedení.

Tabulka 12 Porovnání základních prvků pro výstavbu trakčního vedení [10]

Soustava:	měď [kg/km]	měď [%]	ocel [kg/km]	ocel [%]	beton [m ³ /km]	beton [%]
DC 3 kV	4,658	100	9,956	100	103	100
AC 25 kV; 50 Hz	1,348	28,9	7,899	79,3	83	80,5

V rámci porovnání DC / AC soustavy se nezabýváme dynamickými vlastnostmi trakčního vedení, protože ty se uplatní pro rychlosti vyšší než 160 km/hod a nejsou přímo závislé na volbě trakční napájecí soustavy. Pokud budeme následně porovnávat ceny jednotlivých základních materiálů (měď, ocel a beton) mezi trakční soustavou DC / AC, dojdeme k tomuto výsledku:

Tabulka 13 Porovnání investic dle výměru použitých materiálů pro DC trakci [10]

Soustava:	množství	cena za jednotku	cena Kč	poměr %
DC 3 kV				
měď [kg]	4 658	240	1 117 920	
ocel [kg]	9 956	60	597 360	
beton [kg]	103	2 000	206 000	
Celkem			1 921 280	100 %

Tabulka 14 Porovnání investic dle výměru použitých materiálů pro AC trakci [10]

Soustava:	množství	cena za jednotku	cena Kč	poměr %
AC 25 kV; 50 Hz				
měď [kg]	1 348	240	323 520	
ocel [kg]	7 899	60	473 940	
beton [kg]	83	2 000	166 000	
Celkem			963 460	50,1 %

Z porovnání obou tabulek vyplývá, která investice je výhodnější v závislosti na typu napájecí trakce. Současně lze z těchto ukazatelů odvodit, že dopad na životní prostředí jen při samotné výrobě potřebných surovin (bez přepravy a montáže) pro střídavou trakci je bezmála poloviční než u trakce stejnosměrné.

6.4 Porovnání investic DC / AC napájecí trakce u konkrétního případu

Podávalo se získat data pro konkrétní modelový případ u trati, kde byla provedena elektrizace a modernizace, která proběhla v roce 2012 a 2016. Níže je provedeno porovnání podle položkového rozpočtu s doplněním nezbytných údajů.

Tabulka 15 Porovnání investic u konkrétního případu [10]

			Elektrizace		Modernizace		Průměr	
	Modelový příklad - 1km		Reálný příklad - 1km		Reálný příklad - 1km			
	ZRN (tis Kč)	poměr %	ZRN (tis Kč)	poměr %	ZRN (tis Kč)	poměr %	ZRN (tis Kč)	poměr %
Stejnoseměrná	6 888	100,0%	6 261	100,0%	8 510	100,0%	7 220	100,0%
Střídavá	4 843	70,3%	4 118	65,8%	7 538	88,6%	5 500	76,2%

Uvedená data se týkají reálného případu pro trať:

DC: modernizace t.ú. Moravičany – Mohelnice (bez demontáže) přepočten na ceny z roku 2012 (rozvinutá délka traťového vedení 2,956 km)

AC: elektrizace t.ú. Tetčice – Zastávka přepočten na ceny z roku 2012 (rozvinutá délka traťového vedení 7,066 km)

DC: modernizace t.ú. Červenka – Moravičany přepočten na ceny z roku 2016 (rozvinutá délka traťového vedení 19,860 km)

AC: modernizace t.ú. Havlíčkův Brod – Okrouhlice přepočten na ceny z roku 2016 (rozvinutá délka traťového vedení 19,023 km)

Z tabulky je čitelné, že čím je trať komplikovanější, tím rostou investiční náklady a zvyšuje se poměr střídavé soustavy ke stejnosměrné soustavě. Finanční náročnost střídavé trakce se pohybuje mezi 70 % - 80 % nákladů stejnosměrné trakce. Absolutní rozdíl se poté pohybuje v rozmezí 1 -1,5 mil. Kč bez DPH na 1 km modernizované tratě.

6.5 Porovnání ztrát v trakčním napájecím obvodu

U výpočtu ztrát v trakčním napájecím obvodu jde především o velikost elektrického proudu procházejícího trakčním napájecím vodičem a čtverci reálného odporu trakčního vedení vč. zpětné cesty ke zdroji vyjádřené vzorcem $dP = R \cdot I^2$. Ztráty také závisí na způsobu napájení trakčního vedení, zda se jedná o jednostranné nebo oboustranné napájení. V našem případě budeme uvažovat pro DC trakci vždy oboustranné napájení a pro AC trakci napájení jednostranné jako stávající způsob napájení a oboustranné pro návrhový způsob napájení.

Výpočtem lze porovnat ztráty v trakčním vedení jako poměr středního úbytku napětí k napětí na zdroji U_0 . Střední úbytek napětí lze určit jako poměr integrálního součtu úbytků napětí podle

vzdálenosti vlaku mezi napáječi a vzdáleností mezi samotnými napáječi. Při výpočtu vycházíme z deklarovaných parametrů pro trakční vedení, které je charakterizováno chemickým složením, a tedy konstantní vodivostí. Naproti tomu zpětná cesta, tvořená kolejnicemi, které mají garantované chemické a mechanické vlastnosti, nemá uvedený elektrický odpor. Ten se prakticky neuvádí a využívají se neaktuální hodnoty dle SR34. Navíc se ve zpětné cestě u kolejových obvodů vyskytují izolované styky (klasické, lepené izolované a ambulantní lepené izolované styky [4]). Ty jsou překlenuty stykovými transformátory, spojenými s kolejnicemi pomocí ocelových lan, zvyšující elektrický odpor a tím i ztráty ve zpětné cestě. Při přechodu na jednotnou napájecí soustavu AC 25 kV; 50 Hz se nepředpokládá změna zabezpečovacího zařízení a rekonstrukce železničního svršku, a proto se v dalším výpočtu se ztrátami ve zpětné cestě nepočítá a pro obě napájecí soustavy jsou uvažovány jako přibližně shodné. Obecně však platí, že je žádoucí zmenšovat odpor zpětné cesty jak z důvodu úbytku napětí, tak z důvodu snižování potenciálu napětí na kolejnici pro zajištění bezpečnosti a ochrany osob. Tyto vlastnosti výrazně ovlivňují detekční prostředky zabezpečovacího zařízení, tedy kolejové obvody, které zvyšují odpor zpětné cesty a omezují v případě použití střídavé trakční soustavy její pravidelné uzemňování. Je žádoucí využívat jiných, modernějších detekčních prostředků, které nevyužívají kolejnici jako zpětné cesty, tedy jako signálního vodiče.

Pro výpočet ztrát pro oboustranně napájené úseky platí:

$$P_Z = \frac{dU_{stř}}{U_0} = \frac{\int_0^L \frac{r \cdot x \cdot (L-x) \cdot I}{L} dx}{U_0} \quad (1)$$

Pro výpočet ztrát pro jednostranně, do poloviny napájené úseky platí:

$$P_Z = \frac{dU_{stř}}{U_0} = \frac{\int_0^L \frac{r \cdot x \cdot I}{L} dx}{U_0} \quad (2)$$

kde, L – vzdálenost mezi napájecími stanicemi [km]

I – proud odebíraný z napájecí stanice [A]

r – měrná hodnota reálné složky odporu soustavy [Ω /km]

x – proměnná vzdálenost od napájecí stanice

Tabulka 16 ztráty pro střední vzdálenost mezi měřirami 28,5 km

Tabulka 16 Ztráty v trakčním vedení pro střední vzdálenost stanic 28,5 km [10]

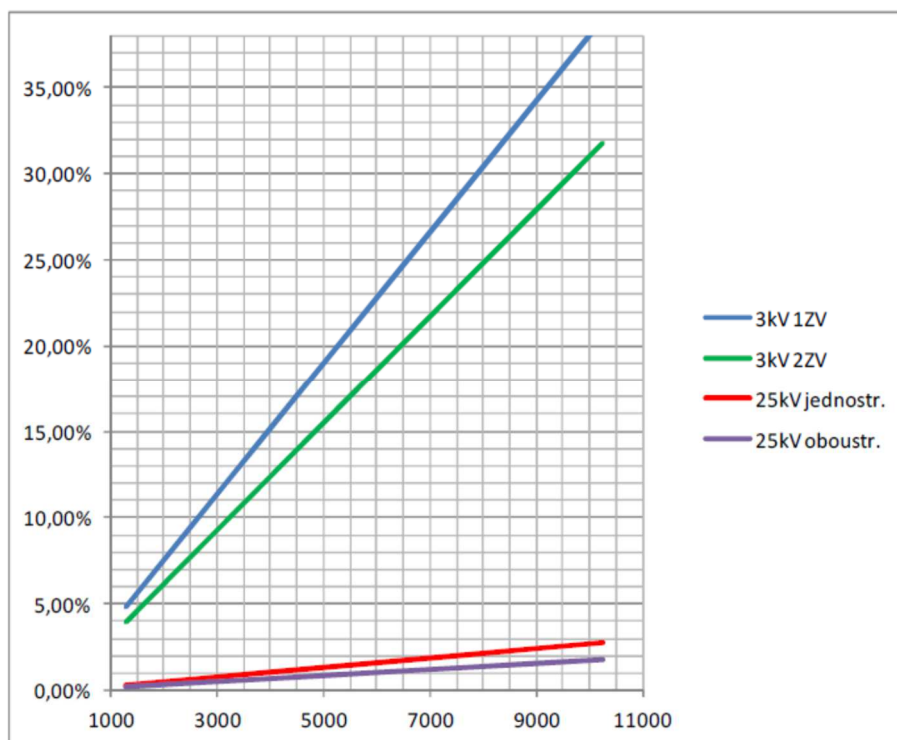
Příkon kW	3kV	3kV oboustr + 1ZV		3kV oboustr + 2ZV		25kV 50Hz	25kV jednostr- po NP			25kV oboustr	
	Proud A	dUstř V	Ztráty %	dUstř V	Ztráty %	Proud A	dUstř V	Ztráty %	dUstř V	Ztráty %	
1280	388	160,3	4,86%	130,9	3,97%	50	92,6	0,34%	61,8	0,23%	
2564	777	321,1	9,73%	262,0	7,94%	100	185,3	0,69%	123,5	0,46%	
3845	1165	481,4	14,59%	392,9	11,91%	150	277,9	1,03%	185,3	0,69%	
5128	1554	642,2	19,46%	524,1	15,88%	200	370,5	1,37%	247,0	0,91%	
6412	1943	802,9	24,33%	655,3	19,86%	250	463,1	1,72%	308,8	1,14%	
7696	2332	963,7	29,20%	786,5	23,83%	300	555,8	2,06%	370,5	1,37%	
8979	2721	1124,5	34,07%	917,7	27,81%	350	648,4	2,40%	432,3	1,60%	
10263	3110	1285,2	38,95%	1048,8	31,78%	400	741,0	2,74%	494,0	1,83%	
Střední ztráty		24,84%		20,20%			1,75%			1,16%	
Průměr				22,52%							
Poměr DC/AC							11,54				

Střední ztráty – střední hodnota ztrát určená poměrem celkových ztrát a rozsahem příkonu

Průměr – aritmetický průměr ztrát pro soustavu s 1 x ZV a 2 x ZV

Poměr DC/AC – poměr středních ztrát soustav

Pro další výpočet je nutné uvést poměrné ztráty v trakčním obvodu v závislosti na výkonu lokomotivy a napájecí soustavě.



Graf 6 Vliv výkonu lokomotivy na poměrné ztráty v trakčním vedení [10]

Z grafu je zřejmé, že poměrné ztráty v trakčním obvodu rostou úměrně s výkonem trakčního vozidla. Pokud tedy činily ztráty v době, kdy byly používány lokomotivy s výkonem 2 MW, přibližně 6 %, tak dnes u lokomotiv s běžným výkonem 6 MW jsou ztráty v DC soustavě 19 %.

Z těchto výsledků můžeme určit ztráty na území ČR dle druhu napájecí soustavy:

DC soustava 3 kV napájená oboustranně cca 22,5 %

AC soustava 25 kV; 50 Hz napájená jednostranně cca 1,8 %

Pokud budeme vycházet z roční hodnoty spotřebované energie pro železniční trakci na území ČR, která činí cca 884.219 MWh/rok (označme jako „E“), pak můžeme určit ztráty ve stejnosměrné soustavě výpočtem:

$$dE = (22,5 \% - 1,8 \%) \times E = 20,7 \% \times 884\,219 = 183\,033 \text{ MWh/rok}$$

Pokud by proběhla konverze železniční trakce na systém AC 25 kV; 50 Hz s využitím soufázového napájení pomocí aktivních balancérů nebo statických frekvenčních měničů, poklesnou průměrné ztráty ve vedení při dvoustranném napájení na 1,2 %. Možné budoucí úspory dle uvedené spotřeby „E“ stejnosměrné trakce při přechodu na trakci střídavou s oboustranným napájením se započítáním 6 % rekuperace by činily:

$$dE = (22,5 \% - 1,16 \% + 6 \%) \times E = 27,34 \% \times 884\,219 = 241\,745 \text{ MWh/rok}$$

Ceník pro velkooběratele na hladině VN pro rok 2017 od jednotlivých distribučních společností je uveden níže. Jedná se o položky, které je odběratel povinen hradit měsíčně. Cena silové elektřiny za 1 kWh na hladině VN není uvedena, ale dle zjištění je cena pro železniční trakci přibližně na hodnotě 2,60 Kč/kWh.

- Regulované platby za dopravu elektřiny 2017 platné pro VN Distribuční území ČEZ

Tabulka 17 Ceny položek za elektřinu na území ČEZ Distribuce a.s. [21]

Roční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	165 885,00
Měsíční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	185 992,00
Cena za překročení RK (Kč/MW)	663 540,00
Cena za překročení RP (Kč/MW)	743 968,00
Nevyžádaná dodávka jalové energie Kč/MVArh	440,00
OZE+KVET na základě sjednaného RP (Kč/MW/měsíc) - max. 495,- Kč/MWh	2 640,18
Cena OTE za zúčtování (Kč/měsíc)	4,90
Cena za systémové služby (Kč/MWh)	93,94
Cena za použití sítí (Kč/MWh)	36,83

- Regulované platby za dopravu elektřiny 2017 platné pro VN Distribuční území PRE

- **Tabulka 18 Ceny položek za elektřinu na území PRE a.s. [21]**

Roční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	176 037,00
Měsíční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	194 043,00
Cena za překročení RK (Kč/MW)	704 037,00
Cena za překročení RP (Kč/MW)	776 172,00
Nevyžádaná dodávka jalové energie Kč/MVArh	440,00
OZE+KVET na základě sjednaného RP (Kč/MW/měsíc) - max. 495,- Kč/MWh	2 640,18
Cena OTE za zúčtování (Kč/měsíc)	4,90
Cena za systémové služby (Kč/MWh)	93,94
Cena za použití sítí (Kč/MWh)	42,12

- Regulované platby za dopravu elektřiny 2017 platné pro VN Distribuční území EON

- **Tabulka 19 Ceny položek za elektřinu na území E.ON a.s. [21]**

Roční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	131 263,00
Měsíční rezervovaná kapacita (Kč za MW)	147 281,00
Cena za překročení RK (Kč/MW)	525 052,00
Cena za překročení RP (Kč/MW)	589 124,00
Nevyžádaná dodávka jalové energie Kč/MVArh	440,00
OZE+KVET na základě sjednaného RP (Kč/MW/měsíc) - max. 495,- Kč/MWh	2 640,18
Cena OTE za zúčtování (Kč/měsíc)	4,90
Cena za systémové služby (Kč/MWh)	93,94
Cena za použití sítí (Kč/MWh)	39,49

Pokud zahrneme do výpočtu pouze cenu za 1 kWh v hodnotě 2,60 Kč odebíranou ze sítě VN, pak pro cenu ročních ztrát ozn. C_{Pz} systému DC 3 kV vypočítáme:

$$C_{Pz} = 2,60 \text{ Kč} \times 183\,033 \text{ MWh/rok} \times 10^3 = 475\,885\,800 \text{ Kč/rok}$$

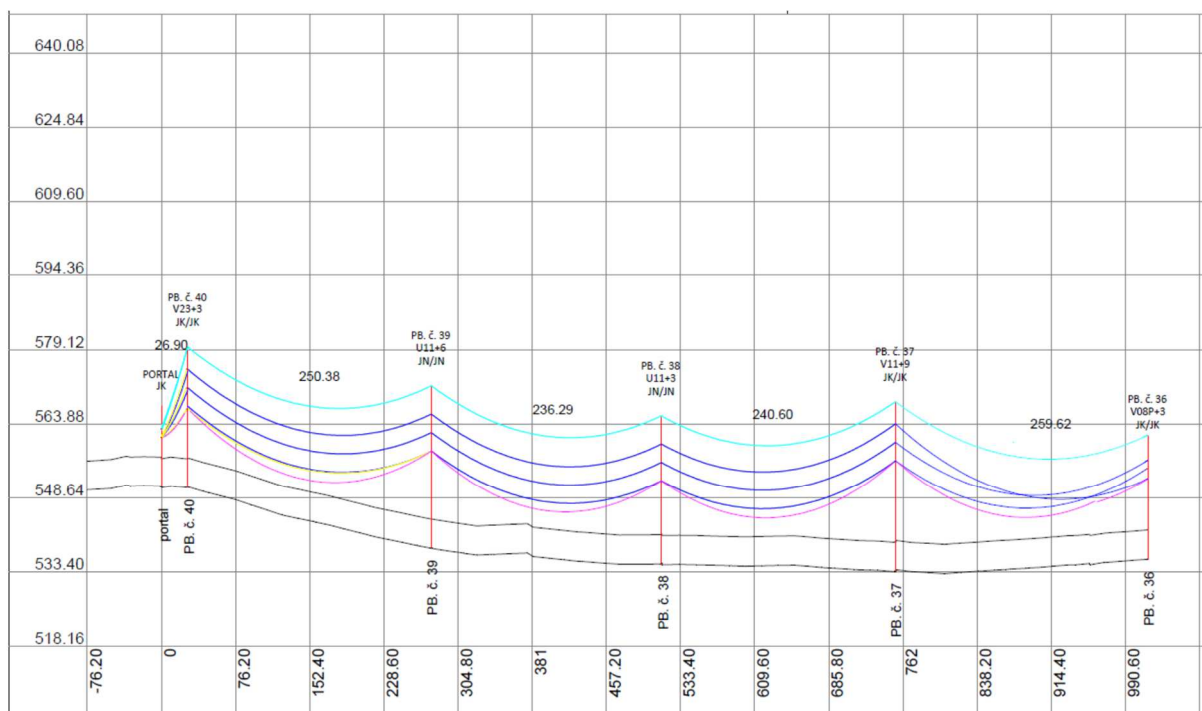
Úspora při konverzi systému by byla vyjádřena částkou:

$$C_{úspory} = 2,60 \text{ Kč} \times 241\,745 \text{ MWh/rok} \times 10^3 = 628\,537\,000 \text{ Kč/rok}$$

6.6 Cenová kalkulace při výstavbě nové linky VVN 110 kV

Protože lze předpokládat, že všechny stávající TNS v systému DC 3 kV, které jsou připojené na hladině VN 22 kV nebude možné při přechodu na trakční systém 25 kV; 50 Hz vypustit, musíme si naznačit alespoň zjednodušenou cenovou kalkulaci v případě, kdy dojde k variantě s připojením na hladinu VVN 110 kV. Jednalo by se o velmi důležité rozhodnutí, které by znamenalo zvážit především strategické umístění TNS, vzdálenosti ke stávajícímu vedení VVN, typ a hustotu zastavění terénu. Nejvhodnější by bylo nalézt řešení v místě se silnou průmyslovou zástavbou jako je např. továrna, lehký průmysl nebo stávající rozvodna VVN/VN.

I tak by se jednalo o složitou proceduru vyjednávání s vlastníky dotčených pozemků v navržené trase nového venkovního vedení VVN 110 kV. Pokud by se nakonec tento záměr podařil, mohli bychom počítat s náklady, které byly zjištěny v reálném případě na stavbě „TR Příbram Brod – obnova transformovny“, konkrétně u stavebního objektu SO 001 – Zaústění a výstavba vedení 110 kV, kterou projektovala firma ENGIE Services a.s., odpovědný projektant Ing. Petr Slaviček v březnu roku 2017. Jednalo se o obnovu stávajícího venkovního vedení VVN 110 kV, kdy byly vyměněny ocelové stožáry metodou „bod za bod“ s délkou trasy cca 987 m jak dokazuje přiložený podélný profil trasy níže.

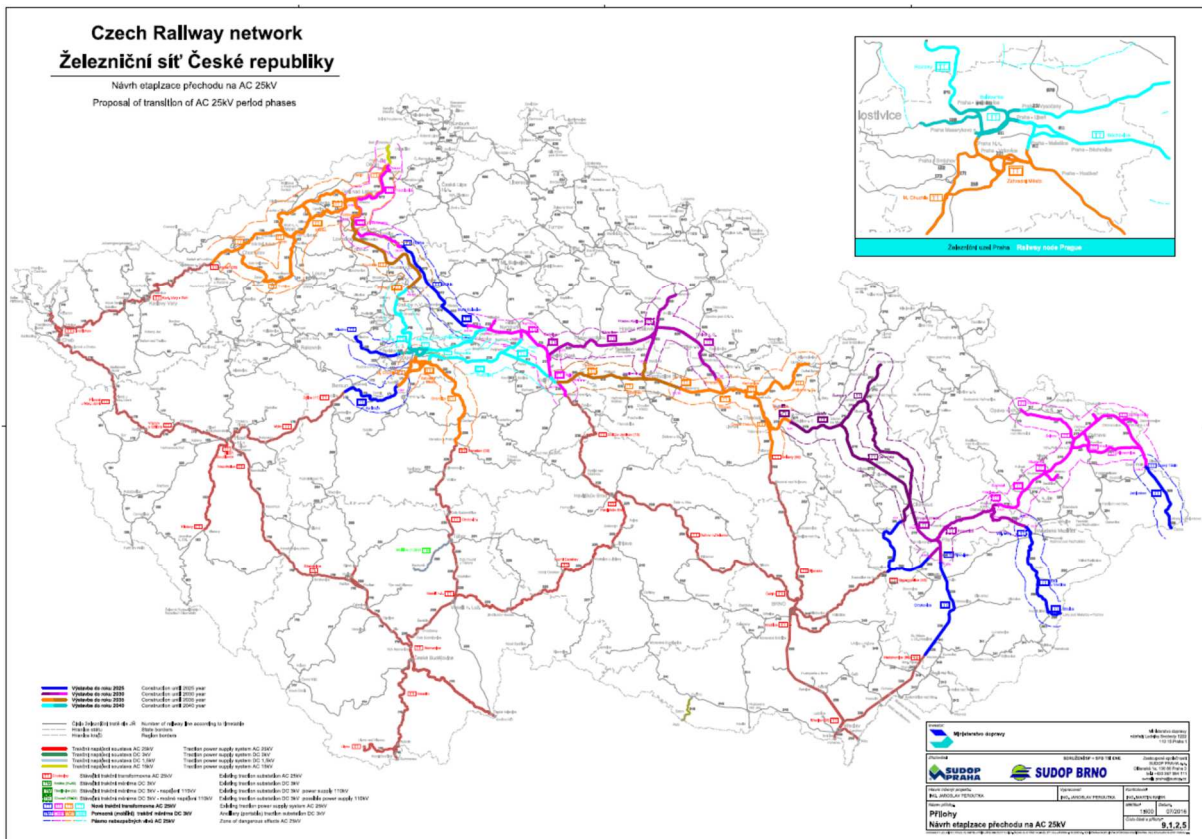


Obrázek 19 Podélný profil trasy VVN 110 kV [14]

Plánek situace širších vztahů přikládám do přílohy diplomové práce. V rámci zmíněného stavebního objektu byly rozpočtovány nové podpěrné body s délkou trasy cca 1 km. Cena jednoho kompletně postaveného podpěrného bodu bez ceny fázových a zemních lan se pohybuje řádově v ceně 1,47 mil. Kč. Průměrné rozpětí mezi stožáry činí cca 250 m. To by

6.7 Etapy přechodu na systém 25 kV; 50 Hz

Ministerstvo dopravy ČR jako orgán státní správy si nechalo vypracovat studii pro přechod na jednotnou napájecí soustavu v roce 2016. Studii provedla firma SUDOP Brno a.s. V rámci této studie byly vyhotoveny mapy s navrženým postupem od roku 2020 do roku 2040 pro I. Variantu s napájením trakce v systému AC 25 kV; 50 Hz viz Obrázek 20 a Příloha 6. Varianta II. pro systém DC 3 kV do roku 2022 je uvedena na Obrázku 21 a v Příloze 7.



- Výstavba do roku 2025
- Výstavba do roku 2030
- Výstavba do roku 2035
- Výstavba do roku 2040

- Construction until 2025 year
- Construction until 2030 year
- Construction until 2035 year
- Construction until 2040 year

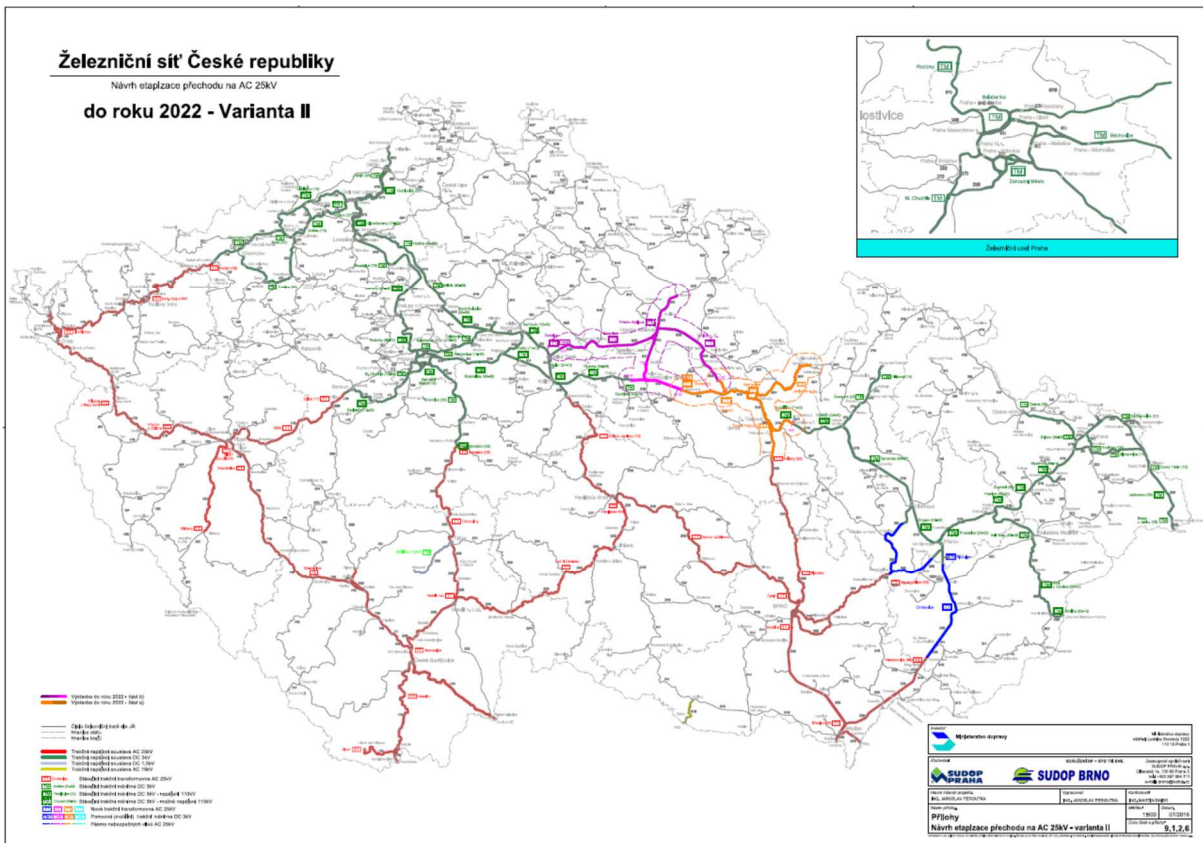
- Číslo železniční tratě dle JŘ
- Hranice států
- Hranice krajů

- Number of railway line according to timetable
- State borders
- Region borders

- Trakční napájecí soustava AC 25kV
- Trakční napájecí soustava DC 3kV
- Trakční napájecí soustava DC 1,5kV
- Trakční napájecí soustava AC 15kV

- Traction power supply system AC 25kV
- Traction power supply system DC 3kV
- Traction power supply system DC 1,5kV
- Traction power supply system AC 15kV

Obrázek 20 Návrh etap konverze do roku 2040 [12]



- Výstavba do roku 2022 - část b)
- Výstavba do roku 2022 - část a)

- Číslo železniční tratě dle JŘ
- Hranice států
- Hranice krajů

- Trakční napájecí soustava AC 25kV
- Trakční napájecí soustava DC 3kV
- Trakční napájecí soustava DC 1,5kV
- Trakční napájecí soustava AC 15kV

Obrázek 21 Návrh etap DC systému do roku 2022 varianta II.[12]

Plány s návrhem etapizace jsou vzhledem k čitelnosti přiloženy v příloze 2 - 7.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zabývat se možností přechodu na jednotnou napájecí soustavu na železnici na území České republiky a volbou vhodného technického řešení vzhledem k současnému stavu, kdy jsou v provozu dva převládající napájecí systémy. Po prostudování dostupných materiálů a studií je zřejmé, že problematika přesahuje hranice oboru železnice, protože nelze nalézt funkční řešení bez kvalitního napojení na distribuční sítě energetiky v ČR.

V první části diplomové práce jsem popsal trakční napájecí soustavy provozované na různých napěťových hladinách v ČR a sousedních státech. Uvedl jsem výhody a nevýhody jednotlivých systémů včetně očekávatelného budoucího vývoje, kterým se budou napájecí systémy na území jiných států ubírat, s důrazem na území Evropské unie. Popsal jsem, možnosti a důsledky jaké by měla změna napájecího systému ze stejnosměrného na střídavý na stávající kabely pro zabezpečovací a sdělovací techniku. Uvedl jsem zásadní důvody pro změnu ze stejnosměrného systému DC na systém střídavý AC s ohledem na provoz a ochranu vozidel a zařízení, která se nacházejí v těsné blízkosti elektrifikovaných tratí, poškozovaných bludnými proudy DC systému.

V další části jsem uvedl seznam hlavních dopravců v osobní a nákladní železniční dopravě. Provedl jsem výčet typů vozidel, které dopravci mají ve svém vozidlovém parku, a uvedl jsem možné důsledky, které by změna na jednotný trakční napájecí systém pro dopravce znamenala ve smyslu modernizace nebo pořízení nových hnacích vozidel. Připojit jsem také informaci o možnosti pronájmu a ceny leasingu nových vícesystémových lokomotiv, které jsou dnes na území ČR homologovány a provozovány.

Dílčí část diplomové práce se opírá o studii zpracovanou pro Ministerstvo dopavy ČR firmou SUDOP Brno a poukazuje na zastaralý vozový park jednosystémových hnacích vozidel v ČR, která jsou často na hranici své životnosti. Poukazuje na nutnost výměny či modernizaci těchto lokomotiv, přetěžování stávající stejnosměrné trakce a zastaralost většiny současných trakčních měníren s důrazem na přechod na střídavou napájecí trakci.

Vzhledem k dnešním výkonům moderních vícesystémových lokomotiv uvádím ekonomický přínos a technická řešení pro realizaci střídavé napájecí soustavy pro celé území ČR. Nutnost volby nejvhodnějšího technického řešení, které se stane unifikovaným pro následující období cca 30 let a přinese úspory z rozsahu a kompatibilitu v případě opravy nebo výměny na trakčním zařízení či v trakčních napájecích stanicích. Výše uvedené platí v samotném oboru železnice, kde volba napájecího systému, technického řešení a výměny vozového parku proběhne bez větších obtíží. Za zásadní problém, který nelze v žádném případě opomenout, však pokládám způsob připojení k distribuční síti.

Analýza stávajícího technického stavu připojených TNS není předmětem této práce. Uvedl jsem ale, jaké podmínky jsou kladeny ze strany distribučních společností na odběr elektrické energie, kvalitu dodávky a možnost vrácení nadbytečné energie vyrobené při rekuperaci z trakčního vedení zpět do distribuční sítě. Je nezbytná instalace kvalitního technického zařízení, schopného odebírat symetricky elektrickou energii, přeměnit tuto energii z třífázového systému na systém jednofázový pro dodávku energie vozidlům na trati v daném množství a současně použít identického zařízení pro zpětný tok energie do distribuční sítě. Jedná se o volbu univerzálního technického zařízení, jež může generovat finanční přínos provozovateli dráhy, který ale musí být smluvně ošetřen.

V případě, kdy bude nutné vybudovat novou TNS pro napájení trakčního systému, by měla volba místa být tam, kde existuje stávající venkovní vedení VVN 110 kV a vzdálenost mezi plánovanou TNS a linkou VVN je minimální. Předejde se tak možným komplikacím při projednávání přípojky z venkovního vedení do TNS s vlastníky dotčených pozemků a pozemků zasažených ochranným pásmem vedení VVN. Stavbu patrně nebude možné provést bez projednání, jak uvádí jedna z uvedených variant studie SUDOP, ale proběhne formou standardního územního řízení u příslušného stavebního úřadu. Přibližné finanční náklady pro stavbu přípojky VVN ve stávající trase jsem v diplomové práci také uvedl.

Všechny poznatky z prostudované literatury, podkladů a konzultací shrnuji v konstatování, že jednotná napájecí soustava na železnici v režimu střídavé trakce je dnes nezbytností a měla by být co nejdříve realizována. Odkládání její realizace nebo údržba se zahuštěním TNS na systému DC 3 kV je ztrátou času a finančních prostředků. Pokud má v budoucnu fungovat propojení evropských států na vysokorychlostních železničních tratích, pokud má být dosaženo výrazného přesunu nákladní dopravy ze silnice na železnici, pak je jednotná napájecí soustava pro železniční trakci jediným vhodným řešením. V tomto směru by pomohlo, pokud by došlo k legislativní změně ve znění Stavebního zákona, zákonů souvisejících a dotčených norem pro režim prioritních strategických staveb, kde investorem je stát či státní organizace.

Domnívám se, že téma jednotné napájecí soustavy na železnici je zajímavé a technicky různorodé. Z konzultací s pracovníky firmy Siemens s upozorněním na možná rizika spojená s napájením trakčního vedení z distribuční soustavy vyplynuly nové technické poznatky. Věřím, že na předloženou diplomovou práci lze navázat pro další zpracování uvedené problematiky.

Literatura

- [1] Doleček, V. *Trakční napájecí soustavy*. 1.vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015
- [2] Merhulík, V. *Řešení styků elektrické trakční soustavy stejnosměrného a střídavého proudu*. 1. vyd. Praha: Nadas, 1964
- [3] Fejt, J. Rydlo. J. *Střídavá trakce*. 1.vyd. Praha 1969
- [4] Faran, A. *Paralelní kolejové obvody železnic České republiky a Slovenské republiky a jejich proudová kompatibilita s drážními vozidly*. 1.vyd., AŽD Praha s.r.o., Praha 2008
- [5] Verzich, V. *Koexistence trakčního obvodu a systému elektronického stavědla na elektrizovaných tratích SŽDC*. 1.vyd., AŽD Praha s.r.o., Praha 2013, ISBN 978-80-260-4442-0.
- [6] Verzich, V. *Napájecí systémy železničních zabezpečovacích zařízení*. 1.vyd., České dráhy, a.s., Praha 2005, ISBN 80-85104-86-5.
- [7] Moravec F.: *Elektrické stroje netočivé – transformátory*, 1 vyd. Mělník: Integrovaná střední škola technická Mělník, 2012
- [8] Paroubek, J. *Projekt společností zabývající se pronájmem a leasingem železničních vozidel*, bakalářská práce, ČVUT FD, 2016

Interní materiály

- [9] Peroutka J. *Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu – Úvod*, SUDOP Brno, 07/2016
- [10] Peroutka, J. *Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu – Analytická část*, SUDOP Brno, 07/2016
- [11] Plíšková, A. *Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu – Provozní a dopravní technologie*, SUDOP Brno, 07/2016
- [12] Peroutka, J. *Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV – Mapové podklady*, SUDOP Brno, 07/2016
- [13] Pohl, J. Vurm, J. *Interní prezentace Siemens s.r.o., Mobility Division*, 2016
- [14] Slaviček, P. *Dokumentace z výstavby vedení linky 110 kV*, ENGIE Services a.s., 2017

Internetové zdroje

- [15] Státní energetická koncepce České republiky, 2015
<https://www.databaze-strategie.cz/cz/mpo/strategie/statni-energeticka-koncepce-ceske-republiky-2015>. [on line 15. 10. 2017]
- [16] Národní program snižování emisí, 2015
https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/vpraa4zb6fro.pdf. [on line 16. 10. 2017]

- [17] https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_nap%C3%A1jec%C3%AD_soustava, [on line 30. 9. 2017]
- [18] https://ekonomika.idnes.cz/sjednoceni-proudu-na-zeleznici-dms-/eko-doprava.aspx?c=A150611_171830_eko-doprava_rny, [on line 9. 10. 2017]
- [19] <http://www.szdc.cz/obrazky/mapy/pocty-tratovych-koleji.gif>, [on line 3. 11. 2017]
- [20] http://www.eru.cz/legacyerustaticdata/user_data/files/statistika_elektro/rocn%C3%AD_zprava/2006/mapy/12.htm, [on line 3. 11. 2017]
- [21] <http://www.energolar.cz/1569/velkoodberatele/>, [on line 5. 11. 2017]
- [22] <https://csnonline.unmz.cz/Vysledky.aspx>, [on line 3. 11. 2017]
- [23] <http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodob%C3%AD-rovnovaha/elektricke-site/elektricke-site>, [on line 3. 11. 2017]
- [24] <http://spz.logout.cz/stat/stat.html>, [on line 3. 11. 2017]

Seznam obrázků

- Obrázek 1 Druhy napájecích soustav v Evropě [17]
- Obrázek 2 Transformační poměr (převod) [7]
- Obrázek 3 Autotransformátor na širé trati ve Francii [1]
- Obrázek 4 Mapa AC/DC trakce v ČR [18]
- Obrázek 5 Návrh schématu napájení tratí pro střídavý systém [9]
- Obrázek 6 Lokomotiva řady 163 [foto: autor]
- Obrázek 7 Lokomotiva Vectron [foto: autor]
- Obrázek 8 Rozložení území distribučních společností v ČR [23]
- Obrázek 9 Zjednodušené schéma jednotné fáze [13]
- Obrázek 10 Schéma aktivního balancéru [13]
- Obrázek 11 Schéma zapojení aktivního balancéru v systému napájení [13]
- Obrázek 12 Blokové schéma statického měniče s technickými daty [13]
- Obrázek 13 Průběh funkce změny třífázového systému na jednofázový [13]
- Obrázek 14 Schéma zapojení frekvenčního měniče v napájecí soustavě [13]
- Obrázek 15 Kontejnerové řešení [13]
- Obrázek 16 Vizualizace technologického řešení [13]
- Obrázek 17 Železniční trakce v ČR [19]
- Obrázek 18 Mapa distribuční sítě VVN společnosti ČEZ Distribuce a.s. [20]
- Obrázek 19 Podélný profil trasy VVN 110 kV [14]
- Obrázek 20 Návrh etap konverze do roku 2040 [12]
- Obrázek 21 Návrh etap DC systému do roku 2022 varianta II. [12]

Seznam tabulek

- Tabulka 1 Investice v severní části ČR do systému DC a AC napájecích stanic [9]
- Tabulka 2 Vozový park společnosti České dráhy a.s.[24]
- Tabulka 3 Celkový induktivní účinník vlaku λ [22]
- Tabulka 4 Minimální Ustřední užitečné na pantografovém sběrači [22]
- Tabulka 5 Trakční soustavy v závislosti na typu tratí [22]
- Tabulka 6 Maximální hladina napětí při zkratu mezi trakčním vedením a kolejnicí [22]
- Tabulka 7 Činnost automatických vypínačů při vnitřním zkratu na hnací jednotce [22]
- Tabulka 8 Povolené použití rekuperačního brzdění [22]
- Tabulka 9 Úrovně jednotlivých harmonických napětí až do řádu 20 [22]
- Tabulka 10 Počet a druh TNS s technickými daty [10]
- Tabulka 11 Tabulka elektrických vlastností trakční soustavy pro DC a AC systém [10]
- Tabulka 12 Porovnání základních prvků pro výstavbu trakčního vedení [10]
- Tabulka 13 Porovnání investic dle výměru použitých materiálů pro DC trakci [10]
- Tabulka 14 Porovnání investic dle výměru použitých materiálů pro AC trakci [10]
- Tabulka 15 Porovnání investic u konkrétního případu [10]
- Tabulka 16 Ztráty v trakčním vedení pro střední vzdálenost stanic 28,5 km [10]
- Tabulka 17 Ceny položek za elektřinu na území ČEZ Distribuce a.s. [21]
- Tabulka 18 Ceny položek za elektřinu na území PRE a.s. [21]
- Tabulka 19 Ceny položek za elektřinu na území E.ON a.s. [21]
- Tabulka 20 Rekapitulace nákladů linky VVN 110 kV [14]

Seznam grafů

- Graf 1 Koláčový graf rozdělení nákladní dopravy [9]
- Graf 2 Trend růstu přepravních výkonů osobní železniční přepravy [9]
- Graf 3 Výkony nákladní dopravy společností [11]
- Graf 4 Průběh zůstatkové hodnoty a nákladů na údržbu lokomotivy [10]
- Graf 5 Příkon nákladního vlaku v závislosti na stoupání trati [10]
- Graf 6 Vliv výkonu lokomotivy na poměrné ztráty v trakčním vedení [10]

Seznam příloh

Přílohy jsou vloženy do kapsy na konci diplomové práce a současně v elektronické podobě.

Příloha 1 Mapa opravy linky VVN 110 kV ve stávající trase

Příloha 2 Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV do roku 2025

Příloha 3 Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV do roku 2030

Příloha 4 Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV do roku 2035

Příloha 5 Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV do roku 2040

Příloha 6 Návrh etapizace přechodu na AC 25 kV

Příloha 7 Návrh etapizace systému DC 3 kV